

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Biopreparaty mikrobiologiczne w ochronie upraw polowych – stan obecny i perspektywy

Microbial biological control agents in the protection of field crops – current status and perspectives

Danuta Sosnowska*

Streszczenie

W ostatnich latach w wyniku wprowadzenia zaleceń Komisji Europejskiej dotyczących ograniczenia stosowania chemicznych środków ochrony roślin na rzecz niechemicznych, w uprawach polowych obserwuje się zwiększenie dostępnego asortymentu biopreparatów mikrobiologicznych. W Polsce w tych uprawach zarejestrowano już 8 bioinsektycydów i 12 biofungicydów. Do zwalczania szkodników roślin stosuje się głównie szczepy bakterii owadobójczych *Bacillus thuringiensis* i jeden szczep grzyba owadobójczego *Beauveria bassiana*. Do zwalczania sprawców chorób wykorzystuje się szczepy grzybów antagonistycznych *Trichoderma harzianum* i *Trichoderma asperellum*, grzyba nadpasożytniczego *Coniothyrium minitans* i organizm grzybopodobny *Pythium oligandrum*. Zastosowanie ma również bakteria *Pseudomonas* sp., a do zaprawiania zarejestrowano bakterię *Bacillus amyloliquefaciens*. Obecnie trwają intensywne badania naukowe nad poprawieniem skuteczności środków biologicznych. Tworzy się innowacyjne formułacje środków, które zwiększają ich trwałość i wydłużają okres przechowywania. Przyszłością będą również programy ochrony roślin z łącznym wykorzystaniem mikroorganizmów i makroorganizmów pożytecznych. Niniejsza publikacja przedstawia aktualnie dostępne mikrobiologiczne środki ochrony roślin stosowane w ochronie upraw polowych, analizuje obecne i przyszłe badania nad ich stosowaniem i ulepszeniem formułacji.

Słowa kluczowe: biologiczna ochrona roślin, mikrobiologiczne biopreparaty w uprawach polowych

Abstract

In recent years, as a result of the introduction of the European Commission's recommendations on limiting the use of chemical plant protection products in favor of non-chemical ones, an increase in the available range of microbial biological control agents has also been observed in field crops protection. 8 bioinsecticides and 12 biofungicides have already been registered for these crops in Poland. Strains of the entomopathogenic bacteria *Bacillus thuringiensis* and one strain of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* are mainly used to control plant pests. Strains of the antagonistic fungi *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma asperellum*, the hyperparasitic fungus *Coniothyrium minitans* and the fungus-like organism *Pythium oligandrum* are used to control plant disease. The bacterium *Pseudomonas* sp. is also used, and the bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* has been registered for dressing. Intensive scientific research is currently underway to improve the effectiveness of biological control agents. Innovative formulations are being created to increase their efficacy and extend the storage period. The future will also include plant protection programs with the combined use of beneficial microorganisms and macroorganisms. This publication presents currently available microbiological plant protection products used in field plant protection, analyzes current and future research on their use and improvement of formulations.

Keywords: biological plant protection, microbial biological control agents in field crops

Wstęp / Introduction

Wprowadzenie od 1 stycznia 2014 roku przez Unię Europejską (UE) obowiązku stosowania integrowanej ochrony roślin przez profesjonalnych użytkowników środków ochrony roślin spowodowało, że zwiększyło się zainteresowanie metodami niechemicznymi, w tym biologicznymi (Dz.U. UE L 2009 poz. 309; Mrówczyński 2013; Pruszyński 2016). Metody biologiczne są wykorzystywane od dawna, szczególnie w ochronie roślin pod osłonami. W ostatnich latach w związku z wycofywaniem przez UE wielu chemicznych środków ochrony roślin, ochrona upraw polowych zmierza w kierunku większego zainteresowania stosowaniem biologicznych środków ochrony roślin.

Metody biologiczne polegają na wykorzystaniu naturalnych pożytecznych organizmów biologicznych występujących w środowisku, takich jak: wirusy, mikroorganizmy (grzyby, bakterie) i makroorganizmy (nicienie, pasożytnicze i drapieżne owady, roztocze) do ograniczania populacji szkodników, sprawców chorób i chwastów w uprawach roślin w warunkach polowych, leśnych i pod osłonami. Należy podkreślić, że środki biologiczne nie eliminują agrofagów tak radykalnie jak wiele chemicznych środków ochrony roślin, lecz istotnie ograniczają ich populacje, zwykle w czasie dłuższego okresu działania (Ravensberg 2011). Metody biologiczne polegają na:

- introdukcji, czyli trwałym osiedlaniu na nowych terenach wrogów naturalnych, sprowadzanych z innych kontynentów,
- okresowej kolonizacji, czyli okresowym wprowadzaniu wrogów naturalnych danego agrofaga, na którym on nie występuje wcale lub w małej ilości (metoda augmentatywna),
- konserwacyjnej ochronie biologicznej, czyli modyfikacji krajobrazu rolniczego przez człowieka w celu stworzenia odpowiednich warunków dla rozwoju organizmów pożytecznych w środowisku.

W Polsce do obrotu i stosowania mogą być dopuszczone tylko te środki ochrony roślin, które zawierają substancje czynne zatwierdzone do stosowania przez Komisję Europejską (Dz.U. 2013 poz. 455). Biopreparaty mikrobiologiczne podlegają rejestracji, a ich wykaz można znaleźć na stronie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi. W uprawach polowych zarejestrowano 8 bioinsektycydów opartych na szczepach bakterii *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* i *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* oraz szczepie grzyba owadobójczego *Beauveria bassiana* (tab. 1). Do zwalczania sprawców chorób roślin polowych zarejestrowano 12 biofungicydów opartych na szczepach grzybów antagonistycznych *Trichoderma asperellum* i *Trichoderma harzianum*, na szczepie grzyba nadpasożytniczego *Coniothyrium minitans*, na szczepie gatunku grzybopodobnego *Pythium oligandrum* oraz na szczepach bakterii *Bacillus amyloliquefaciens* i *Pseudomonas* sp. (tab. 2). W tabelach

