

**UNIWERSYTET
KOMISJI EDUKACJI NARODOWEJ W KRAKOWIE**

INSTYTUT BIOLOGII I NAUK O ZIEMI
Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska

ROZPRAWA DOKTORSKA



ALEKSANDRA IZDEBSKA

**Wpływ roślin oraz zawartych w nich związków chemicznych na wołka zbożowego
Sitophilus granarius L. (Coleoptera, Dryophthoridae)**

Promotor dr hab. Małgorzata Kłyś, prof. UKEN

Kraków, 2024

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowania
Pani dr hab. Małgorzacie Kłyś, prof. UKEN
za poświęcony czas, pomoc, cenne wskazówki,
sugestie i uwagi podczas pisania rozprawy doktorskiej
oraz za profesjonalną opiekę naukową.*

*Chciałabym z całego serca podziękować moim Rodzicom
za ogromne wsparcie, motywację,
wiarę w moje możliwości
oraz za to, że zawsze mogę na Was polegać.
Dziękuję, że pokazaliście mi, że ciężka praca
i determinacja przynoszą oczekiwane efekty.*

*Za to wszystko jestem Wam ogromnie wdzięczna,
dlatego niniejszą rozprawę dedykuję Wam kochani Rodzice.*

Spis treści

1. Wstęp	4
1.1. Szkodniki magazynowe – przegląd wybranych zagadnień.....	5
1.2. Wykorzystanie roślin w walce ze szkodnikami	9
2. Cel pracy	12
3. Charakterystyka obiektu badawczego – wołka zbożowego <i>Sitophilus granarius</i> L.	13
4. Rośliny stosowane w ziołolecznictwie	17
5. Charakterystyka roślin i olejków eterycznych wykorzystanych w badaniach.....	18
5.1. Koper włoski	18
5.2. Skład i właściwości olejku eterycznego z kopru włoskiego	19
5.3. Kminek zwyczajny	21
5.4. Skład i właściwości olejku eterycznego z kminku zwyczajnego	23
5.5. Czarnuszka siewna	24
5.6. Skład i właściwości olejku eterycznego z czarnuszki siewnej.....	25
5.7. Mięta polej	26
5.8. Skład i właściwości olejku eterycznego z mięty polej.....	28
6. Metodyka badań.....	30
7. Wyniki badań.....	34
7.1. Wpływ kminku zwyczajnego <i>Carum carvi</i> L. na wołka zbożowego.....	34
7.1.1. Wpływ olejku eterycznego z kminku zwyczajnego na emigrację wołka zbożowego	34
7.1.2. Wpływ olejku eterycznego z kminku zwyczajnego na śmiertelność wołka zbożowego.....	35
7.1.3. Wpływ L-carvonu na emigrację wołka zbożowego	37
7.1.4. Wpływ L-carvonu na śmiertelność wołka zbożowego.....	38
7.1.5. Wpływ R-(+)-limonenu na emigrację wołka zbożowego	40
7.1.6. Wpływ R-(+)-limonenu na śmiertelność wołka zbożowego	41
7.2. Wpływ kopru włoskiego <i>Foeniculum vulgare</i> Mill. na wołka zbożowego	42
7.2.1. Wpływ olejku eterycznego z kopru włoskiego na emigrację wołka zbożowego	42
7.2.2. Wpływ olejku eterycznego z kopru włoskiego na śmiertelność wołka zbożowego	43
7.2.3. Wpływ anetolu na emigrację wołka zbożowego	45
7.2.4. Wpływ anetolu na śmiertelność wołka zbożowego.....	45
7.3. Wpływ czarnuszki siewnej <i>Nigella sativa</i> L. na wołka zbożowego	47
7.3.1. Wpływ oleju z czarnuszki siewnej na emigrację wołka zbożowego.....	47

7.3.2. Wpływ oleju z czarnuszki siewnej na śmiertelność wołka zbożowego	48
7.3.3. Wpływ tymochinonu na emigrację wołka zbożowego.....	49
7.3.4. Wpływ tymochinonu na śmiertelność wołka zbożowego	50
7.4. Wpływ mięty polej <i>Mentha pulegium</i> L. na wołka zbożowego.....	51
7.4.1. Wpływ olejku eterycznego z mięty polej na emigrację wołka zbożowego.....	51
7.4.2. Wpływ olejku eterycznego z mięty polej na śmiertelność wołka zbożowego	52
7.4.3. Wpływ pulegonu na emigrację wołka zbożowego	53
7.4.4. Wpływ pulegonu na śmiertelność wołka zbożowego	54
7.4.5. Wpływ piperitonu na emigrację wołka zbożowego	55
7.4.6. Wpływ piperitonu na śmiertelność wołka zbożowego	56
7.5. Skuteczność niższego stężenia zastosowanych substancji roślinnych w odstraszeniu wołka zbożowego	58
8. Dyskusja.....	60
9. Wnioski.....	69
10. Streszczenie	70
11. Summary.....	72
12. Bibliografia	73
13. Spis rycin	87
14. Spis fotografii	89

Wykaz skrótów:

EO - ang. *essential oil* (olejek eteryczny);

GRAS - ang. *generally recognized as safe* (substancje powszechnie uznawane przez ekspertów za bezpieczne);

NIRS - ang. *near infrared spectroscopy* (spektroskopia w bliskiej podczerwieni);

GABA - ang. *gamma-aminobutric acid* (kwas γ -aminomasłowy);

AChE - ang. *acetylcholinesterase* (acetylocholinoesteraza);

NPs - ang. *nanoparticles* (nanocząstki);

CuNPs - nanocząstki miedzi;

LC₅₀ - ang. *lethal concentration* (stężenie śmiertelne, które spowodowało śmierć 50% organizmów narażonych na tą substancję);

(NSA) (Al₂O₃) - nanostrukturalny tlenek glinu;

GC-MS - ang. *gas chromatography–mass spectrometry* (chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas);

GC - ang. *gas chromatography* (chromatografia gazowa);

NSO - ang. *Nigella sativa oil* (olej z czarnuszki siewnej);

NSEO - ang. *Nigella sativa essential oil* (olejek eteryczny z czarnuszki siewnej);

AgNPs - nanocząsteczki srebra;

Mp–AgNPs - nanocząsteczki srebra zsyntezowane ze świeżych liści mięty polej;

ZnONPs - nanocząsteczki tlenku cynku.

1. Wstęp

Szacuje się, że do 2050 roku liczba ludności na świecie wzrośnie do 9,1 miliarda, dlatego trzeba będzie zwiększyć produkcję żywności o 70%. Wzrost liczebności populacji ludzkiej stawia przed nami ogromne wyzwanie - zabezpieczenie zapotrzebowania na żywość i zwiększenie jej produkcji. Aby sprostać temu zadaniu należy poszerzyć areał upraw, a także ulepszyć: zbiór plonów, sposoby ich przechowywania oraz ochronę przed agrofagami (Godfray i in. 2010; Parfitt i in. 2010; Hodges i in. 2011).

Wśród ludzi wzrasta świadomość zdrowego odżywiania się. Coraz częściej sięgamy po produkty wytworzone przez tzw. „rolnictwo ekologiczne”. Jest ono oparte na uprawie i przetwarzaniu żywności bez stosowania nawozów sztucznych. Dopuszcza się w nim wykorzystywanie naturalnych dodatków, które określane są jako zielone lub ekologiczne pestycydy. Muszą one jednak spełniać pewne wymogi m.in. pochodzić z organicznych źródeł, a także być nieszkodliwe dla środowiska i/lub zdrowia człowieka (Nollet, Rathore 2017).

Ze względu na negatywne skutki dla środowiska oraz zdrowia człowieka w uprawach ekologicznych do zwalczania szkodników i chorób grzybowych oraz chwastów nie wykorzystuje się pestycydów chemicznych. Spowodowało to wzrost zainteresowania i poszukiwania ich ekologicznych zamienników. W rolnictwie ekologicznym szkodniki eliminuje się za pomocą roślinnych insektycydów. Zwalczają one owady powodujące straty w magazynowanym zbożu i artykułach spożywczych. W ciągu ostatniej dekady badano możliwość zastosowania różnych związków i ekstraktów roślinnych jako środków owadobójczych lub odstraszających (repelentnych) szkodniki. Przykładami substancji zwalczającymi szkodniki, które od dawna używano są nikotyna, azadirachtyna, rotenony czy pyretryna. Od dziesięcioleci wiele badań koncentruje się wokół olejków eterycznych (EO), a także ich aktywnych związków, które stają się alternatywą dla syntetycznych środków owadobójczych (Isman 2006; Kiran i in. 2017; Nollet, Rathore 2017; Oguh 2019; Chaudhari i in. 2021).

Olejki eteryczne są naturalnymi, złożonymi metabolitami wtórnymi roślin. EO to bardzo lotne ciecze o przyjemnym zapachu, który zawdzięczają obecności jednej lub kilku grup funkcyjnych m.in. aldehydowej, estrowej, alkoholowej, fenolowej lub węglowodorowej. Zazwyczaj ich gęstość jest mniejsza od gęstości wody (Nollet, Rathore 2017). Jak podaje Chaubey (2019) ok. 10% gatunków roślin produkuje olejki eteryczne. Najczęściej rośliny te należą do rodzin takich jak: Poaceae, Myrtaceae, Apiaceae, Lauraceae, Asteraceae, Rutaceae, Compositae, Zingiberaceae, Labiatae, Cupressaceae i Piperaceae. EO wytwarzane są w różnych częściach roślin np. łodygach, płatkach kwiatów, liściach, nasionach czy skórkach owoców.

Szacuje się, że 17 500 gatunków roślin wyższych to rośliny aromatyczne. Do tej pory poznano ok. 3000 różnych olejków eterycznych.

Należy zaznaczyć, że stosowanie EO jako środków owadobójczych lub repelentnych wiąże się z pewnymi ograniczeniami. Niektóre związki wykazują niższą skuteczność w porównaniu z pestycydami chemicznymi. Nierzadko potrzebna jest aplikacja większej ilości lub powtórne użycie niektórych EO. Te same olejki eteryczne mogą różnić się składem, ponieważ pochodzą z roślin z odmiennych obszarów klimatycznych, geograficznych czy genetycznych (Nollet, Rathore 2017).

Pestycydy wytworzone na bazie EO mają jednak wiele zalet. Przede wszystkim wykazują właściwości odstrasżające, owadobójcze i hamujące składanie jaj przez owady. Nie wykazują właściwości toksycznych dla ryb i ssaków. Są bezpieczne dla zapylaczy i drapieżników. Niektóre olejki eteryczne pochodzenia roślinnego zostały zaklasyfikowane jako GRAS (ang. Generally Recognised As Safe), czyli pestycydy o „zmniejszonym ryzyku” (Kiran i in. 2017; Nollet, Rathore 2017).

Dlatego w niniejszej pracy podjęto badania wpływu właściwości odstrasżających i owadobójczych roślinnych olejków eterycznych oraz wyizolowanych z nich związków chemicznych na wołka zbożowego (*Sitophilus granarius* L.) – groźnego szkodnika zbóż i magazynowych produktów spożywczych.

1.1. Szkodniki magazynowe – przegląd wybranych zagadnień

Szkodnik to każdy organizm, którego występowanie w danym miejscu uważa się za niepożądane. Konkurują one z ludźmi o pokarm, walczą o schronienie, a także przenoszą patogeny. Mogą też zagrażać zdrowiu ludzkiemu. Niszczą uprawy oraz przechowywane w magazynach plony, produkty spożywcze, a także drzewa i krzewy. Do szkodników zaliczamy owady, roztocze, niektóre gatunki nicieni, ślimaki oraz gryzonie. Na straty spowodowane występowaniem szkodników najbardziej narażone jest leśnictwo, rolnictwo oraz gospodarka magazynowa (Sawicka, Egbuna 2020).

Szkodniki magazynowe to organizmy, które dostosowały się do życia w zamkniętych pomieszczeniach. Pierwotnie żerowały w gniazdach na martwych szczątkach zwierzęcych i roślinnych. Wraz ze zmianą trybu życia człowieka organizmy te zaczęły pojawiać się w spichlerzach i magazynach. Znalazły tam lepsze warunki do życia i rozwoju. Wiele gatunków szkodników pojawiających się w Polsce pochodzi prawdopodobnie z rejonów klimatu tropikalnego. Dotarły do naszego kraju wraz z transportowanymi towarami (Nawrot 2001).

Naukowcom trudno oszacować, kiedy wołek zbożowy, który jest obiektem badań w niniejszej rozprawie doktorskiej, pojawił się w Europie. Został do niej zawleczony wraz z transportowanymi drogą morską towarami w XVIII w. (być może wcześniej). W Polsce pierwsze wzmianki o inwazji *S. granarius* pojawiły się w latach 1773 – 1798 (Głowaciński i in. 2011).

Do szkodników magazynowych zaliczamy: owady (głównie chrząszcze i motyle), roztocze, gryzonie oraz mikroorganizmy (grzyby i bakterie). Jak podaje Tripathi (2018) do rzędu chrząszczy zaliczamy aż ok. 60% ogólnej liczby organizmów z grupy szkodników magazynowych, a do rzędu motyli ok. 10%. Wśród szkodników magazynowych możemy wyróżnić szkodniki pierwotne i wtórne. Szkodniki pierwotne atakują nieuszkodzone ziarna zbóż. Szkodnikami pierwotnymi są m.in.: kapturzik zbożowiec (*Rhizopertha dominica*), wołek ryżowy (*Sitophilus oryzae*), wołek zbożowy (*S. granarius*), strąkowiec czteroplamy (*Callosobruchus maculatus*). Natomiast szkodniki wtórne żerują na mechanicznie uszkodzonym ziarnie zbóż lub ziarnie i produktach spożywczych porażonych przez szkodniki pierwotne. Atakują także produkty przemiału ziarna. Do tej grupy zaliczamy trojszyka gryzącego (*Tribolium castaneum*), trojszyka ulca (*Tribolium confusum*), spirzchela surynamskiego (*Oryzaephilus surinamensis*), omacnicę spichrzanekę (*Plodia interpunctella*) (Nawrot 2001; Tripathi 2018; Malaikozhundan i in. 2019; Deshwal i in. 2020; Sawicka, Egbuna 2020; Shah i in. 2021; Van Winkle i in. 2022).

Owady i roztocze magazynowe zjadają, rozkruszają, uszkodzają oraz zanieczyszczają magazynowane ziarna zbóż i produkty spożywcze. Żerowanie szkodników powoduje ogromne straty ekonomiczne. Trudno je oszacować, ponieważ są zależne od regionu klimatycznego, kraju, zbiorów, a także długości czasu magazynowania produktów. Dodatkowo nie ma metody pomiaru tych strat. Przyjmuje się, że globalnie co roku tracimy ok. 10% magazynowanych produktów przez owady i roztocze. Przez żerowanie szkodników średnio rocznie tracimy 10-40% ziarna zbóż w skali światowej. Straty te szacowane są na ponad 100 miliardów dolarów (Nawrot 2001; Fox 2013; Zhu i in. 2022).

