



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Rozwój potencjału innowacyjnego członków Sieci Naukowej „Agroinżynieria dla rozwoju zrównoważonego rolnictwa, przemysłu rolno-spożywczego i obszarów wiejskich”

Ekspertyza

CZYNNIKI BIOLOGICZNE DOSTĘPNE W OCHRONIE UPRAW EKOLOGICZNYCH PRZED SZKODNIKAMI

*Prof. dr hab. Marek Tomalak
Zakład Biologicznych Metod i Kwarantanny
Instytut Ochrony Roślin
Państwowy Instytut Badawczy
Poznań 2009*



Publikacja dostępna w serwisie: www.agengpol.pl

Spis treści

1. Wstęp	3
2. Główne założenia ochrony roślin w rolnictwie ekologicznym	3
3. Czynniki biologiczne dostępne w ochronie upraw ekologicznych	4
3.1. Substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego	7
3.1.1. Azadyrachtyna	7
3.1.2. Wosk pszczeli	8
3.1.3. Żelatyna	8
3.1.4. Hydrolizat białkowy	8
3.1.5. Lecytyna	8
3.1.6. Olejki roślinne	8
3.1.7. Pyretryny naturalne	8
3.1.8. Quassia	9
3.1.9. Rotenon	10
3.2. Wirusy i mikroorganizmy wykorzystywane do biologicznego zwalczania szkodników i chorób	10
3.2.1. Wirusy owadobójcze	11
3.2.2. Bakterie owadobójcze	12
3.2.3. Grzyby owadobójcze i konkurencyjne	13
3.2.4. Pasożytnicze pierwotniaki	15
3.3. Substancje produkowane przez mikroorganizmy	16
3.4. Makroorganizmy wykorzystywane w biologicznym zwalczaniu szkodników.....	16
3.4.1. Nicienie owadobójcze	17
3.4.2. Drapieżne roztocze	18
3.4.3. Drapieżne owady	19
3.4.4. Pasożytnicze owady (parazytoidy)	20
4. Kształtowanie krajobrazu rolniczego jako podstawowa metoda zwiększania udziału czynników biologicznych w uprawach ekologicznych	21
5. Ogólne zasady i metody stosowania czynników biologicznych w ochronie roślin.....	24
6. Podsumowanie	26
7. Literatura	26

1. Wstęp

Zgodnie z obecnie obowiązującym Rozporządzeniem Rady (WE) nr 834/2007 z dnia 28 czerwca 2007 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych, "Produkcja ekologiczna jest ogólnym systemem zarządzania gospodarstwem i produkcji żywności, łączącym najkorzystniejsze dla środowiska praktyki, wysoki stopień różnorodności biologicznej, ochronę zasobów naturalnych, stosowanie wysokich standardów dotyczących dobrostanu zwierząt i metodę produkcji odpowiadającą wymaganiom niektórych konsumentów preferujących wyroby wytwarzane przy użyciu substancji naturalnych i naturalnych procesów". Definicja ta nakłada na procesy produkcji w gospodarstwach ekologicznych szereg ograniczeń mających na celu zminimalizowanie negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne, które swoimi wymaganiami znacznie zawężają zakres działań powszechnie dopuszczalnych w rolnictwie konwencjonalnym. Sytuacja ta stworzyła konieczność opracowania szczegółowych regulacji prawnych, wśród których pierwszym, kompleksowym wyrazem specyfiki rolnictwa ekologicznego było "Rozporządzenie (EWG) nr 2092/91 z dnia 24 czerwca 1991 r. w sprawie produkcji ekologicznej produktów rolnych oraz znakowania produktów rolnych i środków spożywczych", dające podwaliny polskiej "Ustawie z dnia 16 marca 2001 r. o rolnictwie ekologicznym", oraz zmienionej po wejściu Polski do Unii Europejskiej "Ustawie z dnia 20 kwietnia 2004 roku o rolnictwie ekologicznym". W roku 2007 rozporządzenie to zostało zastąpione przez nową, zaktualizowaną wersję ("Rozporządzenie Rady WE nr 834/2007"), uzupełnioną przez "Rozporządzenie Komisji (WE) nr 889/2008 z dnia 5 września 2008 r. ustanawiające szczegółowe zasady wdrażania rozporządzenia Rady (WE) nr 834/2007" , a do polskich przepisów weszła "Ustawa z dnia 25 czerwca 2009 roku o rolnictwie ekologicznym", uwzględniająca zmiany wprowadzone przez rozporządzenie 834/2007. Dzięki tym aktom dotąd raczej abstrakcyjne terminy ujęte w definicji "produkcji ekologicznej" oraz same procesy produkcji w gospodarstwach ekologicznych nabrały bardziej formalnego charakteru, a stawiane wymagania stały się łatwiejsze do egzekwowania.

Dziedziną, która już od początków wprowadzania zasad rolnictwa ekologicznego do praktyki budziła najwięcej kontrowersji jest ochrona roślin. Konieczność spełnienia wymogów stawianych przez definicję produkcji ekologicznej znacznie ogranicza możliwości działania w tym zakresie. Niewielka dostępność handlowych środków ochrony roślin dopuszczonych do stosowania, nieprzystosowane do specyfiki rolnictwa ekologicznego metody ich wprowadzania oraz zastrzeżenia dotyczące wykorzystywania naturalnych organizmów i substancji wytwarzanych samodzielnie w gospodarstwie, stawiają producenta ekologicznego w trudniej sytuacji. Dlatego, niezbędne jest rozszerzenie zakresu alternatywnych rozwiązań, które zachowując zgodność z zasadami produkcji ekologicznej, zdołałyby skutecznie ograniczać straty powodowane przez szkodniki i choroby. Doskonałym obszarem tych poszukiwań mogą być biologiczne metody ochrony roślin, które wykorzystując naturalne lub sztucznie wprowadzane organizmy są zdolne ograniczać populacje szkodników, zachowując pełne bezpieczeństwo przyszłych konsumentów, samych upraw oraz środowiska, w którym one występują (Lipa, 2003; Tomalak, 2005).

Głównym celem poniższego opracowania jest przedstawienie możliwego zakresu wykorzystania czynników biologicznych w ochronie upraw ekologicznych.

2. Główne założenia ochrony roślin w rolnictwie ekologicznym

Ochrona roślin obejmuje zespół działań mających na celu zapobieganie szkodom powodowanym w uprawach przez chwasty, choroby i szkodniki oraz bezpośrednie ograniczanie tych szkód. W przypadku ochrony upraw w rolnictwie ekologicznym największy nacisk przypada na zapobieganie. Głównym założeniem ochrony roślin w tym sektorze produkcji roślinnej nie jest zwalczanie szkodliwych organizmów, lecz przede wszystkim stworzenie odpowiednich warunków dla prawidłowego wzrostu roślin, aby szkodliwe organizmy nie rozwijały się w uprawie, lub aby ich wpływ na plonowanie był minimalny. Tak więc, najważniejsze w tym systemie działania przygotowawcze i profilaktyczne, polegające na doborze odpowiednich odmian roślin uprawnych, odpowiedniego siedliska i agrotechniki, stymulowaniu roślin do wytwarzania substancji obronnych, przeprowadzaniu zabiegów

biotechnicznych oraz na stwarzaniu odpowiednich warunków do bytowania i rozwoju organizmów pożytecznych, mają pierwszeństwo przed działaniami interwencyjnymi. Działania interwencyjne mogą zaś być podejmowane jedynie w ostateczności, w przypadku bezpośredniego, istotnego zagrożenia dla plonów (Sołtysiak, 1993; Neuerburg i inni, 1994; Siebeneicher, 1997). Należy jednak podkreślić, że zarówno stosowane metody, jak i środki muszą być zgodne zarówno z wymienionymi wyżej przepisami dotyczącymi rolnictwa ekologicznego, jak i przepisami dotyczącymi samej ochrony roślin, a w szczególności dopuszczania środków ochrony roślin do obrotu i stosowania ("Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. o ochronie roślin z późniejszymi uzupełnieniami"). Środki używane w ochronie upraw ekologicznych muszą spełniać podstawowe kryterium pochodzenia naturalnego, co praktycznie wyklucza zastosowanie w nich jakichkolwiek składników uzyskanych na drodze przemysłowej syntezy chemicznej, powszechnie wykorzystywanej obecnie w produkcji nowoczesnych środków ochrony roślin dla rolnictwa konwencjonalnego i integrowanego. Środki takie nie mogą również zawierać organizmów zmodyfikowanych genetycznie (GMO).

Zgodnie z ogólnie przyjętym założeniem, w zrównoważonych warunkach środowiska gospodarstwa ekologicznego zagrożenie upraw ze strony chorób i szkodników jest niewielkie. Odpowiednie gatunki i odmiany roślin uprawianych na właściwym siedlisku realizują pełnię swoich możliwości życiowych, a wysoka bioróżnorodność środowiska i zachodzące w nim interakcje uniemożliwiają niekontrolowany rozwój populacji któregośkolwiek z pozostałych organizmów występujących na danym terenie, w tym również gatunków szkodliwych. Z praktyki wiadomo jednak, że już same czynniki pogodowe mogą okresowo zmienić warunki środowiska na szczególnie korzystne dla rozwoju organizmów chorobotwórczych, lub szkodników, powodując równocześnie osłabienie wigoru uprawianych roślin i zwiększenie ich wrażliwości na porażenie. Ponadto, często istnieje silna presja ze strony szkodników i czynników chorobotwórczych mogących masowo rozmnażać się w sąsiadujących uprawach konwencjonalnych, w których nie zawsze zachowany jest wysoki poziom ochrony roślin. W takiej sytuacji powstrzymanie migracji szkodników na uprawy ekologiczne jest bardzo trudne, a naturalne zdolności samoregulacji zwykle niewielkich gospodarstw ekologicznych mogą nie poradzić sobie z takim naporem. Dlatego, z praktycznego punktu widzenia, bardzo ważna dla producentów roślin jest dostępność metod i środków interwencyjnych zgodnych z wymogami rolnictwa ekologicznego, których zastosowanie może być niezbędne, jeśli działania profilaktyczne okażą się niewystarczające.

3. Czynniki biologiczne dostępne w ochronie upraw ekologicznych

Czynniki biologiczne dostępne w rolnictwie ekologicznym można podzielić na dwie główne grupy, tj. (A) organizmy naturalnie występujące w środowisku, których liczebność populacji regulować można jedynie poprzez stwarzanie korzystnych warunków środowiskowych oraz (B) organizmy wprowadzane sztucznie do środowiska, a uzyskane na drodze masowego rozmnażania metodami laboratoryjnymi lub przemysłowymi przez specjalistyczne firmy i następnie oferowane w formie handlowych środków biologicznych. W takim przypadku celem zastosowania środka biologicznego może być (Ba) jednorazowe wprowadzenia pożytecznego organizmu w celu możliwie natychmiastowego ograniczenia populacji szkodnika bez oczekiwania na jego trwałe zadomowienie się na chronionym obszarze, (Bb) jednorazowe, lub wielokrotne ograniczenie populacji szkodnika w kolejnych pokoleniach w czasie jednego sezonu wegetacyjnego, bez oczekiwania na trwałe zadomowienie się organizmu pożytecznego w środowisku, oraz (Bc) jedno- lub wielokrotne wprowadzanie czynnika biologicznego do uprawy/środowiska w celu jego trwałego zadomowienia się i wieloletniej ochrony upraw. Ten sposób introdukcji, tzw. klasyczne biologiczne zwalczanie stosowane jest zwykle w stosunku do egzotycznych, bardzo specyficznych wrogów naturalnych, wprowadzanych przeciwko szkodnikom również obcego pochodzenia, gdy niezbędne jest stałe kontrolowanie ich całej populacji.

W przypadku wprowadzania do środowiska obcego (tzw. egzotycznego) gatunku pożytecznego organizmu może pojawić się jednak nowy problem. Podstawowym celem takiego wprowadzania jest ograniczenie populacji szkodnika, lecz niepełna selektywność, nadmierna zdolność dyspersji i / lub jakakolwiek forma konkurencji w stosunku do rodzimych gatunków pożytecznych organizmów może spowodować więcej długoterminowych szkód ekologicznych niż korzyści płynące z wysokiej skuteczności zwalczania oryginalnie adresowanego szkodnika. Dlatego uwalnianie do środowiska rolniczego nowego gatunku egzotycznego czynnika biologicznego wymaga szczegółowych badań i kompleksowej oceny konsekwencji przeprowadzenia takiego zabiegu. W tym celu opracowano szereg zasad i metod mogących z wyprzedzeniem określić potencjalne ryzyko środowiskowe (Bigler i wsp. 2005; 2006). Ocena taka powinna obejmować: (a) zdolność zadomowienia się na danym obszarze (*niewskazane w przypadku wprowadzenia zalawowego*); (b) zakres potencjalnych gospodarzy; (c) zdolność rozprzestrzeniania się, oraz (d) bezpośredni i pośredni wpływ na różne elementy środowiska.

Odrębnym, ważnym kryterium podziału czynników biologicznych, a odnoszącym się jedynie do organizmów produkowanych na skalę przemysłową, jest ich status rejestracyjny. Zgodnie z obowiązującymi przepisami wymienionymi we wspomnianych wyżej Rozporządzeniach i Ustawach o ochronie roślin i rolnictwie ekologicznym, procesowi rejestracji podlegają tylko wirusy i mikroorganizmy (bakterie i grzyby) oraz niektóre substancje pochodzenia roślinnego i zwierzęcego (Tabela 1.). Drugą grupą bezpiecznych czynników biologicznych, produkowanych na skalę przemysłową i na szeroką skalę wykorzystywanych w ochronie roślin w rolnictwie ekologicznym są pożyteczne makroorganizmy (Tabela 2.). Organizmy te nie podlegają ogólnym wymogom rejestracyjnym Unii Europejskiej, gdyż nie zostały objęte unijną definicją środka ochrony roślin. W większości państw Unii Europejskiej ta grupa regulowana jest jednak przepisami wewnętrznymi i podlega niezależnemu, uproszczonemu procesowi rejestracji. Istotnymi kryteriami uwzględnianymi przy rejestracji makroorganizmów są wspomniane wyżej zasady oceny ryzyka środowiskowego (Bigler i wsp. 2005; 2006). W Polsce od 2004 roku makroorganizmy nie podlegają rejestracji, co budzi szereg zastrzeżeń środowiskowych, szczególnie w odniesieniu do gatunków egzotycznych.