1 i 2 przedstawiono wykaz bioinsektycydów i biofungicydów zarejestrowanych w Polsce, które są dostępne na stronie wyszukiwarki środków ochrony roślin Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi (<https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wyszukiwarka-srodkow-ochrony-roslin-zastosowanie>). Należy podkreślić, że w Polsce do obrotu i stosowania mogą być dopuszczone tylko te środki ochrony roślin, które zawierają substancje czynne zatwierdzone do stosowania przez Komisję Europejską. Ocena bezpieczeństwa preparatów jest prowadzona dwuetapowo. Komisja Europejska jest odpowiedzialna za ocenę i zatwierdzenie substancji czynnych środków ochrony roślin, przy udziale państw członkowskich. Następnie państwa członkowskie są odpowiedzialne za ocenę środków ochrony roślin i dopuszczają do obrotu te preparaty na swoim terytorium. Obowiązek rejestrowania biologicznych środków ochrony roślin został wprowadzony w Polsce Ustawą z dnia 12 lipca 1995 roku o ochronie roślin uprawnych. W stosunku do tych środków wymagania są takie same jak do chemicznych środków ochrony roślin, co powodowało słabe zainteresowanie firm ich rejestracją. Przez wiele lat nie było w ogóle zarejestrowanych biopreparatów w uprawach polowych. Jedynie w szklarniach obserwowano zainteresowanie ich stosowaniem, szczególnie makroorganizmami, które nie podlegają rejestracji. Warunki panujące w szklarniach i możliwość regulowania wilgotności i temperatury sprzyjały stosowaniu mikroorganizmów pasożytniczych do zwalczania szkodników i sprawców chorób w szklarniach. Wprowadzenie trzmieli do zapylania również przyczyniło się do zainteresowania stosowaniem środków biologicznych, które są bezpieczne zarówno dla nich, jak również dla środowiska (van Lenteren 2000).

Prace Komisji Unii Europejskiej, które złagodziły przepisy dotyczące rejestracji środków biologicznych spowodowały zwiększenie zainteresowania firm rejestracją biopreparatów w ochronie upraw polowych. Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1440 z dnia 31 sierpnia 2022 r. zmieniające Rozporządzenie UE nr 284/2013 w odniesieniu do informacji, które należy przedłożyć w zakresie środków ochrony roślin, oraz szczegółowych wymogów dotyczących danych w zakresie środków ochrony roślin zawierających mikroorganizmy złagodziły wymagania w zakresie ich rejestracji. Dotyczą one między innymi zastosowania innego podejścia opierającego się na biologii i ekologii każdego mikroorganizmu, uwzględnienia najnowszej wiedzy naukowej, elastycznych wymogów usprawniających dokumentację wniosków, krótszych terminów w uzyskaniu dostępu do rynku UE i inne. Rozporządzenie to wprowadziło również definicję mikrobiologicznego środka zwalczania agrofagów w postaci, w jakiej został wyprodukowany (MPCA – microbial pest control agent as manufactured). Jest to wynik procesu wytwarzania mikroorganizmu lub mikroorganizmów, które mają być

wykorzystane jako substancje czynne w środkach ochrony roślin, składających się z mikroorganizmu lub mikroorganizmów, oraz wszelkich dodatków, metabolitów (w tym potencjalnie niebezpiecznych metabolitów), zanieczyszczeń chemicznych, mikroorganizmów skażających oraz zużytej pożywki/frakcji resztkowej z procesu produkcji

lub, w przypadku procesu produkcji o charakterze ciągłym, w którym niemożliwe jest ściśle rozdzielenie produkcji mikroorganizmów i procesu produkcji środków ochrony roślin – niewyzolowany produkt pośredni (Rozporządzenie Komisji UE 2022/1440).

Tabela 1. Bioinsektycydy zarejestrowane do stosowania w uprawach polowych (stan na 02.01.2025 r.)

Table 1. Bioinsecticides registered for use in field crops (data from 02.01.2025)

Nazwa handlowa Trade name	Substancja czynna (mikroorganizm) Active substance (microorganism)	Szkodniki Pests	Uprawa polowa Field crop
BioDor Pro	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i> szczep – strain ABTS-1857	gąsienice uszkadzające liście caterpillars damaging leaves	rzepak jary, groch siewny, groch pastewny i cukrowy, fasola szparagowa, gorczyca, burak ćwikłowy, słonecznik spring rape, field pea, field pea and sugar pea, green beans, mustard, beet root, sunflower
BioBit	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> szczep – strain ABTS-351	gąsienice uszkadzające liście caterpillars damaging leaves	kukurydza cukrowa, burak ćwikłowy i liściowy, groch siewny, fasola szparagowa sweet corn, beet root and leaf beet, field pea, green beans
DiPel DF	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> szczep – strain ABTS-351	gąsienice uszkadzające liście, gąsienice pachówki strąkóweczki caterpillars damaging leaves, pod moth caterpillars	kukurydza cukrowa, burak ćwikłowy i liściowy, groch siewny, fasola szparagowa sweet corn, beet root and leaf beet, field pea, green beans
Florbac	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i> szczep – strain ABTS-1857	gąsienice uszkadzające liście caterpillars damaging leaves	rzepak jary, burak ćwikłowy, gorczyca, słonecznik, groch siewny i pastewny, fasola szparagowa spring rape, beet root, mustard, sunflower, field pea, fodder pea, green beans
Lepinox Plus	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> szczep – strain EG 2348	gąsienice motyli sówkowatych, słonecznica orężówka, omacnica prosowianka caterpillars of owl butterflies, cotton bollworm, european corn borer	kukurydza pękająca i cukrowa, soja, fasola cracked and sweet corn, soybeans, beans
Naturalis	<i>Beauveria bassiana</i> szczep – strain ATCC 74040	mączliki, wciornastki, przędziorek chmielowiec, drutowce whiteflies, thrips, two-spotted spider mite, wireworms	rzepak jary, soja, groch zwyczajny i pastewny, kukurydza cukrowa i pękająca, burak liściowy, burak ćwikłowy i pastewny, pszenica płaskurka, pszenica twarda i samopsza, żyto jare, łubin, gorczyca, groch zielony, groch łuskany, groch siewny i pastewny, słonecznik spring rape, soybeans, field and fodder peas, cracked and sweet corn, beet root and fodder beet, emmer wheat, durum wheat and einkorn wheat, spring rye, lupine, mustard, green peas, split peas, field and fodder peas, sunflower
Xen Tari WG	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i> szczep – strain ABTS-1857	gąsienice uszkadzające liście caterpillars damaging leaves	rzepak jary, groch siewny i pastewny, fasola, burak ćwikłowy, gorczyca, słonecznik spring rape, seed and fodder peas, beans, beet root, mustard, sunflower
Xtreem	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i> szczep – strain ABTS-1857	gąsienice uszkadzające liście caterpillars damaging leaves	burak ćwikłowy beet root

