

Jerzy R. Warchalewski¹, Justyna Gralik¹, Jan Nawrot²

¹ Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

² Instytut Ochrony Roślin w Poznaniu

Możliwości zmniejszania powodowanych przez szkodniki owadzie strat magazynowanego ziarna zbóż

Słowa kluczowe: szkodniki owadzie, magazynowane ziarno zbóż, integrowane metody ograniczenia strat, chemiczne, fizyczne, biologiczne

Ziarno zbóż jest głównym produktem spożywczym człowieka niezależnie od strefy klimatycznej na kuli ziemskiej. Pokrywa ono wraz z nasionami roślin strączkowych około 80% zapotrzebowania energetycznego ludzi i zwierząt. W produkcji zbóż podstawowe znaczenie ma uzyskanie wysokiego plonu, technolog zaś głównie zwraca uwagę na jakość ziarna oraz przydatność do produkcji określonego wyrobu. Roczna produkcja zbóż w skali światowej wynosi około 2 mld ton, z czego połowa wymaga magazynowania. Zanieczyszczenie owadami ziarna, jego półproduktów i produktów finalnych powoduje nie tylko poważne pogorszenie jakości technologicznej surowca i wyrobów gotowych, ale również znaczne straty ekonomiczne [29]. Szkodniki, zjadając magazynowane ziarno i jego produkty, powodują ich zanieczyszczenie wydalinami, trupami oraz kałem owadów i roztoczy. Pociąga to za sobą pogorszenie warunków składowania na skutek zawilgocenia i zagrzewania się ziarna [10]. Dodatkowo istnieje realne ryzyko zainfekowania magazynowanych produktów przez mikroorganizmy przenoszone na ciele szkodników oraz te, które występują w ich kale.

Szkody ponoszone w okresie długotrwałego magazynowania produktów rolniczych są olbrzymie, stąd konieczność ciągłej walki ze szkodnikami magazynowymi [11]. Ocenia się, że straty przechowywanych produktów rolniczych w skali światowej stanowią taką ilość żywności, która wystarczyłaby do wyżywienia 130 mln ludzi [10]. Oczywiście straty są bardzo zróżnicowane w zależności od kraju, np. 9% w USA. W krajach o klimacie gorącym, gdzie rozwój szkodników przebiega szybciej i wzrost ich liczebności jest gwałtowny, straty są większe i dochodzą do 30% [16]. Tylko ta ilość ziarna, która co roku ulega zniszczeniom w krajach Afryki, wystarczyłaby do wyżywienia 55 milionów ludzi [22]. Jeden z najgroźniejszych szkodników europejskich,

wołek zbożowy, w Polsce niszczy corocznie około 5% magazynowanego ziarna, a w Niemczech 2% [10].

Szkodniki występujące w naszych magazynach można podzielić na dwie grupy: szkodniki pierwotne i wtórne [9,16]. Do szkodników pierwotnych zalicza się wołki, skośnika zbożowiaczka i strąkowce, które są zdolne do zaatakowania ziarna zbóż i nasion innych roślin. Ich larwy wgryzają się do nasion i tam przechodzą cały rozwój. Uszkodzone nasiona są następnie zasiedlane przez szkodniki wtórne, takie jak trojszyki, spichrzelnik surynamski, ukrytek mauretański, rozkruszki. Uszkodzone ziarno jest też chętnie atakowane przez gąsienice mklików i omacnicy spichrzanki. Nie każdy gatunek owada znaleziony w magazynie jest szkodnikiem, jednak większość z nich to groźne szkodniki magazynowe, które są zdolne obniżyć znacznie jakość przechowywanych produktów. Dlatego ważne jest określenie gatunku owada, jaki występuje w magazynie [9].

W warunkach Polski najgroźniejszym szkodnikiem dla całego ziarna jest wołek zbożowy (*Sitophilus granarius* L.), a dla ziarna uszkodzonego lub jego produktów są trojszyk ulec (*Tribolium confusum* Duv.) oraz mklik mączny (*Ephestia kuehniella* Zell.).

Wołek zbożowy i trojszyk ulec należą do owadów o wysokiej specyficzności żerowania na ziarnie zbóż i jego przetworach, w których dominującym składnikiem odżywczym jest skrobia [29]. Natomiast mklik mączny charakteryzuje się znacznie mniejszą specyficznością żerowania i obok zbóż może również żerować na produktach o wysokiej zawartości białka [13]. Zwyczaje żywieniowe tych owadów rzutują na ich system enzymów trawiennych. Zarówno wołka zbożowego, jak i trojszyka ulca charakteryzuje bardzo wysoki stosunek α -amylaz do proteaz w przeciwieństwie do mklika mącznego [2].