W poniższym opisie scharakteryzowane zostaną główne grupy substancji i czynników biologicznych wykorzystywanych w Europie w ochronie upraw ekologicznych. Nie dla wszystkich z nich, jak np. quassia, czy rotenon, do tej pory zarejestrowano w Polsce odpowiednie środki handlowe. Może to być spowodowane brakiem takiego zapotrzebowania ze strony rolników, brakiem zainteresowania producenta lub importerów ze względu na znikomy rynek, lub brakiem odpowiednich informacji o przydatności danego czynnika w praktyce w naszych warunkach klimatycznych. Należy przypuszczać, że sytuacja ta ma obecnie charakter przejściowy. Wraz z rozwojem rolnictwa ekologicznego asortyment środków dostępnych w Polsce będzie się zwiększał w wyniku podejmowanych prac badawczych nad kolejnymi czynnikami, jak ma to obecnie miejsce w odniesieniu do spinosadu i azadyrachtyny (Kowalska, 2007; 2009, Płuciennik i Olszak, 2007)

Tabela 1. Substancje i organizmy dopuszczone do stosowania w środkach ochrony roślin dla rolnictwa ekologicznego i podlegające przepisom rejestracyjnym (według załącznika II rozporządzenia Komisji (WE) nr 889/2008)

1. Substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego

Nazwa	Opis, wymagania dotyczące składu, warunki użycia
Azadyrachtyna uzyskiwana z <i>Azadirachta indica</i> (miodla indyjska)	Środek owadobójczy
Wosk pszczeli	Maść ogrodnicza
Żelatyna	Środek owadobójczy
Zhydrolizowane białko	Środek wabiący, tylko w zatwierdzonym wniosku w połączeniu z innymi właściwymi środkami niniejszego wykazu
Lecytyna	Środek grzybobójczy
Olejki roślinne (np. olejek miętowy, sosnowy, kminkowy)	Środki owadobójcze, roztoczobójcze, grzybobójcze oraz środek ograniczający kiełkowanie
Pyretrum otrzymywane ze złocienia dalmatyńskiego (<i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i>)	Insektycyd
Quassia otrzymany z <i>Quassia amara</i>	Środek owadobójczy i odstraszający owady
Rotenon otrzymany z <i>Derris</i> spp. I <i>Lonchocarpus</i> spp. i <i>Terphrosia</i> spp.	Środek owadobójczy

2. Mikroorganizmy wykorzystywane do biologicznego zwalczania szkodników i chorób

Nazwa	Opis, wymagania dotyczące składu, warunki użycia
Mikroorganizmy (bakterie, wirusy i grzyby)	

3. Substancje produkowane przez mikroorganizmy

Nazwa	Opis, wymagania dotyczące składu, warunki użycia
Spinosad	Środek owadobójczy Wyłącznie w przypadku podjęcia środków służących zminimalizowaniu ryzyka wystąpienia głównych parazytoidów oraz zminimalizowaniu ryzyka polegającego na zwiększeniu odporności

Tabela 2. Makroorganizmy wykorzystywane w ochronie roślin w rolnictwie ekologicznym, lecz nie podlegające przepisom rejestracyjnym Unii Europejskiej.

Nazwa	Opis, wymagania dotyczące składu, warunki użycia
Nicienie owadobójcze	Organizmy owadobójczy
Drapieżne roztocze	Organizmy roztoczo- i owadobójcze
Pasożytnicze owady	Organizmy owadobójcze
Drapieżne owady	Organizmy roztoczo- i owadobójcze

3.1. Substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego

W tej grupie znajduje się szereg substancji uzyskanych poprzez ekstrakcją z wybranych gatunków roślin. Spośród nich kilka (tj. azadyrachtyna, naturalne pyretryny, quassia i rotenon) znalazło swoje szerokie zastosowanie w ochronie upraw ekologicznych przed szkodnikami.

3.1.1. Azadyrachtyna

Azadyrachtyna jest substancją pozyskiwaną z nasion egzotycznego drzewa - miodli indyjskiej (*Azadirachta indica*). Wykazuje działanie owadobójcze, repelentne i antyfidantne. Może również ograniczać zdolność rozwoju oraz reprodukcji owadów. W rolnictwie ekologicznym środki zawierające azadyrachtyne do tej pory stosowane były głównie w ochronie roślin macecznych w produkcji nasiennej i roślin rodzicielskie w produkcji innych roślin rozmnażanych wegetatywnie, jak również w produkcji roślin ozdobnych. Obecnie jednak na całym świecie prowadzone są intensywne badania nad możliwością rozszerzenia zakresu stosowania azadyrachtyny również na inne uprawy. Ostatnio, zachęcające wyniki prac mających na celu wykorzystanie tej substancji w ochronie ekologicznych sadów jabłoniowych przed owocówką jabłkóweczką (Płuciennik i Olszak, 2007) oraz polowych upraw ziemniaka przed stonką ziemniaczaną (Kowalska, 2007) uzyskano również w Polsce.

Środki zawierające tę substancję oferowane są w formie oleju, lub skoncentrowanego ekstraktu z przeznaczeniem do rozcieńczania w wodzie.

Azadyrachtyna w formie skoncentrowanego ekstraktu (np. 3%) zwalcza szereg szkodników, zapewniając równocześnie bezpieczeństwo owadów pożytecznych. Wykazuje dużą skuteczność przeciwko wielu szkodliwym motyloom, m.in. rolnikom, brudnicy nieparce, zwójkom i namiotnikom, muchówkom ziemiórkowatym, rośliniarkom, wełnowcom, mszycom, skoczkom, wciornastkom, stonce ziemniaczanej, i karaluchom. Środek zjedzony przez owada zakłóca jego metabolizm i proces dalszego przeobrażania się. Larwy giną zwykle w czasie kolejnego linienia.

Azadyrachtyna w formie oleju rekomendowana jest jako środek prezentujący szerokie spektrum aktywności owado-, roztoczo- i grzybobójczej. Nie jest ona bezpośrednią przyczyną śmierci szkodników, lecz działa głównie jako środek ograniczający ich żerowanie. Również tutaj, w przypadku zjedzenia rośliny opryskanej tą substancją, następują zaburzenia w procesie dalszego rozwoju i rozmnażania szkodnika. Olej z nasion miodli indyjskiej wykazuje zaś brak toksyczności w stosunku do ptaków, ssaków, pszczoł oraz takich pożytecznych drapieżców, jak biedronki i pająki. Stosuje się go w rozcieńczeniu z wodą z dodatkiem detergentu poprzez opryskiwanie powierzchni chronionych roślin. Może być również stosowany do podlewania, powtarzanego co 2-4 tygodni.

Istnieje ogromna liczba doniesień literaturowych dotyczących wysokiej skuteczności ekstraktu z *Azadirachta* w zwalczaniu szkodników. Do ciekawszych należą badania przeprowadzonych w Szwajcarii, gdzie wykazano prawie 100% skuteczność tej substancji przeciwko mszycom na jabłoni. W szczegółowych pracach prowadzonych we Włoszech stwierdzono wysoką skuteczność i selektywność oleju zawierającego tę substancję w

stosunku do przędziorka (*Tetranychus urticae*). Nie obserwowano zaś ubocznych wpływów na populacje pożytecznych roztoczy drapieżnych z rodziny Phytoseiidae.

3.1.2. Wosk pszczeli

Substancja ta wykorzystywana jest w mieszaninach z innymi substancjami w formie pasty do smarowania ran pozostających po przycinaniu i zranieniu drzew.

3.1.3. Żelatyna

Żelatyna może być wykorzystywana jako środek owadobójczy, lub składnik zwiększający lepkość innych środków owadobójczych. Znajduje ona również zastosowanie jako nośnik w innych preparatach biologicznych.

3.1.4. Hydrolizat białkowy

Substancja ta może spełniać rolę atraktanta w połączeniu z innymi odpowiednimi substancjami przeznaczonymi do stosowania w ochronie upraw ekologicznych.

3.1.5. Lecytyna

Lecytyna uzyskiwana jest z soi. Wykorzystywana jest głównie jako środek grzybobójczy do zwalczania mączniaka prawdziwego na roślinach warzywnych i ozdobnych. Stosowana jest w formie emulsji wodnej do oprysku. Ze względu na jej działanie powierzchniowe, w czasie oprysku konieczne jest dokładne pokrycie całej rośliny (również spód liści).

3.1.6. Olejki roślinne (miętowy, sosnowy, kminkowy)

Olejki roślinne charakteryzują się złożoną budową chemiczną i szeroką gamą unikalnych właściwości. W rolnictwie ekologicznym mogą one znaleźć swoje zastosowanie jako substancje odstrasżające owady i inne szkodniki, zniechęcające je do zjadania opryskanych roślin oraz w zwalczaniu niektórych chorób bakteryjnych i grzybowych.

Olejek sosnowy wykazuje silne właściwości odstrasżające dla owadów i ptaków. W przypadku śmietki cebulanki rośliny potraktowane tym środkiem unikane są przez dorosłe muchówki w okresie składania jaj. Podobne działanie odstrasżające stwierdzono dla chrząszczy słodyszka rzepakowego oraz wielu korników zasiedlających drzewa iglaste. Ponadto wykazano również dezynfekcyjne właściwości olejku sosnowego zabezpieczającego przed przenoszeniem *Erwinia amylovora* w czasie przeprowadzania cięć pielęgnacyjnych jabłoni i grusz.

Olejki kminkowy i miętowy wykazują silne właściwości bakteriobójcze. Zabiegi przeprowadzane tymi substancjami mogą prawie całkowicie zahamować rozwój bakterii i grzybów, m.in. *Agrobacterium tumefaciens*, *Erwinia carotovora* i *Rizoctonia solani* - sprawców groźnych chorób roślin uprawnych. Stwierdzono również, że olejek miętowy ogranicza kiełkowanie zarodników i rozwój grzybów wywołujących choroby fuzaryjne.

3.1.7. Pyretryny naturalne

Naturalne pyretryny uzyskiwane są z kwiatów złocienia dalmatyńskiego (*Chrysanthemum cinerariaefolium*). Posiadają one silne właściwości owadobójcze. Fizjologiczna aktywność tych substancji polega na odstrasżaniu, paraliżowaniu i zabijaniu owadów mających z nimi kontakt. Substancje te są złożonymi związkami chemicznymi i charakteryzują się bardzo szybkim działaniem. Jako insektycyd kontaktowy atakują system nerwowy owadów. Wykazują przy tym bardzo niską toksyczność w stosunku do ludzi i zwierząt stałocieplnych. W przeciwieństwie do większości insektycydów syntetycznych nie stwierdzono do tej pory całkowitego uodpornienia się żadnej populacji owadów na działanie tych substancji. Ze względu na znaczną złożoność chemiczną prezentują one szerokie spektrum aktywności przeciwko wielu grupom ważnych szkodników. Substancje te ulegają szybkiemu rozkładowi pod wpływem światła i wilgoci, dzięki czemu charakteryzują się krótką trwałością w środowisku. Posiadają również silne właściwości repelentne, co pozwala na ich wykorzystywanie w ochronie magazynowanych produktów spożywczych przed szkodnikami.

Naturalne pyretryny wykazują także zdolności podrażniające, powodując wyplaszanie owadów z ich kryjówek, co zwiększa prawdopodobieństwo ich bezpośredniego kontaktu ze stosowanym insektycydem. Bardzo ważne, a odkryte stosunkowo niedawno są właściwości powodujące osłabienie, lub całkowite wstrzymanie pobierania pokarmu przez szkodniki. Efekt ten obserwowany jest już przy bardzo niskim stężeniu środka w otoczeniu owada.

Zdecydowanie negatywną właściwością naturalnych pyretryn jest ich stosunkowo słaba selektywność w stosunku do owadów, co odnosi się również do gatunków pożytecznych, w tym pszczoł. Ponadto, niektóre gatunki owadów posiadają zdolność szybkiej detoksykacji pyretryn w swoim ciele, co znacznie obniża skuteczność stosowanych zabiegów. Szczególnie ważnymi czynnikami środowiska istotnie przyspieszającymi rozkład tych związków są wysoka temperatura i promieniowanie ultrafioletowe (UV). Konieczne więc jest prawidłowe dostosowanie pory przeprowadzania zabiegów, aby uniknąć tego typu wpływów. Dostępne w handlu preparaty oparte na naturalnych pyretrynach zawierają w swojej formulacji zwykle dodatki działające jako stabilizatory spowalniające rozkład preparatu. Pozwala to na przedłużenie okresu działania. Jednakże wykorzystywany do tej pory w większości zarejestrowanych środków pyretrynowych tlenek piperonylobutyli (piperonylobutoksyd) nie jest dopuszczony do stosowania w rolnictwie ekologicznym i dlatego również zawierające go środki zgodnie z istniejącymi przepisami, nie powinny być stosowane w uprawach ekologicznych. Obecnie podejmowane są próby zastąpienia tego związku innymi stabilizatorami.

W licznych badaniach prowadzonych na całym świecie wykazano wysoką skuteczność naturalnych pyretryn w stosunku do wielu grup szkodników. Zawierające je środki skutecznie zwalczają mszyce, szereg szkodliwych chrząszczy, rośliniarek i motyli w uprawach polowych, jak również niektóre szkodniki magazynowe.

Dostępne na polskim rynku środki oparte na naturalnych pyretrynach występują w formie koncentratu do sporządzenia emulsji wodnej (np. Spruzit 04 EC) lub w formie proszku do opylania, dostarczanej w pojemniku z dozownikiem (np. Spruzit DP) i zawierają dodatek piperonylobutoksydu. Na szkodniki mają działanie kontaktowe i żołądkowe, a przeznaczone są do zwalczania mszyc, mączlika szklarniowego, wciornastków i innych owadów szkodliwych na jabłoni, malinie, truskawce, warzywach i roślinach ozdobnych.

Środki zawierające pyretryny najlepiej stosować po wystąpieniu pierwszych koloni szkodników (np. mszyc) na roślinach. Opryskiwać dokładnie całą roślinę tak, aby była wilgotna, ale żeby nie tworzyły się ściekające krople. Nie przeprowadzać zabiegów w dni słoneczne, na rozwinięte kwiaty, jak również na młode sadzonki oraz młode liście. Pyretryny są prawie nieszkodliwe dla większości ssaków, a ich okres karencji jest bardzo krótki i wynosi zwykle 24 godziny.

W większości podręczników poświęconych rolnictwu ekologicznemu naturalne pyretryny rekomendowane są jako substancje o wysokiej skuteczności owadobójczej. Ze względu na wspomnianą wcześniej małą selektywność, ich stosowanie powinno jednak być ograniczone do przypadków niezbędnych.

3.1.8. *Quassia z gorzgli właściwej (Quassia amara)*

Kolejną, naturalną substancją wykorzystywaną w ochronie roślin jest ekstrakt z gorzgli właściwej (*Quassia amara*). Gorzklia jest drzewem występujące w Ameryce Środkowej i Południowej. Uzyskiwany z niej ekstrakt jest dla większości owadów trucizną o działaniu żołądkowym i kontaktowym. Dla człowieka jest nieszkodliwy. Jako środek pochodzenia naturalnego w rolnictwie ekologicznym dopuszczony jest w zwalczaniu wielu szkodników. Badania przeprowadzone w różnych krajach wykazały wysoką skuteczność ekstraktu z gorzgli przeciwko wielu gatunkom mszyc oraz rośliniarkom występującym na drzewach owocowych (*Hoplocampa* spp.). W wyniku opryskiwania roślin z wykorzystaniem tej substancji w stężeniu 0.05-0.5% skuteczność zabiegów osiągała 90-100% śmiertelności szkodnika w badaniach laboratoryjnych i polowych przy minimalnym poziomie uszkodzeń owoców. Ponadto, w przeprowadzonych pracach nad zwalczaniem mszycy burakowej na fasoli stwierdzono znaczne rozproszenie owadów unikających upraw traktowanych

ekstraktem z gorzgli. W Polsce do tej pory nie zarejestrowano żadnego środka ochrony roślin opartego na ekstrakcie a Quassia.