Ponadto obecność szkodników owadzich w magazynowanym ziarnie przyczynia się do wzrostu wilgotności ziarna i rozwoju mikroorganizmów. Licznie występujące szkodniki powodują zagrzewanie się i zawilgocenie zaatakowanych produktów, a wynikiem ich aktywności fizjologicznej są tzw. „gorące plamy”, „gniazda”. Warstwy porażone mają o kilka/kilkanaście stopni więcej niż warstwy nieporażone (Boczek, Czajkowska 2003; Boczek 2008).

Owady i roztocze magazynowe zanieczyszczają produkty spożywcze: wylinkami, przedzą, ekskrementami, a także martwymi osobnikami, co powoduje obniżenie ich wartości. Szkodniki magazynowe zmieniają smak i zapach porażonego produktu. Powodują także zmniejszenie zdolności kiełkowania roślin (Nawrot 2001).

Kolejnym negatywnym wpływem szkodników magazynowych na zdrowie człowieka są wywoływane przez nie uczulenia. Źródłem alergenów wziewnych są: wołek zbożowy (*S. granarius*), mącznik młynarek (*Tenebrio molitor*), trojszyk ulec (*T. confusum*) oraz mklik mączny (*Ephestia kuehniella*). Jakubas–Zawalska i in. (2016) w swoich badaniach dowiedli, że niektóre frakcje białkowe *S. granarius* mogą wywoływać uczulenia. Reakcje alergiczne wywołują różne części ciała owadów m.in. odnóża, skrzydła, szczecinki. Na alergię oraz rozwój astmy zawodowej narażeni są pracownicy mający bezpośredni kontakt z owadami lub przypadkowy wynikający z inwazji. Osobami najbardziej narażonymi na uczulenia są: młynarze, piekarze, laboranci, wędkarze i rybacy, rolnicy, pracownicy sklepów zoologicznych oraz pracownicy magazynów, w których przechowuje się ziarno. Najbardziej charakterystycznymi objawami alergii są astma oskrzelowa i nieżyt nosa, a także zmiany skórne (Auerswald, Lopata 2005; Hilger i in. 2014; Jakubas–Zawalska i in. 2016; Ganseman i in. 2023).

Chrzążcze trojszyka ulca wydzielają benzochinony. Szczególnie duże ilości tej substancji produkują, gdy są podrażnione. Kolor porażonych produktów np. mąki zmienia się na szary lub liliowy, a zapach nieprzyjemny i stęchły. Artykuły spożywcze stają się podatne na rozwój pleśni i nie nadają się do spożycia. Benzochinony to substancje, które po spożyciu mogą doprowadzić do rozwoju nowotworów lub nieprawidłowej pracy wątroby u ludzi i zwierząt (Boczek, Czajkowska 2003, Gałęcki i in. 2019).

Karmienie zwierząt produktami zbożowymi, które zawierają oskórek szkodników magazynowych może doprowadzić do rozwoju u nich stanów zapalnych oraz zaburzeń jelitowych, owrzodzeń układu pokarmowego, kolek, a nawet śmierci (Boczek 1999).

Przez uszkodzoną w wyniku żerowania owadów okrywą ziarniaków zbóż do ich wnętrza mogą wnikać mikroorganizmy powodujące wraz z zarodnikami pleśni psucie się produktów spożywczych. W zainfekowanych artykułach pojawiają się mykotoksyny wytwarzane przez grzyby pleśniowe z rodzaju *Alternaria*, *Aspergillus* i *Cladosporium*. Substancje te mają działanie terato- i kancerogenne na człowieka i zwierzęta (Boczek i Stępień 1981, Boczek 2008).

Dodatkowo należy zaznaczyć, że owady – szkodniki magazynowanego ziarna zbóż mogą być żywicielami pośrednimi tasiemców. Dowiedziono, że trojszyk ulec (*T. confusum*),

trojszyk gryzący (*T. castaneum*), trojszyk większy (*Tribolium destructor*) oraz mącznik młynarek (*T. molitor*) są obligatoryjnymi żywicielami pośrednimi tasiemca szczerzego (*Hymenolepis diminuta*). U człowieka może dojść do zarażenia drogą pokarmową poprzez spożycie zainfekowanych produktów (Grytner-Zięcina 2002).

Również pleśniakowce (*Alphitobius* sp.) mogą być żywicielami pośrednimi tasiemców z rodzaju *Choanotaenia* i *Raillietina*. W ciele larw tych chrząszczy gromadzi się produkowana przez grzyb *Fusarium roseum* mykotoksyna F-2, która jest rakotwórcza. Owady te są także wektorami różnych patogenów m.in. bakterii *Escherichia coli*, *Bacillus*, *Salmonella*, *Streptococcus*, wirusów z grupy *Herpes virus* (Ignatowicz 2013).

Wśród roztoczy magazynowych produkty spożywcze najczęściej atakują: *Acarus siro*, *Tyrophagus putrescentiae* i *Lepidoglyphus destructor*. Oprócz obniżenia jakości i ilości produktów żywnościowych roztocze przyczyniają się do rozprzestrzeniania się grzybów takich jak *Aspergillus* spp. i *Penicillium* spp. oraz bakterii. Są one również źródłem alergenów. Z roztoczy najczęściej objawy alergiczne u osób wrażliwych powodują: rozkruszek drobny *T. putrescentiae*, roztoczek owłosiony *L. destructor*, rozkruszek mączny *A. siro* i roztoczek domowy *Glycyphagus domesticus*. W wyniku kontaktu człowieka z roztoczami mogą wystąpić objawy takie jak: zapalenie spojówek, alergiczny nieżyt nosa, pokrzywka, a także atopowe zapalenie skóry. Jak podaje Ahmed i in. (2020) po spożyciu przez człowieka produktu zainfekowanego roztoczami może dojść nawet do wstrząsu anafilaktycznego (Solarz 2002; Michel i in. 2019; Ahmed i in. 2020).

Aby uniknąć niepożądanego kontaktu człowieka ze szkodnikami należy systematycznie kontrolować magazyny w środku i na zewnątrz w celu stwierdzenia ich obecności. Szkodniki preferują miejsca wilgotne, ciemne i ciepłe. Nierzadko pojawiają się w pęknięciach ścian oraz przestrzeniach zakurzonych lub takich, w których zalegają resztki jedzenia. Puste, jutowe lub płócienne opakowania przeznaczone do magazynowania i transportu towarów również podlegają ocenie pod kątem obecności szkodników. Powszechną metodą wykrywania dorosłych postaci tych organizmów jest stosowanie pułapek feromonowych. Są to najczęściej pojemniki, w których występuje substancja zapachowa zwabiająca owady. Stosuje się również pułapki pokarmowe składające się z siatki wypełnionej pokarmem m. in. ziarnem zbóż, zarodkami pszennymi lub płatkami owsianymi, które wabią dorosłe chrząszcze i larwy. Pułapki te umieszcza się na podłodze. Kontrola polega na przesianiu zawartości pułapki nad kartonem. Obecne w próbce szkodniki wypadają na papier. Innym sposobem wykrywania tzw. jawnego porażenia jest umieszczenie badanej próbki na sicie, pod którym znajduje się szklany lub metalowy lejek włożony do naczynia z alkoholem lub wodą. Nad całym zestawem umieszczona

jest żarówka. Jest to tzw. aparat Tullgrena. Jednak najprostszą, choć czaso- i pracochłonną metodą wykrywania szkodników w przechowywanych produktach jest oglądanie próbek pod mikroskopem. Do tego celu wykorzystywane są również sita, za pomocą których przesiewa się produkty spożywcze nad czarnym arkuszem papieru, a następnie oznacza występujące w nich organizmy. Jednak te techniki nie pozwalają wykryć ukrytego porażenia ziarna (Nawrot 2001; Banga i in. 2018).

Ukryte porażenie występuje wtedy, gdy szkodniki składają jaja do wnętrza nasion. Aby go stwierdzić stosuje się m. in. metodę flotacji na wodzie, w której wykorzystywana jest różnica ciężaru pomiędzy nasionami zdrowymi a porażonymi. Badaną próbkę umieszcza się w wodzie, a następnie liczy się nasiona opadające na dno oraz pływające po powierzchni. Metoda ta nie jest precyzyjna. Zamiast wody stosuje się także azotan amonu lub chlorek sodu. Ciekawym sposobem wykrywania ukrytego porażenia jest metoda Frankenfeld-Harrisa, w której wykorzystuje się reakcję fuksyny z substancją produkowaną przez samice wołka zbożowego, służącą do zasklepienia otworu wydrążanego w ziarnie. Próbkę ziarna umieszcza się w ciepłej wodzie, a następnie w roztworze wodnym z dodatkiem kwasu octowego i fuksyny. Wydrążone przez samice otwory zabarwiają się na kolor kamionkowy. Do barwienia porażonych przez szkodniki nasion stosuje się również roztwór nadmanganianu potasu lub jodu w jodku potasu (Nawrot 2001).

Do monitorowania i wykrywania obecności owadów w przechowywanej żywności często wykorzystuje się światło fluorescencyjne oraz promieniowanie UV. Owady najczęściej zwabia światło o długości fali od 280 do 600 nm (Banga i in. 2018).

Najnowszymi metodami wykrywania szkodników są m.in. analiza PCR i DNA, mikroekstrakcja do fazy stałej sprzężona z chromatografią gazową, obrazowanie termiczne, czy też spektroskopia w bliskiej podczerwieni. Inną tanią, szybką, nieinwazyjną i niegenerującą odpadów metodą wykrywania szkodników jest NIRS, czyli spektroskopia w bliskiej podczerwieni. Szybkie wykrycie inwazji oraz wdrożenie odpowiednich działań prowadzi do zmniejszenia strat (Johnson 2020; Gupta i in. 2022; Zhu i in. 2022).

1.2. Wykorzystanie roślin w walce ze szkodnikami

Rola jaką odgrywają insektycydy w życiu człowieka jest niezwykle istotna. Choć pozwalają one zmniejszyć liczebność populacji szkodliwych owadów oraz rozprzestrzenianie się przenoszonych przez nie chorób, to jednak niektóre z nich wywierają negatywny wpływ na układ oddechowy, nerwowy i rozrodczy człowieka. Ponadto nieodpowiednie i nadmierne używanie insektycydów spowodowało wytworzenie odporności niektórych gatunków

szkodników na te substancje, zmniejszenie bioróżnorodności oraz zachwianie równowagi w ekosystemach. Od dziesięcioleci na szeroką skalę do zwalczania owadzych szkodników stosowano bromek metylu i fosfinę. Są to syntetyczne pestycydy używane jako fumiganty. Jednak ich wykorzystywanie nie było obojętne dla środowiska. Doprowadziło m.in. do degradacji warstwy ozonowej, a także wzrostu odporności owadów na te substancje. Z tego względu od wielu lat i obecnie poszukuje się naturalnych, roślinnych substancji, które nie wpłyną negatywnie na środowisko i zdrowie człowieka (Pavela 2016; Nollet, Rathore 2017; Giunti i in. 2019).

Już w latach 50. XIX wieku powszechnie stosowano materiał roślinny bądź sporządzone z niego ekstrakty jako środki owadobójcze. Stosowano m. in. rotenon pozyskiwany z *Derris elliptica* Wall. Benth., nikotynę z *Nicotiana tabacum* L. oraz permetrynę z *Chrysanthemum cinerariaefolium* Trevir. Vis. Złocien znalazł zastosowanie w walce ze szkodnikami. Wykorzystywany jest do ochrony magazynowanego ziarna i produktów jego przemiału przed owadami (Singh i in. 2021).

Również roślinne olejki eteryczne oraz substancje z nich wyizolowane mają szerokie zastosowanie w walce ze szkodnikami magazynowymi. Wykazano toksyczność działania olejków i substancji roślinnych na układ nerwowy owadów. Wpływają one m.in. na: kanały sodowe i wapniowe bramkowane napięciem, acetylocholinoesterazę oraz receptory kwasu gamma-aminomasłowego (GABA). Stwierdzono, że substancje roślinne hamują działanie acetylocholinoesterazy (AchE), która reguluje przekazywanie impulsów nerwowych. Ten enzym hydrolizuje neuroprzekaźnik - acetylocholinę. Jednym ze składników występujących w *Lantana camara* L. jest kumaran (2,3-dihydrobenzofuran). To właśnie on hamuje działanie acetylocholinoesterazy i zwiększa stężenie acetylocholino w szczelinie synaptycznej. Prowadzi to do nadpobudliwości, drżenia, paraliżu, a nawet śmierci owadów. Z kolei pyrethrum otrzymywane z *Tanacetum cinerariifolium* Trevir. Sch. Bip. zawiera pyretryny I i II, które wpływają na kanały sodowe bramkowane napięciem, co jest niezbędne do prawidłowej sygnalizacji elektrycznej w układzie nerwowym. Pyretryny opóźniają zamknięcie kanałów sodowych. Prowadzi to do nadmiernego pobudzenia nerwowego, a w konsekwencji do paraliżu i śmierci owadów. Korzenie i zdrewniałe łodygi innej rośliny *Ryania speciosa* Vahl. zawierają aktywny składnik – rianodynę. Wpływa on na aktywację kanałów wapniowych mięśni szkieletowych owadów. Następuje uwolnienie nadmiaru jonów wapnia do włókien białkowych, co powoduje skurcz mięśni i paraliż. GABA to neuroprzekaźnik układu nerwowego. Wykazano, że monoterpenuoidy pulegon, tymol i karwakrol hamują działanie GABA, co prowadzi do pobudzenia i śmierci owadów (Chaudhari i in. 2021; Souto i in. 2021).

Obecnie nanotechnologia i nanocząsteczki znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki m.in. biotechnologii, chemii analitycznej oraz w rolnictwie. Nanocząsteczki (NPs) są wykorzystywane do produkcji pestycydów, środków owadobójczych oraz repelentnych. Sztuczna synteza nanocząsteczek jest toksyczna i kosztowna. NPs produkowane przez rośliny lub drobnoustroje są bezpieczne dla środowiska. Na przykład nanocząsteczki miedzi (CuNPs) wykazują właściwości owadobójcze i grzybobójcze. Wykorzystując CuNPs produkowane są nanopestycydy, które znajdują zastosowanie w walce ze szkodnikami magazynowymi (El-Saadony i in. 2020; Dangi, Verma 2021).

Prowadzono badania, w których wykorzystano biologicznie syntetyzowane nanocząsteczki miedzi. Zadziałały one toksycznie na chrząszcze *T. castaneum*. Dodając CuNPs do pszenicy przez pięć kolejnych dni, stężenie śmiertelne, które spowodowało śmierć 50% organizmów narażonych na tą substancję (LC_{50}) wyniosło 37 ppm. Podobne właściwości wykazał nanostrukturalny tlenek glinu (NSA) (Al_2O_3). Po trzech dniach aplikacji NSA w stężeniu 1000 ppm do pszenicy uzyskano śmiertelność dorosłych osobników *R. dominica* i *S. oryzae* na poziomie 95%. Aplikując nanostrukturalny tlenek glinu przez kolejne siedem dni uzyskano 100% śmiertelność obu gatunków chrząszczy (Dangi, Verma 2021).