Źródło: strona internetowa Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, wyszukiwarka środków ochrony roślin – zastosowanie (<https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wyszukiwarka-srodkow-ochrony-roslin---zastosowanie>)

Source: web side of the Polish Ministry of Agriculture and Rural Development

Tabela 2. Biofungicydy zarejestrowane do stosowania w uprawach polowych (stan na 02.01.2025 r.)**Table 2.** Biofungicides registered for use in field crops (data from 02.01.2025)

Nazwa handlowa Trade name	Substancja czynna (mikroorganizm) Active substance (microorganism)	Choroby Diseases	Uprawa polowa Field crop
Asperello Biocontrol T34	<i>Trichoderma asperellum</i> szczep – strain T34	zgorzel siewek i sadzonek, zgnilizna korzeni damping off seedlings and seedlings, root rot fusarium	burak ćwikłowy, groch zielony i cukrowy, fasola, gorczyca beet root, green and sugar peas, beans, mustard
Integral Pro	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> szczep – strain MBI 600	sucha zgnilizna kapustnych, pchełki black rot of cabbage, flea beetles	rzepak ozimy, rzepak jary winter and spring rape
Lalstop Contans WG	<i>Coniothyrium minitans</i>	zgnilizna twardzikowa scleroderma rot	rzepak ozimy winter rape
Polygreen Fungicyde WP	<i>Pythium oligandrum</i>	zgnilizna twardzikowa, sucha zgnilizna kapustnych, fuzarioza scleroderma rot, black rot of cabbage, fusarium	rzepak ozimy, pszenica ozima i jara, jęczmień jary winter rape, winter and spring wheat, spring barley
Polyversum WP	<i>Pythium oligandrum</i>	zgnilizna twardzikowa, szara pleśń scleroderma rot, gray mold	fasola szparagowa green beans
Proradix	<i>Pseudomonas</i> sp. szczep – strain DSMZ 13134	fuzarioza, rizoktonioza fusarium, rhizoctonia	burak ćwikłowy, ziemniak, gorczyca beet root, potato, mustard
Rhapsody	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (dawniej <i>subtilis</i>) szczep – strain QST 713	zgnilizna twardzikowa, rizoktonioza scleroderma rot, rhizoctonia	rzepak ozimy, ziemniak winter rape, potato
Serenade ASO	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (dawniej <i>subtilis</i>) szczep – strain QST 713	zgnilizna twardzikowa, rizoktonioza scleroderma rot, rhizoctonia	rzepak ozimy, ziemniak winter rape, potato
Serifel	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> szczep – strain MBI 600	zgnilizna twardzikowa, mączniak prawdziwy, szara pleśń scleroderma rot, powdery mildew, gray mold	rzepak jary, burak liściowy, pszenica orkisz, słonecznik, groch, łubin spring rape, leaf beetroot, spelt wheat, sunflower, pea, lupine
Taegro	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FZB 24	mączniak prawdziwy, zgnilizna twardzikowa, mączniak rzekomy, szara pleśń powdery mildew, scleroderma rot, downy mildew, gray mold	groch siewny i pastewny, burak liściowy field and fodder peas, leaf beet
Trianium-P Trianium-G	<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai szczep – strain T-22	zgorzel siewek, plamistość zgorzelowa korze- ni, rizoktonioza seedling blight, root blight, rhizoctonia	burak ćwikłowy beet root
Xilon	<i>Trichoderma asperellum</i> T-34	zgnilizna twardzikowa, fuzaryjna zgorzel, fuzarioza scleroderma rot, fusarium blight, fusarium	rzepak ozimy, soja, słonecznik, kukurydza winter rape, soybean, sunflower, corn

Źródło: strona internetowa Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, wyszukiwarka środków ochrony roślin – zastosowanie
(<https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wyszukiwarka-srodkow-ochrony-roslin---zastosowanie>)

Source: web side of the Polish Ministry of Agriculture and Rural Development

Bioinsektycydy / Bioinsecticides

Są to środki ochrony roślin, których substancję czynną stanowią pożyteczne mikroorganizmy (bakterie, grzyby) ograniczające populacje szkodników roślin. Grzyby owadobójcze atakują szkodniki owadzie i roztocza. Infekcja następuje w wyniku kontaktu owada z zarodnikami grzyba. Śmierć owada jest wynikiem paraliżu, spowodowane-

go przerastaniem jego ciała przez rozwijające się strzępki grzyba. Wrażliwe są wszystkie stadia rozwojowe szkodnika. Najczęściej wykorzystywanym do produkcji biopreparatów i stosowanym w biologicznych metodach ochrony roślin jest gatunek grzyba owadobójczego *B. bassiana* (Balsamo-Crivelli) Vuillemin i bakteria *B. thuringiensis* (Feng i wsp. 1994; Sosnowska 2005, 2019; Faria i Wraight 2007; Kumar i wsp. 2021). Gatunek ten został zidentyfikowany

w 1835 roku przez Agostino Bassi (Bruck 2010). W Polsce w uprawach polowych szczep tego grzyba zarejestrowano do zwalczania mączlików, wciornastków, przędziorka chmielowca i drutowców (tab. 1). Liczne badania nad tym gatunkiem grzyba pokazują również jego inne zalety. Iida i wsp. (2023) wykazali, że *B. bassiana* hamuje rozwój mączniaka prawdziwego na ogórku i pomidorze. Grzyby owadobójcze pełnią również szeroką rolę w środowisku. Są nie tylko pasożytami owadów, ale pełnią też rolę endofitów w roślinach, czyli nie powodują żadnych zmian chorobowych w roślinie. Są też antagonistami w stosunku do patogenów roślin, występują w ryzosferze roślin i mają wpływ na wzrost roślin (Vega i wsp. 2009; Zimowska i Król 2019; Quesada-Moraga i wsp. 2022). *Beauveria bassiana* został zidentyfikowany jako endofit u około 25 gatunków roślin (Poradnik 2023). Uważa się, że grzyb ten dostarcza roślinie azot pochodzący z zaatakowanych owadów, a żywiciel w zamian dostarcza substancje bogate w węgiel. Inne badania pokazują, że *B. bassiana* wpływa na środowisko glebowe poprzez kumulowanie pyretroidów, czyli chemicznych środków ochrony roślin (Litwin i wsp. 2022). Grzyb wchodzi w kontakt z pozostałościami insektycydów w środowisku. *Beauveria bassiana* gromadzi pyretroidy już w drugim dniu inkubacji. Zaobserwowano, że pyretroidy gromadziły się w dużych ilościach w grzybni *B. bassiana*. Akumulacja pyretroidów w środowisku nie jest w pełni poznana, a badania Litwina i wsp. (2022) sugerują, że grzyby entomopatogenne mogą być częścią tego procesu.

