

Received: 18.07.2024 / Accepted: 30.08.2024

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Mechaniczne i biologiczne metody ochrony roślin przed agrofagami w kontekście strategii Europejskiego Zielonego Ładu

Mechanical and biological methods of plant protection against agrophages in the context of the European Green Deal strategy

Krzysztof Kapela , Anna Majchrowska-Safaryan* 

Streszczenie

Intensywny rozwój rolnictwa w Europie spowodował, iż obecnie wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej odczuwają w coraz większym stopniu jego negatywne konsekwencje, takie jak wyczerpywanie się zasobów naturalnych, zwiększoną erozję i utratę naturalnej żyzności gleb, wzrost znaczenia nowych chorób i szkodników, niedobory wody, ograniczenie produkcji biomasy i spadek różnorodności biologicznej organizmów. W kontekście wspólnej polityki rolnej, a także potrzeby ograniczenia stosowania chemicznej ochrony upraw rolniczych, metody agrotechniczne, a także mechaniczne i biologiczne zyskują na znaczeniu. Mechaniczne metody ochrony roślin przed agrofagami polegają głównie na mechanicznym niszczeniu zagrożeń lub niedopuszczeniu ich do roślin na polu czy produktów rolnych przechowywanych w magazynie. Natomiast w metodach biologicznych wykorzystuje się wirusy, mikroorganizmy i makroorganizmy do zwalczania agrofagów jako alternatywę dla chemicznej ochrony roślin. W niniejszej publikacji przedstawiono wybrane, dostępne metody mechaniczne i biologiczne pozwalające na minimalizację chemizacji rolnictwa.

Słowa kluczowe: Europejski Zielony Ład, metody mechaniczne, metody biologiczne, integrowana ochrona roślin

Abstract

The intensive development of agriculture in Europe has caused that all European Union member states are currently increasingly experiencing negative consequences such as depletion of natural resources, increased erosion and loss of natural soil fertility, increased importance of new diseases and pests, water shortages, reduced biomass production and decreased biodiversity of organisms. In the context of the common agricultural policy, as well as the need to limit the use of chemical protection of agricultural crops, agrotechnical and also mechanical and biological methods are gaining in importance. Mechanical methods of protecting plants against pests mainly consist in mechanical destruction of threats or preventing them from reaching plants in the field or agricultural products stored in storage. Biological methods, on the other hand, use viruses, microorganisms and macroorganisms to combat pests as an alternative to chemical plant protection. This publication presents available mechanical and biological methods that allow for minimizing the use of chemicals in agriculture.

Key words: European Green Deal, mechanical methods, biological methods, integrated plant protection

Uniwersytet w Siedlcach

Wydział Nauk Rolniczych, Instytut Rolnictwa i Ogrodnictwa

ul. Bolesława Prusa 14, 08-110 Siedlce

*corresponding author: anna.majchrowska-safaryan@uph.edu.pl

Wstęp / Introduction

Kierunki oraz intensywność rozwoju rolnictwa europejskiego ma szczególne znaczenie dla rozwiązania problemów środowiskowych i klimatycznych. Od wielu lat kraje członkowskie Unii Europejskiej (UE) wdrażają i realizują strategie i programy zrównoważonego rozwoju, które mimo podjęcia słusznych inicjatyw nadal są niewystarczające w stosunku do aktualnych i przyszłych potrzeb (Wrzaszcz i Prandecki 2020). Intensywny rozwój rolnictwa w Europie spowodował, iż obecnie wszystkie kraje członkowskie UE obserwują i odczuwają negatywne konsekwencje, takie jak wyczerpywanie się zasobów naturalnych, zwiększoną erozję i utratę naturalnej żyzności gleb, wzrost znaczenia nowych chorób i szkodników, niedobory wody, ograniczenie produkcji biomasy i spadek różnorodności biologicznej organizmów (Baker i wsp. 2020; Hamid i wsp. 2021; Kuźmiar i wsp. 2021; Majchrowska-Safaryan i wsp. 2023). Dlatego też wdrażanie integrowanych metod produkcji wraz z integrowaną ochroną roślin mające na celu zmniejszenie presji na środowisko przyrodnicze stało się nieuniknione. W związku z pogarszającym się w UE stanem środowiska wynikającym z działalności rolniczej, jak również poprzez nasilające się skutki zmian klimatu, w grudniu 2019 roku Komisja Europejska przygotowała komunikat dotyczący Europejskiego Zielonego Ładu. Europejski Zielony Ład kładzie nacisk na ograniczenie stosowania środków chemicznych w działalności rolniczej, w tym m.in. pestycydów i nawozów, podkreślając dbałość o utrzymanie różnorodności gatunków roślin i zwierząt w gospodarstwach rolnych oraz dążenie do podwyższenia żyzności gleby (Europejski Zielony Ład 2019, 2021). Dwie najważniejsze dla rolnictwa Strategie Europejskiego Zielonego Ładu to Strategia „Od pola do stołu” oraz Strategia na rzecz bioróżnorodności 2030, które zakładają redukcję stosowania pestycydów o 50% wyznaczając w ten sposób ogólny cel UE (Ginter 2021). W czerwcu 2022 roku ustalony został obligatoryjny cel redukcyjny dla każdego państwa członkowskiego, w tym dla Polski, i nie może być on mniejszy niż 35%. W dążeniu do ograniczenia stosowania środków ochrony roślin (ś.o.r.) zgodnie z założeniami Europejskiego Zielonego Ładu, bezwarunkowo należy wziąć pod uwagę obawy rolników związane z koniecznością ustalenia poziomu redukcji zużycia pestycydów w danym kraju członkowskim w zależności od aktualnego poziomu zużycia substancji czynnych na 1 ha w ciągu roku w stosunku do średniej dla całej UE i uzyskać ich akceptację tych zmian. Bez ich aprobaty, wprowadzenie alternatywnych metod ochrony roślin (w postaci metod mechanicznych i biologicznych) ograniczających zużycie pestycydów oprócz oporu rolników może również zwiększyć presję chorób i szkodników. Istnieje zagrożenie, że brak odpowiedniego przygotowania wdrożenia Europejskiego Zielonego Ładu, wbrew intencjom jego pomysłodawców, będzie skutkowało zarówno zmniejszeniem

plonów, jak i pogorszeniem ich jakości (włącznie z pogorszeniem jakości zdrowotnej żywności) (Michalak i Rzydz-Żbikowska 2022; ZPP 2023). Po wielu protestach rolników we wszystkich krajach UE, 25 stycznia 2024 roku Przewodnicząca Komisji Europejskiej Ursula von der Leyen zainicjowała strategiczny dialog na temat przyszłości rolnictwa w UE – nowe forum, które ma kształtować wspólną wizję przyszłości rolnictwa i systemu żywnościowego w UE. W kontekście wspólnej polityki rolnej, a także potrzeby ograniczenia stosowania ochrony chemicznej upraw rolniczych, metody agrotechniczne (w tym mechaniczne) i biologiczne mimo pewnych trudności zyskują na swoim znaczeniu (Piszczyk i wsp. 2018).