Nanomateriały wykorzystywane są również do produkcji opakowań. Wykazano, że pojemniki z dodatkiem nanocząstek metali hamują lub opóźniają rozwój drobnoustrojów. Główne motywy dodatku nanocząstek w pojemnikach służących do przechowywania żywności to zmniejszenie ilości bioodpadów i poprawa trwałości materiałów opakowaniowych, a także wydłużenie przydatności do spożycia produktów spożywczych (Dobrucka, Ankiel 2019).

2. Cel pracy

Celem pracy było zbadanie skuteczności działania różnych olejków eterycznych, a także wyekstrahowanych z nich związków chemicznych na śmiertelność i emigrację wołka zbożowego *S. granarius* L. – groźnego szkodnika magazynowanego ziarna zbóż. W badaniach wykorzystano substancje pochodzące z następujących roślin: kopru włoskiego *Foeniculum vulgare* Mill., kminku zwyczajnego *Carum carvi* L., czarnuszki siewnej *Nigella sativa* L. oraz mięty polej *Mentha pulegium* L.

Założono, że olejek eteryczny z kminku zwyczajnego oraz wyizolowane z niego związki L-karwon i R-(+)-limonen, olejek eteryczny z kopru włoskiego oraz wyizolowany z niego anetol, olej z czarnuszki siewnej oraz wyizolowany z niego tymochinon, olejek eteryczny z mięty polej oraz wyizolowane z niego pulegon i piperyton spowodują wzrost emigracji chrząszczy i/lub wykażą działanie owadobójcze.

Znalezienie skutecznego repelentu lub insektycydu może pomóc w ochronie ziarna zbóż przed szkodnikami. W badaniach skupiono się na substancjach pochodzenia roślinnego, które są powszechnie wykorzystywane w różnych gałęziach gospodarki. Szczególną uwagę przy wyborze roślin i związków chemicznych zwrócono na to, aby stosowane preparaty nie zagrażały środowisku i/lub zdrowiu człowieka.

Sformułowano następujące hipotezy pomocnicze:

1. Im niższe stężenie badanej substancji tym silniejszy efekt repelentny.
2. Im wyższe stężenie badanej substancji tym silniejszy efekt owadobójczy.
3. Związki roślinne wykażą silniejszy efekt repelentny i/lub owadobójczy niż olejki eteryczne.

3. Charakterystyka obiektu badawczego – wołka zbożowego *Sitophilus granarius* L.



Fot. 1. Dorosły osobnik wołka zbożowego.
(Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Wheat_weevil)

Przynależność systematyczna:

Królestwo: Animalia (zwierzęta)

Typ: Arthropoda (stawonogi)

Gromada: Insecta (owady)

Podgromada: Pterygota (uskrzydłone)

Rząd: Coleoptera (chrząszcze)

Podrząd: Polyphaga (chrząszcze wielożerne)

Rodzina: Dryophthoridae

Wołek zbożowy jest gatunkiem kosmopolitycznym. Szeroko rozprzestrzenił się na obszarach z klimatem umiarkowanym. Należy do szkodników pierwotnych, atakuje nieuszkodzone ziarniaki zbóż. *S. granarius* żerując powoduje ogromne straty ilościowe i jakościowe przechowywanego ziarna, obniża wartość odżywczą produktów oraz zanieczyszcza ziarno. Chrząszcze porażają ziarna jęczmienia, prosa perłowego, pszenicy, kukurydzy, owsa, ryżu, żyta, pszenżyta, gryki, prosa oraz sorga. *S. granarius* rzadziej atakuje kasztany, żołądzie oraz nasiona roślin bobowatych i oleistych (Lyon 2011; Ali i in. 2015; Malaikozhundan i in. 2019; Holloway i in. 2020; Van Winkle i in. 2022).

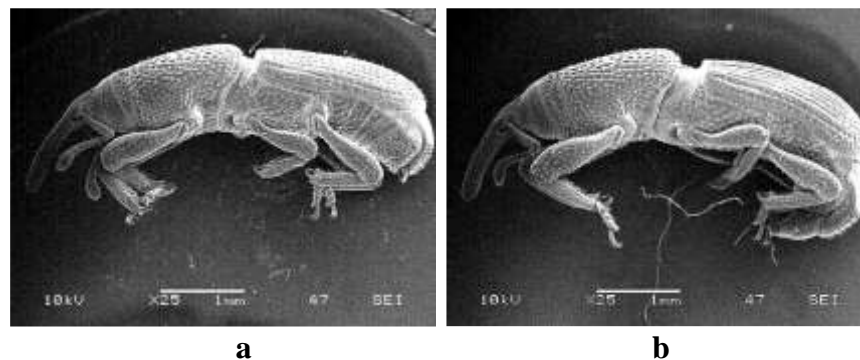
Dorosłe osobniki wołka zbożowego osiągają od 2 do 5 mm długości ciała. Ubarwienie owadów uzależnione jest od ich wieku. Po przepoczwarczeniu się mają kolor słomkowy, który zmienia się na barwę od jasnobrązowej do czarnej. Chrząszcze mają smukłe ciało. Na głowie wyciągniętej w charakterystyczny ryjek osadzone są kolankowato zgięte czułki. Na ostatnim, największym członie czułków znajdują się drobne włoski czuciowe. Wydłużone przedplecze posiada eliptyczne dołki z pojedynczymi szczecinkami. Na pokrywach dołki tworzą podłużne rzędy (Fot. 1) (Nawrot 2001; Ali i in. 2016).

Samica *S. granarius* składa owalne, białe, lśniące i lekko zastrzone na jednym końcu jaja. Maksymalnie osiągają 0,8 mm długości i 0,3 mm szerokości. Samica draży otwór w ziarnie i umieszcza jajo w jego środku. Następnie otwór pokrywa przezroczystą, szybko twardniejącą substancją. Zazwyczaj do jednego ziarna zostaje złożone jedno jajo. Samica może złożyć od 1 do 9 jaj dziennie. Larwa wołka zbożowego rozwija się wewnątrz ziarna, powodując jego ukryte porażenie. Jest beznoga, łukowato wygięta. Jej ciało jest białe i całe pofałdowane, osiąga ok. 2,5 mm długości. Posiada brązowe, mocne żuwaczki, umożliwiające nadgryzanie twardego pokarmu. W temperaturze 21°C larwa przechodzi cztery linienia i po ok. 21 dniach przepoczwarcza się. Larwy najchętniej zjadają pszenicę, żyto, kukurydzę, a nawet żołądzie. Nie

rozwijają się w rozdrobnionych produktach zbożowych. Spoczywająca wewnątrz ziarna poczwarła jest wolna i nie pobiera pokarmu (Nawrot 2001).

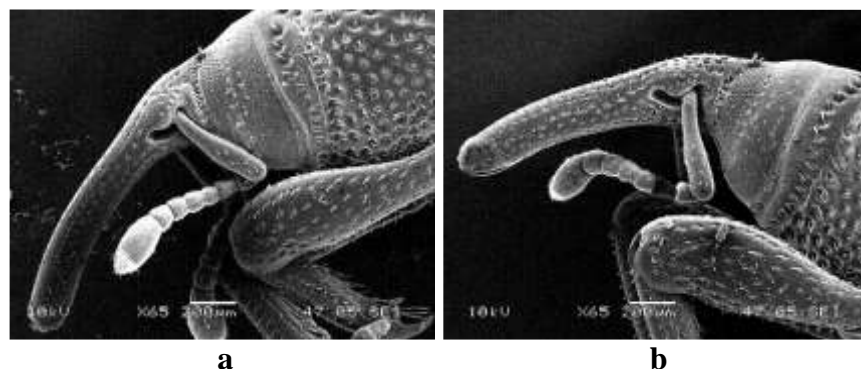
Długość życia owadów zależy głównie od względnej wilgotności powietrza, a także od temperatury. Przy stałej wilgotności na poziomie 75% w temperaturze 29°C osobniki przeżywają ok. 5 miesięcy, w temperaturze 26°C ok. 6 miesięcy, a w temperaturze 21°C ok. 12 miesięcy. Bez dostępu do pokarmu, we względnej wilgotności 100% i temperaturze 5-6°C chrząszcze przeżywają 166 dni, a w wilgotności w przedziale 0-10°C zaledwie 13. Jedno pokolenie wołka zbożowego rozwija się w ciągu ok. 27 dni w temperaturze 28°C i względnej wilgotności powietrza na poziomie 85 – 95% (Nawrot 2001).

Dymorfizm płciowy wołka zbożowego jest słabo zaznaczony. Cechy, na podstawie których możemy odróżnić samca od samicy widoczne są dopiero podczas szczegółowych badań. Ciało samca jest bardziej zakrzywione niż samicy (Fot. 2a, b), co trudno dostrzec u aktywnych owadów. Cecha ta widoczna jest u owadów, które badamy ułożone w pozycji bocznej (Dinuță 2009).



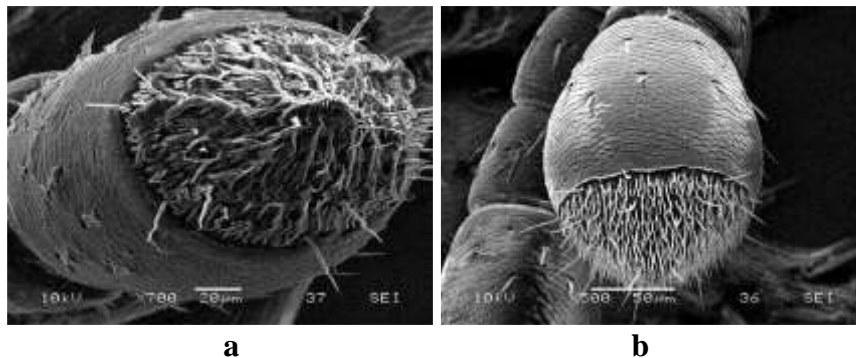
Fot. 2. Dorosłe osobniki wołka zbożowego: a) samica; b) samiec. (Źródło: Dinuță 2009)

Nie obserwujemy różnic pod względem długości ciała samców i samic. Natomiast rostrum samców jest krótsze (0,7 – 0,9 mm), a u samic dłuższe (0,9 – 1,1 mm) (Fot. 3a, b). Dodatkowo rostrum samców jest grubsze i mniej zakrzywione, a u samic cieńsze (Fot. 3a, b) (Dinuță 2009).



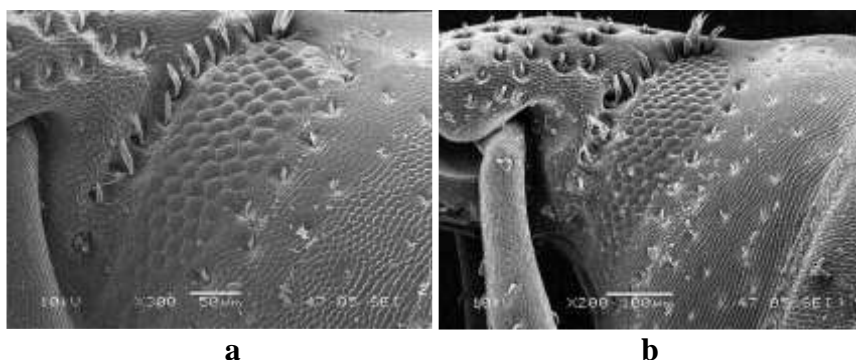
Fot. 3. Rostrum u dorosłych: a) samicy wołka zbożowego; b) samców wołka zbożowego. (Źródło: Dinuță 2009)

Czułki wołka zbożowego u obu płci mają taką samą liczbę członów o jednakowych wymiarach. Wyjątkiem jest ostatni człon czułków tzw. flagellum. U samicy występują na nim dłuższe włosy czuciowe niż u samca. Dodatkowo jest ich więcej niż u samców (Fot. 4a, b) (Dinuță 2009).

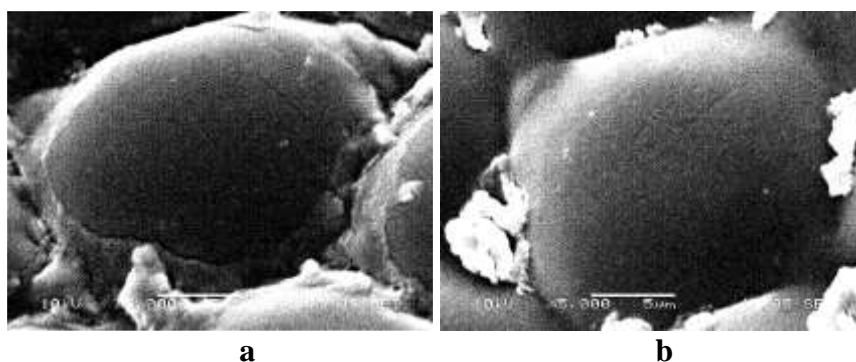


Fot. 4. Włosy czuciowe na czułkach: a) samicy wołka zbożowego; b) samca wołka zbożowego. (Źródło: Dinuță 2009)

Długość oczu złożonych u obu płci jest taka sama (ok. 375 µm) (Fot. 5a, b). Różnice dotyczą ilości omatidiów. U samic jest ich ok. 92 (o średnicy 22 µm), a samiec ma ok. 108 (o średnicy 20 µm) (Fot. 6a, b) (Dinuță 2009).

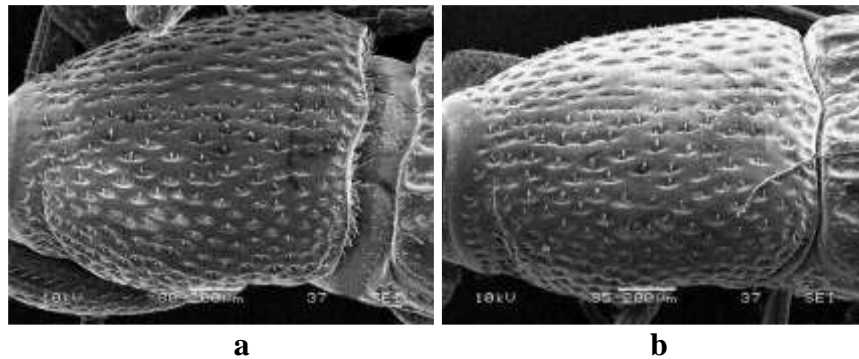


Fot. 5. Oko złożone: a) samicy wołka zbożowego; b) samca wołka zbożowego. (Źródło: Dinuță 2009)



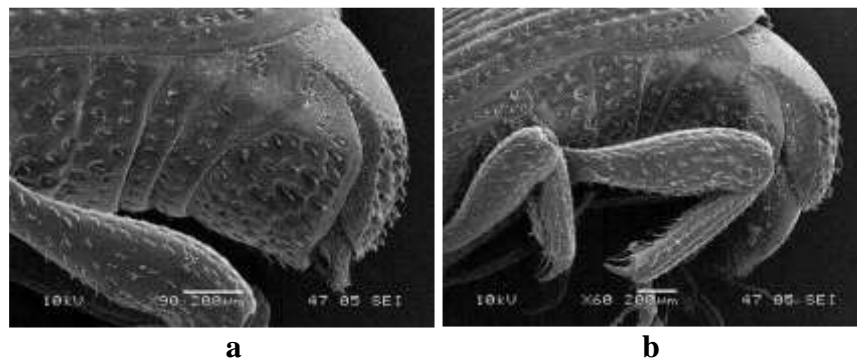
Fot. 6. Omatidia oka złożonego: a) samca wołka zbożowego; b) samicy wołka zbożowego. (Źródło: Dinuță 2009)

Różnice u obu płci występują również na tułowiu. U samic przedplecze oddzielone jest od śródplecza szerokim i głębokim „pasek”, który u samców jest znacznie węższy (Fot. 7a, b) (Dinuță 2009).