Największy areal zastosowania ma grzyb owadobójczy *Metarhizium anisopliae* (van Lenteren i wsp. 2018). W Polsce w uprawach polowych nie zarejestrowano bioinsektycydu opartego na tym gatunku grzyba.

Wśród bioinsektycydów zarejestrowanych w Polsce dominują te, których substancją czynną są szczepy bakterii owadobójczych *Bacillus* spp. Działanie ich polega na uszkodzeniu komórek nabłonkowych jelita szkodnika wywołanego aktywnością endotoksyny, która musi być zjedzona w postaci przetrwalników i toksycznych kryształów bakterii. Następuje paraliż przewodu pokarmowego i owad przestaje żerować. Najbardziej wrażliwe są młodsze stadia larwalne owadów. W praktyce w formie biopreparatów stosuje się komercyjnie tylko cztery podgatunki *Bacillus thuringiensis*:

- *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* zabijający larwy motyli,
- *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* zabijający larwy motyli,
- *B. thuringiensis* subsp. *morrisoni* (dawniej *tenebrionis*) zabijający chrząszcze,
- *B. thuringiensis* subsp. *israelensis* przeciwko larwom komarów i muchówkom.

W Polsce zarejestrowano tylko dwa podgatunki tej bakterii: *aizawai* i *kurstaki* (tab. 1). W uprawach polowych podgatunek *aizawai* zarejestrowano do zwalczania gąsienic uszkodzających liście, a podgatunek *kurstaki* oprócz gąsienic uszkodzających liście, przeznaczony jest do zwalczania

gąsienic pachówki strąkóweczki, gąsienic sówkowatych, słonecznicy orężówki i omacnicy prosowianki (tab. 1).

Biofungicydy / Biofungicides

Są to biologiczne środki ochrony roślin, których substancją czynną są pożyteczne mikroorganizmy (bakterie, grzyby) ograniczające sprawców chorób roślin. Bardzo często są stosowane profilaktycznie. Dużą rolę w biologicznej ochronie upraw przed sprawcami chorób odgrywają grzyby antagonistyczne z rodzaju *Trichoderma* (Jaworska i wsp. 2004; Bandurska i wsp. 2015; Znajewska i wsp. 2018; Nowocień i Sokołowska 2020; Yao i wsp. 2023). Zasadlają one strefę korzeniową konkurując z patogenami o składniki pokarmowe i przestrzeń życiową. W uprawach polowych stosuje się biopreparaty oparte na szczepach *T. asperellum* do zwalczania sprawców zgorzeli siewek i sadzonek oraz zgnilizny korzeni w buraku ćwikłowym, grochu, fasoli i gorczycy oraz do zwalczania sprawców zgnilizny twardzikowej i fuzariozy w uprawie rzepaku ozimego, soi, słoneczniku i kukurydzy (tab. 2). W buraku ćwikłowym zarejestrowano szczep *T. harzianum* do zwalczania zgorzeli siewek, plamistości zgorzelowej korzeni i rizoktoniozy.

Grzyb nadpasożytniczy *C. minitans* należy do gatunków bardzo selektywnych, gdyż atakuje tylko sklerocja sprawcy zgnilizny twardzikowej np. w rzepaku. Grzyb w glebie rozpoznaje sygnały chemiczne od żywiciela i zaczyna go poszukiwać, kiełkuje powodując liżę, czyli rozpuszcza ściany komórkowe żywiciela i powoduje degradację sklerocji, hamuje wzrost strzępek patogenu i procesy metaboliczne. Wykorzystuje składniki organiczne żywiciela jako źródło składników pokarmowych dla swojego rozwoju. Badania Webera (2002) wykazały, że *C. minitans* w podobnym stopniu jak chemiczny fungicyd Alert 375 SC ograniczał porażenie rzepaku ozimego przez *Sclerotinia sclerotiorum* i wpłynął istotnie na zwiększenie plonu nasion rzepaku.

W uprawach polowych zarejestrowano biofungicyd zawierający organizm grzybopodobny *P. oligandrum*. Jego działanie polega na rozkładaniu strzępek grzyba żywiciela poprzez wydzielanie oligandryny, substancji białkowej należącej do grupy elicytyn, które mają zdolność do indukowania systemicznej odporności u roślin. *Pythium oligandrum* wprowadza do rośliny fitohormony, fosfor i cukry (Gerbore i wsp. 2013; Pisarčík i wsp. 2022). Ma szerokie spektrum działania. Zwalcza sprawców zgnilizny twardzikowej i suchej zgnilizny kapustnych oraz ogranicza występowanie *Pythium* sp., *Rhizoctonia* sp., *Phytophthora* sp., *Phoma* sp., *Verticillium* sp. i *Fusarium* sp. Zarejestrowano szczep tego gatunku w uprawach rzepaku ozimego, pszenicy ozimej i jarej, jęczmienia jarego oraz fasoli szparagowej (tab. 2).

Oprócz grzybów do ograniczania sprawców chorób roślin zarejestrowano szczep bakterii *B. amyloliquefaciens*,

którą stosuje się jako zaprawę w zwalczaniu sprawców suchej zgnilizny kapustnych w rzepaku ozimym i jarym, rizoktoniozy w rzepaku ozimym i ziemniaku, sprawców mączniaka prawdziwego i szarej pleśni w rzepaku jarym, buraku liściowym, pszenicy orkisz, słoneczniku, soi, grochu, łubinie i fasoli (tab. 2). Do zwalczania sprawców fuzariozy i rizoktoniozy zarejestrowano również szczep bakterii *Pseudomonas* sp. w uprawie buraka ćwikłowego i liściowego, ziemniaka i gorczycy (tab. 1).

W Polsce zarejestrowano 2773 środki ochrony roślin (dane z 31.01.2024 r.), z czego około 51 produktów można stosować jako biologiczne środki ochrony roślin. Dane pokazują, że w 2023 roku sprzedaż rynkowa chemicznych pestycydów stosowanych w rolnictwie wyniosła 98,42 mld USD, a przewidywana sprzedaż w 2027 roku wyniesie 139,42 mld USD. Z kolei światowa sprzedaż biopestycydów w 2023 roku wyniosła 6,7 mld USD, a przewidywana w 2028 roku wyniesie 13,9 mld USD (<https://www.researchandmarkets.com/>; Wend i wsp. 2024).