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości wdrażania metod mechanicznych i biologicznych ochrony roślin przed agrofagami w kontekście Europejskiego Zielonego Ładu.

Założenia Strategii „Od pola do stołu” oraz Strategii na rzecz bioróżnorodności 2030 / Assumptions of the Farm to Fork Strategy and the Biodiversity Strategy 2030

Istotnym obszarem działań Komisji Europejskiej jest wprowadzenie rozwiązań proekologicznych w ramach wspólnej polityki rolnej (Komisja Europejska 2020a). Dlatego też priorytetowe miejsce w ramach Europejskiego Zielonego Ładu zajmują Strategia „Od pola do stołu” i Strategia na rzecz bioróżnorodności 2030, które kładą nacisk na nową i lepszą równowagę między przyrodą, produkcją żywności, a różnorodnością biologiczną, aby chronić zdrowie i dobrobyt obywateli, a równocześnie zwiększać konkurencyjność i odporność UE. Jednak dostosowanie rolnictwa do wymogów Europejskiego Zielonego Ładu, zwłaszcza kluczowej z perspektywy tego sektora Strategii „Od pola do stołu” i Strategii na rzecz bioróżnorodności 2030 jest zadaniem kosztochłonnym i niesie ze sobą szereg zagrożeń dla konkurencyjności produkcji rolnej, a w konsekwencji także dla dochodów rolników i dostępności żywności (Raport 2021).

Celem Strategii „Od pola do stołu” jest stworzenie sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego środowisku systemu żywnościowego. Żywność wytwarzana w Europie powinna cechować się bezpieczeństwem, wartościami odżywczymi i wysoką jakością, a sposób jej wytwarzania powinien być bezpieczny dla środowiska przyrodniczego oraz neutralny dla klimatu. Działania strategiczne w ramach Strategii „Od pola do stołu” wiążą się z dodatkowymi ograniczeniami praktyk rolniczych, ponieważ mają na celu ograniczenie stosowania pestycydów chemicznych, nawozów i antybiotyków.

W Strategii wskazano główne cele dotyczące praktyk rolniczych, które powinny być osiągnięte do 2030 roku (Komisja Europejska 2020a), odnoszące się do:

– stosowania pestycydów, gdzie za główne cele przyjęto zmniejszenie ich stosowania i związanych z nimi zagrożeń o 50 procent oraz zmniejszenie stosowania bardziej niebezpiecznych pestycydów o 50 procent;

– stosowania nawozów mineralnych, za cel przyjęto zmniejszenie strat składników pokarmowych o co najmniej 50 procent, nie dopuszczając przy tym do tego, aby doszło do pogorszenia żyzności gleby, a także ograniczenie stosowania nawozów o co najmniej 20 procent;

– popularyzacji rolnictwa ekologicznego z założeniem, że powierzchnia gruntów rolnych użytkowanych zgodnie z zasadami rolnictwa ekologicznego powinna stanowić 25 procent.

Zadaniem Europejskiego Zielonego Ładu jest również szereg działań na rzecz ochrony i odbudowy ekosystemów i ich bioróżnorodności. Ekosystemy pełnią niezwykle ważne funkcje w zakresie produkcji i zapewnienia żywności, słodkiej wody oraz czystego powietrza. Stanowią również schronienie dla wielu gatunków, przyczyniają się do ograniczenia występowania szkodników i chorób, a także regulują klimat. Dlatego też bardzo ważnym efektem ogłoszenia Europejskiego Zielonego Ładu jest publikacja unijnej Strategii na rzecz bioróżnorodności 2030 (Komisja Europejska 2020b). W odniesieniu do działań na rzecz odbudowy zasobów przyrodniczych wskazano dziesięć obszarów działania, spośród których dwa bezpośrednio odnoszą się do rolnictwa, mianowicie „Przywracanie przyrody na grunty orne” oraz „Rozwiązanie kwestii użytkowania gruntów rolnych i odbudowa ekosystemów gleby”. Strategia na rzecz bioróżnorodności 2030 ma zapobiec procesom degradacji ekosystemów. Zgodnie z jej wytycznymi do 2030 roku na terenie UE 10% gruntów rolnych zostanie wyłączonych z produkcji roślinnej i będzie przeznaczonych m.in. na żywoptoty czy pasy kwietne. Ponadto problematyka związana z szeroko pojętym rolnictwem została podjęta również w innych obszarach np. dotyczących produkcji energii oraz ograniczenia zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska (Boell 2020; Komisja Europejska 2020b; Wrzaszcz i Prandecki 2020).

Chemizacja rolnictwa a środowisko / Chemicalization of agriculture and the environment

Podstawowym założeniem Europejskiego Zielonego Ładu w kontekście produkcji rolniczej jest ograniczenie stosowania środków chemicznych, w tym m.in. pestycydów i nawozów mineralnych w celu dbałości o utrzymanie różnorodności gatunków roślin i zwierząt w gospodarstwach rolnych oraz dążenia do podwyższenia żyzności gleby (Europejski Zielony Ład 2019). Pomimo założeń Europejskiego Zielonego Ładu stosowanie chemicznych środków ochrony roślin jest nadal najważniejszym elementem ochrony przed agrofagami, co powoduje, że ich użycie w rolnictwie jest

bardzo duże (Piwowar 2012; Malinowska i wsp. 2015; Holka i Kowalska 2023).

Pestycydy można zdefiniować jako substancje chemiczne stosowane w szerokim zakresie upraw w celu ochrony ich przed chorobami, chwastami i szkodnikami, a także poprawy ilości i jakości uzyskiwanych plonów (Rani i wsp. 2021; García i wsp. 2022). W 1991 r. zużycie substancji czynnej pestycydów na 1 ha w Polsce wynosiło tylko 0,37 kg/ha, w 2010 r. osiągnęło 1,73 kg/ha, a w 2023 r. wyniosło 2,1 kg/ha, podczas gdy średnia dla całej UE w tym samym roku to 3,0 kg/ha (GUS 2023). Dane te niewiele mówią jednak o dysproporcji względem obecnych poziomów zużycia. Znacznie więcej substancji chemicznych w swoich gospodarstwach zużywają bowiem kraje „starej” UE, a znacznie mniej państwa, które dołączały do Wspólnoty w 2004, 2007, czy w 2013 roku. Dla porównania średnie zużycie ś.o.r. w Królestwie Niderlandów wynosiło w 2022 r. około 8 kg/ha. Po planowanej przez Komisję Europejską redukcji, Polska – licząc od poziomu pierwotnych założeń – będzie mogła zatem zużywać średnio maksymalnie 1,05 kg ś.o.r./ha, podczas gdy holenderscy rolnicy będą uprawnieni do używania 4 kg ś.o.r./ha, czyli dwukrotnie więcej niż Polska zużywa dziś (ZPP 2023). Stosowanie ś.o.r. wiąże się z ryzykiem zarówno środowiskowym, jak i zdrowotnym. Powszechność ich wykorzystywania obok niekwestionowanych korzyści, ma ujemny wpływ na poszczególne elementy środowiska przyrodniczego, w tym na zdrowie i życie ludzi oraz zwierząt, a także jest przyczyną wielu chorób i zatruc (Zhang i wsp. 2011; Woodrow i wsp. 2018; Silva i wsp. 2019; Kalyabina i wsp. 2021; Pathak i wsp. 2022). Pojawiają się także nowe zagrożenia, takie jak: stosowanie ś.o.r. niezgodnie z rejestracją czy rosnąca sprzedaż preparatów fałszywych (nielegalnych) – z szacunków Komisji Europejskiej wynika, że handel nielegalnymi i podrobionymi pestycydami stanowi blisko 10% wartości rynku (Farmer 2023). Pewną alternatywą w walce z agrofagami, pozwalającą na zmniejszenie zużycia chemicznych środków ochrony są metody mechaniczne oraz stosowanie środków biologicznych.