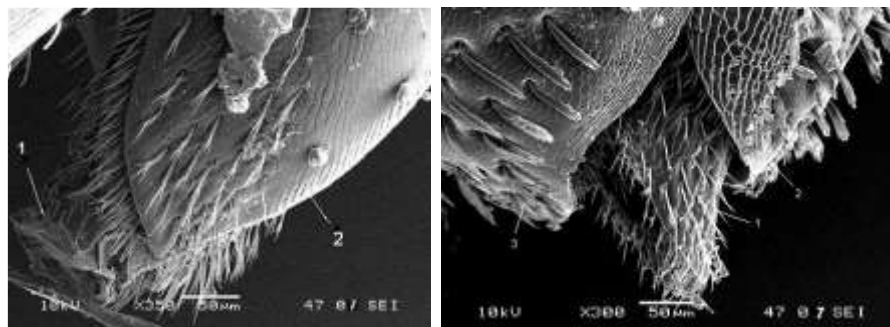
Fot. 7. Pas oddzielający przedplecze od śródplecza u: a) samic wołka zbożowego; b) samców wołka zbożowego. (Źródło: Dinuță 2009)

U samców odwłok wygięty w stronę brzuszną, a u samic odwłok nie jest wygięty (Fot. 8a, b) (Dinuță 2009).



Fot. 8. Odwłok u dorosłych: a) samic wołka zbożowego; b) samców wołka zbożowego. (Źródło: Dinuță 2009)

Na Fot. 9a przedstawiono zewnętrzne narządy płciowe u samców wołka zbożowego. Numerem 1 zaznaczono segment miękkki, a numerem 2 segment silnie schitynizowany. Na Fot. 9b widzimy narządy zewnętrzne samicy *S. granarius*. Numerem 1 oznaczono pokładelko, numerem 2 tergum odwłokowe, a numerem 3 sternum odwłokowe (Dinuță 2009).



Fot. 9. Narządy płciowe zewnętrzne u: a) samca wołka zbożowego; b) samicy wołka zbożowego. (Źródło: Dinuță 2009)

4. Rośliny stosowane w ziołolecznictwie

Terminem zioło określa się roślinę użytkową podawaną człowiekowi lub zwierzętom, która wpływa na stan organizmu (Rastogi i in. 2016). Organizacja Narodów Zjednoczonych zleciła sporządzenie światowej listy roślin wykazujących właściwości lecznicze. Znalazło się na niej ponad 35 000 gatunków. Najwięcej ziół występuje na obszarach o klimacie międzyzwrotnikowym. Ze względu na występujący w Polsce klimat umiarkowany jest to obszar mało zasobny w zioła. Już od dawna rośliny pozyskane z siedlisk naturalnych wykorzystywano do leczenia różnych dolegliwości. Obecnie w naszym kraju spośród 2400 naturalnie występujących gatunków roślin wyższych tylko ok. 200 znajduje zastosowanie w lecznictwie. Dział medycyny zajmujący się wiedzą na temat tych roślin oraz ich zastosowania nazywamy ziołolecznictwem (Rastogi i in. 2016). Wiele leków sporządzonych na bazie ziół wykazuje skuteczność w leczeniu i zapobieganiu chorobom (Kozłowski i in. 2019).

Rośliny w obronie przed szkodnikami wytwarzają substancje antybiotyczne, a właściwie przeciwdrobnoustrojowe. Działają one na bakterie, wirusy, grzyby i/lub pasożyty. Składają się z wielu, różnych związków. Trudniej wykształcić oporność na mieszankę związków niż na jeden z nich, dlatego szkodniki nie wykształciły jeszcze oporności na roślinne leki. Coraz częściej sięgamy po tego typu leki, choć nie działają tak silnie, jak środki chemiczne. Stosowanie antybiotyków wiąże się z licznymi skutkami ubocznymi np. z biegunką czy zaburzeniami mikroflory jelitowej. Należy jednak pamiętać o konsultacji z lekarzem przed ich zastosowaniem. Olejki eteryczne to mieszanki lotnych substancji. Wszystkie wykazują działanie przeciwdrobnoustrojowe. Jedne działają silniej, drugie łagodniej. Poszczególne związki wchodzące w skład olejków eterycznych rozpuszczają się w tłuszczach. Odkładane w błonie komórkowej mikroorganizmu przyczyniają się do spowolnienia lub zahamowania przemiany ich materii. Dodatkowo pH olejków eterycznych jest kwaśne. Aby się rozwinąć większość bakterii potrzebuje środowiska zasadowego (Ritter 2017).

Olejki eteryczne oraz zawarte w nich związki wykazują właściwości antyseptyczne (grzybobójcze, wirusobójcze i bakteriobójcze) oraz lecznicze (np. uspokajające, przeciwzapalne, przeciwbólowe, znieczulające), dlatego wykorzystywane są do celów farmaceutycznych oraz leczniczych (Baptista-Silva i in. 2020). Również olejki eteryczne oraz związki chemiczne z nich wyizolowane wykorzystane w badaniach prezentowanych w niniejszej rozprawie pochodzą z roślin, które od dawna wykorzystywano do celów leczniczych (Keshavarz i in. 2013; Mohamed i in. 2013; Sultan i in. 2014; Manju i in. 2016; Rather i in. 2016; Keskin i in. 2017; Ahmed i in. 2019; Khatamian i in. 2019; Belgaumi i in.

2020; Khezri i in. 2020; Fatima Shad i in. 2021; Alvarado-García i in. 2022; Avci i in. 2022; Khan i in. 2022).

5. Charakterystyka roślin i olejków eterycznych wykorzystanych w badaniach

5.1. Koper włoski

Koper włoski (fenkuł) *F. vulgare* Mill. jest rośliną z rodziny selerowatych *Apiaceae*. Naturalnie występuje w krajach śródziemnomorskich. W Polsce jest uprawiany. Osiąga od 80 do 100 cm wysokości. Łodyga kopru jest gałęzista, naga, kreskowana, obła w przekroju, pokryta sinawym nalotem. Podzielone na włosowate, równowąskie odcinki liście są trzykrotnie pierzaste. Posiadają pochwiastorozszerzony ogonek (Fot. 10). Kwiaty kopru są żółte i drobne, zebrane w charakterystyczny baldach z szypułkami. Owocem jest rozłupnia posiadająca dwie podłużniejąowate, nagie rozłupki (Fot. 11). Surowcem posiadającym właściwości lecznicze są owoce i ziele *F. vulgare* (Mederska 2022; Mehra i in. 2021; Anka i in. 2020).



Fot. 10. Liść kopru włoskiego. (Fot. A. Izdebska)



Fot. 11. Nasiona kopru włoskiego. (Fot. A. Izdebska)

Wszystkie części kopru włoskiego posiadają właściwości moczopędne. Z tego względu roślina ta wykorzystywana jest do leczenia chorób pęcherza moczowego i nerek. Koper z zimną wodą hamuje wymioty i łagodzi mdłości. Wywar z owoców działa mukolitycznie. Jest również wykorzystywany do leczenia kataru oraz bólu brzucha i biegunki (Rahimi, Ardekani 2013).

Od dawna owoce, liście, nasiona i łodygi kopru wykorzystywane są do leczenia kaszlu, przeziębienia, gorączki, biegunki, bóli żołądkowych. *F. vulgare* może być stosowany przez kobiety karmiące piersią (Chen i in. 2022).

Na modelach zwierzęcych szwajcarskich myszy albinosów owoce kopru wykazały właściwości cytotoksyczne, przeciwutleniające i przeciwnowotworowe. Etanolowy ekstrakt z *F. vulgare* wywołał apoptozę komórek białaczkowych. Największą zdolność wychwytywania wolnych rodników i spowolnieniu peroksydacji lipidów wykazywały pędy kopru włoskiego (Rahimi, Ardekani 2013). Badgujar i in. (2014) prowadząc badania na zwierzętach dowiedli, że długotrwałe spożywanie kopru włoskiego nie powoduje skutków ubocznych.

Surowy koper dodawany jest do sałatek lub przekąsek. Wykorzystywany jest również w postaci duszonej, gotowanej, pieczonej lub grillowanej. Koper jest świetną przyprawą dodawaną do owoców morza, pieczywa, serów, mięsa, ryb, deserów, warzyw czy napojów alkoholowych (Anka i in. 2020; Jadid i in. 2023; Rafieian i in. 2023).

Saleh i in. (2018) oraz Al-Sagan i in. (2020) w swoich badaniach dowiedli, że dodanie proszku z nasion kopru włoskiego do paszy brojlerów spowodowało wzrost jej spożycia.

Khan (2017) badał właściwości antybakteryjne wodnych i metanolowych ekstraktów z dodatkiem zmielonych, suchych nasion *F. vulgare*. Wodny ekstrakt kopru włoskiego zahamował wzrost bakterii: *Pseudomonas pupida*, *Pseudomonas syringae*, *Staphylococcus albus*, *Streptococcus haemolyticus*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus megaterium*, *Shigella dysenteriae*, *Shigella shiga* i *Klebsiella pneumoniae*. Metanolowy ekstrakt ograniczył wzrost *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumoniae*. Z tego zestawienia widzimy, że wodny ekstrakt kopru włoskiego wykazał silniejsze właściwości antybakteryjne niż metanolowy (Khan 2017).

5.2. Skład i właściwości olejku eterycznego z kopru włoskiego

Wykorzystując techniki chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS) oraz chromatografii gazowej (GC) przebadano skład olejku eterycznego kopru włoskiego. Substancjami, które występują w olejku w najwyższej procentowej zawartości są anethol (84,32%), fenchon (8,8%) oraz limonen (3%) (Taban i in. 2022).

Olejek kopru włoskiego posiada charakterystyczny anyżkowy zapach. Z tego względu znalazł on zastosowanie jako środek aromatyzujący dodawany do dań mięsnych i rybnych, wypieków i napojów alkoholowych (Rather i in. 2016).

Olejek eteryczny kopru włoskiego posiada właściwości hepatoprotekcyjne, przeciwbakteryjne i przeciwutleniające (Ahmed i in. 2019; Khan i in. 2022). Zarówno olejek eteryczny, jak i etanolowy ekstrakt z nasion kopru włoskiego wykazują odpowiednio wysoką i dobrą zdolność do wychwytywania wolnych rodników (Ahmed i in. 2019).

Występujące w olejku związki fenchon i p-anizaldehyd wykazują właściwości roztoczobójcze. Zwalczają *Dermatophagoides farinae* i *Dermatoglyphoides pteronyssinus*. Z kolei anetol to bezpieczny środek przeciwzakrzepowy (Rather i in. 2016).

W swoich badaniach Pedrotti i in. (2017) dowiedli, że olejek eteryczny kopru włoskiego ma działanie grzybobójcze. Wykazał hamowanie wzrostu *Botrytis cinerea* i *Colletotrichum acutatum*.

Keskin i in. (2017) badali wpływ substancji zawartych w olejku eterycznym kopru włoskiego fenchonu i limonenu na proces gojenia ran. Grzbiet szczura nacięto i nakładano miejscowo związki chemiczne przez 10 dni raz dziennie razem lub osobno. Próbę kontrolną stanowiły szczury, których rany leczono oliwą z oliwek. W grupie leczonej fenchonem, limonenem lub obydwoma substancjami rany goiły się szybciej niż w próbie kontrolnej. Pozyskane wyniki dowodzą, że związki wykorzystywane w badaniach posiadają właściwości przeciwzapalne i przeciwdrobnoustrojowe. Fenchon i limonen powodują wzrost syntezy kolagenu i zmniejszają liczbę komórek zapalnych, dlatego mogą znaleźć zastosowanie w leczeniu ran skóry (Keskin i in. 2017).

Badano również wpływ olejku eterycznego z nasion *F. vulgare* oraz części nadziemnej na łagodzenie lęku i depresji. Olejek eteryczny z nasion okazał się skuteczniejszy w łagodzeniu lęku niż w leczeniu depresji. Natomiast olejek z części nadziemnych wpłynął jedynie na obniżenie lęku (Alvarado-García i in. 2022).

Sadadekar i in. (2023) przygotowali aktywną folię do pakowania z dodatkiem olejku eterycznego kopru włoskiego i ekstraktu ze skórki ziemniaczanej. Olejek eteryczny kopru włoskiego na bazie nanochitozanu i pektyny spowodował poprawę właściwości przeciwdrobnoustrojowych folii. Właściwości przeciwutleniające folii wzrosły dzięki obecności ekstraktu ze skórki ziemniaczanej.

Bioherbicydy na bazie olejków eterycznych to przedmiot zainteresowania współczesnego rolnictwa. Kaur i in. (2021) badali nanoemulsję olejku eterycznego kopru włoskiego. Ocenili, czy jest ona skutecznym środkiem zwalczającym chwasty pszenicy

zwyczajnej *Triticum aestivum* L. takie jak: *Phalaris minor* Retz., *Avena ludoviciana* Durieu, *Rumex dentatus* L. i *Medicago denticulata* Willd. Nanoemulsja wykazała najlepsze właściwości chwastobójcze w stężeniu wagowym 0,05%. Całkowicie zahamowała kiełkowanie *A. ludoviciana*, *R. dentatus*, *P. minor* oraz *M. denticulata*. Spowodowała uszkodzenia komórek (Kaur i in. 2021).

5.3. Kminek zwyczajny

Kminek zwyczajny *C. carvi* L. to roślina z rodziny selerowatych *Apiaceae*. Naturalnie występuje w Europie i Azji. Zadomowił się w Ameryce Północnej jako gatunek zawleczony. Występuje na całym obszarze Polski. Jest uprawiany lub rośnie dziko na stanowiskach naturalnych. Osiąga do 70 cm wysokości. Pierwszy rok wegetacji to czas, w którym zostaje wykształcony wrzecionowaty korzeń oraz rozeta liści. W drugim roku wyrastająca łodyga jest rozgałęziona i podłużnie żeberkowana. Liście znajdujące się na rozecie i na dole łodygi posiadają długie ogonki. Liście na górze łodygi nie posiadają ogonków i są podwójnie- lub potrójniepierzastodzielne (Fot. 12) (Halerewicz 2015).



Fot. 12. Liść kminku zwyczajnego. (Fot. A. Izdebska)

Kwiaty kminku są białe, drobne, zebrane w charakterystyczny baldach złożony. Owoc to rozłupnia składająca się z dwóch, oddzielnych rozłupek. Dojrzałe rozłupki mają kolor brunatny. Są wydłużone. Posiadają 5 żeberek na wewnętrznej stronie (Fot. 13) (Halerewicz 2015).