3.1.9. Rotenon

Rotenon jest naturalną substancją owadobójczą ekstrahowaną z korzeni egzotycznych roślin z rodzajów *Derris*, *Lonchocarpus* i *Tephrosia*. Oparte na nim środki stosuje się w formie pylistej o niskiej koncentracji (np. 1%), lub płynnej poprzez opryskiwanie chronionej uprawy jego wodną zawiesiną. Przez swoje działanie rotenon blokuje oddychanie wewnątrzkomórkowe. Zwalcza szeroką gamę szkodników, takich jak chrząszcze, w tym również stonkę ziemniaczaną i pchełki ziemne, gąsienice motyli, mszyce oraz wiele innych. Na świecie rotenon stosowany jest w uprawach roślin ozdobnych, warzyw, w winnicach oraz na krzewach ozdobnych i owocowych.

Z badań prowadzonych w wielu ośrodkach na świecie wynika, że w zależności od gatunku szkodnika zarówno koncentracja rotenonu w cieczy roboczej, jak i gatunek rośliny, na którą jest on stosowany może mieć istotny wpływ na skuteczność tej substancji w uprawach. Decydujący tutaj jest również precyzyjnie ustalony czas zabiegu. We Włoszech zabiegi przeprowadzane przy zastosowaniu sproszkowanego ekstraktu rotenonu w koncentracji 0,025% na 3-4 dni przed kwitnieniem grusz dały doskonałe rezultaty zwalczania owocnicy gruszowej (*Hoplocampa brevis*). Jednakże w badaniach polowych przeprowadzonych w Australii, już 0,5% koncentracja rotenonu była wskazana do skutecznego wiosenno-letniego zwalczania gąsienic tantnisia krzyżowiaczka i bielinka rzepnika na kapuście, aby zapewnić zachowanie handlowej jakości produkowanych warzyw. Istotny wpływ gatunku rośliny gospodarza na skuteczność zabiegów przeprowadzanych przy użyciu rotenonu wykazały badania nad zwalczaniem mszycy brzoskwińskiej *Myzus persicae*. Ekstrakt w koncentracji 0,39% okazał się bardzo skuteczny przeciwko mszycom występującym na sałacie. Żerując na rzodkwi szkodniki te były jednak znacznie bardziej tolerancyjne na działanie rotenonu. Również dodatek olejów roślinnych, lub parafinowych może istotnie zwiększyć skuteczność zabiegów wykonanych z użyciem tej substancji. Podobnie w mieszance z olejami roślinnymi (kukurydzianym, słonecznikowym, sezamowym, lub z orzeszków ziemnych) rotenon znacznie ograniczył liczbę składanych jaj oraz żywotność osobników dorosłych szkodników roślin strączkowych (*Callosobruchus* spp.) w produktach magazynowanych.

Należy jednak pamiętać, że rotenon jest bardzo toksyczny dla wielu ryb i innych organizmów. Nie wolno go stosować w czasie kwitnienia roślin, gdy spodziewane są naloty pszczoł. Zgodnie z naszym ustawodawstwem celowość jego zastosowania w uprawie należy wcześniej uzgodnić z upoważnioną jednostką certyfikującą. Jednakże, na polskim rynku do tej pory nie zarejestrowano żadnego środka zawierającego rotenon.

3.2. Wirusy i mikroorganizmy wykorzystywane w biologicznym zwalczaniu szkodników

Ta kategoria czynników biologicznych obejmuje wirusy i mikroorganizmy wykazujące naturalne zdolności do infekowania innych organizmów, w tym wielu ważnych szkodników roślin. Choć w przepisach unijnych wirusy występują pod wspólną nazwą grupy jako "mikroorganizmy", w rzeczywistości mikroorganizmami nie są i dla ścisłości wyrażen powinny być traktowane odrębnie. Czynniki te występują powszechnie w środowisku i często spontanicznie konkurują lub wywołują choroby i śmierć owadów oraz innych organizmów. Dzięki wysokiej skuteczności i bezpieczeństwu dla konsumenta oraz środowiska część z nich stała się obiektem masowego rozmnażania przez wyspecjalizowane firmy i obrotu handlowego. Wiele z tych organizmów może również być hodowanych metodą „domową”, lub pół-przemysłową, bezpośrednio w gospodarstwie i znaleźć swoje zastosowanie w ochronie upraw ekologicznych. Obok wirusów owadobójczych kategoria ta obejmuje także bakterie, pierwotniaki oraz grzyby owadobójcze.

3.2.1. Wirusy owadobójcze

Wirusy stanowią dużą grupę czynników chorobotwórczych owadów. Najważniejsze wśród nich są gatunki należące do rodziny Baculoviridae. Rodzina ta obejmuje gatunki o wysokiej selektywności w stosunku do swoich gospodarzy.. Ważną cechą tych wirusów jest ich niezdolność do infekowania i namnażają się w komórkach kręgowców i roślin, przez co stanowią bardzo bezpieczny dla przyszłego konsumenta i środowiska czynnik biologicznej walki ze szkodnikami roślin. Ich chorobotwórczość często ogranicza się do rodziny, rodzaju lub nawet indywidualnego gatunku owada. Najczęściej infekowane są motyle, a znacznie rzadziej błonkówki, muchówki i chrząszcze. Choroby wywoływane wśród owadów przez wirusy zauważono już w XIX wieku, jednakże praktyczne ich wykorzystanie stało się możliwe dopiero po bliższym poznaniu mechanizmu infekcji i cyklu rozwojowego poszczególnych gatunków wirusów.

Bakulowirusy są stosunkowo dużymi wirusami, zawierającymi kwas dezoksyrybonukleinowy (DNA) upakowany w pałeczkowate białkowe twory, tzw. kapsydy, które tworzą się głównie w jądrach komórek gospodarza. Kapsydy wtopione są w matriks cząstek białkowych, tworzących ciała wtrętowe. Białkowe matriks, zwane poliedryną u wirusów jądrowej poliedrozy (NPV), a granuliną u wirusów granulozy (GV), chroni je przed niekorzystnymi czynnikami środowiska i umożliwia przetrwanie poza organizmem gospodarza. Właśnie połączenie tych cech, tj. występowanie w ochraniających wtrętach oraz wysoka specyficzność - infekowanie wyłącznie stawonogów, i to tylko niektórych gatunków, czyni wirusy owadobójcze należące do rodziny Baculoviridae wartościowymi biologicznymi czynnikami o dużym znaczeniu dla praktyki ochrony roślin.

Ciała wtrętowe przenoszone z wiatrem i deszczem oraz przez niektóre drobne kręgowce i pasożytnicze bezkręgowce, pełniące rolę wektorów, mogą zachowywać aktywność w środowisku przez wiele lat i stanowić stałe źródło infekcji dla wrażliwych owadów. Zakażenie owada następuje zwykle w czasie jego żerowania na tkankach roślin, na powierzchni których znalazły się cząsteczki wirusa. Połknięte wirusy rozpuszczają się w jelicie owada, przenikają do tkanek gospodarza i w wyniku łańcuchowego zakażenia całego organizmu doprowadzają do jego śmierci. Wewnętrzne organy owada ginącego w wyniku infekcji wirusowej ulegając rozkładowi wypełniają się cząstkami nowego pokolenia wirusów i nabierają charakterystycznej, półpłynnej konsystencji. Martwy owad staje się w ten sposób rezerwuarem ogromnej ilości nowych wirusów, gromadzącym średnio 10^8 - 10^9 wtrętów gotowych do kolejnych infekcji (Miller i Ball, 1998).

Bakulowirusy występują naturalnie prawie we wszystkich populacjach owadów i często powodują spontanicznie załamanie się gradacji szkodników (Caballero i wsp., 1992). Stanowią przez to istotny element oporu środowiska w sytuacjach, gdy panujące warunki klimatyczne lub pokarmowe umożliwiają owadom nadmierny wzrost liczebności. W Polsce wyizolowano je m.in. z takich szkodników, jak rolnica zbożówka, piętnówka kapustnica, białka wierzbowka, znamionówka tarniówka, czy owocówka jabłkowieczka. Najbardziej wrażliwe na infekcje wirusowe są młode stadia larwalne owadów. Również starsze larwy mogą być zarażane, jednakże w takim przypadku proces chorobowy jest zwykle znacznie wydłużony, a osiągnięta śmiertelność szkodnika niższa. Ważną rolę w osiągnięciu wysokiej skuteczności zwalczania szkodnika odgrywa również temperatura. Ma ona istotny wpływ na szybkość rozwoju infekcji wirusowej. Temperatury poniżej 20°C zwalniają tempo namnażania się wirusów, natomiast temperatury wyższe ($25-30^{\circ}\text{C}$) istotnie przyspieszają procesy chorobowe.

Choć tego typu naturalna redukcja szkodników przez wirusy nie wymaga żadnych nakładów, jej skuteczność praktyczna jest ograniczona. Dodatkowe wprowadzenie do uprawy preparatów handlowych zawierających wirusy owadobójcze zwiększa częstotliwość infekcji i zapewnia lepszą ochronę przed szkodnikiem. W Polsce obecnie dostępne są jedynie dwa środki wirusowe Carpovirusine Super SC i Madex SC, przeznaczone do zwalczania owocówki jabłkowieczki [*Carpocapsa* (= *Cydia*) *pomonella*]. Wymienione środki zawierają specyficzne wirusy CpGV i infekują wyłącznie ten gatunek owada. Dawką zalecaną w ochronie sadów jabłoniowych jest ok. 10^{13} cząsteczek wirusa w ok. 1000 l cieczy roboczej (tj. wodnej zawiesiny wirusa) na ha. Zabieg może być wykonany standardowymi

opryskiwaczami (ciągnikowymi lub plecakowymi), jednakże niezbędne jest dokładne pokrycie cieczą roboczą powierzchni zawiązków owoców, na których składane są jaja owocówki i gdzie wgrzają się młode gąsienice. Najbardziej korzystnym terminem zastosowania tych środków jest okres bezpośrednio poprzedzający wylęganie się larw owocówki, tzw. faza "czarnej główki". Stadium to występuje ok. 10 dni po szczycie lotów motyli szkodnika. Ponieważ wylęgające się larwy szkodnika zjadają część osłonki jaja (tzw. chorionu) infekcja następuje w bardzo wczesnym stadium ich rozwoju i giną jeszcze przed wgrzieniem się do wnętrza owoców. Zwykle wykonuje się jedno opryskiwanie preparatem, lecz w przypadku przedłużających się lotów motyli zalecane jest powtórzenie zabiegu.

W ochronie sadów niezbędne jest uwzględnianie całego kompleksu szkodliwych roztoczy i owadów mających swoich licznych wrogów naturalnych. Zastosowanie przeciwko owocówce jabłkowieczonej mniej selektywnych środków, które mogą zniszczyć również pożyteczne, drapieżne roztocze (np. dobroczynek gruszkowy ograniczający populację przędziorków), czy owady (np. pluskwiaki z rodzin tasznikowatych i dziubałkowatych, złotooki i biedronki) naturalnie ograniczające liczebność, odpowiednio przędziorków i/lub mszyc oraz młodszych gąsienic motyli, może w rzeczywistości spowodować znaczne straty środowiskowe. Podstawową zaletą omawianych wirusów jest więc ich wysoka selektywność. Ponieważ nie są zdolne do infekowania innych gospodarzy, nie wywierają również wpływu na liczne, naturalnie występujące w uprawie organizmy pożyteczne (Burgess i wsp. 1980).

Preparaty wirusowe zyskują coraz większe uznanie wśród producentów roślin, szczególnie zaś w takich obszarach jak integrowana produkcja owoców oraz uprawy rolnictwa ekologicznego. Doskonale spełniają wymogi stawiane środkom przyjaznym dla środowiska. Produkuje się je obecnie i stosuje w wielu krajach na świecie. Ze względu na brak możliwości hodowli na podłożach sztucznych masowe rozmnażanie wirusów odbywa się *in vivo* w owadach. Jednakże, taka technologia znacznie przedraża koszty produkcji i w konsekwencji samych środków. Również wymogi skomplikowanych badań przedrejestracyjnych stawiane przez obowiązujące przepisy sprawiają, że wielomilionowe koszty rejestracji środków wirusowych znacznie ograniczają ich liczbę wśród oferowanych na rynku środków biologicznych. Obecnie na świecie, środkami opartymi na wirusach owadobójczych zwalczą się ok. 40 gatunków szkodliwych owadów. W Europie najważniejszym z nich jest wspomniana owocówka jabłkowieczonej oraz występujący na sośnie borecznikowiec rudy.

3.2.2. Bakterie owadobójcze

Spośród dużej grupy bakterii owadobójczych powszechnie spotykanych w przyrodzie największego znaczenia praktycznego dla ochrony roślin nabrał gatunek *Bacillus thuringiensis*. Charakterystyczną cechą tej bakterii jest wytwarzanie białkowego kryształku, zawierającego tzw. delta-endotoksynę odpowiedzialną za śmierć owada. Formą przetrwalnikową *B. thuringiensis* są zarodniki (endospory) umożliwiające jej przetrwanie nawet w niekorzystnych warunkach środowiskowych (Federici, 1999).

Kryształki endotoksyny oraz spory są zwykle podstawowymi składnikami preparatów biologicznych opartych na tej bakterii. Preparaty biologiczne zawierające różne podgatunki i izolaty *B. thuringiensis* produkowane są obecnie na całym świecie i stosowane przeciwko wielu ważnym gatunkom szkodników, głównie motyli, muchówek (m.in. komary i meszki) oraz chrząszczy. Do celów handlowych *B. thuringiensis* produkowany jest w formie proszku, lub płynnego koncentratu do sporządzania zawiesiny wodnej. Opryskuje się powierzchnię roślin przy użyciu konwencjonalnych opryskiwaczy naziemnych, lub ultradrobno kroplistej aparatury agrolotniczej.