Poszukując skutecznych metod zwalczania szkodników w magazynach, integracja metod może okazać się bardzo skuteczna, uwzględniając uprawę odmian zbóż o wysokiej jakości technologicznej i podwyższonej odporności na szkodniki w metodzie biologicznej w połączeniu z metodą fizyczną, głównie poprzez stosowanie promieniowania gamma i mikrofal, oraz metodą chemiczną, w której stosowanie środków chemicznych ograniczono do niezbędnego minimum [6, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 29, 31].

Metody chemiczne

Powszechnie stosowaną metodą zwalczania szkodników magazynowanego ziarna jest fumigacja przy użyciu związków chemicznych aktywnych w formie gazowej. Spośród wielu fumigantów stosowanych do tej pory najwięcej zużywa się bromku metylu i fosforowodoru [16]. Zgodnie z postanowieniami Protokołu Montrealskiego z 1985 roku, bromek metylu, jako jeden z czynników rozkładających warstwę ozonową Ziemi, musi być do 2005 r. wycofany z użycia. W praktyce pozostanie więc tyl-

ko fosforowodór zaliczany do I klasy toksyczności [10]. Stosowany do dezynsekcji magazynów działa szybko, powodując uduszenie szkodników, ale równocześnie jest niebezpieczny dla ludzi i zwierząt domowych.

Od kilkudziesięciu lat coraz więcej ziarna poddaje się zabiegowi zaprawiania insektydami kontaktowymi. Preparaty te nanoszone są bezpośrednio na ziarno w dawce od 1 do 10 mg substancji aktywnej na kilogram ziarna [16]. Stosowanie tej metody ochrony ziarna może odbywać się tylko w wypadku dłuższego składowania ziarna. Preparaty mogą być nanoszone w trakcie przemieszczania ziarna i tylko przy zastosowaniu odpowiedniego sprzętu [16]. Stosowanie środków chemicznych w magazynach wprawdzie niszczy szkodniki, lecz równocześnie stwarza zagrożenie skażenia żywności, a ponadto może prowadzić do obniżenia zdolności kiełkowania nasion, co jest istotne w wypadku ziarna siewnego i przeznaczonego do celów browarniczych [21].

Metody fizyczne

Poszukując innych sposobów zwalczania szkodliwych owadów, prowadzi się badania nad zastosowaniem metod fizycznych. Dobre wyniki daje zastosowanie promieni podczerwonych oraz ultrafioletowych. Zwrócono również uwagę na możliwość zastosowania fal akustycznych i ultradźwięków. Próbuje się zastosować pole elektryczne wysokiej częstotliwości, fale radiowe, promienie Roentgena, jonizujące i mikrofalowe [8, 12, 15, 21, 31]. Do fizycznych metod zwalczania szkodników w magazynach zalicza się wysokie temperatury stosowane podczas suszenia ziarna (40–60°C) w różnego typu suszarniach próżniowych, względnie niskie temperatury w celu zahamowania rozwoju szkodników [16, 21, 31].

Rozwój owadów jest możliwy w pewnym zakresie temperatury i wilgotności. Szkodniki przystosowane do warunków klimatu umiarkowanego są bardziej wytrzymałe na niskie temperatury niż te przywożone do nas ze strefy tropikalnej. Każdy gatunek szkodnika magazynowego ma swoje minimum, maksimum i optimum cieplne. Utrzymanie w pomieszczeniu temperatury poniżej minimum cieplnego zabezpiecza przed szkodami ze strony owadów, a temperatura poniżej optimum powoduje znaczne przedłużenie czasu rozwoju jednego pokolenia, co w konsekwencji zmniejsza liczebność populacji szkodnika i minimalizuje szkody [16].

Dla większości gatunków występujących w magazynach optimum cieplne leży w granicach 25–32°C, natomiast zakres temperatury letalnej rozciąga się poniżej 13° i powyżej 38°C. Jakkolwiek utrzymanie temperatury niskiej (poniżej 0°C) wymaga dużych nakładów energii i odpowiedniej izolacji pomieszczenia, to temperaturę wysoką (powyżej 45°C) można stosować w procesie technologicznym suszenia ziarna [31].

Szkodniki poddane działaniu temperatury w zakresie 45–50°C giną po jednym dniu ekspozycji, a w temperaturze 50–60°C po 1 godzinie. Ponadto temperatura wysoka ma działanie sterylizujące.