Fot. 13. Nasiona kminku zwyczajnego. (Fot. A. Izdebska)

Rozłupki i świeże liście kminku znalazły zastosowanie w kuchni. Mają one mniej olejku niż owoce, ale zawierają więcej witaminy C. Liście dodawane są do sałatek i dań duszonych. Suszone rozłupki zmielone, rozkruszone lub w postaci stałej dodawane są do pieczywa i wyrobów cukierniczych. Kminek jest dodawany do kiszonej i duszonej kapusty. Używa się go również jako dodatek do dań ciężkostrawnych, aby ułatwić ich strawienie (Halerewicz 2015).

Kminek zwyczajny jest rośliną ostrą, wykorzystywaną do nadawania aromatu i smaku potrawom oraz napojom. Służy jako dodatek do mięsa i serów. Głównie w Europie Środkowej oraz Skandynawii dodawany jest do zup i kremów jarzynowych (Borozan i in. 2022).

Kminek zwyczajny stosowany jest do złagodzenia problemów trawiennych m.in. skurczów żołądka oraz jelit, wzdęć i zgagi. Posiada właściwości przeciwłękowe i przeciwskurczowe. Stosowany jest również do płukania jamy ustnej. Nasiona wykazują właściwości wiatropędne, przeciwskurczowe. Łagodzą stany zapalne w jamie ustnej, biegunkę, niestrawność, a nawet bóle głowy (Miraj, Kiani 2016).

Oceniono wpływ wodno-alkoholowego ekstraktu z nasion kminku zwyczajnego na proces gojenia ran. Wycięto na grzbietach szczurzych rany, których leczenie trwało 20 dni. Wykorzystany w badaniach ekstrakt już po 3 dniach stosowania przyspieszył gojenie ran (Salari Rafsanjani i in. 2022).

Stwierdzono, że wszystkie obecne w kminku zwyczajnym związki fenolowe neutralizują wolne rodniki. Dodatkowo skutecznie hamują rozwój bakterii Gram-dodatnich (Thippeswamy i in. 2013).

Wykazano również, że wodne i alkoholowe ekstrakty z *C. carvi* hamują rozwój grzybów *Aspergillus niger* oraz bakterii *E. coli*. Nasiona kminku mogą zatem być wykorzystywane do produkcji środków grzybo- lub bakteriobójczych (Gupta i in. 2011).

5.4. Skład i właściwości olejku eterycznego z kminku zwyczajnego

W kminkowym olejku eterycznym występują głównie karwon (48,53%) i limonen (44,42%) (Trifan i in. 2016).

Prowadzone badania dowiodły, że kminkowy olejek eteryczny posiada silne właściwości przeciwutleniające. Może zastąpić konwencjonalne konserwanty i znaleźć zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym, spożywczym i kosmetycznym (Trifan i in. 2016).

Stworzono nanoemulsję z kminkowego olejku eterycznego. Zbadano jej właściwości cytotoksyczne na ludzkie komórki raka okrężnicy. Wykazano, że stworzona nanoemulsja indukuje apoptozę ludzkich komórek raka okrężnicy, nie powodując przy tym niepożądanych skutków ubocznych (Khatamian i in. 2019).

Przebadano również wpływ wodno-alkoholowego ekstraktu oraz olejku eterycznego z *C. carvi* na zapalenie okrężnicy szczurów. Wskaźniki zapalenia badanego narządu oraz uszkodzenia tkanek zmniejszyły się po stosowaniu obydwu preparatów, które aplikowano dootrzewnowo lub doustnie (Keshavarz i in. 2013).

Zbadano kminkowy olejek eteryczny oraz wodny ekstrakt z *C. carvi* i ich właściwości przeciwdrgawkowe. Olejek z kminku okazał się skuteczniejszym środkiem przeciwdrgawkowym niż wodny ekstrakt z *C. carvi* (Mohamed i in. 2013).

Poszukiwane są substancje biologiczne hamujące produkcję aflatoksyn w produktach spożywczych. Przebadano olejek eteryczny ekstrahowany z nasion *C. carvi* oraz jego główny składnik karwon. Stwierdzono, że hamują rozwój *Aspergillus flavus* (Lasram i in. 2019).

Olejek eteryczny z kminku zwyczajnego wykazuje również właściwości przeciwdrobnoustrojowe. Stosując olejek uzyskano zahamowanie wzrostu następujących szczepów bakterii *S. aureus*, *Bordetella bronchiseptica* oraz *E. coli* (Khalil i in. 2018).

Olejek eteryczny z owoców *C. carvi* wykazał wysoką aktywność przeciwbakteryjną. Szczególnie dobrze działał na zahamowanie rozwoju bakterii z rodzaju *Agrobacterium*, *Rhodococcus*, *Curtobacterium*, *Ralstonia*, *Clavibacter*, *Xanthomonas* oraz *Erwinia*. Olejek wykazał mniejszą aktywność w stosunku do bakterii z rodzaju *Pseudomonas*. Kminkowy olejek eteryczny może znaleźć zastosowanie do zwalczania roślinnych chorób bakteryjnych (Iacobellis i in. 2005).

Badano również właściwości kminkowego olejku eterycznego powodujące zahamowanie wzrostu drobnoustrojów odpowiedzialnych za psucie się ziemniaków podczas przechowywania. Na warzywach stwierdzono obecność bakterii z rodzaju *Citrobacter* oraz grzybów z rodzaju *Fusarium*, *Aspergillus* oraz *Phytophthora*. Olejek z *C. carvi* hamował rozwój tych patogenów (Snoussi i in. 2020).

5.5. Czarnuszka siewna

Czarnuszka siewna *N. sativa* L. to roślina zielna z rodziny jaskrowatych *Ranunculaceae*. Naturalnie występuje w południowej Europie i zachodniej Azji. W Polsce jest uprawiana (Halerewicz 2015). Osiąga od 20 do 50 cm wysokości. Kwiaty białe, niebiesko unerwione, pięciokrotne. Posiadają liczne pręciki oraz od 5 do 10 zrosniętych słupków (Fot. 14a). Liście czarnuszki mają równowąskie odcinki i są pierzastosieczne (Fot. 14b). Owocem są mieszki, w których znajdują się czarne nasiona (Fot. 15). Mają korzenny zapach i smakują, jak gorzka kawa. Są surowcem leczniczym. Przygotowany z nich napar znajduje zastosowanie przy zapaleniu błony śluzowej żołądka. Działa rozkurczowo i żółciopędnie (Ali i in. 2022; Mederska 2022).



Fot. 14. a) Kwiat czarnuszki siewnej; b) Liść czarnuszki siewnej. (Fot. A. Izdebska)



Fot. 15. Nasiona czarnuszki siewnej. (Fot. A. Izdebska)

Czarnuszka siewna jest stosowana w nadciśnieniu, cukrzycy, chorobach nowotworowych. Wykazuje właściwości moczopędne, przeciwbólowe, przeciwzapalne, gastroprotecyjne i przeciwutleniające. Nasiona są wykorzystywane do leczenia schorzeń takich jak: bóle głowy, astma, zapalenie oskrzeli, biegunka czy zmiany skórne. Napar z nasion pomaga w utracie apetytu, bieguncie, niestrawności, braku miesiączki czy bolesnym miesiączkowaniu, a nawet na atopowe zapalenie skóry. Większość właściwości leczniczych roślina zawdzięcza obecności tymochinonu. Jest to główny składnik aktywny olejku eterycznego (Ahmad i in. 2013; Albakry i in. 2022).

Czarnuszkę znaleziono w grobowcu egipskiego faraona Tutenchamona. W starożytnym Egipcie była wykorzystywana do procesu mumifikacji jako środek konserwujący. Najprawdopodobniej takie zastosowanie zawdzięcza swoim właściwościom odstraszającym owady oraz przeciwbakteryjnym (Hannan i in. 2021).

Olej z czarnuszki (NSO) wykazuje działanie przeciwwirusowe. Jak podaje Koshak i in. (2021) 500 mg NSO aplikowanego dwa razy dziennie doustnie przez 10 dni skutkowało wyższym odsetkiem wyzdowień dorosłych pacjentów z łagodnymi objawami COVID-19 niż u pacjentów bez stosowania oleju ze zwykłą 14-dniową opieką. Dodatkowo olej z czarnuszki miał wpływ na długość trwania braku węchu oraz kataru.

Również Shaikh i in. (2020) dowiedli, że proszek lub olej z nasion *N. sativa* L. działają na miejsce wiązania receptora wirusa SARS-CoV-2 i tym samym utrudniają rozwój choroby COVID-19. Związki takie jak tymochinon, tymol czy tymohydrochinon hamują rozwój infekcji.

Arazmjoo i in. (2021) badali syntetyzowaną nanoemulsję z domieszką *N. sativa* L. Wykazała ona silne właściwości przeciwutleniające oraz cytotoksyczne na komórki raka jajnika.

5.6. Skład i właściwości olejku eterycznego z czarnuszki siewnej

Główne związki występujące w olejku eterycznym z czarnuszki siewnej (NSEO) to: tymochinon (43,75%), o-cymen (29,07%), α -tujen (9,96%), trans-4-metoksytujen (3,97%), α -pinen (2,47%) oraz β -pinen (2,22%) (Avci i in. 2022).

Właściwości lecznicze olejek eteryczny z *N. sativa* zawdzięcza obecności tymochinonu - głównego składnika aktywnego tego olejku. Znajduje zastosowanie m.in. jako środek przeciwdrobnoustrojowy, przeciwnowotworowy, do kontroli glikemii oraz jako przeciwutleniacz (Belgaumi i in. 2020).

Sultan i in. (2014) badali wpływ olejku eterycznego z *N. sativa* na leczenie cukrzycy u szczurów. Dowiedziono, że olejek zwiększył poziom glutationu i może znaleźć zastosowanie w leczeniu hiperglikemii. Olejek poprawia właściwości antyoksydacyjne oraz łagodzi działanie wolnych rodników i tym samym zmniejsza ryzyko powikłań choroby.

Avcı i in. (2022) badali wpływ olejku eterycznego z *N. sativa* na hormony regulujące pracę tarczycy szczurów cierpiących na niedoczynność i nadczynność tego gruczołu. Dowiedziono, że olejek eteryczny spowodował wzrost trijodotyroniny (TT₃) przy niedoczynności tarczycy, a zmniejszył poziom tego hormonu przy nadczynności. Dzięki właściwościom przeciwutleniającym olejek może wpływać na prawidłowe funkcjonowanie tarczycy.

Wykazano, że olejek eteryczny z *N. sativa* oraz jego główne związki (p-cymen, γ -terpinen, tymochinon, β -pinen, tymol i α -tujen) wykazują właściwości przeciwzapalne, przeciwdrobnoustrojowe oraz przeciwutleniające. Tymochinon działa przeciwzapalnie i przeciwutleniająco. Olejek eteryczny hamował rozwój *Candida albicans* i *E. coli* (Kazemi 2015). Ograniczał również rozwój *Pseudomonas aeruginosa*, *Penicillium citrinum*, *Bacillus cereus*, *S. aureus* oraz *B. subtilis*. Olejek eteryczny z *M. pulegium* wykazuje również duży potencjał antyoksydacyjny (Fawzy Ramadan 2015).

Olejek eteryczny z *N. sativa* wykazał działanie larwobójcze *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* i *Culex quinquefasciatus* (Raj i in. 2015). Wykazuje również działanie repelentne na larwy *Tuta absoluta* (Adil i in. 2015).

Zsyntetyzowano nanocząstki złota wykorzystując olejek eteryczny z czarnuszki siewnej. Wykazały one właściwości bakteriobójcze. Zahamowały wzrost *S. aureus* oraz rozwój komórek raka płuc (Manju i in. 2016).

Zarówno olejek eteryczny z *N. sativa*, jak i jego główny składnik aktywny tymochinon to obiecujące środki zwalczające choroby zakaźne i zapalne m.in. COVID-19 (Fatima Shad i in. 2021).

5.7. Mięta polej

Mięta polej *M. pulegium* L. to gatunek z rodziny jasnotowatych *Lamiaceae*. Zajmuje wilgotne stanowiska lub rośnie nad brzegami wód. Naturalnie występuje w południowej, zachodniej i centralnej Europie, zachodniej Azji, północnej Afryce oraz krajach śródziemnomorskich. Osiąga do 40 cm wysokości. Liście mięty polej są eliptyczne (Fot. 16). Kwiaty zebrane w okółkach w kątach liści są koloru różowego (Hassanpouraghdam i in. 2011).

M. pulegium L. od dawna była stosowana do leczenia przeziębienia, zapalenia oskrzeli i zatok, gruźlicy, a także zatruc pokarmowych. Opisywane są również jej właściwości moczopędne, wykrztuśne, wiatropędne i przeciwkaszlowe (Shahmohamadi i in. 2011).



Fot. 16. Liść mięty polej. (Fot. A. Izdebska)



Fot. 17. Nasiona mięty polej. (Fot. A. Izdebska)

Abbou i in. (2022) w swoich badaniach dowiedli, że *M. pulegium* to źródło wielu bioaktywnych związków, które mogą znaleźć zastosowanie w leczeniu cukrzycy i choroby Alzheimera.

Współczesne rolnictwo podkreśla, jak ważne jest minimalne wykorzystywanie syntetycznych fungicydów do ochrony produktów rolnych. Rizwana i Alwhibi (2021) zsyntetyzowali nanocząsteczki srebra (AgNPs) używając świeżych liści mięty polej *M. pulegium* (Mp). Zastosowanie uzyskanych nanocząstek (Mp-AgNPs) spowodowało zahamowanie wzrostu grzybni oraz kiełkowania ich zarodników. Mp-AgNPs mogą znaleźć zastosowanie do produkcji nietoksycznego, taniego i bezpiecznego dla środowiska preparatu grzybobójczego wykorzystywanego w rolnictwie.

Rad i in. (2019) przeprowadzili syntezę nanocząstek tlenku cynku (ZnO NPs) na bazie ekstraktu z liści *M. pulegium*. ZnO NPs wykazały potencjał przeciwbakteryjny przeciwko *E. coli* oraz *S. aureus*.

Również Alamdari i in. (2022) zsyntetyzowali nanocząsteczki tlenku cynku (ZnO NP) wykorzystując do tego miętę polej, z których stworzyli biodegradowalną folię. Posiadała ona właściwości przeciwutleniające, antibakteryjne oraz blokujące promieniowanie UV. Stworzona folia pozwoliła na wydłużenie przydatności do spożycia owoców. Była ona barierą dla wody i tlenu.

Badano właściwości przeciwutleniające oraz przeciw pasożytnicze wodno-etanolowego ekstraktu mięty polej. Preparat ten zastosowano przeciwko nicieniowi *Haemonchus contortus*, którym zaraziły się myszy. Uzyskane wyniki dowodzą, że ekstrakt z *M. pulegium* posiada właściwości przeciwutleniające, ponieważ spowodował wzrost peroksydazy glutationowej, dysmutazy ponadtlenkowej oraz enzymatycznej katalazy. Preparat pozwolił również zwalczyć pasożyty występujące u myszy (Sebai i in. 2020).

5.8. Skład i właściwości olejku eterycznego z mięty polej

Główne związki występujące w olejku eterycznym z mięty polej to pulegon (43,5%), piperyton (12,2%), p-mentano-1,2,3-triol (6,5%), γ -elemenen (3,6%), gwajen (cis- β) (3,0%), octan karwakrolu (2,6%) i alkohol fenyloetylowy (2,4%) (El-Ghorab 2006).