Wspomniany kryształ jest związkiem białkowym, który musi być zaktywizowany zanim zacznie działać. W normalnych warunkach białko to wykazuje bardzo słabą rozpuszczalność, dzięki czemu jest całkowicie bezpieczne dla ludzi, zwierząt wyższych i większości owadów. Jednakże z łatwością rozpuszcza się w środowisku o charakterze zasadowym ($\text{pH} > 9,5$), takim jakie występuje w jelicie środkowym np. gąsienic motyli. Dlatego *B. thuringiensis* jest bardzo specyficznym czynnikiem zwalczania owadów. Delta-endotoksyna powoduje uszkodzenie nabłonka jelita owada i uniemożliwienie wchłaniania przez niego pokarmu. Już

po kilkunastu godzinach od momentu infekcji owad przestaje żerować. W jego ciele następuje rozwój kolejnych pokoleń bakterii, co prowadzi do śmierci w ciągu następnych kilku dni. Zaprzeszanie żerowania i opóźniona niekiedy nawet o kilka dni śmierć owada jest charakterystyczną cechą infekcji powodowanej przez *B. thuringiensis*. Uzmysłowanie tego faktu w przebiegu procesu chorobowego jest bardzo istotne dla praktyki. W pierwszych okresach praktycznego stosowania *B. thuringiensis* w ochronie roślin rolnicy przyzwyczajeni do szybkiej śmierci szkodników traktowanych środkami chemicznymi przedwcześnie uznawali zabieg wykonywany środkiem bakteryjnym za nieskuteczny i przeprowadzali dodatkowy oprysk chemiczny.

Spośród populacji *B. thuringiensis* wyizolowanych z różnych owadów-gospodarzy wyodrębniono kilka podgatunków i odmian wykazujących specyficzne zdolności owadobójcze w stosunku do poszczególnych grup taksonomicznych, jak np. gąsienic motyli (*B. thuringiensis* var. *kurstaki*), larw chrząszczy (*B. thuringiensis* var. *tenebrionis*), czy larw muchówek (*B. thuringiensis* var. *israelensis*). (Lipa i Smits, 1999). Znajdują one odrębne zastosowanie w produkcji biopreparatów przeznaczonych do zwalczania poszczególnych grup szkodników. Najczęściej stosowane w uprawach rolniczych i ogrodniczych są preparaty zawierające *B. thuringiensis* var. *kurstaki*, które wykazują bardzo wysoką skuteczność owadobójczą przeciwko gąsienicom wielu szkodliwych motyli. Preparaty zawierające *B. thuringiensis* var. *tenebrionis* wykorzystywane są zaś w zwalczaniu chrząszczy, głównie stonki ziemniaczanej w uprawach polowych.

3.2.3. Grzyby owadobójcze i konkurencyjne

Obok ogromnej, szeroko znanej grupy szkodliwych grzybów, które mogą być sprawcami groźnych chorób roślin istnieje również wiele gatunków tych organizmów wykazujących specyficzne zdolności pasożytowania na, lub w szkodliwych owadach i nicieniach. Grzybowe infekcje owadów są łatwe do rozpoznania po charakterystycznym wyglądzie chorego lub martwego osobnika. Wiele gatunków po śmierci żywiciela wytwarza grzybnie i zarodniki na zewnątrz jego ciała, pokrywając je grubym nalotem, często o charakterystycznej barwie.

Cykl rozwojowy większości grzybów owadobójczych jest podobny: stadium infekcyjnym jest zwykle zarodnik, który po dostaniu się na oskórek owada kiełkuje i wnika za pomocą strzępki kiełkowej do jego wnętrza. Ciała strzępkowe namnażają się w hemolimfie prowadząc do paraliżu owada, który po pewnym czasie zamiera. Po śmierci owada z ciał strzępkowych rozwija się obfita grzybnia strzępkowa, która przerasta przez oskórek żywiciela i na jego powierzchni daje początek trzonkom konidialnym oraz zarodnikom. Zarodniki te mogą być z łatwością przenoszone przez wiatr, wodę oraz przez owady i inne zwierzęta (Butt i wsp., 2001).

Wśród prawie 100 tys. gatunków grzybów, obecnie znanych jest prawie 800 gatunków grzybów owadobójczych, z czego około 12-15 gatunków wykorzystuje się do biologicznego zwalczania owadów - szkodników roślin. W środowisku naturalnym grzyby owadobójcze występują bardzo powszechnie i odgrywają istotną rolę poprzez spontaniczne infekcje prowadzące do ograniczania liczebności populacji wielu szkodników roślin. Dlatego, zarówno w odniesieniu do gatunków występujących naturalnie, jak i tych introdukowanych w ramach zabiegów biologicznej ochrony roślin ilość doniesień naukowych dostępnych w literaturze światowej jest ogromna. Do najbardziej rozpowszechnionych i najintensywniej badanych gatunków należą *Beauveria bassiana*, *Metarrhizium anisopliae*, *Paecilomyces farinosus*, *P. fumosoroseus* i *Verticillium lecanii*. Najpospolitszym z nich jest *B. bassiana* wywołujący chorobę zwana białą muskardyną. Grzyb ten może atakować w Polsce ponad 80 gatunków owadów. W formie biopreparatu gatunek ten stosowany jest do zwalczania stonki ziemniaczanej i pędraków chrabąszczy w warunkach polowych. Szerokie badania przeprowadzone w Szwajcarii i Austrii wykazały, że w zwalczaniu pędraków chrabąszcza majowego bardziej skuteczny jest pokrewny gatunek, *B. brongniartii*, który raz wprowadzony do gleby przez wiele lat pozostawał w środowisku istotnie ograniczając populacje tego szkodnika (Laengle i wsp. 2005).

Innym pospolitym w środowisku gatunkiem grzyba owadobójczego jest *P. fumosoroseus*. Powoduje on chorobę zwaną różową muskardyną. Obserwowano go na wielu gatunkach owadów, jak śmietka kapuściana, owocówka jabłkoweczka, brudnica nieparka, białka wierzbowka i innych. Porażony owad pokrywa się grzybnią białej lub kremowo-żółtej barwy, często również z odcieniem różowym. *P. fumosoroseus* wytwarza liczne zarodniki. W praktyce biopreparaty oparte na tym patogenie stosuje się do zwalczania szkodników szklarniowych. W Polsce został zarejestrowany środek o nazwie Preferal, który wykorzystywany jest do zwalczania mączlika szklarniowego.

Kolejnym gatunkiem, który znalazł zastosowanie w uprawach roślin pod osłonami jest *V. lecanii*. W przyrodzie występuje on pospolicie w rejonach tropikalnych. Ze względu na swoją wysoką skuteczność przeciwko mszycom, mączlikom, wciornastkom i przędziorkom wykorzystywany jest w formie preparatów handlowych w ochronie upraw szklarniowych.

Zieloną muskardynę wywołuje *M. anisopliae*. Jego charakterystyczną cechą jest zielony kolor zarodników konidialnych, wskutek czego martwe owady przybierają zielone zabarwienie. Grzyb ten często występuje w warunkach naturalnych w glebie. Obserwowano go na różnych gatunkach owadów, jak jedwabnik morwowy, omacnica prosowianka, chrabąszcz majowy, stonka ziemniaczana i innych. W wielu krajach na świecie grzyb ten wykorzystywany jest w formie biopreparatu handlowego do zwalczania szkodników glebowych, między innymi pędraków chrabąszczy i larw ryjkowców, takich jak np. pospolity szkodnik truskawki, opuchlak truskawkowiec.

W odpowiednich warunkach pogodowych, takich jak wysoka wilgotność powietrza i gleby oraz towarzysząca temu wysoka temperatura, szczególnie zaś przy ograniczeniu stosowania chemicznych fungicydów, w uprawach polowych można obserwować liczne, spontaniczne, masowe infekcje powodowane przez grzyby naturalnie występujące w środowisku. Do najczęściej spotykanych sprawców tych infekcji należą wymienione wyżej grzyby z rodzaju *Beauveria*, *Paecilomyces* i *Metarrhizium* oraz bardzo liczne gatunki z rzędu owadomorkowych (Entomophthorales). W latach 1968-1975 w wielu rejonach Europy obserwowano silne epizootcje (tj. masowe zarażenia) larw różnych gatunków błonkówek z podrzędu rośliniarek, żerujących na roślinach uprawnych, ozdobnych i leśnych. Były one powodowane przez grzyb *Entomophaga tenthredinis*. Na zbożach prawie corocznie występuje masowe porażanie mszyc przez *E. thaxteriana* i *Zoophthora aphidis*. Zwykle do 30% populacji mszyc zbożowych zostaje spontanicznie zainfekowanych tymi grzybami. *Entomophthora grylli* często występuje na szarańczakowatych (Acrididae) i świerszczowatych (Gryllidae). Obserwowano również epizootcje powodowane przez tę grupę grzybów w populacjach innych ważnych szkodników, m.in. kuprówki rudnicy, tantnisia krzyżowiaczka, miodówki jabłoniowej, bielinka rzepnika i muchy domowej.

Większość z wymienionych wyżej grzybów, poza owadomorkami, może odbywać pełen cykl rozwojowy na podłożach sztucznych, dzięki czemu opracowano efektywne metody ich masowego rozmnażania na różnego typu materiałach roślinnych. Przemysłowa produkcja biopreparatów grzybowych prowadzona jest na świecie przez wiele wyspecjalizowanych form. Poszczególne gatunki i szczepy grzybów owadobójczych i nicieniobójczych oferowane są pod różnymi nazwami handlowymi. Jednakże, ponieważ wszystkie zawierają żywe mikroorganizmy, które są bardzo wrażliwe na działanie temperatury i wilgotności powietrza wymagają odpowiedniego traktowania zarówno w czasie przechowywania, jak stosowania. Preparaty grzybowe zwykle działają kontaktowo i muszą znaleźć się na powierzchni owada, aby skiełkować i przeniknąć do wnętrza jego ciała, a po kilku dniach doprowadzić do jego śmierci. Wymagają do tego odpowiedniego mikroklimatu o stosunkowo wysokiej wilgotności i temperaturze. Dlatego w praktyce ochrony roślin w Polsce biopreparaty grzybowe stosowane są głównie w uprawach szklarniach, choć na świecie istnieje również wiele doniesień o ich wysokiej skuteczności w warunkach polowych. Dla tego celu niezbędne jest jednak lepsze dopracowanie metod aplikacji, co powinno stać się ważnym przedmiotem badań inżynierii rolniczej. W odniesieniu do szkodników występujących na liściach lub owocach stosowanie środków grzybowych ogranicza się do opryskania ich powierzchni zawiesiną zarodników przy wykorzystaniu standardowych opryskiwaczy naziemnych lub plecakowych oraz zapewnienie kiełkującym zarodnikom odpowiedniej wilgotności i temperatury. Niezbędne jest

jednak dostosowanie filtrów i wielkości dyszy aparatu, aby resztki strzępek grzyba pozostających po procesie produkcji zarodników na zapychały otworów wylotowych. Ponieważ grzyby wykazują tylko minimalne zdolności przemieszczania się w glebie ich zastosowanie w tym środowisku wymaga jednak bardziej złożonych zabiegów. Pewnym rozwiązaniem jest opryskanie powierzchni gleby i przemieszczanie jej poprzez podorywkę lub orkę głęboką. Takie zabiegi nie zawsze jednak są możliwe. Dlatego, w literaturze pojawiają się informacje o wprowadzaniu zarodników w formie zawiesiny lub na odpowiednim nośniku (np. przerośnięte grzybnią ziarniaki zbóż) bezpośrednio do głębszych warstw gleby punktowo lub pasowo w wycięte specjalnymi ostrzami rowki, lub dołki. Obecnie dostępne metody takiej aplikacji są jednak nadal dalekie od doskonałości i wymagają dalszych udoskonaleń, aby swoja skutecznością zabiegi przeprowadzane środkami grzybowymi mogły konkurować z innymi zabiegami

Drugim ważnym czynnikiem ograniczającym powszechność stosowania grzybów owadobójczych w praktyce ochrony roślin są wysokie wymagania stawiane im oraz zawierającym je środkom w ramach badań przedrejestracyjnych. Ponieważ zakłada się, że poszczególne gatunki i szczepy tych grzybów wyróżniają się produkcją innych, specyficznych toksyn działających na owady, przed zarejestrowaniem takich środków niezbędne jest przeprowadzenie ścisłych i bardzo kosztownych badań toksykologicznych i ekotoksykologicznych potwierdzających ich bezpieczeństwo. W takim przypadku koszty badań jednego szczepu mogą przekroczyć sumę kilku milionów euro. Ponieważ środki biologiczne zwykle produkowane są przez małe firmy, wiele z nich nie może pozwolić sobie na takie nakłady i wycofuje często bardzo skuteczne produkty z rynku (np. ostatnio środki zawierające *Beauveria brongniartii*). Te zagadnienia stały się przedmiotem szerokiej dyskusji w ramach Unii Europejskiej. Ważniejsze rekomendacje dotyczące możliwych rozwiązań, a mające na celu szersze wykorzystanie praktyczne tej wartościowej grupy mikroorganizmów, zostały opracowane w ramach międzynarodowego programu REBECA (2006-2007) i opublikowane m.in. na stronie internetowej <http://www.rebeca-net.de/>.

Pomimo wymienionych trudności technicznych i legislacyjnych grzybów owadobójczych produkowanych w formie preparatów handlowych, nie do przecenienia jest rola ich naturalnych populacji wywołujących spontaniczne infekcje, a często nawet masowe epizooty owadów w środowisku. Biorą przez to istotny udział w naturalnym procesie regulacji populacji szkodników w środowiskach rolniczych i leśnych (Bałazy, 2004; Marjańska-Cichoń i wsp., 2005)

Odrębną grupę stanowią pasożytnicze grzyby z rodzajów *Paecilomyces*, *Pochonia*, *Cylindrocarpon* i innych, które infekujące nicienie glebowe i ich jaja. W zależności od warunków środowiskowych (m.in. wilgotności i zawartości składników organicznych w glebie itp.) mogą one istotnie ograniczać populacje szkodliwych nicieni z rodzajów *Heterodera*, *Meloidogyne* i wielu innych w uprawach polowych i pod osłonami (Sosnowska, 1996; 2003).