Stosując tunelowy system napromieniania mikrofalami, stwierdzono wysoką śmiertelność owadów w ziarnie pszenicy [21, 31]. Podczas napromieniania mikrofalami powstaje pole elektromagnetyczne, a generowana z niego energia nie jest formą ciepła. Wydzielające się w trakcie tego procesu ciepło jest wtórnym efektem mikrofalowania, które może być wykorzystywane do zwalczania owadzych szkodników magazynowych. Za bezpieczną ze względów technologicznych uważa się temperaturę ziarna około 45°C. Skuteczność zwalczania szkodliwych owadów w magazynach podczas napromieniania mikrofalami ziarna zbóż wiąże się ściśle z osiągniętą temperaturą ziarna. Podczas ogrzewania mikrofalowego temperatura wewnątrz produktu jest wyższa niż w warstwie zewnętrznej, co sprawia, że owady znajdujące się w ziarnie migrują do zewnętrznej jego warstwy w miarę wzrostu temperatury. Prężność pary wodnej wewnątrz ogrzewanego ziarna jest znacznie wyższa i w rezultacie obserwuje się szybsze niż w wypadku ogrzewania tradycyjnego odparowanie wody. Otaczająca ziarno atmosfera ma znacznie niższą temperaturę i dlatego na powierzchni następuje skraplanie pary wodnej. Parowanie wody z powierzchni ziarna obniża temperaturę zewnętrznych warstw ziarna. Z tego powodu tunelowy system suszenia ziarna mikrofalami jest bardziej skuteczny w niszczeniu żerujących owadów wskutek mniejszej różnicy temperatur między wewnętrznymi i zewnętrznymi warstwami ziarna zbóż. Również ma to znaczenie z punktu widzenia wartości technologicznej ziarna. Dobre wyniki uzyskuje się w kombinowanej metodzie napromieniania ziarna mikrofalami i promieniami gamma niezależnie od kolejności [21, 31].

Stosowanie promieniowania jonizującego w dużych dawkach (>2 kGy) ma na celu natychmiastowe zabicie występujących w produkcie owadów, roztoczy i nicieni [14]. Natomiast jeśli przechowywane produkty zbożowe zaatakowane są przez różne gatunki szkodliwych owadów, to dawka 0,5 kGy jest wystarczająca do wyeliminowania najbardziej odpornych osobników przez ich sterylizację [12, 22].

Stosowanie promieniowania jonizującego w dawkach wyższych niż 2 kGy w celu natychmiastowego zabicia dorosłych form szkodników występujących w ziarnie zbóż jest zabiegiem energochłonnym, a tym samym bardziej kosztownym [12]. Taki zabieg może np. pogorszyć właściwości organoleptyczne i wypiekowe mąki, dlatego większą wagę przywiązuje się do zabiegów radiacyjnej dezynsekcji, w których stosuje się niskie dawki promieniowania jonizującego w zakresie od 0,1 do 0,75 kGy. Dawki te niszczą roztocze i owady we wszystkich stadiach rozwojowych, a w mniejszym stopniu pleśnie i grzyby [8]. Nie powodują powstawania niekorzystnych zmian chemicznych w ziarnie. Wręcz przeciwnie, obserwuje się poprawę wartości wypiekowej mąki pszennej i kukurydzianej.

Należy podkreślić, że korzyści ekonomiczne i sanitarno-higieniczne związane ze stosowaniem promieniowania jonizującego mogą ulec całkowitemu zaprzepaszczeniu, jeśli po zabiegu radiacyjnym dopuści się do ponownego zaatakowania produktów przez owady i roztocze.

Wysokie dawki (>2 kGy) promieniowania jonizującego mogą być natomiast stosowane do dezynsekcji opakowań [14]. Promienie jonizujące powinny dobrze penetrować opakowania. Gdy stosowane są przenikliwe promienie X lub gamma, wtedy warstwa opakowań może być znaczna. Natomiast grubość opakowań napromieniowywanych elektronami powinna być dostosowana do ich przenikliwości.

Nową metodą, szeroko stosowaną w praktyce, jest magazynowanie ziarna w modyfikowanej atmosferze. W szczelnie zamkniętych pomieszczeniach obniża się zawartość tlenu do 2–5%, zastępując go azotem lub dwutlenkiem węgla. Ta ilość tlenu uniemożliwia owadom oddychanie i rozwój. Przystosowanie pomieszczeń jest jednak kosztowne, a dochodzi do tego montaż urządzeń do ciągłego uzupełniania modyfikowanego powietrza.

Coraz powszechniej stosowane są w praktyce zabiegi traktowania pomieszczeń i ziarna pyłami obojętnymi i ziemią okrzemkową. Działanie owadobójcze tych substancji polega na uszkodzaniu warstwy lipidowej pokrywającej ciało owadów i zamykaniu przetchlinek w układzie oddechowym, a także na znacznym obniżaniu zawartości wody w produkcie oraz wilgotności względnej powietrza.

Z powodzeniem stosowane są w młynach i magazynach urządzenia wykorzystujące siłę odśrodkową, to jest czyszczalnie i podajniki pneumatyczne. Ich działanie opiera się na oddzieleniu porażonych partii ziarna oraz zmniejszeniu ilości wody w produkcie [16].