Mechaniczne metody ochrony roślin / Mechanical methods of plant protection

W integrowanej ochronie roślin, a także w założeniach Europejskiego Zielonego Ładu metoda agrotechniczna odgrywa bardzo istotną rolę pozwalającą na ograniczenie występowania organizmów szkodliwych, a w wielu przypadkach na ich bezpośrednie zwalczanie, a także ograniczenie stosowania syntetycznych środków ochrony roślin (Pruszyński 2016). Ogromne znaczenie w prowadzeniu prawidłowej agrotechniki roślin ma wprowadzenie odpowiednich zabiegów mechanicznych, czyli mechanicznej ochrony. Stanowi ona ważne uzupełnienie lub alternatywę dla pozostałych

metod ochrony roślin. Jest najstarszym i najprostszym sposobem zwalczania chorób, szkodników i chwastów. Mechaniczne metody ochrony roślin przed agrofagami polegają głównie na mechanicznym niszczeniu zagrożeń, usuwaniu chorych organów roślin lub niedopuszczeniu zagrożeń do roślin na polu czy owoców rolnych przechowywanych w magazynie. W mechanicznej ochronie bardzo ważna jest regularna kontrola roślin w okresie wegetacji, najlepiej co 7–14 dni. Zaletą mechanicznej metody ochrony roślin jest niski koszt zabiegów bez ujemnego wpływu na środowisko.

Do metod mechanicznej ochrony roślin zalicza się stosowanie barier izolujących roślinę od agrofagów. Mogą to być tunele foliowe stosowane dla przyspieszenia wegetacji, siatki zabezpieczające przed szkodnikami zakładane na rozsady czy siewki, siatki chroniące czereśnie lub borówki przed ptakami (Miniewska 2016). Przy odstraszaniu ptaków od sadów czereśniowych, obok różnego rodzaju nazywanych potocznie „strachów” umieszcza się nad koronami drzew kolorowe paski, które migocą w słońcu, ustawiane są armatki karbidowe czy odtwarza się nagrane głosy ptaków drapieżnych. W ochronie przed zwierzętami (zające, sarny, dziki) stosuje się ogrodzenia z siatki lub żerdzi. W sadach owija się pnie drzew słomą, a w ochronie przed zającami wystarczające jest owinięcie pnia kilkoma warstwami papieru (Pruszyński 2016).

Jednym z elementów metody mechanicznej ograniczającym liczebność szkodników jest ich wyłapywanie na przynętę np. rolnice, drutowce, pędraki, ślimaki lub w pułapki chwytne np. dołki w glebie o stromych ścianach, lub wkopane pojemniki wyłapują owady wędrujące np. turkucia podjadka, chrząszcze opuchlaków, a nawet niektóre gryzonie myszowate. Opaski lepowe zakładane jesienią na pnie drzew wyłapują wędrujące bezskrzydłe samice mierzwiowców np. piędzika przedzimka. Nie bez znaczenia jest także umieszczanie żółtych tablic lepowych do wyłapywania muchówek, wciornastków, mszyc i innych owadów fruujących, a białych tablic lepowych do wyłapywania błonkówek z rodziny pilarzowatych (Łabanowski 2014). Kolorowe pułapki lepowe stosuje się także w szklarniach. W uprawach polowych pułapki świetlne służą do monitorowania lotu motyli, a pomalowane na żółto i wypełnione etanolem naczynia do monitorowania m.in. szkodników rzepaku ozimego.

W metodzie mechanicznej wykorzystuje się także różne substancje pochodzenia naturalnego stosowane w formie opryskiwania roślin np. oleje roślinne i polisacharydy, które zatykają tchawki u roztoczy i owadów blokując proces oddychania oraz związki silikonowe, które zamykają szkodniki w polimerowej siatce uniemożliwiając im poruszanie się (Łabanowski 2014).

Mechaniczne metody odchwaszczania upraw znane są od wielu lat. W rolnictwie ekologicznym regulowanie zachwaszczenia musi opierać się wyłącznie na alternatywnych metodach niechemicznych. W zmieniających się warunkach produkcji roślinnej wraz z postępem technicznym u-

skonalane są wykorzystywane maszyny i narzędzia. Efekt pielienia uzyskiwany podczas zabiegów mechanicznych jest zadowalający, a koszty ich przeprowadzenia stosunkowo niskie. Rozwój konstrukcji elementów roboczych i ich konfiguracji w pielnikach umożliwia regulację zachwaszczenia na nawet 90% powierzchni międzyrzędzi (Godyń i Rabcewicz 2022).

Maszyny do odchwaszczania można podzielić na pracujące z przerwami oraz odchwaszczające całą powierzchnię pola. Mogą pracować między roślinami w rzędzie lub w międzyrzędziach. Wykorzystywane są maszyny i narzędzia z elementami roboczymi biernymi i czynnymi. Odchwaszczanie mechaniczne można wykonać zarówno przed siewem, czy sadzeniem roślin, jak i w okresie ich wegetacji. Stosowane rozwiązania techniczne zależą między innymi od szerokości międzyrzędzi. Można tu wyróżnić wąskie międzyrzędzia (np. zboża) i szerokie międzyrzędzia (ziemniaki, kukurydza). Mechaniczne zwalczanie chwastów jest możliwe w szerokich międzyrzędziach, gdzie jest wystarczająco dużo miejsca na zmieszczenie elementów roboczych i zachowanie wymaganej odległości od roślin uprawnych (Godyń i Rabcewicz 2022). Skuteczność zabiegów mechanicznych w zwalczaniu chwastów w uprawie ziemniaków zależy od ogólnego stanu zachwaszczenia pola i zagrożenia poszczególnymi gatunkami. Chwasty o głębszym systemie korzeniowym zwalczą się trudniej. Należą do nich: przetaczniki, rdesty i ostrożeń polny. Skuteczność zniszczenia tych gatunków nie przekracza 50–70%. Inne gatunki, takie jak tasznik pospolity, gwiazdnica pospolita, gorczyca polna, tobołki polne, komosa biała i jasnota purpurowa mogą być zniszczone w 70–80%. Skuteczność zabiegów mechanicznych może wahać się w bardzo szerokich granicach i wynosi 50–95%. Najwyższa skuteczność zabiegów mechanicznych występuje w lata suche (Czerko i wsp. 2020).