Olejek eteryczny z *M. pulegium* znajduje zastosowanie w zwalczaniu szkodników. Jako środek biobójczy stosowany jest do zwalczania grzybów, drożdży, bakterii, pasożytów, roztoczy, owadów, a nawet nicieni. Właściwości te olejek zawdzięcza głównie dzięki występującym w nim związkom pulegonowi oraz mentonowi. Wykazują one silne właściwości przeciwutleniające oraz pestycydowe (Domingues, Santos 2019).

Obecnie wzrasta zainteresowanie naturalnymi konserwantami, które wydłużają przydatność do spożycia produktów spożywczych. Tanavar i in. (2021) stworzyli jadalną powłokę na bazie śluzu z nasion bazylii z dodatkiem różnych stężeń olejku eterycznego z *M. pulegium*. Zbadano wpływ stworzonej powłoki na trwałość cielęciny, którą przechowywano w lodówce w 4°C. Wyniki eksperymentu dowodzą, że powłoka może znaleźć zastosowanie jako naturalny środek konserwujący. Spowalnia ona rozwój drobnoustrojów oraz utlenianie tłuszczu. Nie wpłynęła na właściwości sensoryczne badanego mięsa.

Stworzono jadalną powłokę żelatynową z dodatkiem olejku eterycznego z mięty polej. Truskawki zostały powleczone żelatyną (4%) oraz żelatyną z olejkiem (0,5% i 1%). Owoce przechowywano w temperaturze 4°C przez 13 dni. Najlepsze wyniki uzyskano stosując

żelatynę z olejkiem 1%. Powłoka spowodowała spowolnienie m.in. utraty wagi, koloru czy jędrności. Żelatyna z dodatkiem olejku może znaleźć zastosowanie do przedłużania przydatności do spożycia owoców (Aitboulahsen i in. 2018).

Olejek eteryczny z mięty polej wykazuje właściwości przeciwgrzybicze oraz przeciwbakteryjne. Prowadzone przez Aimad i in. (2021) badania dowiodły, że najbardziej wrażliwe na olejek były bakterie *B. subtilis* oraz grzyby *A. Niger*. Olejek miętowy z *M. pulegium* zahamował również wzrost *Acinetobacter baumannii* (Luís, Domingues 2021).

Dodany do białego sera olejek eteryczny z *M. pulegium* ograniczył i opóźnił wzrost Gram - dodatniej bakterii *Listeria monocytogenes*. Dodanie olejku spowodowało również poprawę właściwości organoleptycznych badanego produktu (Sadeghi i in. 2016).

Stworzono żel z olejku eterycznego z *M. pulegium*, który umieszczono w nanostrukturalnych nośnikach lipidowych. Zbadano jego zdolność przyspieszania procesu gojenia ran. Żel wykazał właściwości antybakteryjne hamując rozwój *P. aeruginosa*, *E. coli* oraz *Staphylococcus epidermidis*, *Listeria monocytogenes* i *S. aureus*. Zmniejszył fazę zapalną i przyspieszył gojenie ran (Khezri i in. 2020).

6. Metodyka badań

Eksperymenty rozpoczęto od wyhodowania jednowiekowych osobników wołka zbożowego. Najpierw założono masowe hodowle. Do pojemników dodano 80 g pszenicy i wpuszczono 80 osobników chrząszczy *S. granarius*. Po upływie miesiąca za pomocą pęsety wyjęto dorosłe osobniki. Na kolejny miesiąc wraz z pszenicą w hodowli pozostawiono tylko jaja, larwy i poczwarki. W ten sposób wyhodowano osobniki jednowiekowe, które użyto do eksperymentów.

Kolejnym etapem badań było prowadzenie eksperymentów opartych na jednokierunkowej emigracji chrząszczy. W tym celu użyto odpowiedniego zestawu naczyń doświadczalnych (Fot. 18). Do każdej próby przygotowano dwa pojemniki. Mniejszy (wewnętrzny) o średnicy 6 cm i wysokości 7 cm oraz większy (zewewnętrzny) o średnicy 11 cm i wysokości 12 cm. Obydwa pojemniki zamknięto wieczkami, w których wykonano „otworki” umożliwiające dopływ powietrza. Mniejsze naczynie posiadało 30 otworów 1,5 mm wykonanych w dnie i po bokach pojemnika do wysokości ziarna pszenicy. Dodatkowo w dnie naczynia zamontowano cztery „wkręty” o wysokości 4 cm, które uniemożliwiły chrząszczom powrót do naczynia wewnętrznego. Owady „odnajdywały” otwory i emigrowały do zewnętrznego naczynia. Zestaw doświadczalny zaprojektowała Kłyś (2007). Do tak przygotowanych obu pojemników dodano po 40 g pszenicy odważonej na wadze analitycznej RADWAG WPA 60/C. Dla każdego wariantu eksperymentu wykorzystano oddzielny zestaw badawczy, aby uniknąć połączenia zapachów dwóch różnych substancji. Do mniejszego naczynia wpuszczono 40 jednowiekowych osobników wołka zbożowego do 40 g pszenicy. To warunkowało optymalne zagęszczenie tego szkodnika, które wcześniej zostało stwierdzone w badaniach Ciesielskiej (1983).



Fot. 18. Zestaw naczyń doświadczalnych. (Fot. A. Izdebska)

W eksperymentach przebadano następujące olejki eteryczne oraz związki z nich wyizolowane, które naniesiono na krążek bibuły filtracyjnej (Fot. 19) i umieszczono go w naczyniu wewnętrznym w taki sposób, że nie miał kontaktu z pszenicą (Fot. 20a, b).



Fot. 19. Krążek bibuły filtracyjnej. (Fot. A. Izdebska)



Fot. 20. Usytuowanie krążka bibuły filtracyjnej w małym naczyniu doświadczalnym:
a) widok z góry; b) widok z boku. (Fot. A. Izdebska)

Poniżej wymienione substancje przebadano w stężeniach wagowych 0,025%; 0,05%; 0,1%; 0,5%, 1%:

- olejek eteryczny z kminku zwyczajnego oraz L-carvon i R-(+)-limonen,
- olejek eteryczny z kopru włoskiego oraz anetol,
- olej z czarnuszki siewnej i tymochinon,
- olejek eteryczny z mięty polej oraz pulegon.

Piperiton wyizolowany z olejku eterycznego z mięty polej przebadano w stężeniach wagowych 0,01%; 0,025%; 0,1%; 0,05%. Naczynia opisano i umieszczono w cieplarkach laboratoryjnych C-100G w temperaturze 30°C oraz 60±5% wilgotności. Doświadczenia kontrolowano po upływie 1, 2, 3, 4, 5, 24 i 48 godzinach. Liczono żywe i martwe chrząszcze zarówno w mniejszym, jak i w większym naczyniu. Dla każdego wariantu doświadczenia wykonano 6 powtórzeń.

Prowadzono również hodowle kontrolne, w których substratem była pszenica bez dodatku żadnej substancji. Oceniono naturalną tendencję chrząszczy do migracji.

Obliczono wskaźniki emigracji oraz śmiertelności. Wskaźnik emigracji obliczono według wzoru (Kłyś 1997; Ciesielska, Kłyś 2002):

$$\frac{\bar{X}_{e\bar{z}} + \bar{X}_{em}}{\bar{X}_{\bar{z}} + \bar{X}_m} * 100\%$$

gdzie:

$\bar{X}_{e\bar{z}}$ – średnia liczba żywych emigrantów,

\bar{X}_{em} – średnia liczba martwych emigrantów,

$\bar{X}_{\bar{z}}$ – średnia liczba żywych osobników w obydwu naczyniach,

\bar{X}_m – średnia liczba martwych osobników w obydwu naczyniach.

Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej obliczono według wzoru (Kłyś 1997; Ciesielska, Kłyś 2002):

$$\frac{\bar{X}_m pw}{\bar{X}_{\bar{z}} + \bar{X}_m} * 100\%$$

gdzie:

$\bar{X}_m pw$ – średnia liczba martwych osobników w populacji wyjściowej,

\bar{X}_m – średnia liczba martwych osobników w obydwu naczyniach,

$\bar{X}_{\bar{z}}$ – średnia liczba żywych osobników w obydwu naczyniach.

Wskaźnik śmiertelności populacji emigrantów obliczono według wzoru (Kłyś 1997; Ciesielska, Kłyś 2002):

$$\frac{\bar{X}_m \text{ pem}}{\bar{X}_z + \bar{X}_m} * 100\%$$

gdzie:

$\bar{X}_m \text{ pem}$ – średnia liczba martwych osobników w populacji emigrantów,

\bar{X}_m – średnia liczba martwych osobników w obydwu naczyniach,

\bar{X}_z – średnia liczba żywych osobników w obydwu naczyniach.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono przy użyciu testu ANOVA Kruskala-Wallisa, a następnie wykonano test porównań wielokrotnych. Poziom prawdopodobieństwa testu „p” i poziom istotności „ α ” wynosiły 0,05. Obliczenia wykonano w programie Statistica 13.3.

7. Wyniki badań

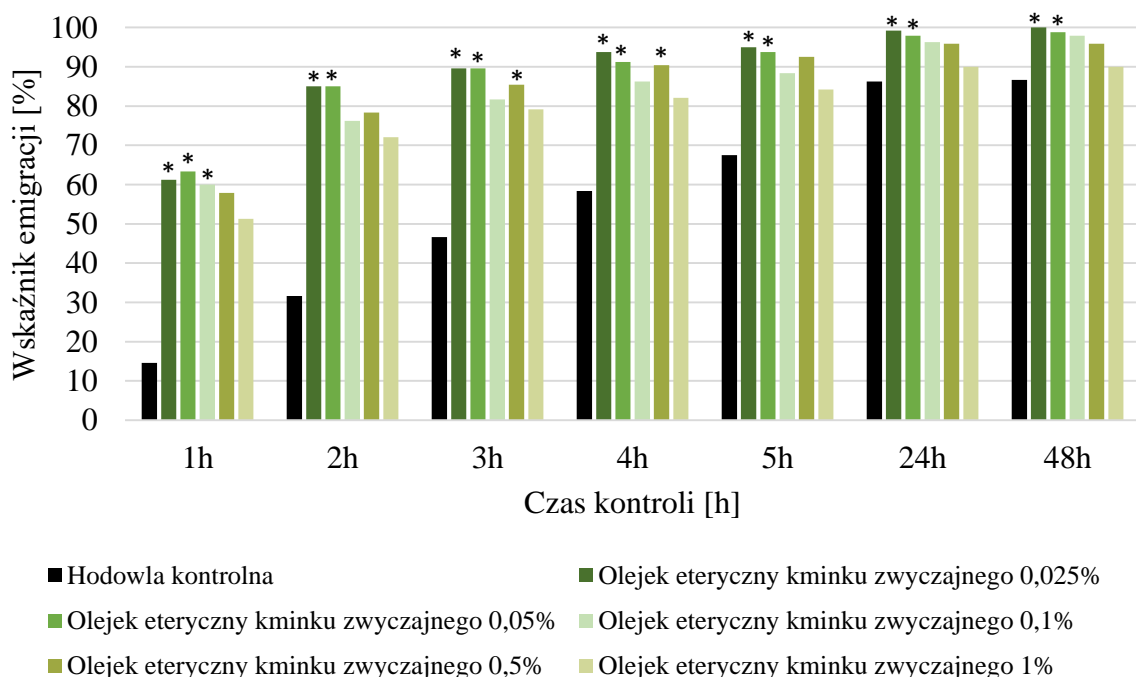
Wyniki przeprowadzonych badań podzielono na cztery podrozdziały. Dokonano w nich porównania wpływu roślinnych substancji – olejków eterycznych oraz wyizolowanych z nich związków - na emigrację (repelentność) i śmiertelność wołka zbożowego.

7.1. Wpływ kminku zwyczajnego *Carum carvi L.* na wołka zbożowego

7.1.1. Wpływ olejku eterycznego z kminku zwyczajnego na emigrację wołka zbożowego

Kminkowy olejek eteryczny w każdym badanym stężeniu i w każdym przedziale czasowym spowodował większą emigrację chrząszczy wołka zbożowego niż w hodowli kontrolnej. Najwyższe wartości wskaźnika emigracji w większości przedziałów czasowych odnotowano stosując olejek eteryczny w stężeniu 0,025%, a najniższe w stężeniu 1% (Ryc. 1).

Największą różnicę w emigracji wołka pomiędzy badanymi stężeniami kminkowego olejku eterycznego, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 2 h badań przy zastosowaniu olejku eterycznego w stężeniu 0,025% i 0,05%, która wynosiła 53% (Ryc. 1).



Ryc. 1. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z kminku zwyczajnego.

(* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

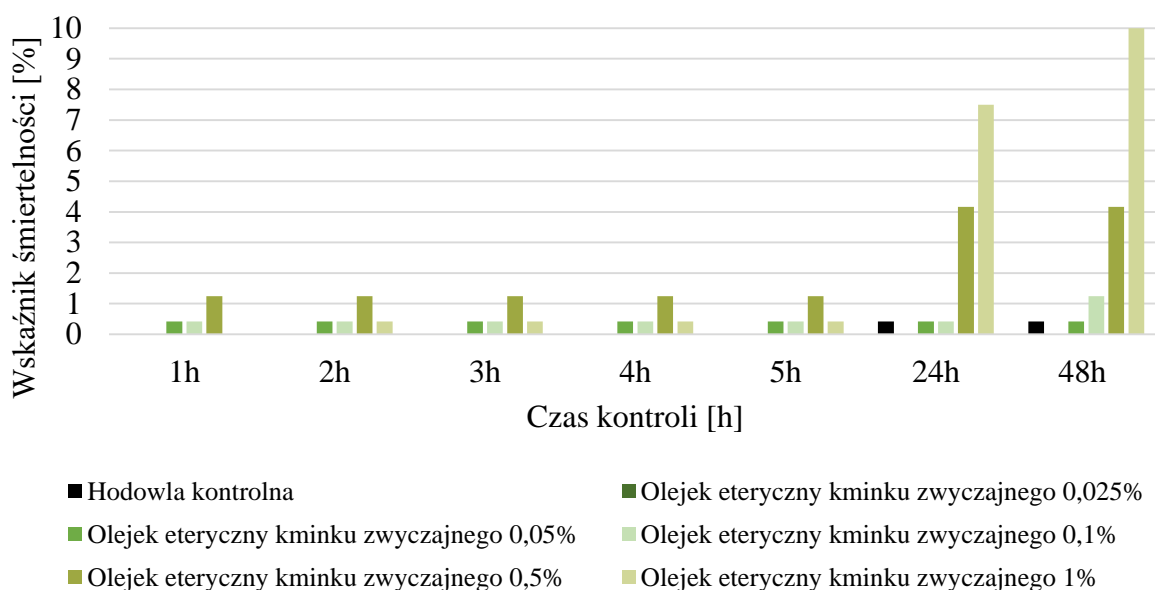
Po 1 h badań największą, istotną statystycznie emigrację (repelencję) uzyskano przy użyciu kminkowego olejku eterycznego w stężeniach 0,05%, 0,025% i 0,1%, odpowiednio

63%, 61% i 60%. W tym samym czasie najniższy, choć ponad 3 – krotnie wyższy niż w hodowli kontrolnej wskaźnik emigracji (51%) odnotowano przy zastosowaniu 1% kminkowego olejku eterycznego. Po 2 i 3 h eksperymentów emigracja chrząszczy w hodowlach z dodatkiem 0,025% i 0,05% kminkowego olejku eterycznego wynosiła odpowiednio 85% i 90%. Wyniki były istotne statystycznie (Ryc. 1).