Szacuje się, że w najbliższym czasie nastąpi wzrost zastosowania biologicznych środków ochrony roślin. Największy sukces w ochronie biologicznej obserwuje się w uprawach pod osłonami, co jest związane z możliwością regulowania temperatury i wilgotności, tak ważnych czynników dla podniesienia skuteczności zabiegu (De Leij i wsp. 1992; van Lenteren 2000). W warunkach polowych te kryteria są zmienne, co powoduje że skuteczność biopreparatów nie zawsze jest zadowalająca. Przy stosowaniu środków biologicznych trzeba posiadać większą wiedzę niż przy stosowaniu środków chemicznych i należy pamiętać oraz wiedzieć, że:

- należy je stosować zgodnie z etykietą środka,
- nie wykonywać zabiegów opryskiwania w warunkach wysokiej lub niskiej temperatury, niskiej wilgotności i dużym nasłonecznieniu,
- bakterie są najskuteczniejsze w zwalczaniu młodszych stadiów larwalnych owadów,
- grzyby infekują wszystkie stadia rozwojowe szkodnika,
- nie należy stosować chemicznych fungicydów łącznie z biofungicydami i bioinsektycydami,
- termin przechowywania biopreparatu jest krótki, np. w przypadku grzybów owadobójczych do 6 miesięcy w temperaturze 4°C,
- preparaty zawierające żywe mikroorganizmy mają krótką żywotność uzależnioną od warunków przechowywania,
- biopreparaty mają powolny mechanizm działania, skuteczność może być widoczna dopiero po upływie 3–6 dni.

Zanim powstanie biopreparat należy wykonać setki badań i przede wszystkim znaleźć odpowiedni szczep mikroorganizmu pasożytniczego. Szczepy grzybów wykazują ogromne zróżnicowanie pod względem wzrostu i zarod-

nikowania, a przede wszystkim mają różną wirulentność. Rojas i wsp. (2023) badali 72 izolaty grzyba *Cordyceps fumosorosea* i obserwowali duże zróżnicowanie w produkcji zarodników. Niektóre izolaty tolerowały promieniowanie UV-B i temperaturę 45°C, jednak po 30 minutach w tak wysokiej temperaturze szczepy zaprzestawały zarodnikowania. Zróżnicowanie wśród szczepów *C. fumosorosea* wykazano w badaniach w glebach zachodniej części Polski. Szczepy tego gatunku różniły się pod względem zarodnikowania i wzrostu w zależności od temperatury (Sosnowska i wsp. 2001; Sosnowska i Ratajkiewicz 2021). Ravensberg (2011) stwierdził, że selekcja szczepów mikroorganizmów pożytecznych jest ważnym początkowym etapem w produkcji biopreparatu. Wybór szczepu, który jest wysoce patogeniczny w stosunku do gospodarza, który produkuje najwięcej zarodników i jest odporny na ekstremalne warunki pogodowe wymaga wielu badań w warunkach laboratoryjnych i polowych. Jest to proces bardzo pracochłonny i czasochłonny.

Preparaty mikrobiologiczne są opracowywane w taki sposób, aby:

- były bezpieczne dla ludzi, zwierząt i środowiska,
- wykazywały wysoką skuteczność w niektórych uprawach (np. wirusy w sadach, makro- i mikroorganizmy w szklarniach, nicienie owadobójcze w pieczarkarniach),
- były aktywne w odszukiwaniu agrofagów w środowisku rolniczym,
- nie wymagały okresu karencji i prewencji po zastosowaniu,
- były bezpieczne dla pszczół, trzmieli i innych owadów pożytecznych,
- redukowały stosowanie chemicznych środków ochrony roślin,
- wzbogacały bioróżnorodność środowiska,
- odpowiadały wymogom konsumenta poprzez brak pozostałości w produktach.

Przyszłość mikrobiologicznych biopreparatów w ochronie roślin / The future of microbiological biopreparations in plant protection

Niestety środki biologiczne pomimo szeregu swoich zalet posiadają również wady, do których należy przede wszystkim wrażliwość na warunki pogodowe, krótki termin przechowywania i krótka żywotność w biopreparacie. Dlatego najnowsze badania skierowane są w stronę polepszenia formulacji środka i ulepszenia jego skuteczności. Badania Wang i wsp. (2021) pokazały skuteczność toksyn wytwarzanych przez grzyba owadobójczego *B. bassiana* w zwalczaniu szkodników. Z kolei badania Ferreira i Soares (2023) wykazały, że zastosowanie enzymów grzybów owadobójczych może być skuteczniejsze w zwalczaniu szkodników

niż zastosowanie samych zarodników. Enzymy wytwarzane przez grzyby są bardziej odporne na stresy abiotyczne i biotyczne, dlatego autorzy widzą przyszłość w tym kierunku. Stosuje się również toksyny grzybów owadobójczych. Zadowolające wyniki uzyskano w Chinach stosując toksyny izolowane z *C. fumosorosea* do zwalczania mszycy *Myzus persicae* (Diao i wsp. 2022). Trwają również prace nad nowymi formułacjami środków mikrobiologicznych w celu poprawienia ich trwałości i skuteczności. Opracowano formę tabletkową biopreparatu opartego na szczepie grzyba *B. bassiana* z użyciem skrobi kukurydzianej. Ta formuacja pozwala przechowywać biopreparat przez 180 dni w temperaturze 26°C. Konidia nie tracą żywotności i są bardzo skuteczne (Almeida i wsp. 2023). Inne badania wykazały, że konidia grzybów w oleju mineralnym były bardziej odporne na niekorzystne warunki abiotyczne niż zarodniki w zawiesinie wodnej biopreparatu (Paixão i wsp. 2017). Mustapha i wsp. (2024) badali wpływ różnych formułacji *Metarhizium brunneum* na śmiertelność jaj ślimaka *Deroceras reticulatum*. Wodna formuacja środka nie była skuteczna, jedynie preparat olejowy z koncentracją zarodników $1 \times 10^8/\text{ml}$ wykazał istotną śmiertelność jaj ślimaka.