Ciągły postęp techniczny powoduje rozwój nowych maszyn do powschodowego oraz międzyrzędowego odchwaszczania upraw. Najczęściej stosuje się rozwiązania oparte na prowadzeniu zespołów roboczych według śladu pozostawionego przez znacznik zamontowany na siewniku lub na podstawie fotooptycznego obrazu rzędów roślin. Do automatycznego prowadzenia sekcji pielnika w międzyrzędziach wykorzystuje się elektrohydrauliczne systemy sterowania. Stosowane w międzyrzędziach nowoczesne pielniki mogą być wyposażone w układy automatycznego prowadzenia w rzędzie. Naprowadzanie elementów roboczych wykorzystuje sensory indukcyjne, systemy wizyjne różniące chwasty i rośliny uprawne, a także nawigację satelitarną GPS. Możliwe jest sterowanie pracą pozycji całej maszyny (także torem jazdy ciągnika) lub korygowanie pozycji pojedynczych sekcji roboczych lub ich zestawu w czasie rzeczywistym i równoległe prowadzenie maszyny wzdłuż rzędu roślin lub bruzdy. Dokładność pozycjonowania takich układów wynosi od 1 do 3 cm. Automatyzacja prowadzenia pielników i ich sekcji stanowi alternatywę dla ręcznego sterowania ich pozycją przez operatora obserwującego sy-

tuację względem roślin uprawnych (za pomocą specjalnej kierownicy lub innych elementów sterowania). Dzięki automatyzacji prowadzenia pielników można zwiększyć prędkość wykonywania zabiegów nawet do 15 km/h (na dobrze przygotowanych polach, równych i pozbawionych kamieni). Jak zauważyli Przybył i Kowalik (2012) praca z większą prędkością podczas sterowania automatycznego sprzyja lepszej dynamice pracy biernych elementów roboczych.

Biologiczne metody ochrony roślin jako alternatywa chemizacji rolnictwa / Biological methods of plant protection as an alternative to chemicalization of agriculture

Metody biologiczne są jedną z alternatywnych metod w stosunku do chemicznych ś.o.r. i należą do priorytetowych działań w integrowanej ochronie roślin (IPM – Integrated Pest Management), a także w założeniach Europejskiego Zielonego Ładu (Sosnowska 2018; Ginter 2021; Majchrowska-Safaryan i wsp. 2024). Metody te opierają się na wykorzystaniu naturalnych zjawisk zachodzących w przyrodzie. Pożyteczne mikroorganizmy, a wśród nich (bakterie i grzyby), wirusy, makroorganizmy (nicienie, drapieżne i pasożytnicze owady, drapieżne roztocze), a także owadożerne ptaki i ssaki ograniczają liczebność agrofagów przez co zapobiegają masowemu pojawom szkodników, chorób i chwastów. Podstawą tych metod jest więc wykorzystanie przez człowieka naturalnych zjawisk pasożytnictwa i drapieżnictwa występujących w przyrodzie oraz skutecznym sterowaniu nimi (Tkaczuk 2008; Sosnowska 2018). Wprowadzanie biologicznych metod ochrony roślin jako alternatywy dla metod chemicznych wymaga jednak obszernej wiedzy z zakresu ekologii, biologii i systematyki organizmów szkodliwych oraz ich wrogów naturalnych (Ojuederie i wsp. 2021; Ayilara i wsp. 2022). Dlatego też należy mieć na uwadze to, że wprowadzenie metod biologicznych w ograniczaniu presji ze strony agrofagów w pewnym stopniu wpływa na zmiany interakcji między roślinami, patogenami i środowiskami (He i wsp. 2021).

Nowe strategie produkcji rolnej kładą duży nacisk na ochronę środowiska i zrównoważony rozwój idący w harmonii z naturą. Nie można jednak zapominać, że zrównoważona produkcja ma również na celu zwiększenie produkcji żywności oraz ograniczenie występowania chorób i szkodników do tego stopnia, by nie powodowały znacznych szkód w uprawach rolniczych. Konieczne jest zatem opracowywanie nowych metod przywracania naturalnych mechanizmów stabilności środowiska zarówno w społeczności mikroorganizmów, jak i roślin uprawnych (Dara 2017; Baker i wsp. 2020; Hamid i wsp. 2021; Kuźmiar i wsp. 2021).

Jednym z najbardziej istotnych kierunków rozwoju i wdrażania metod biologicznych w ochronie roślin jest wykorzystywanie biopreparatów opartych na bakteriach, grzybach i wirusach (Tkaczuk 2008; Tomalak 2010; Sosnowska 2018; Fenibo i wsp. 2022). Mikroorganizmy występujące w preparatach biologicznych muszą charakteryzować się dużą siłą, pozwalającą na konkurowanie z autochtoniczną populacją drobnoustrojów oraz wysokim stopniem zdolności przetrwania i adaptacji do nowo powstałych warunków, w których powinny osiągać najlepszą efektywność (Fenibo i wsp. 2021; Kumar i wsp. 2021; Šunjka i Špela 2022). Sosnowska (2018), Borges i wsp. (2021), Harish i wsp. (2021) oraz Hummadi i wsp. (2021) podają, że biopestycydy są przyjazne dla środowiska przyrodniczego, specyficzne w działaniu, nie pozostawiają pozostałości oraz ich produkcja i stosowanie nie wpływa w tak znacznym stopniu na emisję gazów cieplarnianych. Pestycydy mikrobiologiczne są wprowadzane do środowiska różnymi technikami, takimi jak system elektrorozpylania, złoza fluidalne, suszenie rozpyłowe, wytłaczanie, liofilizacja, chłodzenie natryskowe i koacerwacja (De Oliveira i wsp. 2021).