Po 4 i 5 h badań repelencja w każdym badanym stężeniu stopniowo wzrastała wahając się od 82% do 95%. Po 24 h badań odnotowano wysokie wskaźniki emigracji w każdym przedziale czasowym. Najwyższy przy zastosowaniu olejku w stężeniu 0,025% (99%), a najniższy, choć wysoki przy użyciu kminkowego olejku eterycznego w stężeniu 1% (90%). Po 48 h wskaźnik emigracji w hodowlach z zastosowaniem 0,5% i 1% olejku eterycznego nie wzrósł. W tym samym czasie bardzo wysokie wskaźniki emigracji odnotowano przy użyciu olejku w stężeniach 0,05% i 0,1%, odpowiednio 99% i 98%, podczas gdy olejek w stężeniu 0,025% spowodował emigrację wszystkich chrząszczy z populacji wyjściowej (Ryc. 1).

7.1.2. Wpływ olejku eterycznego z kminku zwyczajnego na śmiertelność wołka zbożowego

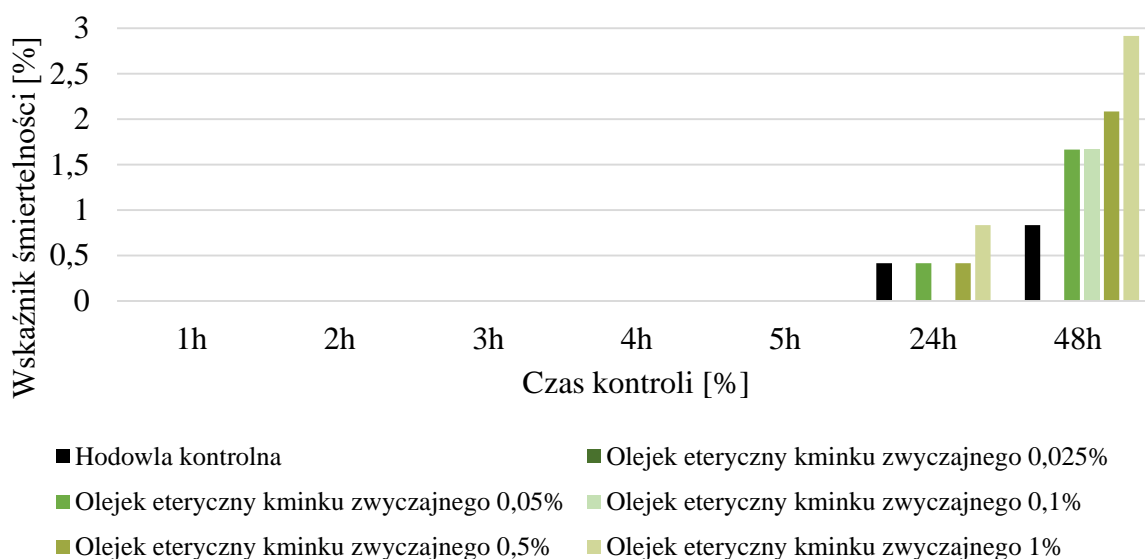
W hodowli kontrolnej nie odnotowano śmiertelności wołka przez 5 h badań. Olejek eteryczny z kminku zwyczajnego w stężeniu 0,025% nie spowodował śmiertelności w populacji wyjściowej chrząszczy wołka zbożowego. Także po 1 h badań przy zastosowaniu 1% olejku eterycznego z kminku zwyczajnego nie odnotowano martwych osobników wołka zbożowego w populacji wyjściowej. Olejek eteryczny w stężeniu 0,05% i 0,1% spowodował bardzo niską śmiertelność chrząszczy na poziomie 0,4%, natomiast w stężeniu 0,5% spowodował ponad 3-krotnie wyższą śmiertelność (1,3%). W przedziale od 2 do 5 h badań przy zastosowaniu kminkowego olejku eterycznego w stężeniu 0,05%, 0,1%, 0,5% i 1% śmiertelność nadal utrzymywała się na niskim poziomie (Ryc. 2).



Ryc. 2. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej pod wpływem olejku eterycznego z kminku zwyczajnego.

Po 24 h w hodowli kontrolnej odnotowano śmiertelność chrząszczy na poziomie 0,4%. Przy zastosowaniu olejku eterycznego w stężeniu 0,05% i 0,1% śmiertelność nie wzrosła od początku badań i była taka sama, jak w hodowli kontrolnej. Używając olejku w stężeniu 0,5% i 1% wskaźnik śmiertelności wynosił odpowiednio 4,2% i 7,5%. Po 48 h eksperymentów śmiertelność taką samą, jak w hodowli kontrolnej uzyskano wykorzystując olejek eteryczny 0,05%. Wyniki wyższe niż w kontroli odnotowano przy zastosowaniu olejku w stężeniu 0,1%, 0,5% i 1%, odpowiednio 1,3%, 4,2% i 10% (Ryc. 2).

Od 1 do 5 h badań zarówno w hodowli kontrolnej, jak i w próbach z zastosowaniem olejku eterycznego we wszystkich użytych stężeniach 0,025%, 0,05%, 0,1%, 0,5% i 1% nie odnotowano martwych chrząszczy. Po 24 h używając kminkowego olejku eterycznego w stężeniu 0,1% nadal nie odnotowano martwych osobników, natomiast olejek w stężeniu 0,05% i 0,5% spowodował śmiertelność na takim samym poziomie jak w hodowli kontrolnej (0,4%) (Ryc. 3).



Ryc. 3. Wskaźnik śmiertelności emigrantów pod wpływem olejku eterycznego z kminku zwyczajnego.

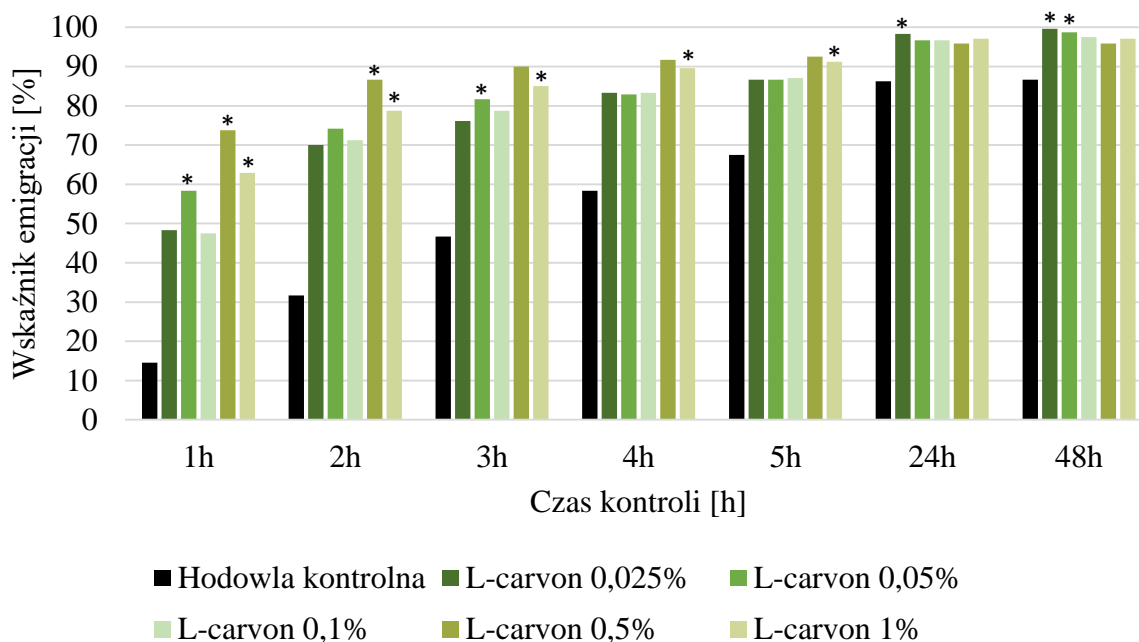
Wskaźnik śmiertelności przy zastosowaniu olejku w stężeniu 1% po 24 h był dwukrotnie wyższy niż w hodowli kontrolnej (0,8%), a po 48 h w stężeniu 0,05% i 0,1% był ponad dwukrotnie wyższy (1,7%) niż w hodowli kontrolnej (0,8%). Po 48 h kminkowy olejek w stężeniu 0,5% i 1% spowodował porównywalną śmiertelność chrząszczy odpowiednio 2,1% i 2,9%, która była wyższa niż w hodowli kontrolnej (Ryc. 3).

7.1.3. Wpływ L-carvonu na emigrację wołka zbożowego

Wszystkie przebadane stężenia L-carvonu spowodowały większą emigrację chrząszczy wołka zbożowego w porównaniu z hodowlą kontrolną w każdym przedziale czasowym. Największą różnicę wartości wskaźnika emigracji pomiędzy badanymi stężeniami L-carvonu, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 1 h eksperymentów przy zastosowaniu L-carvonu w stężeniu 0,5%, która wynosiła 59% (Ryc. 4).

Po 1 h badań ponad 3-krotnie wyższą emigrację niż w hodowli kontrolnej (48%) uzyskano w hodowlach z dodatkiem L-carvonu w stężeniu 0,025% i 0,1%. Jednak największe odstraszenie chrząszczy spowodowane było użyciem 0,5% L-carvonu (74%). Po 2 h eksperymentów porównywalne wartości wskaźnika emigracji odnotowano w hodowlach z zastosowaniem L-carvonu w stężeniu 0,025%, 0,1% i 0,05%, odpowiednio 70%, 71% i 74%. Wyższą emigrację odnotowano używając 1% i 0,5% L-carvonu (79% i 87%). Po 3 h monitoringu wskaźnik emigracji stopniowo wzrastał. Po 4 h badań wskaźnik emigracji utrzymywał się na takim samym poziomie (83%) w hodowlach z użyciem L-carvonu w stężeniu

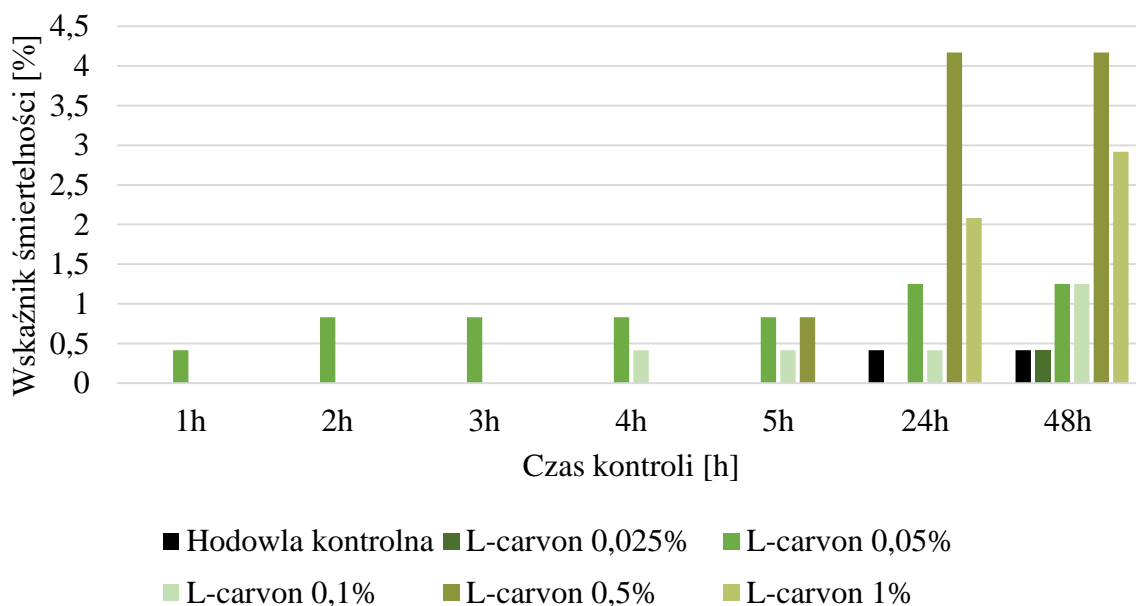
0,025%, 0,05% i 0,1%. Prawie o ok. 10% wyższe wyniki uzyskano przy zastosowaniu 0,5% i 1% L-carvonu, Podobną tendencję obserwowano po 5 h eksperymentów. Po 24 h i 48 h wartości wskaźnika emigracji były najwyższe, wynosiły ponad 90% w każdym badanym stężeniu. Najwyższe prawie 100% odstraszenie chrząszczy spowodował po 48 h L-carvon w stężeniu 0,025% (Ryc. 4).



Ryc. 4. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem L-carvonu. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

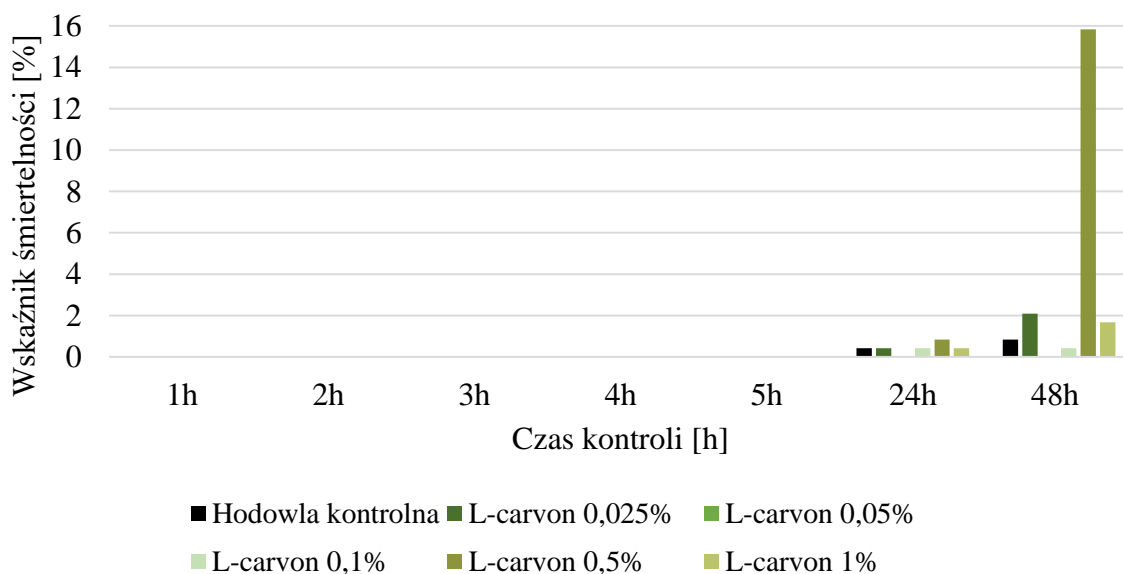
7.1.4. Wpływ L-carvonu na śmiertelność wołka zbożowego

W hodowli kontrolnej w populacji wyjściowej nie odnotowano śmiertelności wołka zbożowego przez 5 h badań, a po 24 i 48 h śmiertelność była bardzo niska (0,4%). Przy zastosowaniu L-carvonu w stężeniu 0,025% martwe chrząszcze obserwowano tylko po 48 h, L-carvon w stężeniu 0,05% wykazał małe właściwości owadobójcze - śmiertelność wahała się od 0,4% do 1,3% przez cały okres badań. Również L-carvon 0,1% spowodował małą śmiertelność. Wykorzystując L-carvon w stężeniu 1% śmiertelność wołka wykazano tylko po 24 i 48 h eksperymentów. Najwyższą wartość wskaźnika śmiertelności (choć nadal bardzo niską) w populacji wyjściowej (4,2%) wołka zbożowego odnotowano po 24 i 48 h w hodowli z 0,5% L-carvonem (Ryc. 5).