Metody biologiczne

Wykorzystanie pasożytów i drapieżców w zwalczaniu szkodników magazynowych jest mało prawdopodobne. Te pożyteczne gatunki rozwijają się masowo w czasie, gdy populacje gospodarzy występują w bardzo dużych liczebnościach. Wprowadzanie nowych organizmów do już zniszczonych przez szkodniki produktów nie zapobiega przed szkodami, lecz zwiększa ich zanieczyszczenie [16].

W ciągu ostatnich lat nastąpił znaczny postęp w wykorzystaniu wyników badań z zakresu ekologii chemicznej owadów magazynowych. Oznaczono skład chemiczny feromonów wszystkich gatunków mających znaczenie ekonomiczne i opracowano technologię produkcji pułapek. Szeroko rozpowszechnione są pułapki feromonowe motyli występujących w magazynach, w których wykorzystuje się związki produkowane przez samice i wabiące samce. Zastosowanie ich w pułapkach pozwala wykryć obecność szkodnika, termin jego pojawienia się, liczebność populacji i na podstawie tych danych ustalić termin wykonania zabiegu. Wiele gatunków chrząszczy produkuje feromony agregacyjne, które produkowane są przez samce tylko w obecności pokarmu. Feromony te przywabiają osobniki obydwu płci. Wokół źródła feromonu powstaje strefa porażenia produktu. Ten typ pułapek może być pomocny w zwalczaniu szkodników poprzez systematyczne niszczenie zwabionych osobników [16].

Celem wykrycia szkodników w pustych pomieszczeniach magazynowych wykorzystuje się również pułapki pokarmowe. Wypełnione są one zmielonym ziarnem pszenicy, zarodkami pszennymi i orzechami ziemnymi. Gromadzące się w nich szkodniki są niszczone, a na podstawie ich liczebności określane jest zagrożenie produktu i konieczność wykonania zabiegu chemicznego.

Wnętrze magazynów próbowano również wypełniać dużymi ilościami feromonów w celu zakłócenia komunikacji między osobnikami różnych płci. Rezultaty tego zabiegu nie były jednak zachęcające, gdyż pewien procent samców odnajdywał samice, a dodatkowym utrudnieniem było adsorbowanie feromonu przez magazynowane produkty, które w innym miejscu wabiły szkodniki [16].

Do niedawna hodowcy pracujący nad nowymi odmianami zbóż nie zwracali uwagi na stopień podatności ziarna na zasiedlanie przez szkodniki magazynowe. Najczęściej badano nowe rody i odmiany pod kątem ich podatności na choroby grzybowe. Natomiast prace genetyczne prowadzone w kierunku modyfikowania roślin, jak do tej pory, głównie koncentrują się na zwiększeniu odporności części zielonych roślin na szkodniki w okresie ich uprawy na polu [18]. Tymczasem dla wielu płodów rolnych, takich jak ziarno zbóż i nasiona, zagrożenie ze strony szkodników owadzych zaczyna się dopiero po zakończeniu sezonu wegetacyjnego. Owady żerujące na ziarnie potrzebują tych samych składników pokarmowych co ssaki. Gatunki owadów atakujące produkty przechowywane charakteryzuje wysoka specjalizacja i skuteczność w penetrowaniu magazynów. Wśród owadów obserwuje się znaczne różnice w intensywności zagospodarowania różnych odmian i gatunków zbóż zależnie od ich indywidualnych właściwości [6, 16, 18, 19, 25–29]. Przechowywane ziarno może wykazywać znaczną odporność na szkodniki ze względu na brak podstawowych składników odżywczych lub występowanie w ziarnie związków negatywnie oddziałujących na ich rozwój [4–7, 18, 20, 23, 24, 30, 32]. Odporność odmianowa ziarna zbóż zależy od wielu czynników, między innymi od właściwości fizykochemicznych i technologicznych ziarniaków, aktywności zbożowych inhibitorów enzymów trawiennych owadów oraz warunków glebowo-klimatycznych w okresie wegetacji zbóż [4–7, 18–20, 24–28, 32]. Generalnie owady mają tendencję do znacznie wolniejszego rozwoju na odmianach zbóż mniej podatnych w porównaniu z odmianami bardziej podatnymi. Zatem bardzo ważną cechą ziarna zbóż powinna być jego zwiększona odporność na szkodniki owadzie, która pozwoliłaby na zminimalizowanie strat magazynowanego ziarna.

Jest wiele właściwości ziarna, które mogą być wykorzystane w celu zredukowania tempa rozwoju populacji szkodników. Szerokie badania podejmowane w niektórych krajach na wielu rodach i odmianach zbóż oraz roślinach strączkowych wykazały znaczne zróżnicowanie podatności na zasiedlenie przez szkodniki magazynowe.