Preparaty mikrobiologiczne mogą być wykorzystane łącznie z innymi czynnikami biologicznymi. Grzyby owadobójcze, takie jak *B. bassiana* i *M. anisopliae* nie wykazywały ujemnego wpływu na działanie biedronki *Coccinella septempunctata* L. (Rizwan i wsp. 2021). Badania Labbé i wsp. (2009) wykazały, że wspólne stosowanie *B. bassiana* z pasożytniczą błonkówką *Encarsia formosa* odznaczało się dużą skutecznością w zwalczaniu mączlika szklarniowego. Łączne zastosowanie *B. bassiana* z bakterią *Bacillus subtilis* skutecznie redukowało występowanie mączlika szklarniowego i mączniaka na pomidorach. Czynniki te nie oddziaływały na siebie negatywnie (Komagata i wsp. 2024). Skuteczność biopreparatów zawierających grzyby owadobójcze ograniczana jest przez szereg czynników, wśród których istotne znaczenie odgrywiają chemiczne środki ochrony roślin. Badania Tkaczuka i wsp. (2016) pokazały, że niektóre fungicydy i herbicydy hamowały wzrost kolonii grzybów należących do rzędu owadomorkowców (Entomophthorales). Wrażliwe były gatunki *Zoophthora radicans* i *Zoophthora ichneumonis*. Grzyby te odgrywają dużą rolę w środowisku rolniczym, w sprzyjających warunkach mogą powodować epizootcje w populacjach mszyc. Inne badania pokazały, że w glebach gruntów ornym, na których stosowano ochronę chemiczną, wyizolowane rodzaje grzybów owadobójczych produkowały mniej jednostek tworzących kolonie niż na glebach, na których nie stosowano ochrony chemicznej (Majchrowska-Safaryan i wsp. 2023).

Pomimo ograniczania dostępnych na rynku substancji czynnych preparatów chemicznych dane wskazują iż pestycydy w dalszym ciągu będą stanowić podstawę ochrony

roślin przed agrofagami (Khun i wsp. 2020). Mimo to trwają intensywne badania, które pozwolą w przyszłości zwiększyć stosowanie metod biologicznych. Innowacyjne zastosowania czynników biologicznych są już wprowadzane do praktyki. Aplikatorem mogą być np. trzmiele. Aplikatory trzmielowe stosuje się jako „flying doctors” do zapylania i ochrony biologicznej w szklarniach. Na odnóżach trzmiela przenoszone są zarodniki grzyba *Gliocladium catenulatum* (Coates i wsp. 2023). Takie zastosowanie trzmieli z zarodnikami *B. bassiana* na odnóżach w uprawie truskawki wykazało dużą skuteczność w zwalczaniu wciornastka zachodniego (Coates i wsp. 2023). Trzmiele mogą też przenosić bakterie, które na roślinach przyczynią się do zwalczania sprawców chorób (Temmermans i wsp. 2023). Wykorzystuje się również pszczoły do przenoszenia na odnóżach różnych gatunków grzybów pasożytniczych. Takim gatunkiem grzyba jest *Clonostachys rosea* (dawniej *Gliocladium roseum*), który pszczoły przenoszą w uprawie truskawki, borówki, pomidorów i słonecznika do zwalczania *Botrytis* sp., *Sclerotinia* sp. i *Monilinia* sp. (Temmermans i Smagghé 2022; Temmermans i wsp. 2023).

Należy pamiętać, że biologiczna ochrona roślin nie tylko opiera się na stosowaniu biopreparatów. Wspomaga ją konserwacyjna ochrona biologiczna polegająca na modyfikacji krajobrazu rolniczego przez człowieka w celu stworzenia odpowiednich warunków dla rozwoju organizmów pożytecznych, takich jak mikro- i makroorganizmy powszechnie występujące w środowisku. Pozostawienie miedz, zadrzewień śródpolnych, wysiewanie roślin miododajnych i pasów kwiatnych wspiera w wieloraki sposób organizmy pożyteczne w środowisku rolniczym (Sosnowska 2018).

Podsumowanie / Summary

W ostatnich kilkunastu latach w Polsce obserwuje się wzrost zainteresowania stosowaniem metod biologicznych przez profesjonalnych użytkowników środków ochrony roślin. Szczególnie w ochronie upraw polowych zwiększył się asortyment biologicznych preparatów, których substancją czynną są mikroorganizmy pożyteczne. W Polsce w tych uprawach zarejestrowano 8 bioinsektycydów i 12 biofungicydów zawierających szczepy grzybów i bakterii owadobójczych oraz szczepy grzybów antagonistycznych i nadpasożytniczych w stosunku do sprawców chorób roślin.

W publikacji przedstawiono badania naukowe prowadzone w różnych częściach świata nad skutecznością tych środków i zwiększeniem ich trwałości oraz wydłużeniem okresu przechowywania. W przyszłości konieczne będą dalsze badania, które pozwolą opracować programy integrowanej ochrony roślin z maksymalnym wykorzystaniem mikro- i makroorganizmów pożytecznych.