W ostatnich latach zalecenia Komisji Europejskiej dotyczące zmniejszenia ilości dostępnych do stosowania przez rolników substancji czynnych pestycydów przyczyniły się do wzmożonych badań nad biopestycydami mikrobiologicznymi i możliwością wprowadzenia ich do obrotu handlowego (Chang i wsp. 2003; Ruii 2018; Runge i wsp. 2022; Holka i Kowalska 2023) (tab. 1). Ze względu

Tabela 1. Mikroorganizmy stosowane jako substancje czynne biopestycydów
Table 1. Microorganisms used as active substances in pesticides

Biopestycydy Biopesticides	Mikroorganizmy Microorganisms
Biobakteriocydy – Biobactericides	<i>Agrobacterium, Bacillus, Pseudomonas</i>
Biofungicydy – Biofungicides	<i>Trichoderma, Gliocladium, Pythium, Coniothyrium, Bacillus, Pseudomonas, Streptomyces</i>
Bioherbicydy – Bioherbicides	<i>Alternaria destruens</i>
Bioinsektycydy – Bioinsecticides	<i>Bacillus thuringiensis, Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae, Cordyceps</i>
Bionematocydy – Bionematicides	<i>Metarhizium, Paecilomyces, Verticillium, Bacillus, Heterorhabditis, Steinernema</i>

Źródło – Source: Ciepiel (2023)

na skład biopreparaty dzieli się na: bakteryjne, grzybowe, bakteryjno/grzybowo-enzymatyczne, bakteryjno-grzybowe i enzymatyczne (Toader i wsp. 2020). Do głównych grup bakteryjnych entomopatogenów należą gatunki *Pseudomonas*, *Yersinia*, *Chromobacterium*, natomiast do grzybów entomopatogenicznych (EPF) zaliczają się gatunki z rodzajów: *Beauveria*, *Metarhizium*, *Verticillium*, *Lecanicillium*, *Hirsutella* i *Cordyceps* (Chang i wsp. 2003; Tkaczuk 2008; Tkaczuk i wsp. 2016; Sosnowska 2018, 2019; Kowalska i wsp. 2020; Sporleder i Lacey 2021; Holka i Kowalska 2023). Grzyby owadobójcze z wyżej wymienionych rodzajów nie tylko zmniejszają liczebność szkodników, ale mogą również wnikać w tkanki roślin, korzystnie wpływając na ich wzrost i rozwój. Nicienie entomopatogenne (EPN) stosowane jako środki biokontroli należą przede wszystkim do gatunków z rodzajów *Heterorhabditis* i *Steinernema*, związanych z mutualistycznymi symbiotycznymi bakteriami z rodzajów *Photorhabdus* i *Xenorhabdus* i są bezpieczne dla ssaków, środowiska oraz organizmów niebędących przedmiotem zwalczania. Biopreparaty zawierające w swoim składzie grzyba *Trichoderma* sp. stosuje się dolistnie, w formie zaprawiania nasion i doglebowo w celu zwalczania patogenów grzybowych, takich jak: *Botrytis*, *Fusarium* i *Penicillium* sp. (Samada i Tambunan 2020). Gatunki z rodzaju *Trichoderma* posiadają zdolność efektywnego rozkładu martwej materii organicznej, poprawiają właściwości fitochemiczne gleby oraz jej jakość, a także uwalniają makro- i mikroelementy z materii organicznej do roztworu glebowego, co jest wykorzystywane przez rośliny. Pełnią rolę czynników biokontroli poprzez wytwarzanie związków hamujących rozwój patogenów, mykopasożytnictwo, inaktywację enzymów patogennych czy indukcję odporności ogólnoustrojowej roślin. Preparat na bazie *Trichoderma* sp. posiada dwie formy, występuje jako granulki/żel stosowane podczas sadzenia oraz w postaci rozpuszczalnego proszku używanego w trakcie podlewania (Kuźmiar i wsp. 2021; Oszust i wsp. 2021). *Bacillus thuringiensis* stosuje się w celu ograniczenia inwazji szkodników żerujących między innymi na ziemniakach i kapuście. Bakterie wykazują również stosunkowo wysoką skuteczność w zwalczaniu

gąsienic motyli (Berini i wsp. 2018; Samada i Tambunan 2020).

Na dzień 27 maja 2023 roku UE zatwierdziła 75 substancji czynnych na bazie mikroorganizmów w środkach ochrony roślin (KE 2023). Preparaty te w większości przeznaczone są do zwalczania szkodników i patogenów grzybowych, a ich składnikiem aktywnym są grzyby i bakterie.

Wśród środków biokontroli istotną grupę stanowią grzyby entomopatogeniczne. To bardzo zróżnicowana grupa organizmów występująca praktycznie we wszystkich środowiskach, a szczególnie w ekosystemach lądowych. Mogą one pełnić rolę patogenów, pasożytów innych organizmów, ale również mogą żyć w symbiozie z roślinami, glonami i zwierzętami. Istnieje ogromna grupa grzybów wykazująca działanie korzystne dla innych organizmów, szczególnie dla roślin (Tkaczuk 2008; Sosnowska 2019; Kuźmiar i wsp. 2021). Przy produkcji mykoinsektycydów istotne jest poznanie złożoności relacji grzyb–potencjalny żywiciel. Bałazy (2000) podaje, że patogen powinien wykazywać wysoką specjalizację w stosunku do gospodarza, a także wysoki potencjał reprodukcyjny. Ze strony żywiciela ważny jest jego stan fizjologiczny oraz wrażliwość poszczególnych stadiów rozwojowych, a także warunki środowiskowe związane z temperaturą i wilgotnością. W uprawach zagrożonych masowym pojawieniem się szkodników wykorzystuje się najczęściej materiał infekcyjny w postaci zarodników, z których sporządzane są biopestycydy (Bałazy 2000; Boguś 2000; Wasilewska-Nascimento 2021).

Na liście substancji czynnych dopuszczonych w UE znajduje się 12 szczepów grzybów owadobójczych (tab. 2). Biopreparaty zawierające grzyby owadobójcze wykorzystywane są do ograniczania populacji wciornastków, chrząszczy, mszyc, mączlików i roztoczy w uprawach owoców i warzyw oraz roślin ozdobnych (Dara 2017; Arthurs i Dara 2018).

W Polsce zarejestrowanych i dopuszczonych do stosowania jest obecnie osiem mykoinsektycydów (tab. 3). Stanowią one zaledwie 2% całego rynku ś.o.r. w Polsce (MRiRW 2023). Przewiduje się jednak, że ich asortyment

Tabela 2. Grzyby entomopatogeniczne zatwierdzone przez Unię Europejską jako substancje czynne bioinsektycydów (EC, 2023)

Table 2. Entomopathogenic fungi approved by the European Union as active substances of bioinsecticides (EC, 2023)

Gatunek grzyba Fungus species	Szczep grzyba Fungus strain
<i>Akanthomyces muscarius</i> (<i>Lecanicillium muscarium</i>)	Ve6
<i>Beauveria bassiana</i>	PPRI 5339, 147, ATCC 74040, GHA, NPP111B005, ATCC 74040, GHA
<i>Clonostachys rosea</i> (<i>Gliocladium catenulatum</i>)	J1446
<i>Cordyceps fumosorosea</i> (<i>Isaria fumosorosea</i> , <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>)	Apopka 97, FE 9901
<i>Metarhizium brunneum</i> (<i>Metarhizium anisopliae</i>)	Ma 43
<i>Purpureocillium lilacinum</i> (<i>Paecilomyces lilacinus</i>)	251

Tabela 3. Środki ochrony roślin zarejestrowane w Polsce bazujące na grzybach owadobójczych i ich zastosowanie
Table 3. Plant protection products based on entomopathogenic fungi registered in Poland and their use