Bardzo ważne są cechy fizyczne ziarna, takie jak twardość, występowanie łuski okrywającej, faktura powierzchni ziarna, odporność na złamanie lub otarcie łuski owocowo-nasiennej. Utrudniają one szkodnikom pierwotnym rozpoczęcie żerowania, a szkodnikom wtórnym wręcz uniemożliwiają jego zasiedlanie. Obecnie coraz

więcej zboża zbiera się kombajnami, często w dni deszczowe, i w związku z tym duży procent ziarna ulega złamaniu lub zmiżdżeniu. Te partie ziarna są szczególnie narażone na atak szkodników, ponieważ mają one ułatwiony dostęp do pokarmu [16].

Liczne właściwości technologiczne ziarna, między innymi takie jak: wilgotność, łatwość pochłaniania i oddawania wody, skłonność do porastania, wypełnienie ziarniaków czy zespół pozostałych czynników mających wpływ na wartość wypiekową zbóż, są nie tylko ważne dla technologa, ale również mają wpływ na stopień zasiedlenia magazynowanego ziarna przez szkodniki. Na przykład ziarno łatwo oddające wodę w procesie suszenia i niezawierające jej więcej niż 10%, jest praktycznie niedostępne dla owadzich szkodników [16].

Głównym składnikiem ziarna zbóż jest skrobia, stanowiąca około 70% ciężaru ziarna. Budowa cząsteczek skrobi jest charakterystyczna dla poszczególnych gatunków roślin. Proces trawienia przez owadzie szkodniki uzależniony jest także od kształtu, rozmiarów i właściwości fizycznych ziarna skrobi [5]. Wołek zbożowy rozkłada 15,9 razy szybciej skrobię kukurydzianą niż ziemniaczaną. Duże ziarno skrobi pszennej (15–20 μm) jest 2,4 razy bardziej podatne na rozkład przez enzymy układu trawiennego owadów niż małe (5–10 μm). Do tej pory poznano enzymy amyloolityczne prawie wszystkich owadzich szkodników żerujących w magazynach i udowodniono, że ta grupa owadów odżywiająca się ziarnem zbóż ma o wiele bardziej aktywne enzymy amyloolityczne w porównaniu z owadami żerującymi na zielonych tkankach [2, 16, 23, 30]. Wśród szkodników występuje znaczne zróżnicowanie w aktywności α -amylaz otrzymanych z ich przewodów pokarmowych. Na przykład α -amylaza wołka ryżowego (*S. oryzae*) ma 3-krotnie wyższą aktywność od wołka zbożowego (*S. granarius*) i aż 8-krotnie wyższą niż wołka kukurydzianego (*S. zeamais*) [1, 3]. Równocześnie stwierdzono, że albuminowe inhibitory występujące w ziarnie pszenicy mają wpływ na zwiększenie odporności na owady żerujące na magazynowanym ziarnie [4, 19, 20, 24]. Enzymy trawienne większości owadów, które atakują ziarno i mąkę pszenicy, mają wysoką aktywność α -amyloolityczną, która jest hamowana przez inhibitory frakcji albuminowej pszenicy [4, 20, 23, 24, 30, 32]. W wypadku owadów, które normalnie nie żerują na ziarnie zbóż, takiej zależności nie zaobserwowano. Dodanie do pokarmu dużej ilości białkowych inhibitorów α -amylaz wyizolowanych z ziarna pszenicy, które hamowały aktywność α -amylaz owadów żerujących na tym pokarmie, spowodowało wydłużenie czasu ich rozwoju [7, 24]. Larwy wołka ryżowego rozwijały się o 0,7 dnia dłużej na odmianie ziarna pszenicy o wysokiej aktywności hamującej α -amylazę wołka ryżowego w porównaniu z odmianą pszenicy o niskiej aktywności inhibitorów [4]. Choć to opóźnienie w rozwoju larw wydaje się niewielkie, to jednak po 180 dniach magazynowania liczebność populacji chrząszczy była mniejsza prawie o 21% w porównaniu z odmianą ziarna pszenicy, którą charakteryzowała niska aktywność inhibitorów. Należy podkreślić, że odmiany zbóż nawet z bardzo wysoką aktywnością hamującą enzymy trawienne owadów nie

są w stanie całkowicie zahamować rozwoju owadów, a jedynie w widoczny sposób ograniczyć liczebność ich populacji [24].

W ostatniej dekadzie XX wieku zapoczątkowano badania zmierzające do ustalenia budowy chemicznej zbożowych inhibitorów aktywnych wobec enzymów trawiennych człowieka i owadzych szkodników magazynowych. Z ziarna pszenicy wyekstrahowano cztery związki o właściwościach inhibitorów, z których dwa hamowały aktywność α -amylaz wołka ryżowego (*S. oryzae*), trojszyka ulca (*T. confusum*) i mącznika młynarka (*T. molitor*), a nie hamowały aktywności α -amylaz człowieka [7]. Dodanie tych inhibitorów do owadziego pokarmu spowodowało wydłużenie czasu ich rozwoju. Sądzi się, że inhibitory owadzych α -amylaz występujące w zbożach mogą stanowić czynnik selekcyjny i ograniczający rozwój tych owadów, które pomimo to są w stanie pokonać tę barierę pokarmową [20, 23, 30].