Literatura / References

- Almeida M.G.B., Varize C.S., Santos T.S., Rezende C.S., López J.A., Mendonça M. da C. 2023. Technology of a novel conidia-tablet formulation and packaging type to increase *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Ophiocordycipitaceae) shelf life at room temperature. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement/Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 27 (2): 109–118. DOI: 10.25518/1780-4507.20372
- Bandurska K., Krupa P., Berdowska A., Jatulewicz J. 2015. Zastosowanie preparatów grzybów saprofitycznych jako środków ochrony roślin w uprawie pomidorów. [Use of saprophytic fungi specimens as a plant protection agents in tomatoe plantation]. *Inżynieria Ekologiczna/Ecological Engineering* 43: 88–93. DOI: 10.12912/23920629/58908
- Bruck D.J. 2010. Fungal entomopathogens in the rhizosphere. *BioControl* 55: 103–112. DOI: 10.1007/s10526-009-9236-7
- Coates C.E.R., Labbé R.M., Gagnier D., Laflair A., Kevan P.G. 2023. Apivectorin of entomopathogen, *Beauveria bassiana* strain GHA for suppression of thrips on commercial greenhouse strawberries: a real life study. *BioControl* 68: 143–154. DOI: 10.1007/s10526-023-10189-3
- De Leij F.A.A.M., Dennehy J.A., Kerry B.R. 1992. The effect of temperature and nematode species on interactions between the nematophagous fungus *Verticillium chlamyosporium* and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *Nematologica* 38 (1–4): 65–79. DOI: 10.1163/187529292X00054
- Diao H., Xing P., Tian J., Han Z., Wang D., Xiang H., Liu T., Ma R. 2022. Toxicity of crude toxin produced by *Cordyceps fumosorosea* IF-1106 against *Myzus persicae* (Sulze). *Journal of Invertebrate Pathology* 194: 107825. DOI: 10.106/j.jip.2022.107825
- Dz.U. UE L 2009 poz. 309. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady WE nr 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wprowadzenia do obrotu środków ochrony roślin.
- Dz.U. 2013 poz. 455. Ustawa z dnia 8 marca 2013 r. o środkach ochrony roślin.
- Faria M.R., Wraight S.P. 2007. Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological Control* 43 (3): 237–256. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2007.08.001
- Feng M.G., Poprawski T.J., Khachatourians G.G. 1994. Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status. *Biocontrol Science and Technology* 4 (1): 3–34. DOI: 10.1080/09583159409355309
- Ferreira J.M., Soares F.E. de F. 2023. Entomopathogenic fungi hydrolytic enzymes: A new approach to biocontrol? *Journal of Natural Pesticide Research* 3 (4): 100020. DOI: 10.1016/j.napere.2023.100020
- Gerbore J., Benhamou N., Vallance J., Le Floch G., Grizard D., Regnault-Rager C., Rey P. 2013. Biological control of plant pathogens: advantages and limitations seen through the case study of *Pythium oligandrum*. *Environmental Science and Pollution Research* 21 (7): 4847–4860. DOI: 10.1007/s11356-013-1807-6
- <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wyszukiwarka-srodkow-ochrony-roslin---zastosowanie> [dostęp: 10.01.2025].
- <https://www.researchandmarkets.com/reports/5240332/pesticide-and-other-agricultural-chemicals-global#src-pos-2> [dostęp: 10.01.2025].
- Iida Y., Higashi Y., Nishi O., Kouda M., Maeda K., Yoshida K., Asano S., Kawakami T., Nakajima K., Kuroda K., Tanaka C., Sasaki A., Kamiya K., Yamaqishi N., Fujinaga M., Terami F., Yamanaka S., Kubota M. 2023. Entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* – based bioinsecticide suppresses severity of powdery mildews of vegetables by inducing the plant defense responses. *Frontiers in Plant Science* 14: 1211825. DOI: 10.3389/fpls.2023.1211825
- Jaworska M., Gorczyca A., Dłużniewska J. 2004. *Trichoderma* i *Beauveria* w biologicznej ochronie roślin. [Microorganisms in biological plant protection]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 501: 181–187.
- Khun K.K., Wilson B.A.L., Stevens M.M., Huwer R.K., Ash G.J. 2020. Integration of entomopathogenic fungi into IPM programs: studies involving weevils (Coleoptera: Curculionidae) affecting horticultural crops. *Insects* 11 (10): 659. DOI: 10.3390/insects11100659
- Komagata Y., Sekine T., Oe T., Kakui S., Yamanaka S. 2024. Simultaneous use of *Beauveria bassiana* and *Bacillus subtilis* – based biopesticides contributed to dual control of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) and tomato powdery mildew without antagonistic interactions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 34: 18. DOI: 10.1186/s41938-024-00782-8
- Kumar J., Ramlal A., Mallick D., Mishra V. 2021. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants* 10 (6): 1185. DOI: 10.3390/plants10061185
- Labbé R.M., Gillespie D.R., Cloutier C., Brodeur J. 2009. Compatibility of an entomopathogenic fungus with a predator and a parasitoid in the biological control of greenhouse whitefly. *Biocontrol Science and Technology* 19 (4): 429–446. DOI: 10.1080/09583150902803229
- Litwin A., Mironenka J., Bernat P., Soboń A., Różalska S. 2022. Accumulation of pyrethroids induces changes in metabolism of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* – Proteomic and lipidomic background. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 249: 114418. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.114418
- Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C., Baj-Wójtowicz B. 2023. Występowanie grzybów entomopatogenicznych w glebach siedlisk o różnicowanym użytkowaniu. [Occurrence of entomopathogenic fungi in the soils of habitats of various use]. *Agronomy Science* 78 (1): 5–18. DOI: 10.24326/as.2023.4956
- Mrówczyński M. (red.) 2013. *Integrowana ochrona upraw rolniczych. Podstawy integrowanej ochrony*. Tom I. Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, 156 ss. ISBN 978-83-09-01152-1.
- Mustapha S., Loveridge J., Cook S.M., Ortega-Ramos P., Vuts J., Butt T. 2024. Is *Metarhizium brunneum* ovicidal against grey field slug (*Deroceras reticulatum*) eggs? *IOBC-WPRS Bulletin* 172: 30–38. W: *IOBC-WPRS, Working Group Integrated Control in Oilseed Crops, Preceedings of the 19th meeting at Dresden (Germany), 10–11 September, 2024* (S.M. Cook, E. Diederichsen, M. Jędrzycka, K. King, J. Ludwig-Müller, M. Wiewióra, red.), 186 ss. ISBN 978-92-9067-359-0.
- Nowocien K., Sokołowska B. 2020. Use of microorganisms in plant protection against fungal diseases. [Wykorzystanie mikroorganizmów w ochronie roślin przed chorobami powodowanymi przez grzyby]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 603: 41–52. DOI: 10.22630/ZPPNR.2020.603.18