3.2.4. Pasożytnicze pierwotniaki (Organizmy te nie są wymieniane w rozporządzeniach unijnych jako czynniki wykorzystywane w ochronie roślin)

Owadobójcze pierwotniaki są jednokomórkowymi organizmami zwierzęcymi wykazującymi zdolność aktywnego przemieszczania się w poszukiwaniu owada-gospodarza lub wykorzystujące wyspecjalizowane drogi przenoszenia przez inne organizmy (tzw. wektory) w procesie jego infekowania. Spośród ponad 15 000 znanych gatunków pierwotniaków około 1200 związanych jest z owadami i innymi stawonogami. Duża część z tej grupy korzysta z owadów jedynie jako środka transportu w procesie opanowywania nowych środowisk i źródeł pokarmu, nie wywierając większego negatywnego wpływu na ich żywotność. Jednakże wyspecjalizowane gatunki pasożytnicze żyjące w niektórych organach i tkankach owadów mogą wywoływać procesy chorobowe i śmierć gospodarza. Pasożytnicze gatunki występujące naturalnie w środowisku wykazano wśród pierwotniaków należących do różnych grup taksonomicznych, m.in. wiciowców i korzenionózek (*Sarcomastigophora*), gregaryn, schizogregaryn, kokcydiów (*Apicomplexa*), mikrosporydiów (*Microspora*), haplosporydiów (*Haplosporidia*) i orzęsków (*Ciliophora*) (Lipa i Smits, 1999). Chociaż

wszystkie z nich mogą powodować zamieranie owadów to jednak badania nad ich wykorzystaniem w biologicznym zwalczaniu szkodników dotyczą tylko Microspora i Neogregarinida. Przedstawiciele obydwu grup rozwijają się wewnątrz komórek, zarażają i niszczą różne tkanki żywicieli. Rozmnażają się płciowo i bezpłciowo wytwarzając ogromne ilości zarodników, które uwalniane z odchodami lub z ciała martwego żywiciela łatwo zakażają zdrowych żywicieli. Pasożyty te często przenoszą się przez jaja z pokolenia na pokolenie i wskutek tego mogą być przyczyną dużej śmiertelności owadów w warunkach naturalnych. Omawiane organizmy wykazują wysoką specyficzność, zarażając zwykle pojedyncze gatunki, lub ich niewielkie, spokrewnione grupy.

Jednakże, ze względu na to, że pierwotniaki są obligatoryjnymi pasożytami nie można ich hodować na sztucznych pożywkach. Wymagają insektaryjnej, często długookresowej hodowli w swoich żywicielach. To obecnie znacznie ogranicza możliwość ich szerszego wykorzystania w praktyce ochrony roślin. Z tego też względu do tej pory udało się zarejestrować (w USA) tylko jeden biopreparat oparty na pasożytniczych pierwotniakach z rodzaju *Nosema*. Jest on przeznaczony do zwalczania szarańczaków. Należy jednak pamiętać, że naturalne populacje tych organizmów występują powszechnie w środowisku i spontanicznie infekując masowo rozmnażające się owady odgrywają istotną rolę w regulacji występowania wielu szkodników roślin.

3.3. Substancje produkowane przez mikroorganizmy

Spośród substancji należących do tej grupy obecnie jedynie spinosad został dopuszczony do stosowania w rolnictwie ekologicznym. Substancja ta powstaje w wyniku procesów fermentacyjnych przy udziale promieniowców *Saccharopolyspora spinosa* i pod względem chemicznym należy do grupy makrocyclicznych laktonów. W skład spinosadu wchodzi dwa związki - spinosyn A i spinosyn D. W stosunku do rośliny substancje te wykazują działanie wgłębne, a jej działanie owadobójcze ma charakter kontaktowy i żołądkowy. W końcowym efekcie blokuje funkcjonowanie systemu nerwowego powodując paraliż szkodnika.

Środki zawierające spinosad wykazują wysoką skuteczność w stosunku do gąsienic szeregu szkodliwych motyli z rodziny sówkowatych (Noctuidae) i zwójkowatych (Tortricidae), chrząszczy stonkowatych (Chrysomelidae), wciornastków (Thysanoptera) oraz niektórych muchówek (Diptera). Dotychczasowe badania wskazują, że spinosad jest stosunkowo selektywnym środkiem, bezpiecznym dla większości zwierząt, w tym dla pożytecznych - pasożytniczych i drapieżnych owadów. Ulega on również szybkiemu rozkładowi w środowisku w wyniku działania promieniowania słonecznego. Na listę substancji dopuszczonych do stosowania w rolnictwie ekologicznym spinosad został wprowadzony dopiero niedawno, w roku 2008. Prawdopodobnie w związku z nadal niepełną znajomością jego właściwości w unijnych rekomendacjach dla rolnictwa ekologicznego nadal obowiązuje zastrzeżenie, że można go stosować wyłącznie w przypadku podjęcia działań służących zminimalizowaniu ryzyka dla głównych parazytoidów oraz zminimalizowaniu ryzyka polegającego na zwiększeniu odporności zwalczanych szkodników. Wobec podjęcia w Europie, w tym również w Polsce (Kowalska, 2009) szeregu projektów badawczych nad właściwościami i przydatnością spinosadu w ochronie roślin można przypuszczać, że już w najbliższych latach substancja ta znajdzie szersze zastosowanie w ochronie upraw ekologicznych.

3.4. Makroorganizmy wykorzystywane w biologicznym zwalczaniu szkodników

Do tej kategorii należą organizmy wielokomórkowe o stosunkowo dużych rozmiarach ciała, charakteryzujące się pasożytniczym lub drapieżnym trybem życia. Grupa ta obejmuje nicienie owadobójcze, drapieżne roztocze oraz drapieżne i pasożytnicze owady. W przeciwieństwie do omówionych wyżej pożytecznych wirusów i mikroorganizmów, makroorganizmy nie mieszczą się w unijnej definicji substancji i środka ochrony roślin, w wyniku czego nie podlegają unijnym regulacjom prawnym. Jednakże, w ponad połowie państw europejskich zawierające je środki biologiczne zostały objęte przepisami rejestracyjnymi dotyczącymi środków ochrony roślin. W Polsce makroorganizmy były

rejestrowane do roku 2004, gdy po wstąpieniu do Unii Europejskiej nasz kraj wycofał się z dotychczasowych przepisów i całkowicie uwolnił od jakichkolwiek regulacji import oraz stosowanie makroorganizmów w formie handlowych biopreparatów przeznaczonych do ochrony roślin. Sytuacja ta budzi szereg zastrzeżeń środowiskowych.

Wiele pożytecznych makroorganizmów występuje również naturalnie w środowisku rolniczym. Choć bezpośrednie sterowanie ich populacjami jest niemożliwe, zwiększenie ich liczebności oraz płynących z tego korzyści może być dokonane pośrednio, poprzez odpowiednie kształtowanie krajobrazu gospodarstwa i panujących w nim warunków.

3.4.1. Nicienie owadobójcze

Wśród nicieni naturalnie występujących w środowisku glebowym i podkorowym istnieje grupa pasożytów, których aktywność może prowadzić do sterylizacji, ogólnego osłabienia, lub śmierci wielu gatunków owadów, w tym również szeregu istotnych szkodników roślin. W środowisku rolniczym najczęściej występują gatunki z rodzin Mermithidae, Allantonematidae, Sphaerularidae, Tetradonematidae, Steinernematidae i Heterorhabditidae. Spotkać je można w glebie i niekiedy w martwych owadach. Dzięki wysokiej skuteczności owadobójczej niektóre gatunki z dwóch ostatnich rodzin Steinernematidae i Heterorhabditidae znalazły w ostatnich latach szersze zastosowanie w praktyce ochrony roślin. Organizmy te są całkowicie bezpieczne dla środowiska, mają zdolność aktywnego odszukiwania, infekowania i szybkiego zabijania owada-gospodarza oraz charakteryzują się wysokim potencjałem reprodukcyjnym. Wytwarzają również stadium przetrwalnikowe (tzw. larwę infekcyjną) pozwalającą na dłuższe przebywanie poza ciałem gospodarza i tym samym przechowywanie w formie preparatu biologicznego. Czynnikiem decydującym o ich szerszym wprowadzeniu do praktyki stał się notowany od początku lat 80-ych dynamiczny rozwój metod przemysłowej hodowli na podłożach sztucznych. Obecnie środki biologiczne zawierające nicienie z rodzajów *Steinernema* i *Heterorhabditis* produkowane są na szeroką skalę przez wiele firm na świecie, a dzięki ściślejszej współpracy Instytutu Ochrony Roślin w Poznaniu z Przedsiębiorstwem Ogrodniczym "Owiplant" w Owińskach koło Poznania od 1994 roku środek taki produkowany jest również w Polsce.

Tak, jak u większości nicieni rozwój Steinernematidae i Heterorhabditidae obejmuje stadium jaja, cztery stadia larwalne oraz postaci dorosłe. Przeważająca część cyklu rozwojowego przebiega w ciele owada-gospodarza. Jedynym stadium, które może żyć swobodnie w środowisku glebowym, przetrwać długi okres przechowywania, aktywnie odszukiwać owada-gospodarza w glebie, wnikać do jego jamy ciała oraz w krótkim czasie przyczynić się do jego śmierci jest trzecie stadium larwalne, zwane larwą infekcyjną. Stadium to stało się również głównym składnikiem biopreparatów handlowych. Dzięki znacznej odporności na działanie czynników środowiskowych larwa infekcyjna może zachowywać żywotność w środowisku glebowym przez wiele miesięcy. Po wprowadzeniu na powierzchnię gleby przy użyciu standardowych opryskiwaczy naziemnych (ciągnikowe, plecakowe) lub podlewanie, zawarte w zawiesinie wodnej larwy aktywnie wnikają do głębszych warstw w poszukiwaniu owada-gospodarza. W tym okresie nie pobierają pokarmu i wykorzystują jedynie zapasy zgromadzone w czasie wcześniejszego rozwoju. Dzięki zdolności rozpoznawania sygnałów chemicznych larwa infekcyjna nicienia reaguje na obecność szkodnika podążając w kierunku wydzielanych przez niego związków, takich jak CO₂ inne, bardziej specyficzne. Aktywna penetracja do jamy ciała owada odbywa się głównie poprzez naturalne otwory, tj. gębowy, odbytowy lub przetchlinki. U gatunków z rodzaju *Heterorhabditis* stwierdzano również penetrację przez miękkie oskórek larwy gospodarza. Charakterystyczną cechą nicieni z rodzajów *Heterorhabditis* i *Steinernema* jest ich ścisły, mutualistyczny związek z bakteriami, odpowiednio z rodzajów *Photorhabdus* i *Xenorhabdus*. Bakterie przenoszone są w przewodzie pokarmowym larwy inwazyjnej nicienia i uwalniane bezpośrednio po jej wnikięciu do jamy ciała owada. Tam ulegają bardzo szybkiemu rozmnożeniu, stając się równocześnie pokarmem nowego pokolenia nicieni. Właśnie produkowane przez bakterie toksyny oraz enzymy powodujące szybki rozkład tkanek są rzeczywistą przyczyną śmierci opanowanego owada, która może nastąpić już w ciągu 10 – 40 godzin od momentu infekcji. Sam nicień jest zaś głównie organizmem przenoszącym

bakterie w środowisku glebowym (tzw. wektorem) i wprowadzającym je do nowego gospodarza. Bakterie rozmnażające się na tkankach martwego owada stanowią podstawowe pożywienie rozwijającej się populacji nicienia. W zależności od wielkości opanowanego owada w jego ciele może rozwinąć się od 1 - 3 pokoleń nicienia. Proces ten trwa od 7 do 18 dni w temperaturze około 20°C i kończy się wytworzeniem od około 1 tys. (np. w ciele larwy ziemiorzki) do prawie 200 tys. (w ciele gąsienicy średniej wielkości motyla) larw infekcyjnych nowego pokolenia, mogących natychmiast atakować kolejne owady. Opisany mutualistyczny układ nicieni – bakteria stanowi doskonały samoreprodukujący się system, pozwalający utrzymywać populację szkodnika na zadowalająco niskim poziomie. Nicienie te występują również często naturalnie w glebie. Można je spotkać średnio w ok. 30% prób glebowych pobieranych z różnych środowisk. Praktycznie występują prawie na każdym polu. Częściej w glebach piaszczystych i próchnicznych, niż w gliniastych (Gaugler, 2001)

Omawiane nicienie mogą infekować bardzo wiele gatunków owadów z różnych grup taksonomicznych. Jednakże, do tej pory najszerze zastosowanie znalazły w ochronie upraw o stosunkowo wysokiej wartości, jak na przykład w zwalczaniu muchówek ziemiorzkatych w uprawach szklarniowych i pieczarkarniach, ryjkowców korzeniowych (głównie opuchlak truskawkowiec) w szklarniach, szkółkach drzew ozdobnych i na plantacjach truskawek oraz w ograniczaniu pędraków na trawnikach miejskich, polach golfowych i w szkółkach leśnych (Grewal i wsp. 2005). Badania prowadzone w ostatnich latach w Zakładzie Biologicznych Metod i Kwarantanny Instytutu Ochrony Roślin w Poznaniu wykazały, że organizmy te z powodzeniem mogą być wykorzystywane również w zwalczaniu szeregu szkodników drzew owocowych i parkowych, odbywających swoje przepoczwarczenie w glebie, takich jak miernikowce zimowe (m. in. piędzik przedzimek i siwierak) (Tomalak, 2003), szereg chrząszczy stonkowatych (m.in. susówka dębowa, hurmak olszowy, pchełki i szarynki) (Tomalak, 2004) oraz błonkówki z podrzędu rośliniarników (m.in. owocnice żółtoroga i brzęczak porzeczkiowiec, obnażacz) (Tomalak, 2006). W tych przypadkach niezbędne jest zastosowanie nicieni pod okapem drzew lub krzewów bezpośrednio przed okresem schodzenia larw szkodnika do gleby.

Ponieważ gleba jest naturalnym środowiskiem występowania omawianych nicieni i do panujących w niej warunków są najlepiej przystosowane, tam też najczęściej są wykorzystywane i osiągają najwyższą skuteczność. Jednakże, dzięki włączeniu do formulacji handlowych specjalnych substancji żelujących i wydłużeniu przez to okresu wysychania cieczy roboczej, w ostatnich latach rozszerzono zakres wykorzystania nicieni owadobójczych na liście i inne organy roślin, gdzie np. sprawdzają się również w zwalczaniu larw wciornastka zachodniego.

Obecnie w zależności o gatunku szkodnika i środowiska jego występowania zalecane dawki wahają się w granicach 0,25-0,50x10⁶ larw infekcyjnych na m² powierzchni gleby, a w przypadku uprawy pieczarki 10⁶ larw na m². Przy prawidłowym zastosowaniu można osiągnąć bardzo wysoką (do 95%) skuteczność bezpośrednią oraz podobną długoterminową, gdyż zastosowane nicienie są zdolne do rozmnażania się w ciele zabitego owada, przez co ich populacja może zachować aktywność nawet przez kilka lat.