Prowadzone są również intensywne badania nad lipidami kutykularnymi ziarna zbóż. Głównymi składnikami warstwy lipidowej powierzchni ziarna są węglowodory proste i rozgałęzione, o liczbie atomów węgla od 19 do 31, przy czym ilościowo dominują związki o nieparzystej liczbie atomów węgla [18]. Związki te są pierwszymi czynnikami decydującymi o wyborze pokarmu, jego zasiedleniu oraz składaniu jaj przez owadzie szkodniki magazynowe [16]. W endospermie ziarniaków występują triacyloglicerole, które stanowią materiał energetyczny dla owadów. Modyfikacja składu chemicznego lipidów ziarna może prowadzić do zakłócenia rozwoju szkodników, opóźnić proces zasiedlania ziarna, a tym samym zmniejszyć straty ekonomiczne.

Stosunkowo dobrze poznano skład chemiczny lipidów pokrywających ciała larw i chrząszczy owadów występujących w magazynach [17]. Głównym zadaniem tych związków jest ochrona organizmu przed wysychaniem oraz przed wnikaniem toksycznych substancji i szkodliwych mikroorganizmów. Uszkodzenie warstwy ochronnej powoduje w krótkim czasie śmierć owadów. Może to nastąpić poprzez mechaniczne uszkodzenia lipidów na skutek posypywania proszkami koloidalnymi, stosowanie tłuszczów roślinnych, a także przez zastosowanie temperatury powyżej 45°C. Wszystkie trzy wymienione sposoby są już stosowane w praktyce.

Opierając się na znajomości fizjologii owadów, możliwe będzie wprowadzenie do roślin genu lub genów, które byłyby odpowiedzialne za syntezę i gromadzenie w roślinie specyficznych związków zmieniających metabolizm i funkcje życiowe owadów [18]. Związki te mogą oddziaływać na system trawienny owadów (toksyny, inhibitory enzymów trawiennych, enzymy zakłócające syntezę witamin, sacharydów lub steroli), na system endokrylny (esteraza hormonu juwenilnego i jej inhibitory, związki zakłócające działanie neurohormonów), na system nerwowy (neuro- i immunoneurotoksyny) i na system szkieletowy (chitynaza, proteinaza oraz ich inhibitory).

Analiza statystyczna różnic w tempie rozwoju larwalnego na podstawie dotychczasowych badań oraz symulacja wzrostu populacji szkodników na ziarnie o zróżnicowanym składzie chemicznym dają podstawę do stwierdzenia, że hodowla nowych odmian zbóż o zwiększonej aktywności hamowania enzymów trawiennych szkodni-

ków może stać się nowoczesną metodą ochrony ziarna. Zatem antybioza — jako podstawa biologicznego zwalczania szkodników magazynowych poprzez zwiększenie udziału odmian zbóż wartościowych technologicznie, o podwyższonej odporności na te szkodniki — wydaje się być bardzo atrakcyjną i ekonomicznie uzasadnioną metodą, która może być wykorzystana w integrowanej ochronie ziarna zbóż. Realizacja tego kierunku wymaga prowadzenia wielokierunkowych badań, takich jak:

- skryning dużej liczby dzikich i handlowych odmian zbóż w celu wyodrębnienia najbardziej odpornych;
- badania na wyselekcjonowanych odmianach odpornych w celu wykrycia czynnika lub czynników odpowiedzialnych za ich odporność;
- badania nad dziedzicznością wykrytych czynników celem włączenia genów tych czynników do programów hodowlanych nowych, odpornych i technologicznie wartościowych odmian zbóż;
- badania zmierzające do oceny właściwości nowych odmian pod kątem przydatności żywieniowej i technologicznej oraz zwiększonej odporności na owadzie szkodniki.

Tak szeroko zakrojone kierunki badań wymagają współpracy zespołu interdyscyplinarnego, obejmującego specjalistów z zakresu: biochemii, biologii molekularnej, entomologii, genetyki, hodowli roślin, technologii i żywienia człowieka.