- Paixão F.R.S., Muniz E.R., Barreto L.P., Bernardo C.C., Mascarin G.M., Luz C., Fernandes E.K.K. 2017. Increased heat tolerance afforded by oil-based conidial formulation of *Metarhizium anisopliae* and *Metarhizium robertsii*. *Biocontrol Science and Technology* 27 (3): 324–337. DOI: 10.1080/09583157.2017.1281380
- Pisarčík M., Hakl J., Szabó O., Nerušil P. 2022. Efficacy of *Pythium oligandrum* on improvement of lucerne yield, root development and disease score under field conditions. *Frontiers in Plant Science* 13: 1045225. DOI: 10.3389/fpls.2022.1045225
- Poradnik 2023. Preparaty mikrobiologiczne dla roślin rolniczych. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, Puławy, 56 ss. ISBN 978-83-7562-406-9. DOI: 10.26114/por.inng.2023.12.01
- Pruszyński S. (red.) 2016. Metody ochrony w integrowanej ochronie roślin. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Poznaniu, 148 ss. ISBN 978-83-60232-80-4.
- Quesada-Moraga E., Garrido-Jurado I., Yousef-Yousef M., González-Mas N. 2022. Multitrophic interactions of entomopathogenic fungi in biocontrol. *BioControl* 67: 457–472. DOI: 10.1007/s10526-022-10163-5
- Ravensberg W.J. 2011. A Roadmap to the Successful Development and Commercialization of Microbial Pest Control Products for Control of Arthropods. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 383 ss. ISBN 978-94-007-0436-7.
- Rizwan M., Atta B., Arshad M., Khan R.R., Dageri A., Rizwan H., Ullah M.I. 2021. Nondetrimental impact of two concomitant entomopathogenic fungi on life history parameters of a generalist predator, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Scientific Reports* 11: 20699. DOI: 10.1038/s41598-021-00037-8
- Rojas V.M.A., Iwanicki N.S.A., D’Alessandro C.P., Faretto M.B., Demétrio C.G.B., Delalibera Jr. I. 2023. Characterization of Brazilian *Cordyceps fumosorosea* isolates: Conidial production, tolerance to ultraviolet-B radiation, and elevated temperature. *Journal of Invertebrate Pathology* 197: 107888. DOI: 10.1016/j.jip.2023.107888
- Rozporządzenie Komisji UE 2022/1440 z dnia 31 sierpnia 2022 r.
- Sosnowska D. 2005. Biopreparaty grzybowe w biologicznym zwalczaniu szkodników upraw szklarniowych i polowych. [Fungi biopesticides in biological control of greenhouse and field pests]. *Postępy Nauk Rolniczych* 5: 17–27.
- Sosnowska D. 2018. Konserwacyjna metoda biologiczna wsparciem integrowanej ochrony roślin i rolnictwa ekologicznego. [The contribution of conservation biological control method to integrated plant protection and organic farming]. *Progress in Plant Protection* 58 (4): 288–293. DOI: 10.14199/ppp-2018-040
- Sosnowska D. 2019. Grzyby pasożytnicze i antagonistyczne w biologicznej ochronie roślin w Polsce. [Parasitic and antagonistic fungi in biological plant protection in Poland]. *Progress in Plant Protection* 59 (4): 223–231. DOI: 10.14199/ppp-2019-029
- Sosnowska D., Bourne J.M., Kerry B.R. 2001. Rozwój i infekcyjność *Verticillium chlamydosporium* w biologicznym zwalczaniu *Meloidogyne hapla* Chitwood w zależności od różnych temperatur. [Development and virulence of *Verticillium chlamydosporium* against *Meloidogyne hapla* Chitwood at different temperatures]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 41 (2): 634–637.
- Sosnowska D., Ratajkiewicz H. 2021. Ocena potencjału lokalnych izolatów grzybów owadobójczych jako biologicznych środków ochrony roślin. [Assessment of the potential of local entomopathogenic fungi isolates as biocontrol agents]. *Progress in Plant Protection* 61 (2): 121–127. DOI: 10.14199/ppp-2021-013
- Temmermans J., Legein M., Zhao Y., Kiekens F., Smagghe G., de Coninck B., Lebeer S. 2023. The biocontrol agent *Lactiplantibacillus plantarum* AMBP214 is dispersible to plants via bumblebees. *Applied and Environmental Microbiology* 89 (11): e0095023. DOI: 10.1128/aem.00950-23
- Temmermans J., Smagghe G. 2022. Different bees as vectors for entomovectoring with enhanced pollination and crop protection control: current practices, use cases and critical view on transport. *Scientific and Technical Review* 41 (1): 107–116. DOI: 10.20506/rst.41.1.3308
- Tkaczuk C., Majchrowska-Safaryan A., Śledź K. 2016. Wpływ wybranych środków ochrony roślin na wzrost grzybów owadobójczych z rzędu owadomorkowców (*Entomophthorales*). [The influence of selected pesticides on the growth of entomopathogenic fungi from the entomophthoralean order (*Entomophthorales*)]. *Annales UMCS, Sectio E, Agricultura LXXI* (1): 65–75.
- Ustawa z dnia 12 lipca 1995 r. o ochronie roślin uprawnych.
- van Lenteren J.C. 2000. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? *Crop Protection* 19 (6): 375–384. DOI: 10.1016/S0261-2194(00)00038-7
- van Lenteren J.C., Bolckmans K., Köhl J., Ravensberg W.J., Urbaneja A. 2018. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl* 63: 39–59. DOI: 10.1007/s10526-017-9801-4
- Vega F.E., Goettel M.S., Blackwell M., Chandler D., Jackson M.A., Keller S., Koike M., Maniania N.K., Monzón A., Ownley B.H., Pell J.K., Rangel D.E.N., Roy H.E. 2009. Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. *Fungal Ecology* 2 (4): 149–159. DOI: 10.1016/j.funeco.2009.05.001
- Wang H., Peng H., Li W., Cheng P., Gong M. 2021. The toxins of *Beauveria bassiana* and the strategies to improve their virulence to insects. *Frontiers Microbiology* 12: 705343. DOI: 10.3389/fmicb.2021.705343
- Weber Z. 2002. Skuteczność biopreparatu Contans WG (*Coniothyrium minitans* Campb.) w ochronie rzepaku ozimego przed *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. [Efficacy of biopreparate Contans WG (*Coniothyrium minitans* Campb.) in winter oilseed rape protection against *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary]. *Rośliny Oleiste XXIII*: 151–156.
- Wend K., Zorrilla L., Freimoser F.M., Gallet A. 2024. Microbial pesticides – challenges and future perspectives for testing and safety assessment with respect to human health. *Environmental Health* 23 (1): 49. DOI: 10.1186/s12940-024-01090-2
- Yao X., Guo H., Zhang K., Zhao M., Ruan J., Chen J. 2023. *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology* 14: 1160551. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1160551
- Zimowska B., Król E.D. 2019. Entomopatogeniczne grzyby i ich znaczenie biocenotyczne. [Entomopathogenic fungi and their biocenotic importance]. *Advancements of Microbiology/Postępy Mikrobiologii* 58 (4): 471–482. DOI: 10.21307/PM-2019.58.4.471
- Znajewska Z., Dąbrowska G.B., Narbutt O. 2018. Szczepy *Trichoderma viride* stymulujące wzrost i rozwój rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). [*Trichoderma viride* strains stimulating the growth and development of winter rapeseed (*Brassica napus* L.)]. *Progress in Plant Protection* 58 (4): 264–269. DOI: 10.14199/ppp-2018-036