3.4.2. Drapieżne roztocze

Charakterystyczną cechą drapieżników jest zabijanie w ciągu ich życia więcej niż jednej ofiary. W przeważającej ilości przypadków jeden drapieżnik może zabić dziesiątki, lub nawet setki ofiar. Dzięki temu, w naturalnym środowisku przyrodniczym drapieżne roztocze, stanowiące grupę bardzo rozpowszechnionych organizmów, pomimo swoich niewielkich rozmiarów (zwykle poniżej 1 mm) spełniają istotną rolę w regulacji liczebności wielu, masowo rozmnażających się szkodników. Część z nich znalazła również praktyczne zastosowanie w ochronie sadów oraz jako handlowe środki biologiczne przeznaczone do ochrony upraw szklarniowych. Najważniejszymi z tej grupy są dobroczynek szklarniowy (*Phytoseiulus persimilis*), *Amblyseius cucumeris*, *A. californicus* i *Hypoaspis aculifer* stosowane w uprawach pod osłonami oraz dobroczynek gruszowy (*Typhlodromus pyri*) stosowany w uprawach sadowniczych (van Lenteren, 2003). Drapieżny tryb życia prowadzą zarówno larwy, jak i osobniki dorosłe, które aktywnie poszukują ofiar (jaja i larwy przedziorków,

wciornastków i muchówek ziemiórkowatych) na roślinach lub w glebie, a następnie je wysysają. W optymalnych warunkach środowiska ich pełen rozwój traw zaledwie 4 - 6 dni. Roztocze te wykazują znaczną specyficzność w wyborze swoich ofiar (np. *P. persimilis* atakuje wyłącznie przedziorki), lub mogą atakować równocześnie kilka gatunków szkodników z różnych grup (np. *A. cucumeris* atakuje zarówno wciornastki, jak i przedziorki). Dorosłe osobniki *P. persimilis* zjadają dziennie około 30 jaj, lub 20 form ruchomych przedziorków. W tym samym czasie *A. cucumeris* zjada 4-6 larw wciornastków. Dzięki ogromnemu potencjałowi rozrodczemu i dużej aktywności organizmy te włączono na stałe do programów ochrony upraw przed przedziorkami i wciornastkami. Ścisłe wymagania środowiskowe (wysoka temperatura i wilgotność powietrza) ograniczają jednak zwykle zakres ich stosowania do upraw warzyw i roślin ozdobnych pod osłonami. Tylko nieliczne gatunki znalazły swoje zastosowanie w uprawach polowych. Z tej grupy dużego znaczenia praktycznego w Polsce nabral *T. pyri* występujący na drzewach owocowych (Solomon i wsp., 2000). Dzięki swojej wysokiej skuteczności w zwalczaniu przedziorków został on włączony do ochrony sadów w systemie integrowanej produkcji owoców.

3.4.3. Drapieżne owady

Odrębną grupę wśród pożytecznych organizmów drapieżnych stanowią owady. Dzięki swojej powszechności w środowisku, dużej aktywności i ogromnej żarłoczności trudno jest przecenić ich rolę w ograniczaniu populacji wielu mniejszych szkodników z gromady owadów i pajęczaków. Spośród nich najlepiej poznane gatunki drapieżne należą do rzędu pluskwiaków różnoskrzydłych (Heteroptera), siatkoskrzydłych (Neuroptera), skorków (Dermaptera), ważek (Odonata), chrząszczy (Coleoptera) i muchówek (Diptera). U większości tych grup drapieżny tryb życia mogą prowadzić zarówno larwy, jak i osobniki dorosłe, lub tylko jedno z tych stadiów (Tomalak i Sosnowska, 2008). Spośród najczęściej spotykanych drapieżnych chrząszczy największe znaczenie mają naturalnie występujące w uprawach biegaczowate i biedronkowate. Drapieżny tryb życia prowadzą zarówno ich larwy, jak i osobniki dorosłe. Pierwsze z nich zjadają ogromne ilości różnorodnych szkodników (m.in. gąsienic motyli oraz larw chrząszczy i błonkówek) przebywających okresowo w glebie, na jej powierzchni oraz na roślinach uprawnych. Biedronkowate atakują głównie mszyce. Najbardziej powszechna biedronka siedmiokropka i dwukropka są skutecznymi drapieżcami wielu gatunków mszyc występujących w uprawach rolniczych i sadowniczych. Szereg gatunków biedronek (m. in. *Adalia bipunctata*, *Stethorus punctillum*, *Cryptolaemus montrouzieri*) wykorzystywanych jest również w formie handlowych środków przeznaczonych do biologicznego zwalczania mszyc i przedziorków w uprawach szklarniowych (Hussey i Scopes, 1985; van Lenteren, 2003).

Na szczególną uwagę zasługuje również duża grupa drapieżnych pluskwiaków. Wśród nich największe praktyczne znaczenie w biologicznym ograniczaniu populacji szkodników odgrywają drobne, wielkości ok. 3-4 mm dziubałki (*Anthocoris* spp.) i dziubałeczki (*Orius* spp.) licznie występujące w koronach drzew. Odżywiają się one przedziorkami i miodówkami. Gatunki *Orius levigatus* i *O. insidiosus* znalazły szerokie zastosowanie są w biologicznym zwalczaniu wciornastków w uprawach szklarniowych. W uprawach szklarniowych bardzo skuteczny przeciwko mączlikom okazał się również *Macrolophus caliginosus*. Jest on powszechnie wykorzystywany w programach biologicznej ochrony pomidora i ogórka. Również w warunkach polowych wiele naturalnie występujących gatunków pluskwiaków atakuje i w znacznym stopniu ogranicza liczebność gąsienic motyli i chrząszczy (Solomon i wsp., 2000).

Ważnymi sprzymierzeńcami rolników są skorki. Choć często są one kojarzone z drobnymi uszkodzeniami owoców i należą one do bardzo pożytecznych owadów odżywiających się mszycami oraz jajami i mniejszymi larwami wielu szkodników (Solomon i wsp., 2000).

Bardzo pospolitymi gatunkami w środowiskach rolniczych, leśnych oraz w sadach są złotooki, należące do rzędu sieciarek. Drapieżny tryb życia prowadzą tylko ich larwy, które atakują mszyce i jaja innych owadów. Jedna larwa trzeciego stadium rozwojowego może zjadać średnio 400 mszyc lub 200 jaj stonki ziemniaczanej. Osobniki dorosłe żerują na

kwiatach i spadzi wydzielanej przez mszyce. Złotooki wykorzystywane są również niekiedy w ochronie upraw szklarniowych przed mszycami.

Grupą o dużym znaczeniu w środowisku rolniczym są muchówki z rodziny bzygowatych (Syrphidae). Ich larwy zjadają ogromne ilości mszyc, powodując często całkowitą likwidację ich kolonii. W czasie swojego rozwoju jedna larwa bzygowatych może zniszczyć od 100 do 700 osobników mszyc. Praktyczne znaczenie w biologicznej ochronie upraw szklarniowych mają również inne muchówki, m.in. niektóre gatunki z rodziny przyszczarkowatych (Cecidomyiidae). W zwalczaniu mszyc w uprawach szklarniowych powszechnie wykorzystywany jest przyszczarek mszycojad (*Aphidoletes aphidimyza*), a w zwalczaniu przedziorków *Therodiplosis persicae*.

3.4.4. Pasożytnicze owady

Owady pasożytnicze, bardziej prawidłowo nazywane parazytoidami, stanowią ogromną grupę, liczącą w Polsce około 8-9 tys. gatunków. Biorą one udział w naturalnym ograniczaniu liczebności różnych bezkręgowców, w tym również szkodliwych owadów. Grupa ta obejmuje gatunki należące w przeważającej części do rzędów błonkoskrzydłych (Hymenoptera) i dwuskrzydłych (Diptera). Owady te występują powszechnie w środowisku rolniczym i leśnym. Pasożytami są tylko larwy, natomiast osobniki dorosłe odżywiają się nektarem i pyłkiem kwiatów, spadzią, lub sokami wyciekającymi ze zranionych drzew. Niektóre gatunki odżywiają się również hemolimfą żywicieli, wyciekającą z ran spowodowanych przegryzieniem, lub przebicciem pokładelką oskórka. Pasożyty tej grupy dzielą się na zewnętrzne (ektopasożyty), gdzie larwa pozostaje na powierzchni gospodarza odżywiając się poprzez otwór w jego oskórku, oraz wewnętrzne (endopasożyty), u których larwa rozwija się w ciele swojego gospodarza. Śmierć gospodarza następuje zwykle po zakończeniu rozwoju larwalnego pasożyta.

W rzędzie błonkoskrzydłych najważniejsze gatunków pasożytów, które znalazły swoje miejsce w biologicznym zwalczaniu szkodników należą do rodzin gąsienicznikowatych (Ichneumonidae), męszelkowatych (Braconidae) i bleskotkowatych (Chalcididae). W naturalnych środowiskach rolniczych i leśnych owady te są często przyczyną nawet 70-80% redukcji populacji swoich ofiar. W dostępnej literaturze naukowej istnieje wiele informacji dotyczących możliwości wykorzystania owadów tej grupy w biologicznym zwalczaniu szkodników. Szczególnie interesujące w uprawach ekologicznych jest wykorzystanie kruszynka (*Trichogramma evanescens*) w zwalczaniu omacnicy prosowianki w uprawie kukurydzy. Jest to jeden z najmniejszych owadów pasożytniczych. Jego wielkość wynosi 0,4 - 0,8 mm. Składa swoje jaja do jaj innych owadów, najczęściej z grupy motyli, gdzie następnie rozwija się nowe pokolenie pasożyta. Dla celów biologicznego zwalczania na skalę handlową kruszynka rozmnaża się w jajach innego szkodnika - młnika mącznego. Porażone przez pasożyta (czarne) jaja tego owada, w handlowym środku biologicznym naklejane na tekturowe kartoniki krótko przed oblotem omacnicy prosowianki zawieszane są na chronionych roślinach kukurydzy w odstępach ok. 15 m. Wychodzące błonkówki odszukują złoża jaj szkodnika i składają do nich swoje jaja. Należy zastosować ok. 150 tys. kruszynek na ha uprawy. Wykłada się je w trzech partiach, w odstępach 7-10 dni. Zgodnie istniejącymi danymi literaturowymi skuteczność takiego zwalczania może wynosić do 95%. Jednakże, w badaniach przeprowadzonych w ekologicznych uprawach kukurydzy w południowo-wschodniej Polsce, skuteczność ta w różnych latach wynosiła tylko 39 i 55% (Bereś, 2008)

W zwalczaniu bawełnicy korówki w szkółkach i młodych nasadzeniach jabłoni wysoką skuteczność wykazuje osiec korówkowy (*Aphelinus mali*). Pasożyt ten został sprowadzony do Europy na początku XX wieku. Obecnie występuje on naturalnie w sadach wraz z bawełnicą. Jego skuteczność można zwiększać poprzez przenoszenie gałęzi ze spasożytowaną bawełnicą korówką na zaatakowane drzewa pozbawione tego pasożyta.

Do tej pory pasożytnicze błonkówki najszersze zastosowanie znalazły w biologicznej ochronie upraw szklarniowych. W ograniczaniu populacji mączlików już od ponad 40 lat wykorzystywana jest dobrotnica szklarniowa (*Encarsia formosa*). Błonkówka ta o wielkości ok. 1-1,5 mm składa jaja do larw gospodarza, gdzie następuje jej cały dalszy rozwój.

Szkodnik ginie już po kilku dniach od momentu infekcji. Przy odpowiednio wczesnym wprowadzeniu pasożyta populacje mączlika utrzymywane są na ekonomicznie zadawalającym poziomie przez cały okres uprawy. W czasie lata, gdy panują wyższe temperatury bardziej skutecznym okazał się inny gatunek *Eretmocerus eremicus*. W praktyce jest on często stosowany łącznie z *E. formosa*. Również w uprawach szklarniowych wykorzystywane są gatunki mszycarzy z rodzaju *Aphidius*, rozwijające się w mszycach. Po śmierci gospodarza mszycarz przepoczwarza się w jego ciele tworząc charakterystyczną, beżową mumię. W ostatnich latach szczególnego znaczenia nabrały szkody powodowane przez miniarki atakujące szklarniowe uprawy warzyw i roślin ozdobnych. Bardzo dobre wyniki w zwalczaniu tych szkodników osiąga się stosując pasożytnicze błonkówki *Dacnusa sibirica*, *Diglyphus isaea* (Hussey i Scopes, 1985).

Powszechną w środowisku rolniczym i bardzo zróżnicowaną gatunkowo grupą parazytoidów owadów są muchówki rączykowate (Tachinidae). Dorosłe owady (niektóre podobne do muchy domowej) pobierają wyłącznie płynny pokarm, taki jak nektar kwiatowy, spadź, soki wyciekające z drzew i inne. Samice rączyk składają jaja na ciele innych owadów, lub w ich pobliżu. Młode larwy wnikają do ciała gospodarza i tam rozwijając się stopniowo prowadzą do wyniszczenia jego ciała. Krótko przed, lub po śmierci gospodarza przechodzą do gleby, gdzie następuje przepoczwarzenie. Ich ofiarami padają gąsienice licznych gatunków motyli, chrabąszcze, i wiele innych szkodliwych owadów. Część gatunków tej grupy może rozwijać kilka pokoleń w sezonie wegetacyjnym.

4. Ogólne zasady i metody stosowania czynników biologicznych w ochronie roślin

Czynniki biologiczne są specyficzną i bardzo zróżnicowaną grupą żywych organizmów i substancji pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, wykorzystywanych w praktyce ochrony roślin. Udział żywych organizmów powoduje, że zasady postępowania z nimi w czasie transportu i stosowania wymagają szczególnej uwagi. Organizmy te są bardzo wrażliwe na zbyt wysokie (zwykle powyżej 30°C) i zbyt niskie (poniżej 1°C) temperatury i wysychanie. Zwykle nie przeżywają zamarzania. Należy pamiętać, że nawet w idealnych warunkach żywotność tych organizmów jest stosunkowo krótka, najczęściej od kilku do kilkunastu dni w przypadku entomofagów i od jednego miesiąca do 1-2 lat w przypadku nicieni, grzybów, wirusów i bakterii owadobójczych. Dlatego zarówno warunki w czasie transportu i przechowywania, jak i długość okresu przechowywania mogą mieć istotny wpływ na wyniki stosowania czynników biologicznych. Większość organizmów wykorzystywanych w środkach biologicznych wykazuje bardzo wysoką specyficzną w stosunku do zwalczanego szkodnika. Dlatego niezbędna jest precyzyjna identyfikacja szkodnika i odpowiedni wybór jego najbardziej wrażliwego stadium rozwojowego. Większość czynników biologicznych podlega tym samym wpływom co inne żywe organizmy. Dlatego równoczesne stosowanie różnych zabiegów w uprawie musi być dobrze przemyślane i skorelowane, aby któryś z zastosowanych środków nie oddziaływał negatywnie na wprowadzone czynniki biologiczne. Z pewnością nie trzeba przypominać, że w przypadku stosowania insektycydów kontaktowych pasożytnicze i drapieżne owady podlegają takiemu samemu zagrożeniu jak zwalczane szkodniki. Również większość grzybów owadobójczych wykazuje wrażliwość na działanie fungicydów stosowanych w ochronie roślin przed chorobami, nicienie owadobójcze mogą być dziesiątkowane przez pożyteczne, drapieżne roztocze (np. *Hypoaspis* spp.), itp. Ponadto, należy pamiętać, że czynniki biologiczne dostarczane są do odbiorcy w najbardziej optymalnej formie i opakowaniu. Środek przygotowany do użycia w formie cieczy roboczej powinien być wykorzystany możliwie jak najprędzej. Przechowywanie przygotowanej zawiesiny przez kilka godzin, czy dni może w wyniku wysokiego ciśnienia hydrostatycznego i/lub osmotycznego doprowadzić do zabicia żywych organizmów lub ich dezaktywacji. Zawartość raz otwartego opakowania staje się również podatna na przesuszenie i dezaktywację. Dlatego żywe organizmy należy zawsze zamawiać w takiej ilości, jaka jest aktualnie potrzebna i jaką można wykorzystać w czasie zalecanym przez producenta. Przechowywanie środków biologicznych zawsze stwarza pewne ryzyko dla ich późniejszej skuteczności.