Podsumowanie

Praktycznie nie ma metody, która całkowicie chroniłaby przechowywane ziarno przed stratami spowodowanymi przez żerujące owadzie szkodniki. Natomiast istnieje możliwość bardzo znacznego ograniczenia tych strat dzięki zastosowaniu integrowanych metod przechowywania. W tym celu należy wykorzystać najnowsze osiągnięcia nauki w zakresie konstrukcji elewatorów zbożowych i innych pomieszczeń magazynowych w połączeniu z nowoczesnymi metodami fizycznymi, biologicznymi i chemicznymi zwalczania szkodników. Na przykład: pełną automatyzację przestrzeni magazynowej w zakresie kontroli temperatury, wilgotności, wietrzenia, przesypywania pryzm ziarna, zastosowanie kontrolowanej atmosfery, taśmowego transportu ziarna do magazynów przez tunel ze strefą kontrolowanego napromieniania promieniami gamma i mikrofalami, selekcję odmian o podwyższonej odporności na owadzie szkodniki, zastosowanie pułapek feromonowych oraz stosowanie tylko w ostateczności metod chemicznych z uwagi na toksyczne pozostałości szkodliwe dla ludzi i zwierząt, a także skłonność szkodników do uodporniania się na ich działanie.

Reasumując, należy podkreślić, że — obok nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych pomieszczeń magazynowych — metody fizyczne i biologiczne, zmniejszające straty magazynowanego ziarna zbóż, powinny być stosowane zawsze i wszędzie tam, gdzie to jest możliwe, a metody chemiczne tylko w ostateczności.

- [1] Baker J.E. 1983. Properties of amylases from midguts of larvae of *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus granarius*. *Insect Biochemistry* 13: 421–428.
- [2] Baker J.E. 1986. Amylase/proteinase ratios in larval midguts of ten stored – product insects. *Entomol. Exp. Appl.* 40: 41–46.
- [3] Baker J.E., Woo S.M. 1985. Purification partial characterisation, and postembryonic levels of amylases from *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus granarius*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 2: 415–428.
- [4] Baker J.E., Woo S.M. Throne J.E., Finney P.L. 1991. Correlation of α -amylase inhibitor content in Eastern Soft wheats with development parameters of the rice weevil (*Coleoptera: Curculionidae*). *Environ. Entomol.* 20: 53–60.
- [5] Baker J.E., Woo S.M. 1992. Digestion of starch granules by α -amylases from the rice weevil, *Sitophilus oryzae*: effect of starch type, fat extraction, granule size, mechanical damage and detergent treatment. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 22: 529–537.
- [6] Dobie P. 1991. Host-plant resistance to insects in stored cereals and legumes. W: Ecology and management of food- industry pests. Ed. by Gorham J.R., Chapter 27, FDA Technical Bulletin 4, AOAC, Arlington, Virginia: 373–383.
- [7] Feng G.H., Richardson M., Chen M.S., Kramer K.J., Morgan T.D., Reeck G.R. 1996. α -amylase inhibitors from wheat: amino-acid sequences and patterns of inhibition of insect and human α -amylases. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 26: 419–426.
- [8] Gralik J., Warchalewski J.R. 1999. Możliwości wykorzystania promieniowania jonizującego w przemyśle spożywczym. *Przemysł Spożywczy* 53(10): 31–34.
- [9] Ignatowicz S. 1997. Tabela do oznaczania najważniejszych szkodników magazynowych. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 41(8): 39–41.
- [10] Ignatowicz S. 1997. Zwalczenie szkodników w pustych magazynach. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 41(7): 4–6.
- [11] Ignatowicz S. 1998. Ocena stopnia porażenia przechowywanego zboża przez szkodniki i podejmowanie decyzji o ich zwalczaniu. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 42(3): 18–20.
- [12] Ignatowicz S., Szczawińska M. 1998. Zastosowanie techniki radiacyjnej do poprawy jakości żywności i pasz. *Post. Nauk Rol.* 45(5): 67–86.
- [13] Ignatowicz S. 1998. Tablice do oznaczania motyli — najważniejszych szkodników magazynowych. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 2: 14–15.
- [14] Ignatowicz S. 1999. Radiacyjna dezynsekcja produktów przechowywanych. W: Choroby i szkodniki ważniejszych gatunków roślin uprawnych rozwijające się w okresie ich przechowywania. Seminarium — Poznań, 22–23 czerwca 1999 r., Wyd. IOR, Poznań: 17–19.
- [15] Jurga P. 1992. Zwalczenie szkodników bez użycia chemikaliów. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 12: 5–6.
- [16] Nawrot J. 1999. Integrowane metody zwalczania szkodników magazynowych. W: Choroby i szkodniki ważniejszych gatunków roślin uprawnych rozwijające się w okresie ich przechowywania. Seminarium Poznań, 22–23 czerwca 1999 r., Wyd. IOR, Poznań: 12–16.