Biopreparat Biopreparat	Gatunek grzyba / Szczep grzyba Fungus species / Fungus strain	Zastosowanie Application
Futureco NoFly WP	<i>Cordyceps fumosorosea</i> (<i>Isaria fumosorosea</i> , <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>)	w szklarniach o trwałej konstrukcji, odizolowanej od podłoża in greenhouses with a permanent structure, isolated from the ground <i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Frankliniella occidentalis</i>
Lalguard M52 GR NON-PRO	<i>Metarhizium anisopliae</i> var. <i>anisopliae</i> – BIPESCO 5/F52	truskawka (pod osłonami), rośliny szkółkarskie ozdobne (uprawa kontenerowa i w donicach) strawberries (under cover), ornamental nursery plants (container and pot cultivation) <i>Otiiorhynchus sulcatus</i>
Lalguard M52 GR PROF	<i>Metarhizium anisopliae</i> var. <i>anisopliae</i> – BIPESCO 5/F52	truskawka (pod osłonami), rośliny szkółkarskie ozdobne (uprawa kontenerowa i w donicach) strawberries (under cover), ornamental nursery plants (container and pot cultivation) <i>Otiiorhynchus sulcatus</i>
Mycotrol 22 WP	<i>Beauveria bassiana</i> – GHA	warzywa w uprawie szklarniowej i polowej, a także rośliny szkółkarskie ozdobne i rośliny szkółkarskie leśne vegetables in greenhouse and field cultivation, as well as ornamental nursery plants and forest nursery plants <i>Trialeurodes</i> , <i>Trialeurodes vaporariorum</i>
Mycotrol OD	<i>Beauveria bassiana</i> – GHA	rośliny szkółkarskie ozdobne i rośliny szkółkarskie leśne ornamental nursery plants and forest nursery plants <i>Trialeurodes</i> , <i>Trialeurodes vaporariorum</i>
Naturalis	<i>Beauveria bassiana</i> – ATCC 74040	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Bemisia tabaci</i> , <i>Thysanoptera</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Nasonovia ribisnigri</i>
PreFeRal	<i>Cordyceps fumosorosea</i> (<i>Isaria fumosorosea</i> , <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>) – Apopka 97	warzywa i rośliny ozdobne (uprawiane pod osłonami) vegetables and ornamental plants (grown under cover) <i>Trialeurodes</i>
Velifer	<i>Beauveria bassiana</i> – PPRI 5339	do stosowania w uprawie roślin pod osłonami for use in growing plants under cover <i>Trialeurodes</i> , <i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Thrips tabaci</i>

Źródło: wyszukiwarka środków ochrony roślin Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi

Source: plant protection product search engine Ministry of Agriculture and Rural Development

będzie się poszerzał ze względu na wprowadzone przez UE w 2022 roku regulacje prawne dotyczące procedur rejestracji ś.o.r. zawierających mikroorganizmy (Helepciuc i Todor 2022; EC 2023).

Podsumowanie / Summary

Odporność agrofagów na syntetyczne ś.o.r. (pestycydy) staje się coraz bardziej powszechna. Dane wskazują, iż ponad 500 gatunków owadów uodporniło się na chemiczne środki owadobójcze. Z drugiej strony konsumenci coraz częściej żądają produktów rolnych niezawierających pozostałości pestycydów. Dlatego też mechaniczne i biologiczne metody ochrony roślin przed agrofagami we wszystkich krajach UE i w kontekście wdrażania Europejskiego Zielonego Ładu zyskują na znaczeniu. Dotychczas prowadzone badania

wskazują, iż metody mechaniczne oraz biopestycydy nie wywierają niekorzystnego wpływu na środowisko, producentów i konsumentów produktów rolnych. Zatem poszukiwanie mikroorganizmów oraz izolowanie nowych szczepów mogących znaleźć zastosowanie jako składniki biologiczne preparatów jest właściwe, a nawet konieczne, gdyż istnieje wiele gatunków mogących wpłynąć na tolerancję roślin na stresy środowiskowe, a także przyczyniać się do zmniejszenia presji ze strony agrofagów. Biorąc pod uwagę potencjał biologiczny i rolę mikroorganizmów we wzroście, rozwoju i ochronie roślin, zasadne wydaje się prowadzenie dalszych badań pozwalających na łączne ich stosowanie z metodami mechanicznymi, w szczególności w technologiach agroekologicznych, tak aby osiągnąć zadowalające efekty zarówno w jakości, jak i ilości produkowanej żywności i ochrony środowiska.