Metody stosowania czynników biologicznych w ochronie roślin uzależnione są od ich formulacji. Wszystkie środki oparte na substancjach pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, substancjach produkowanych przez mikroorganizmy oraz na wirusach i bakteriach dostępne są w formie proszku do opylania dostarczanego w opakowaniu z dozownikiem, lub skoncentrowanych zawiesin i roztworów do dalszego rozcieńczenia oraz stosowania przy wykorzystaniu standardowych opryskiwaczy ciągnikowych lub plecakowych. Zużycie cieczy roboczej może być wtedy znaczne, od 300 do 1000 l na ha. Część środków bakteryjnych opartych na *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (Foray 04UL; Thuricide 02 UL; Ekotech Pro 075 OF) w ultra niskobjętościowej formulacji ULV przystosowanych jest do stosowania sprzętem agrolotniczym. Objętość cieczy roboczej wynosi wtedy 1-4 l/ha. Sytuacja bardziej się komplikuje, w przypadku pozostałych środków, gdy wykorzystywane w nich organizmy mają zbyt duże rozmiary, aby można je zastosować przy użyciu standardowych opryskiwaczy (nicień owadobójcze, część środków grzybowych) i/lub ich tryb życia nie pozwala na aplikację w formie zawiesiny lub roztworu (entomofagi, tj. pasożytnicze owady oraz drapieżne owady i roztocze). Wtedy niezbędne jest wprowadzenie modyfikacji sprzętu, lub opracowanie całkowicie odmiennych sposobów stosowania - uwalniania czynników biologicznych do uprawy. W przypadku pierwszej grupy (nicień i grzyby owadobójcze) zwykle konieczne jest usunięcie wszelkich drobnych sit w opryskiwaczach oraz zastosowanie dyszy o odpowiednio dużym otworze, aby przypadkowe fragmenty strzępek, lub agregacje larw infekcyjnych nicieni i zastosowanego nośnika mineralnego nie blokowały przepływu cieczy roboczej. Ponadto, należy uwzględnić fakt, że środki biologiczne zawierające żywe organizmy nigdy nie tworzą roztworu, a jedynie zawiesinę. W zależności od wielkości użytych organizmów szybkość osiadania tej zawiesiny jest także różna. W przypadku stosunkowo dużych nicieni owadobójczych (ok. 1 mm długości) czas osiadania może być bardzo krótki i wynosić zaledwie kilka minut. Niezbędne więc jest stałe mieszanie zawiesiny. Stosowanie opryskiwaczy z włączonym mieszadłem stanowi podstawowy warunek prawidłowego przeprowadzenia zabiegu. W praktyce pieczarkarskiej nicień można również zastosować poprzez polewanie powierzchni podłoża, czego ze względów ekonomicznych dokonuje się niekiedy w czasie rutynowego podlewania uprawy. Dawka wody może wtedy wynosić ok. 1 l/m² powierzchni uprawy. Optymalne warunki do wysokiej aktywności larwy infekcyjne nicieni znajdują jednak w podłożu wilgotnym, nie zaś mokrym. W mokrym podłożu infekcje prawie nie zachodzą. Dlatego ważne jest, aby w sytuacji, gdy występuje konieczność szybkiego ograniczenia populacji szkodnika (tutaj ziemiórek) stosować nicień przy możliwie niskim (lecz wystarczającym dla uprawy) poziomie wilgotności podłoża. Łączenie tego zabiegu z rutynowym podlewaniem może zaś istotnie opóźnić efekt zwalczania. W uprawach szklarniowych z kropelkowym zasilaniem/nawadnianiem podłoża producenci również starając się uprościć pracę wprowadzają niekiedy zawiesinę nicieni przez system kapilar. Jeśli system ten współpracuje z bardzo wydajnymi pompami i środek może być dostarczony do rośliny w ciągu zaledwie kilku minut takie rozwiązanie może być skuteczne. Jednakże, przy raczej powolnym przemieszczaniu się cieczy roboczej w systemie kapilar, większość nicieni z zawiesiny osadza się w obniżeniach przewodów i nie dociera do rośliny. Skuteczność zabiegu przy takiej technice stosowania jest zwykle bardzo słaba.

Znaczenie bardziej zróżnicowane są metody stosowania entomofagów. Prawie dla każdej grupy tych organizmów producenci proponują odrębne metody stosowania. Większość owadów i roztoczy z tej grupy jest zdolna do samodzielnego, szybkiego przemieszczania się w obrębie rośliny lub nawet większej powierzchni. Dlatego w ich przypadku wprowadzanie do uprawy ma zwykle charakter punktowy, powtarzany co kilkadziesiąt centymetrów do kilku metrów. Może to być ręczne, seryjne rozsypywanie drapieżnych roztoczy lub owadów wraz z nośnikiem, w którym zostały umieszczone przez producenta. Obecnie stosuje się do tego celu otręby pszenne, lub drobno zmielony vermikulit. Określona ilość nośnika (np. 1/2 łyżeczki) wysypywana jest na powierzchnię liści z założeniem, że znajdujące się w nim organizmy samodzielnie rozejdą się po całej roślinie w poszukiwaniu ofiary. Sposób ten nie wymaga zastosowania specjalistycznego sprzętu, choć jego mechanizacja mogłaby poprawić precyzję i skrócić czas wykonywania zabiegu.

Najczęściej zawartość niewielkich, 200-1000 ml pojemników wysypywana jest bezpośrednio na roślinę przez specjalny otwór-dozownik. Metoda ta stosowana jest powszechnie do wprowadzania do uprawy drapieżnych roztoczy *Pytoseiulus persimilis*, *Ambluseius* spp. oraz pluskwiaków *Macrolophus* spp i *Orius* spp. Pewnym udoskonaleniem tej metody jest wprowadzanie drapieżnych roztoczy w zawieszanych torebkach, zawierających również otręby pszenne i żerujące na nich inne roztocze (np. rozkruszki), które służą jako pokarm dla roztoczy drapieżnych. Poprzez niewielkie otwory część tych ostatnich stopniowo wychodzi na roślinę i tam zaczyna poszukiwanie szkodników, które ostatecznie chcemy zwalczać. Taka metoda aplikacji zapewnia dłuższe działanie zastosowanych czynników biologicznych oraz pozwala na utrzymanie rezerwuaru drapieżnych roztoczy przez okresy czasowe, gdy na roślinach brakuje szkodników - potencjalnych ofiar dla drapieżcy. Drapieżne muchówki przyszczarkowate o bardzo delikatnej budowie ciała osobników dorosłych (np. *Aphidoletes aphidimyza* i *Feltiella acarisuga*), które mogłyby zginąć w trakcie transportu wprowadzane są do uprawy w stadium zamkniętej w kokonie poczwarki. Kokony *F. acarisuga* przyklejone do kartoników umieszcza się w niewielkich pojemnikach w zacienionym miejscu w uprawie. Po przepoczwarczeniu dorosłe osobniki stopniowo opuszczają pojemnik i samodzielnie odszukują kolonie przedziorków. Podobną zasadę przyjęto przy wprowadzaniu *A. aphidimyza*, gdzie zakupione kokony z poczwarkami drapieżcy dostarczane są w zmielonym vermikulicie. Dojrzewające owady po kopulacji opuszczają pojemnik z wilgotnym vermikulitem i przelatują na sąsiadujące uprawy, gdzie rozpoczynają składanie jaj w koloniach mszyc.

Dla wprowadzania do uprawy pasożytniczych owadów wykorzystywane są nieco inne metody. Najprostszą formą jest seryjne uwalnianie (rozsypanie) na liście chronionych roślin pojedynczych osobników dorosłych lub niewielkich ich grup bezpośrednio z pojemników, w którym zakupiono te organizmy. Ponieważ owady te są zdolne do lotu, w krótkim czasie równomiernie zasiedlają całą uprawę. Po odszukaniu potencjalnego gospodarza (szkodnika) składają jaja w jego bezpośrednim sąsiedztwie lub do wnętrza jego ciała. Tak stosuje się większe gatunki, m.in. pasożyty miniarek (*Dacnusa sibirica*, *Diglyphus isae*) i mszyc (*Aphidius* spp.). Jednakże, ze względu na mikroskopijne rozmiary niektórych parazytoidów i krótki okres życia ich osobników dorosłych, transport oraz podobna procedura uwalniania mogłaby znacznie obniżyć ich żywotność. Dlatego, w ich przypadku, wprowadzanie do uprawy odbywa się w stadium poczwarki tak, aby wychodzący owad dorosły mógł natychmiast przystąpić do poszukiwania przyszłego gospodarza. W tym celu spasożytowane w hodowli producenta osobniki gospodarza (dorosłe owady, poczwarki lub jaja) przykleja się na niewielkie kartoniki i zawiesza na pędach lub ogonkach liściowych chronionych roślin. Po przepoczwarczeniu parazytoid natychmiast rozpoczyna poszukiwanie gospodarza (szkodnika) i składanie jaj. W ten sposób uwalnia się do uprawy dobrotnicę szklarniową (*Encarsia formosa*) i *Eretmocerus eremicus*, stosowane przeciwko mączlikom oraz kruszynki (*Trichogramma* spp.), pasożytujące w jajach wielu szkodliwych motyli, a w rolnictwie ekologicznym wykorzystywane w zwalczaniu omacnicy prosowianki na kukurydzy. Inną formą takiego uwalniania parazytoidów są tzw. aphibanki i ervibanki, tj. mini hodowle zbóż opanowanych przez mszyce zbożowe, które zostały wcześniej spasożytowane przez mszycarza *Aphidius colemani* lub *A. ervi*. Dojrzewające w tej mini hodowli parazytoidy stopniowo przelatują na sąsiadujące rośliny chronionej uprawy i pasożytują odnajdywane tam mszyce innych gatunków.

W tym krótkim przeglądzie wymieniono tylko kilka przykładów najczęściej wykorzystywanych metod stosowania - wprowadzania czynników biologicznych do uprawy. Bardziej szczegółowe przedstawienie tego zagadnienia jest przedmiotem odrębnego opracowania. Podsumowanie to pozwala jednak zwrócić uwagę na specyfikę zagadnienia stosowania środków biologicznych, wynikającą z ogromnej różnorodności cech biologicznych i wymagań wykorzystywanych w nich organizmów pożytecznych i substancji. Obserwowane w literaturze oraz w praktyce ochrony roślin coraz to nowe rozwiązania w tym zakresie wskazują, że większość dotychczasowych metod nie jest doskonała i praktyka wymaga dalszych zmian. Zagadnienia te mogą więc stać się ciekawym wyzwaniem dla inżynierii rolniczej.

5. Kształtowanie krajobrazu rolniczego jako podstawowa metoda zwiększania udziału czynników biologicznych w uprawach ekologicznych

Jedną z podstawowych zasad rolnictwa ekologicznego jest zachowanie możliwie dużej bioróżnorodności w obrębie gospodarstwa. Stosunkowo niewielkie powierzchnie zróżnicowanych gatunkowo upraw stanowią punkt wyjścia do realizacji tej zasady. W przeciwieństwie do wielkoobszarowych monokultur, gdzie nagromadzenie jednolitego pokarmu promuje nadmierny rozwój populacji pojedynczych gatunków wyspecjalizowanych agrofagów, które szybko dominują środowisko i aby uratować plony wymagają radykalnej interwencji ze strony rolnika, w niewielkich, zróżnicowanych uprawach ekologicznych takie masowe namnażanie pojedynczych gatunków agrofagów zwykle nie następuje. Jest to wynikiem naturalnego oporu środowiska, na co składa się m. in. aktywność wielu, naturalnie występujących tam patogenicznych, pasożytniczych, drapieżnych i w inny sposób antagonistycznych organizmów. Większość nich charakterystryk oraz sposobów funkcjonowania w środowisku, w ogólnym zarysie przedstawione została już wcześniej. Tutaj warto zastanowić się, jakie działania można podejmować, aby zwiększyć skuteczność tego systemu i uczynić uprawy ekologiczne możliwie w jak najmniejszym stopniu zależne od negatywnych wpływów agrofagów i oraz późniejszych zabiegów interwencyjnych.

Do najczęściej przytaczanych przykładów zwiększania skuteczności wrogów naturalnych szkodników rolniczych należy rozmieszczanie skrzynek lęgowych dla ptaków owadożernych lub wbijanie tyczek na polach dla ptaków drapieżnych, polujących na gryzonię. Jednakże, czynniki środowiskowe powinny być rozpatrywane kompleksowo tak, aby uwzględnić możliwie wszystkie relacje pomiędzy nimi. Idealnym rozwiązaniem w takiej sytuacji jest, gdy gospodarstwo ekologiczne zostało zlokalizowane w krajobrazie o dużej bioróżnorodności, obfitującym w porośnięte krzewami miedze, kępy drzew, pasy wiatrochronne oraz małe zbiorniki lub ciek wodne. Tak sielankowy obraz spotyka się jednak stosunkowo rzadko, gdyż warunki ekonomiczne zmuszają rolnika do przeznaczania jak największej części gospodarstwa na cele bezpośredniej produkcji. Niezbędne jest wtedy wprowadzenie przynajmniej drobnych uzupełnień, aby urozmaicić krajobraz gospodarstwa. Jednym z takich działań jest wprowadzenie zadrzewień i zakrzewień śródpolnych. Wieloletnie doświadczenia prowadzone w okolicach stacji badawczej Instytutu Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Turwi wykazały, że krzewy i zadrzewienia śródpolne bardzo korzystnie oddziałują na zdrowotność przyległych plantacji roślin uprawnych. Żyjące w nich pożyteczne organizmy (parazytoidy i drapieżcy) migrują na sąsiadujące pola i redukują liczebność występujących tam agrofagów. W takim mozaikowym krajobrazie istotnie zwiększa się bioróżnorodność i liczebność różnych grup owadów w porównaniu z uproszczonym krajobrazem polowym (Ryszkowski i Bałazy, 1998). Nasadzenia śródpolne stwarzają również korzystne warunki zimowania dla pożytecznych owadów.