- [17] Nawrot J., Szafranek J., Maliński E. 1995. Function and composition of cuticular hydrocarbons of stored-product insects. Proc. 6th Intern. Work. Conf. on Stored-product Protection, vol. I: 533–560.
- [18] Nawrot J., Warchalewski J.R., Szafranek J., Piasecka-Kwiatkowska D., Winiecki Z. 1999. Biochemiczne podstawy podatności ziarna zbóż na żerowanie szkodników magazynowych. W: I Krajowy Kongres Biotechnologii, Referaty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej: 345–347.
- [19] Piasecka-Kwiatkowska D. 1999. Rola rodzimych inhibitorów enzymów hydrolitycznych w kształtowaniu odporności ziarna zbóż o zróżnicowanej jakości na owadzie szkodniki magazynowe. Praca doktorska, Poznań 1999.
- [20] Piasecka-Kwiatkowska D., Warchalewski J.R. Zbożowe białkowe inhibitory enzymów hydrolitycznych i ich znaczenie. Część I. Białkowe inhibitory alfa-amylaz. Żywność – Nauka, Technologia, Jakość (w druku 2000).
- [21] Prądyńska A., Warchalewski J.R. 1999. Rozwój owadów w magazynowanym ziarnie pszenicy napromienionym mikrofalami. *Ochrona Roślin* 43(9): 33.
- [22] Prądyńska A., Warchalewski J.R. 1999. Rozwój owadów w magazynowanym ziarnie pszenicy napromienionym promieniami gamma. *Ochrona Roślin* 43(9): 34.
- [23] Silano V. 1987. Alpha-amylase inhibitors. W: Enzymes and their role in cereal technology. Ed. by: Kruger J.E., Lineback D., Stauffer C.E. AACC Inc.: 141–200.
- [24] Warchalewski J.R., Gralik J., Winiecki Z., Nawrot J., Piasecka-Kwiatkowska D. The effect of wheat α -amylase inhibitors incorporated into wheat feedstuff on development of *Sitophilus granarius* L., *Tribolium confusum* Duv. and *Anagasta kuehniella* Zell. *Entomol. Exp. Appl.* (przesłano do druku 2000 r.).
- [25] Warchalewski J.R., Klockiewicz-Kamińska E. 1990. Baking quality versus biological activities of proteins extracted from the grain of wheat varieties harvested in 1986. *Die Nahrung* 34(5): 421–430.
- [26] Warchalewski J.R., Madaj D., Skupin J. 1989. The varietal differences in some biological activities of proteins extracted from flours of wheat seeds harvested in 1986. *Die Nahrung* 33(9): 805–821.
- [27] Warchalewski J.R., Nawrot J. 1993. Insect infestation versus some properties of wheat grain. *Rocz. Nauk Rol. seria E* 23(1/2): 85–92.
- [28] Warchalewski J.R., Nawrot J., Klockiewicz-Kamińska E. 1992. Rozwój laboratoryjnych populacji niektórych owadów — szkodników magazynowych na ziarnie dziewięciu odmian pszenicy. *Rocz. Nauk Rol. seria E* 22(1/2): 31–37.
- [29] Warchalewski J.R., Piasecka-Kwiatkowska D., Nawrot J., Winiecki Z. 1993. Naturalny system ochrony ziarna zbóż przed szkodnikami magazynowymi — mit czy rzeczywistość? *Ochrona Roślin* 37(10): 11–12.
- [30] Warchalewski J.R. 1983. Present-day studies on cereal protein nature alpha-amylase inhibitors. *Die Nahrung – Food* 27: 103–117.
- [31] Watters F.L. 1991. Physical methods to manage stored-food pests. W: Ecology and management of food-industry pests. Ed. by Gorham J.R., Chapter 29, FDA Technical Bulletin 4, AOAC, Arlington, Virginia: 399–413.
- [32] Yetter M.A., Saunders R.M., Boles H.P. 1979: Alpha-amylase inhibitors from wheat kernels as factors in resistance to postharvest insects. *Cereal Chem.* 56: 243–244.

Possibilities of reducing stored cereal grain damage caused by insect pests

Key words: insect pests, stored cereal grain, integrated methods of damage reduction, chemical, physical, biological

Summary

The insect species that attack stored grain and products are highly specialised and successfully exploit the storage environment. Primary insect pests cause most of the damage to grain in storage or shipment. The secondary pests are mostly surface feeders on damaged grain or products in both, the adult and larval stages. Significant reduction of grain damage by insect pests can be achieved by application of modern integrated chemical, physical and biological methods. Recent physical and biological methods are becoming more widely recognised as alternatives or supplements to chemical pesticides for the control of stored-food pests. Different grain varieties and genetically modified cereals can contain in grain the compounds, for example, like the highly active proteinaceous inhibitors of insects α -amylase which may increase resistance to insects by disturbing their life functions. So far considerable research has been done on many aspects of stored cereals grain prevention. However, still much of the work should be done by interdisciplinary research teams in order to improve host-grain resistance to insect pests.

*Adres do korespondencji:
prof. dr hab. Jerzy R. Warchalewski
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego
Katedra Biochemii i Analizy Żywności
ul. Mazowiecka 48
60-623 Poznań*