Literatura / References

- Arthurs S., Dara S.K. 2018. Microbial biopesticides for invertebrate pests and their markets in the United States. *Journal of Invertebrate Pathology* 165: 13–21. DOI: 10.1016/j.jip.2018.01.008
- Ayilara M.S., Adeleke B.S., Babalola O.O. 2022. Bioprospecting and challenges of plant microbiome research for sustainable agriculture, a review on soybean endophytic bacteria. *Microbial Ecology* 85 (3): 1113–1135. DOI: 10.1007/s00248-022-02136-z
- Baker B.P., Green T.A., Loker A.J. 2020. Biological control and Integrated Pest Management in organic and conventional systems. *Biological Control* 140 (5): 104095. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104095
- Bałazy S. 2000. Zróżnicowanie grup funkcjonalnych grzybów entomopatogenicznych. [Functional differentiation of entomopathogenic fungi]. *Biotechnologia* 3 (50): 11–32.
- Berini F., Katz C., Gruzdev N., Casartelli M., Tettamanti G. 2018. Microbial and viral chitinases: Attractive biopesticides for integrated pest management. *Biotechnology Advances* 36 (3): 818–838. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2018.01.002
- Boell 2020. Pobrane z: <https://pl.boell.org/pl/2020/05/07/zielony-lad-szansa-dla-polskich-rolnikow-zapewnia-komisarz-janusz-wojciechowski>
- Boguś M.I. 2000. Grzyby patogenne jako źródło insektycydów. [Pathogenic fungi as a source of insecticides]. *Biotechnologia* 3 (50): 33–46.
- Borges S., Alkassab A.T., Collison E., Hinarejos S., Jones B., McVey E. 2021. Overview of the testing and assessment of effects of microbial pesticides on bees: strengths, challenges and perspectives. *Apidologie* 52: 1256–1277. DOI: 10.1007/s13592-021-00900-7
- Chang J.H., Choi J.Y., Jin B.R., Roh J.Y., Olszewski J.A., Seo S.J. 2003. An improved baculovirus insecticide producing occlusion bodies that contain *Bacillus thuringiensis* insect toxin. *Journal of Invertebrate Pathology* 84 (1): 30–37. DOI: 10.1016/S0022-2011(03)00121-6
- Ciepiel J. 2023. Rodzaje produktów mikrobiologicznych stosowanych w rolnictwie. s. 6–11. W: *Poradnik Preparaty mikrobiologiczne dla roślin rolniczych*. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy, 56 ss. ISBN 978-83-7562-406-9. DOI: 10.26114/por.iung.2023.12.01
- Czerko Z., Goliszewski W., Jankowska J., Lutomska B., Nowacki W., Trawczyński C., Zarzyńska K. 2020. *Metodyka integrowanej produkcji ziemniaków*. Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Jadwisinie, 41 ss.
- Dara S.K. 2017. Insect resistance to biopesticides. University of California Agriculture and Natural Resources. eJournal Strawberries and Vegetables. <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=25819>
- De Oliveira J.L., Fraceto L.F., Bravo A., Polanczyk R.A. 2021. Encapsulation strategies for *Bacillus thuringiensis*: from now to the future. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69 (16): 4564–4577. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c07118
- EC 2023. European Commission (EC). Search Active Substances, Safeners and Synergists. Available online: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances> [dostęp: 22.06.2023].
- Europejski Zielony Ład (European Green Deal, COM(2019) 640) 2019. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. online: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
- Europejski Zielony Ład 2021. Pobrane z: <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/> [dostęp: 06.06.2021].
- Farmer 2023. <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/ochrona-roslin/piorin-zatrzymano-2040-ton-nielegalnych-pestycydow,137760.html>
- Fenibo E.O., Grace N.I., Matambo T. 2021. Biopesticides in sustainable agriculture: a critical sustainable development driver governed by green chemistry principles. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 619058. DOI: 10.3389/fsufs.2021.619058
- Fenibo E.O., Grace N.I., Weiz N., Tonderayi M. 2022. The potential and green chemistry attributes of biopesticides for sustainable agriculture. *Sustainability* 14 (21): 14417. DOI: 10.3390/su142114417
- García M.G., Sánchez J.I.L., Bravo K.A.S., Cabal M.D.C., Pérez-Santín E. 2022. Review: Presence, distribution and current pesticides used in Spanish agricultural practices. *Science of the Total Environment* 1 (845): 157291. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157291
- Ginter A. 2021. *Małe gospodarstwa rolne wobec wyzwań zrównoważonego rozwoju i Zielonego Ładu*. Monografia. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, 174 ss. ISBN 978-83-66541-76-4.
- Godyn A., Rabcewicz J. 2022. *Poradnik użytkownika sprzętu do ochrony roślin metodami niechemicznymi*. Wydanie II. Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Skierniewice, 55 ss. ISBN 978-83-67039-09-3.
- GUS 2023. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa. file:///C:/Users/Ania/Downloads/rocznik_statystyczny_rolnictwa_2023%20(2).pdf
- Hamid B., Zaman M., Farooq S., Fatima S., Sayyed R.Z., Baba Z.A., Sheikh T.A., Reddy M.S., Enshasy H.E., Gafur A., Suriani N.L. 2021. Bacterial plant biostimulants: a sustainable way towards improving growth, productivity, and health of crops. *Sustainability* 13 (5): 2856. DOI: 10.3390/su13052856
- Harish S., Murugan M., Kannan M., Parthasarathy S., Prabhukarthikeyan S., Elango K. 2021. *Entomopathogenic viruses*. s. 1–57. W: *Microbial Approaches for Insect Pest Management* (Omkar, red.). Springer, New York, NY, 446 ss. DOI: 10.1007/978-981-16-3595-3
- He D.C., He M.H., Amalin D.M., Liu W., Alvindia D.G., Zhan J. 2021. Biological control of plant diseases: an evolutionary and eco-economic consideration. *Pathogens* 10 (10): 1311. DOI: 10.3390/pathogens10101311
- Helepciuc F.E., Todor A. 2022. Improving the authorization of microbial biological control products (MBCP) in the European Union within the EU Green Deal framework. *Agronomy* 12 (5): 1218. DOI: 10.3390/agronomy12051218
- Holka M., Kowalska J. 2023. The potential of adjuvants used with microbiological control of insect pests with emphasis on organic farming. *Agriculture* 13 (9): 1659. DOI: 10.3390/agriculture13091659
- <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wyszukiwarka-srodkow-ochrony-roslin>