Wykorzystanie pozytywnego wpływu różnorodności gatunkowej dla celów ochrony roślin może mieć również miejsce w obrębie indywidualnej uprawy. W praktyce polega to na prowadzeniu uprawy współrzędnej kilku gatunków roślin. Uprawy takie powstają wskutek równoczesnego wysiania lub wysadzenia dwóch lub więcej odpowiednio dobranych gatunków. W licznych badaniach wykazano, że na plantacjach mieszanych rośliny były znacznie słabiej opanowane i uszkodzane przez agrofagi niż, gdy rosły one w monokulturze. Równocześnie stwierdzano znacznie liczniejsze występowanie drapieżnych muchówek i chrząszczy oraz pasożytniczych błonkówek, które ograniczały występowanie szkodników.

Dla osobników dorosłych wielu gatunków drapieżnych muchówek bzygowatych, złotooków, biedronek i roztoczy oraz pasożytniczych błonkówek z rodzin gąsienicznikowatych, męczelkowatych i bleskotokowatych niezbędnymi elementami diety są cukry i białka roślinne obficie występujące w nektarze i pyłku kwiatów. Dlatego nie koszone miedze oraz obrzeża dróg polnych i kęp zadrzewień z kwitnącymi przez cały sezon wegetacyjny roślinami stanowią atrakcyjne środowisko, do którego owady te przylatują po pokarm, a następnie przenoszą się na sąsiadujące pola w poszukiwaniu szkodników - potencjalnych ofiar i gospodarzy dla swojego potomstwa. Środowiska takie, często zwane refugiami można tworzyć okresowo, w dowolnym miejscu poprzez wysiewanie obok uprawy głównej również gatunków produkujących dużą ilość nektaru i pyłku. Poprzez zwabianie

organizmów pożytecznych w sąsiedztwo roślin chronionych, tworzenie takich środowisk pozwala osiągnąć ograniczenie zarówno liczebności występujących szkodników, jak i konieczność stosowania insektycydów. Zagadnienia te bardziej szczegółowo zostały omówione w opracowaniu zbiorowym pod redakcją P. Barbosa (1998), gdzie autorzy przedstawili wielokierunkowość relacji zachodzących w obrębie gospodarstwa, pomiędzy pożytecznymi organizmami i różnymi elementami środowiska.

Innym, korzystnym rozwiązaniem jest dodatkowe wprowadzanie w gospodarstwie roślin, które mają zdolność biochemicznej supresji szkodników. Niektóre rośliny wydzielają poprzez korzenie, lub organy nadziemne substancje chemiczne, które osłabiają rozwój, lub odstraszały szkodniki, chroniąc w ten sposób rośliny sąsiadujące. Dobrym przykładem takiej rośliny są aksamitki (*Tagetes* spp.), które uwalniają thiopen – substancję odstraszającą nicienie. Dzięki temu stają się doskonałą rośliną sąsiadującą dla wielu upraw ogrodniczych. Podobnych interakcji biochemicznych pomiędzy różnymi gatunkami roślin i agrofagami jest znacznie więcej. W zamieszczonej tabeli 3 przedstawione zostały najczęściej podawane w literaturze i poradach dla działkowców przykłady odstraszającego działania niektórych roślin na szkodniki. Obserwacje te często jednak oparte są na jednostkowych przypadkach i nie zawsze, w każdych warunkach środowiskowych stwierdzona skuteczność jest porównywalna. Zastosowanie tych roślin w sąsiedztwie upraw może więc przyczynić się do obniżenia nasilenia szkód, lecz rzeczywisty poziom tej ochrony uzależniony będzie od konkretnych warunków środowiskowych.

Tabela 3. Wykaz pospolitych roślin, u których stwierdzono zdolność odstraszania szkodników (*Tomalak i wsp., 2004, na podstawie różnych źródeł*)

Szkodniki	Rośliny odstraszające
Bielinek kapustnik	Bylica piołun
Bielinek rzepnik	Hyzop lekarski
Drutowce	Gorczyca biała, gryka
Króliki	Aksamitki, nasturcja, nikandra
Mączliki i miodówki	Aksamitki, czosnek, szczypiorek
Mszyce i mrówki	Anyż, czosnek, kolendra siewna, mięta pieprzowa, nasturcja, petunia zwyczajna, szczypiorek, wrotycz pospolity
Myszy	Cebula i pokrewne Mięta pieprzowa
Nicienie	Aksamitki, dalia ogrodowa, nagietek lekarski, szparagi
Pchełki na krzyżowych	Bylica piołun, koćmiętka właściwa, pomidor wysadzany między kapustnymi, mięta pieprzowa
Pędraki	Bylica piołun, cebula, pelargonie, petunia zwyczajna
Piętnówka kapustnica	Mięta pieprzowa, pomidor, rozmaryn lekarski, seler, szalwia, tymianek
Połyśnica marchwianka	Bylica piołun, kolendra siewna, kozibród pospolity, rozmaryn lekarski, szalwia
Rolnice	Wrotycz pospolity
Skoczki	Pelargonie, petunia zwyczajna
Stonka ziemniaczana	Chrzan pospolity, fasola zwykła, len
Ślimaki	Bylica piołun

6. Podsumowanie

Ze względu na specyficzne wymagania dotyczące środków i metod wykorzystywanych w procesie produkcji, rolnictwo ekologiczne stwarza szczególne warunki dla ochrony roślin. Całkowite wyeliminowanie substancji wytworzonych na drodze przemysłowej syntezy chemicznej, które obecnie stanowią podstawę większości nowoczesnych środków ochrony roślin, znacznie ogranicza możliwości rolnika w przypadku konieczności podejmowania działań interwencyjnych, gdy nadmierny rozwój populacji szkodnika zagraża plonom. Odpowiedni wybór siedliska i przygotowanie agrotechniczne pola, prawidłowy dobór gatunków i uprawianych odmian, oraz podejmowanie działań zapewniających zachowanie możliwie szerokiej bioróżnorodności w obrębie gospodarstwa mają na celu stworzenie optymalnych warunków rozwoju uprawianych roślin, a poprzez zachowanie względnej równowagi w środowisku niedopuszczenie populacji szkodników i patogenów do nadmiernego rozwoju. Jednakże, szereg czynników środowiskowych znajdujących się poza kontrolą rolnika może zniweczyć tę równowagę i doprowadzić do znacznych strat w plonach danego sezonu wegetacyjnego i często również kolejnych. Niezbędne jest więc znalezienie rozwiązań pozwalających skutecznie interweniować w sytuacji zagrażającej uprawom, przy równoczesnym zachowaniu wszelkich zasad przyjętych w rolnictwie ekologicznym.

Poprzez pełną spójność z wymogami rolnictwa ekologicznego, metody biologiczne z obecnie dostępnym i stale rozwijanym arsenalem środków mogą w tym procesie odegrać istotną rolę. Znajomość warunków skutecznego działania czynników biologicznych, zarówno tych, występujących naturalnie w środowisku rolniczym, jak i pozostałych, sztucznie wprowadzanych do uprawy w formie środków biologicznych, może pomóc odtworzyć zachwianą równowagę i dostarczyć rozwiązań w sytuacjach konieczności zabiegu interwencyjnego. Dalsze doskonalenie gatunków i szczepów wykorzystywanych organizmów pożytecznych oraz metod ich produkcji i stosowania jest głównym wyzwaniem dla przyszłych badań. Wspólny udział w tym procesie specjalistów z zakresu biologii i ekologii patogenicznych, pasożytniczych i drapieżnych organizmów oraz agroinżynierii rolniczej może zaś dostarczyć rozwiązań, które pozwolą na pełne wykorzystanie ich potencjału owadobójczego poprzez produkcję i stosowanie z użyciem optymalnych metod. Wierzymy, że przedstawione informacje staną się materiałem wyjściowym do dalszej dyskusji i bliższej współpracy w zakresie doskonalenia metod produkcji i stosowania czynników biologicznych w ochronie upraw ekologicznych.

7. Literatura

- Bałazy, S. 2004. Znaczenie obszarów chronionych dla zachowania zasobów grzybów entomopatogenicznych. *Kosmos* 53(1), 5-16.
- Barbosa, P. (red.). 1988. *Conservation Biological Control*. Academic Press. 396 pp.
- Bereś, P.K. 2008. Efekty biologicznego zwalczania omacnicy prosowianki (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) w południowo-wschodniej Polsce. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin* 48 (4), 1281-1284
- Bigler, F., Babendreier, D., Kuhlmann, U. (red.). 2006. *Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods*. CABI Publishing, Wallingford, Wielka Brytania, 299 pp.
- Bigler, F., Bale, J., Cock, M., Dreyer, H., GreatRex, R., Kuhlman, U., Loomans, A., van Lenteren, J. 2005. Guideline on information requirements for import and release of invertebrate biological control agents in European countries. *Biocontrol news and information* 26, 115N-123N.
- Burges, H.D., Croizer, G., Huber, J. 1980. A review of safety tests on baculoviruses. *Entomophaga* 25(4), 329-340.
- Butt T.M., Jackson, C. W. & Magan, N. (red.). 2001. *Fungi as Biocontrol Agents, Progress, Problems and Potential*. CAB International, Wallingford, Wielka Brytania, 390 pp.

- Gaugler, R. (red.). 2001. Entomopathogenic Nematology. CABI Publishing, Wallingford, Wielka Brytania, 402 pp.
- Grewal, P.S., Ehlers, R-U., Shapiro-Ilan, D.I. (red.) 2005. Nematodes as biocontrol agents. CABI Publishing, Wallingford, Wielka Brytania, 505 pp.
- Hussey, N.W., Scopes, N. (red.). 1985. Biological Pest Control. The Glasshouse Experience. Blandford Press, Poole-Dorset. 240 pp.
- Federici, B.A. 1999. *Bacillus thuringiensis* in biological control. W: Handbook of Biological Control. Principles and Applications (red. Bellows, T.S., Fisher, T.W.). Academic Press.
- Kowalska, J. 2007. Zastosowanie azadyrachtyny do ograniczania szkodliwości stonki ziemniaczanej. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 52(3), 78-81.
- Kowalska, J. 2009. Spinosad effectively controls Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) in organic potato. *Acta Agriculturae Scandinavica. W druku*.
- Laengle, T., Pernfuss, B., Seger, C. & Strasser H. 2005. Field efficacy evaluation of *Beauveria brongniartii* against *Melolontha melolontha* L. in potato cultures. *Sydowia* 57 (1), 54-93.
- van Lenteren, J.C. 2003. Commercial availability of biological control agents. W: Quality Control and Production of Biological Agents. Theory and Testing Procedures (red. van Lenteren, J.C.). CABI Publishing, Wallingford, Wielka Brytania, 327 pp.
- Lipa J.J. 2003. Ochrona roślin w rolnictwie ekologicznym – możliwości a potrzeby. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin* 43 (1), 231-241.
- Lipa, J.J., Smits, P. 1999. Microbial control of pests in greenhouses. W: Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops (red. Albajes, R., Gullino, L.M., van Lenteren, J., Elad Y.). Kluwer Academic Press. 295-309.
- Mackauer, M., Ehler, L.E., Roland, J. 1990. Critical Issues in Biological Control. Intercept, Andover, Hants, 330 pp.
- Marjańska-Cichoń, B., Miętkiewski, R., Sapięha-Waszkiewicz, A. 2005. Występowanie i skład gatunkowy grzybów owadobójczych w glebach z sadów jabłoniowych. *Acta Agrobotanica* 58(1), 113-124.
- Miller, L.K., Ball, L.A. (red.) 1998. The Insect Viruses. Plenum Press, New York. 413 pp.
- Neuerburg, W., Padel, S. i inni. 1994, Rolnictwo ekologiczne w praktyce. (Przekład W. Fortuna). *Stowarzyszenie Ekoland. Stiftung Leben & Umwelt, Warszawa*, 316 pp.
- Płuciennik, Z., Olszak, R.W. 2007. Zwalczanie owocówki jabłkóweczki w jabłoniowych sadach ekologicznych. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin* 47(4), 298-301.
- Ryszkowski, L., Bałazy, S. 1998. Kształtowanie Środowiska Rolniczego na Przykładzie Parku Krajobrazowego im. Gen. D. Chłapowskiego. ZBŚRiL PAN, Poznan, 54 pp.
- Siebeneicher, G.E. 1997. Podręcznik rolnictwa ekologicznego. (Tłumaczenie zbiorowe pod redakcją Ostrowska, D.) Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 523 pp.
- Solomon, M.G., Cross, J.V., Fitzgerald, J.D., Campbell, C.A.M., Jolly, R.L., Olszak, R.W., Niemczyk, E. Vogt, H. 2000. Biocontrol of Pests of Apples and Pears in Northern and Central Europe - 3. Predators. *Biocontrol Science and Technology* 10(2), 91-128.
- Sołtysiak, U. (red.). 1993. Rolnictwo ekologiczne od teorii do praktyki. Stowarzyszenie Ekoland. Stiftung Leben & Umwelt, Warszawa, 255 pp.

- Sosnowska, D. 1996. Fungi occurring on sugarbeet nematode (*Heterodera schachtii* Schmidt) in Wielkopolska region. *W: Insect Pathogens and Insect Parasitic Nematodes* (red. Smits, P.H). IOBC WPRS Bulletin 19 (9), 204-207.
- Sosnowska, D. 2003. Możliwości zastosowania *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare et Gams oraz *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson w biologicznym zwalczaniu mątwika burakowego (*Heterodera schachtii* Schmidt) i guzaków korzeniowych (*Meloidogyne* spp.) *Rozprawy Naukowe IOR, zeszyt 9: 95 pp.*
- Tomalak, M. 2003. Biocontrol potential of entomopathogenic nematodes against winter moths (*Operophtera brumata* and *O. fagata*) (Lepidoptera: Geometridae) infesting urban trees. *Biocontrol Science and Technology* 13, 517-527.
- Tomalak, M. 2004. Infectivity of entomopathogenic nematodes to soil-dwelling developmental stages of tree leaf beetles *Altica quercetorum* Foudr. and *Agelastica alni* L. (Coleoptera: Chrysomelidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 110, 125-133.
- Tomalak, M. 2005. Rolnictwo ekologiczne nowym wyzwaniem dla biologicznych metod ochrony roślin. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin* 45(1), 496-504.
- Tomalak, M. 2006. Potencjał nicieni owadobójczych w biologicznym zwalczaniu szkodliwych błonkówek atakujących drzewa owocowe i parkowe. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin* 46(1), 249-255
- Tomalak, M., Lipa, J. J., Krawczyk, R., Korbas, M. 2004. Uwarunkowania stosowania środków ochrony roślin w rolnictwie ekologicznym. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Krajowe Centrum Rolnictwa Ekologicznego Radom. 112 pp.
- Tomalak, M, Sosnowska, D. (red.). 2008. Organizmy Pożyteczne w Środowisku Rolniczym. Instytut Ochrony Roślin - Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu, Totem, Inowrocław, 95 pp.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Rozwój potencjału innowacyjnego członków Sieci Naukowej „Agroinżynieria dla rozwoju zrównoważonego rolnictwa, przemysłu rolno-spożywczego i obszarów wiejskich”

Nr umowy: **UDA-POKL.04.02.00-00-014/08-00** z dn. 16.10.2008