- Humjadi E.H., Dearden A., Generalovic T., Clunie B., Harrott A., Cetin Y. 2021. Volatile organic compounds of *Metarhizium brunneum* influence the efficacy of entomopathogenic nematodes in insect control. *Biological Control* 155: 104527. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104527
- Kalyabina V.P., Esimbekova E.N., Kopylova K.V., Kratasyuk V.A. 2021. Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health – a review. *Toxicology Report* 8: 1179–1192. DOI: 10.1016/j.toxrep.2021.06.004
- KE 2023. European Commission (EC). Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 Establishing a Framework for Community Action to Achieve the Sustainable Use of Pesticides. Available online: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/128/oj> [dostęp: 22.06.2023].
- Komisja Europejska 2020a. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Unijna Strategia na rzecz bioróżnorodności 2030 Przywracanie przyrody do naszego życia. Bruksela, 20.05.2020. COM(2020) 380 final.
- Komisja Europejska 2020b. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego. Bruksela, 20.05.2020. COM(2020) 381 final.
- Kowalska J., Tyburski J., Matysiak K., Tylkowski B., Malusá E. 2020. Field exploitation of multiple functions of beneficial microorganisms for plant nutrition and protection: real possibility or just a hope? *Frontiers in Microbiology* 11: 1904. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01904
- 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
- Kuźmiar A., Włodarczyk K., Gromadzka P., Siara A., Wolińska A. 2021. Aktualny stan wiedzy na temat biopreparatów stosowanych w rolnictwie. Wydawnictwo KUL, Lublin, 32 ss. ISBN 978-83-8061-964-7.
- Łabanowski G. (red.). 2014. *Metodyka integrowanej ochrony roślin ozdobnych w ogrodach przydomowych*. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice, 115 ss.
- Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C., Baj-Wójtowicz B. 2023. Występowanie grzybów entomopatogenicznych w glebach siedlisk o zróżnicowanym użytkowaniu. *Agronomy Science* 78 (1): 5–18. DOI: 10.24326/as.2023.4956
- Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C., Wrzosek M. 2024. The effect of humic substances on the colony growth and conidial germination of entomopathogenic fungi from the genus *Metarhizium*. *Sustainability* 16 (9): 3616. DOI: 10.3390/su16093616
- Malinowska E., Jankowski K., Wyrębek H., Truba M. 2015. Struktura sprzedaży i zużycia środków ochrony roślin w Polsce w latach 2000–2012. [Sale and use structure of plant protection products in Poland in the years 2000–2012]. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach* 104: 173–185.
- Michalak D., Rydz-Żbikowska A. 2022. Jakie działania są niezbędne dla sprostania wyzwaniom Zielonego Ładu i uczynienia go szansą dla polskiego rolnictwa? <https://www.press.uni.lodz.pl/index.php/wul/catalog/download/501/2363/1188?inline=1>
- Miniewska M. 2016. *Integrowana ochrona roślin. Dolnośląski Ośrodek Doradztwa Rolniczego we Wrocławiu*, 20 ss.
- MRiRW 2023. Ministry of Agriculture and Rural Development. Register of Plant Protection Products. Available online: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/rejestr-rodkow-ochrony-roslin> [dostęp: 22.06.2023].
- Ojuederie O.B., Chukwuneme C.F., Olanrewaju O.S., Ayilara M., Adegboyega T.T., Babalola O.O. 2021. Contribution of microbial inoculants in sustainable maintenance of human health, including test methods and evaluation of safety of microbial pesticide microorganisms. Chapter 10. W: *Biopesticides: Botanicals and Microorganisms for Improving Agriculture and Human Health* (T.O. Adejumo, R.T. Voegelé, red.). Cuvillier Verlag, Göttingen, Germany, 283 ss.
- Oszust K., Pylak M., Frąc M. 2021. *Trichoderma*-based biopreparation with probiotics supplementation for the naturalization of raspberry plant rhizosphere. *International Journal of Molecular Sciences* 22 (12): 6356. DOI: 10.3390/ijms22126356
- Pathak V.M., Verma V.K., Rawat B.S., Kaur B., Babu N., Sharma A., Dewali S., Yadav M., Kumari R., Singh S., Mohapatra A., Pandey V., Rana N., Cunill J.M. 2022. Current status of pesticide effects on environment, human health and its eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in Microbiology* 13: 962619. DOI: 10.3389/fmicb.2022.962619
- Piszczek J., Strażyński P., Mrówczyński M. (red.). 2018. *Metodyka integrowanej ochrony buraka cukrowego i pastewnego dla doradców*. Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań, 184 ss. ISBN 978-83-64655-44-9.
- Piwoń P. 2012. Postęp w dziedzinie chemicznej ochrony roślin w Polsce i jego determinanty. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie* 12 (1): 138–147. DOI: 10.22630/PRS.2012.12.1.13
- Pruszyński S. (red.). 2016. *Metody ochrony w integrowanej ochronie roślin. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Poznaniu*, 150 ss. ISBN 978-83-60232-80-4.
- Przybył J., Kowalik I. 2012. Mechaniczna pielęgnacja plantacji buraków cukrowych. [Mechanical weed control of sugar beet]. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 57 (4): 68–72.
- Rani L., Thapa K., Kanojia N., Sharma N., Singh S., Grewal A.S., Srivastav A.L., Kaushal J. 2021. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production* 283: 124657. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124657
- Raport 2021. Wpływ Europejskiego Zielonego Ładu na polskie rolnictwo. Konsorcjum autorów: Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa Polskiej Akademii Nauk (IRWiR PAN) – lider konsorcjum, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG – PIB), Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (UPP). https://www.irwirpan.waw.pl/dir_upload/site/files/IRWiR_PAN/RAPORT.pdf
- Ruii L. 2018. Microbial biopesticides in agroecosystems. *Agronomy* 8 (11): 235. DOI: 10.3390/agronomy8110235
- Runge T., Latacz-Lohmann U., Schaller L., Todorova K., Daugbjerg C., Termansen M., Liira J., Le Gloux F., Dupraz P., Leppänen J. 2022. Implementation of eco-schemes in fifteen European Union Member States. *EuroChoices* 21 (2): 19–27. DOI: 10.1111/1746-692X.12352
- Samada L.H., Tambunan U.S.F. 2020. Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: a review of their current and future status. *OnLine Journal of Biological Sciences* 20 (2): 66–76. DOI: 10.3844/ojbsci.2020.66.76
- Silva V., Mol H.G., Zomer P., Tienstra M., Ritsema C.J., Geissen V. 2019. Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. *Science of The Total Environment* 653: 1532–1545. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.441

- 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
- Sporleder M., Lacey L.A. 2021. Biopesticides. s. 463–497. W: *Insect Pests of Potato: Global Perspectives on Biology and Management* (P. Giordanengo, C. Vincent, A. Alyokhin, red.). Elsevier, Oxford, UK. DOI: 10.1016/b978-0-12-386895-4.00016-8
- Šunjka D., Špela M. 2022. An alternative source of biopesticides and improvement in their formulation – recent advances. *Plants* 11 (22): 3172. DOI: 10.3390/plants11223172
- Tkaczuk C. 2008. Występowanie i potencjał infekcyjny grzybów owadobójczych w glebach agrocenoz i środowisk seminaturalnych w krajobrazie rolniczym. [Occurrence and infective potential of entomopathogenic fungi in the soils of agrocenoses and semi-natural habitats in agricultural landscape]. *Rozprawa naukowa nr 94*. Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, Siedlce, 160 ss.
- Tkaczuk C., Majchrowska-Safaryan A., Harasimiuk M. 2016. Występowanie oraz potencjał infekcyjny grzybów entomopatogenicznych w glebach z pól uprawnych, łąk i siedlisk leśnych. [The occurrence and infective potential of entomopathogenic fungi in the soil of arable fields, meadows and forest habitats]. *Progress in Plant Protection* 56 (1): 5–11. DOI: 10.14199/ppp-2016-001
- Toader G., Chiurciu V., Maiorean N., Sevciuc P., Burnichi V.F.F., Trifan D., Rîșnoveanu L., Cătălin-Ionuț E., Toader E.V., Ilie L. 2020. Economic advantages of using bacterial biopreparations in agricultural crops. s. 230–237. W: *Agrarian Economy and Rural Development – Realities and Perspectives for Romania*. International Symposium, 11th Edition. The Research Institute for Agricultural Economy and Rural Development (ICEADR), Bucharest.
- Tomalak M. 2010. Rynek biologicznych środków ochrony roślin i przepisy legislacyjne. [Market for biological control agents and their legal regulation]. *Progress in Plant Protection* 50 (3): 1053–1063.
- Wasilewska-Nascimento B. 2021. Niedoceniony potencjał grzybów owadobójczych w uprawie ziemniaka. [The underestimated potential of entomopathogenic fungi in potato cultivation]. *Ziemniak Polski* 31 (4): 40–48.
- Woodrow J.E., Gibson K.A., Seiber J.N. 2018. Pesticides and related toxicants in the atmosphere. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 247: 147–196. DOI: 10.1007/398_2018_19
- Wrzaszcz W., Prandecki K. 2020. Agriculture and the European Green Deal. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej/Problems of Agricultural Economics* 365 (4): 156–179. DOI: 10.30858/zer/131841
- Zhang W.J., van der Werf W., Pang Y. 2011. A simulation model for vegetable-insect pest-insect nucleopolyhedrovirus epidemic system. *Journal of Environmental Entomology* 33 (3): 283–301.
- ZPP 2023. <https://zpp.net.pl/wp-content/uploads/2023/04/17.04.2023-Stanowisko-ZPP-Redukcja-zuzycia-srodkow-ochrony-roslin-zagrozeniem-dla-polskiej-gospodarki-rolnej.pdf>