Ryc. 5. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem L-carvonu.

L-carvon w stężeniu 0,05% nie spowodował śmiertelności chrząszczy w populacji emigrantów. Również w pozostałych stężeniach w hodowli z L-carvonem, jak i w hodowli kontrolnej od 1 do 5 h badań nie odnotowano martwych osobników wołka zbożowego. Po 24 i 48 h śmiertelność wołka nadal była mała, z wyjątkiem stężenia 0,5% po 48 h gdy śmiertelność wynosiła 16% (Ryc. 6).



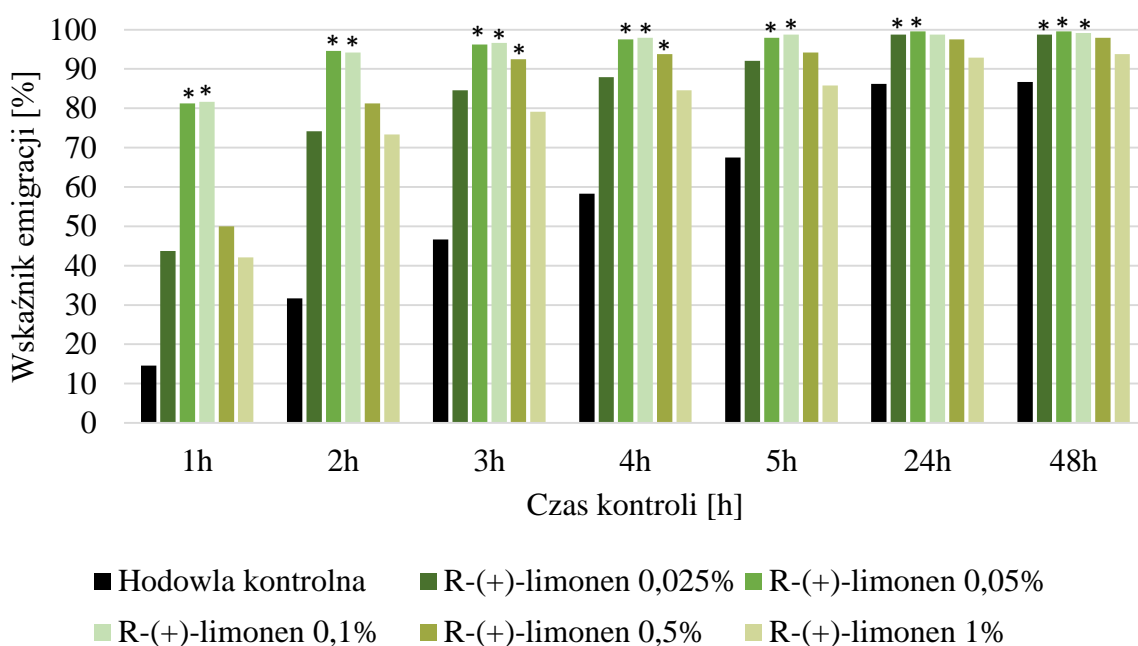
Ryc. 6. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem L-carvonu.

7.1.5. Wpływ R-(+)-limonenu na emigrację wołka zbożowego

Wszystkie przebadane stężenia R-(+)-limonenu spowodowały większą emigrację chrząszczy w porównaniu z hodowlą kontrolną w każdym przedziale czasowym. Najwyższe wartości wskaźnika emigracji od 1 do 5 h badań odnotowano stosując R-(+)-limonen w stężeniu 0,1 %, a od 24 do 48 h badań w hodowli z dodatkiem związku w stężeniu 0,05%. Największą różnicę pomiędzy badanymi stężeniami R-(+)-limonenu, a hodowlą kontrolną stwierdzono wykorzystując 0,1% R-(+)-limonen po 1 h badań, która wynosiła 67% (Ryc. 7).

Dużą emigrację wołka potwierdzoną wysokimi wartościami wskaźnika emigracji stwierdzono stosując R-(+)-limonen w stężeniu 0,05% i 0,1 % przez cały okres badań. Już po 1 h badań emigracja wołka była ponad 5-krotnie wyższa niż w hodowli kontrolnej - wynosiła ponad 80%. Począwszy od 2 h testów wartości wskaźnika emigracji wahały się od 94 do prawie 100%. Ponadto uzyskane w tych stężeniach wyniki były istotne statystycznie w porównaniu do hodowli kontrolnej (Ryc. 7).

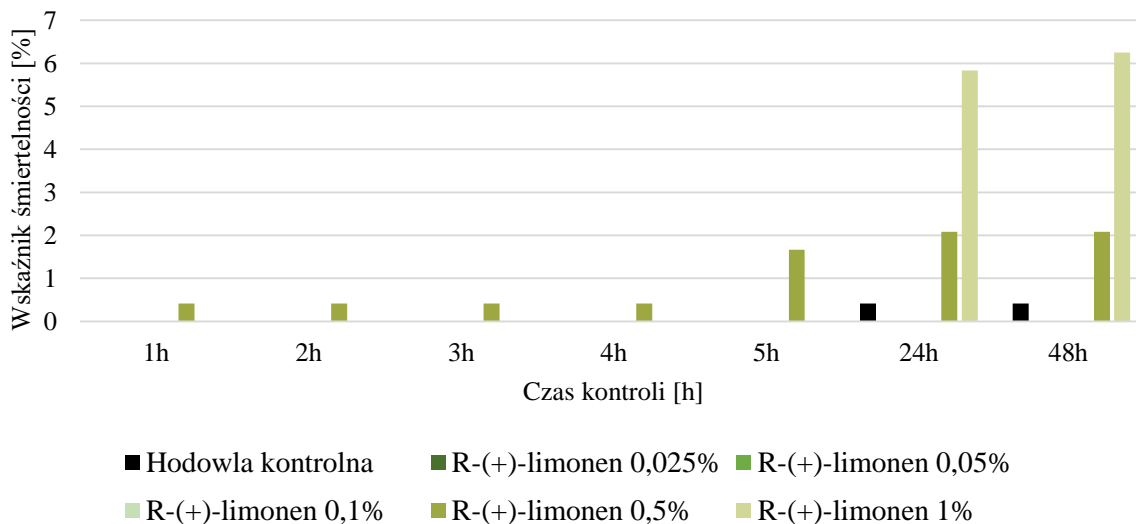
Również R-(+)-limonen w pozostałych stężeniach (0,025%, 0,5%, 1%) spowodował dużą emigrację wołka zbożowego, ale dopiero od 2 h do końca badań, w tym przedziale czasowym wartości wskaźnika emigracji wahały się od 73% do 98% (Ryc. 7).



Ryc. 7. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem R-(+)-limonenu. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

7.1.6. Wpływ R-(+)-limonenu na śmiertelność wołka zbożowego

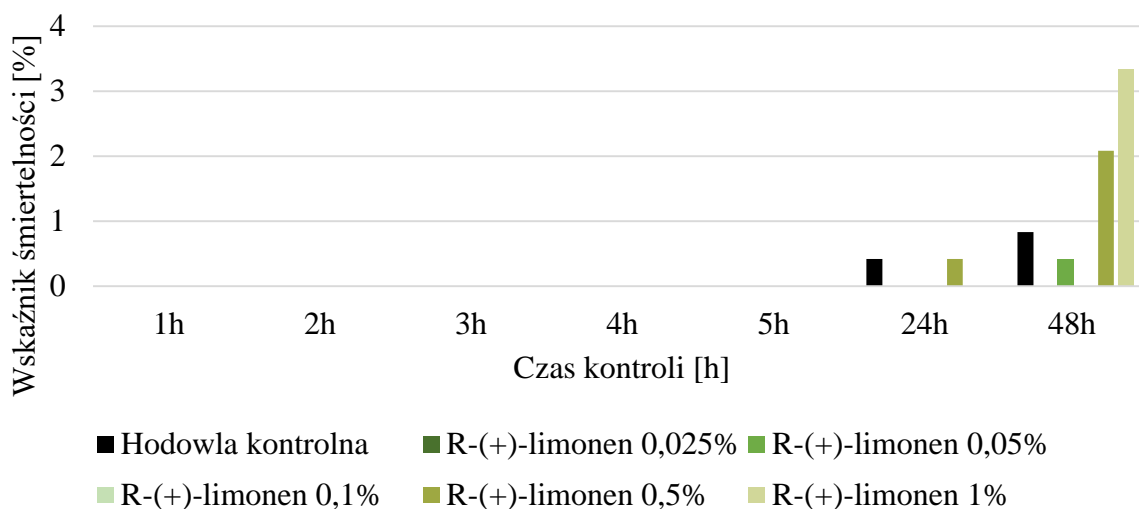
R-(+)-limonen w stężeniu 0,025%, 0,05% i 0,1% nie spowodował śmiertelności chrząszczy w populacji wyjściowej. W hodowlach z dodatkiem R-(+)-limonenu w stężeniu 0,5% śmiertelność była niska i wahała się od 0,4% do 2% (Ryc. 8).



Ryc. 8. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem R-(+)-limonenu.

Przy zastosowaniu R-(+)-limonenu w stężeniu 1% martwe osobniki wołka zbożowego obserwowano tylko po 24 i 48h badań. Wskaźnik śmiertelności wynosił odpowiednio 5,8% i 6,3%. W hodowli kontrolnej bardzo niską śmiertelność wykazano tylko po 24h i 48 h (Ryc. 8).

R-(+)-limonen w stężeniach 0,025% i 0,1% nie spowodował śmiertelności chrząszczy w populacji emigrantów. W hodowli z zastosowaniem 0,5% R-(+)-limonenu martwe chrząszcze odnotowano tylko po 24 i 48 h badań, a śmiertelność wołka była bardzo mała wynosiła 0,4% i 2%. Również R-(+)-limonen w stężeniu 1% spowodował niską śmiertelność wołka i tylko po 48h. W hodowli kontrolnej niewielką śmiertelność wołka stwierdzono tylko po 24 i 48h eksperymentów (Ryc. 9).



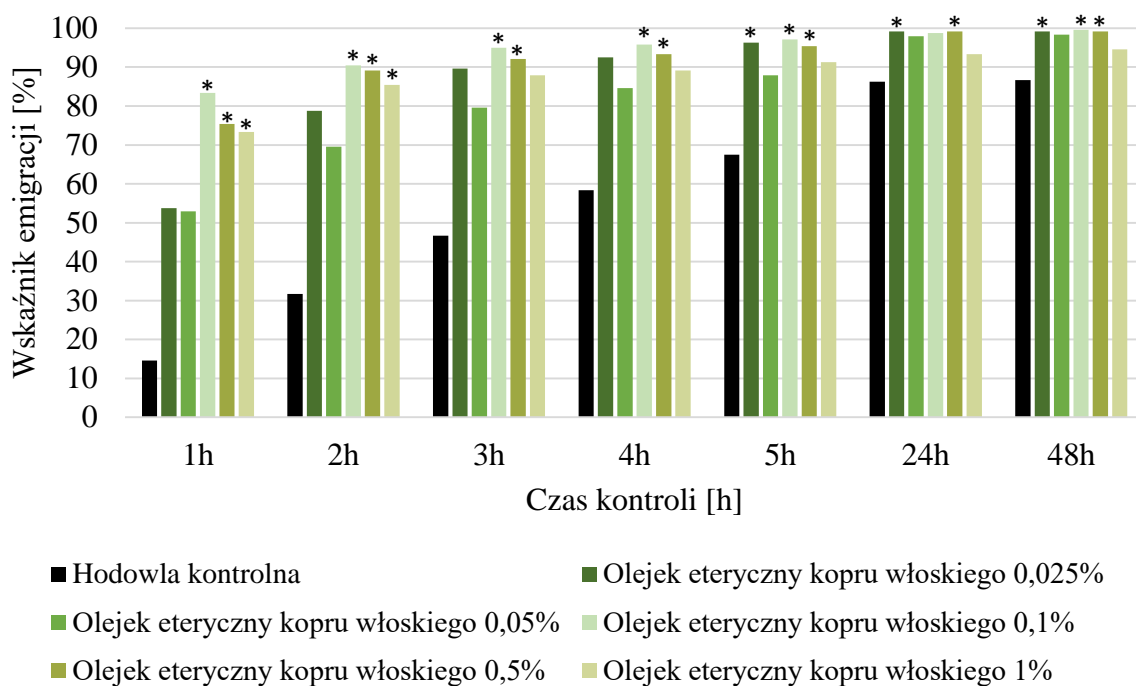
Ryc. 9. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem R-(+)-limonenu.

7.2. Wpływ kopru włoskiego *Foeniculum vulgare* Mill. na wołka zbożowego

7.2.1. Wpływ olejku eterycznego z kopru włoskiego na emigrację wołka zbożowego

Olejek eteryczny z kopru włoskiego w każdym badanym stężeniu i w każdym przedziale czasowym spowodował większą emigrację chrząszczy wołka zbożowego niż w hodowli kontrolnej. Największą różnicę pomiędzy badanymi stężeniami olejku eterycznego z kopru włoskiego, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 1 h badań przy zastosowaniu olejku eterycznego w stężeniu 0,1%, która wynosiła 69% (Ryc. 10).

Najwyższe wartości wskaźnika emigracji odnotowano stosując ten olejek w stężeniu 0,1% we wszystkich przedziałach czasowych. Już po pierwszej godzinie testów olejek z kopru w tym stężeniu spowodował najwyższą, istotną statystycznie w porównaniu z hodowlą kontrolną, emigrację wołka zbożowego na poziomie 83%, która po kolejnych 2, 3, 4 i 5 h nadal była najwyższa i istotna statystycznie – wahała się od 90% do 97%. Również po 24 i 48 h emigracja wołka w stężeniu olejku 0,1% nadal była wysoka (98% i 99,6%), ale w innych stężeniach: 0,025%; 0,05%; 0,5% też była wysoka – wynosiła 98% – 99%. Z kolei 0,5% olejek po 1, 2, 3, 4 i 5 h spowodował niewiele niższą i też istotną statystycznie emigrację wołka (75% do 93%). Okazało się, że olejek z kopru włoskiego użyty w najwyższym 1% stężeniu nie spowodował największej emigracji wołka, choć wartości wskaźnika emigracji były wysokie, wahały się od 73 do 95%, ale były nieistotne statystycznie z wyjątkiem uzyskanych po 1 i 2 h badań (Ryc. 10).

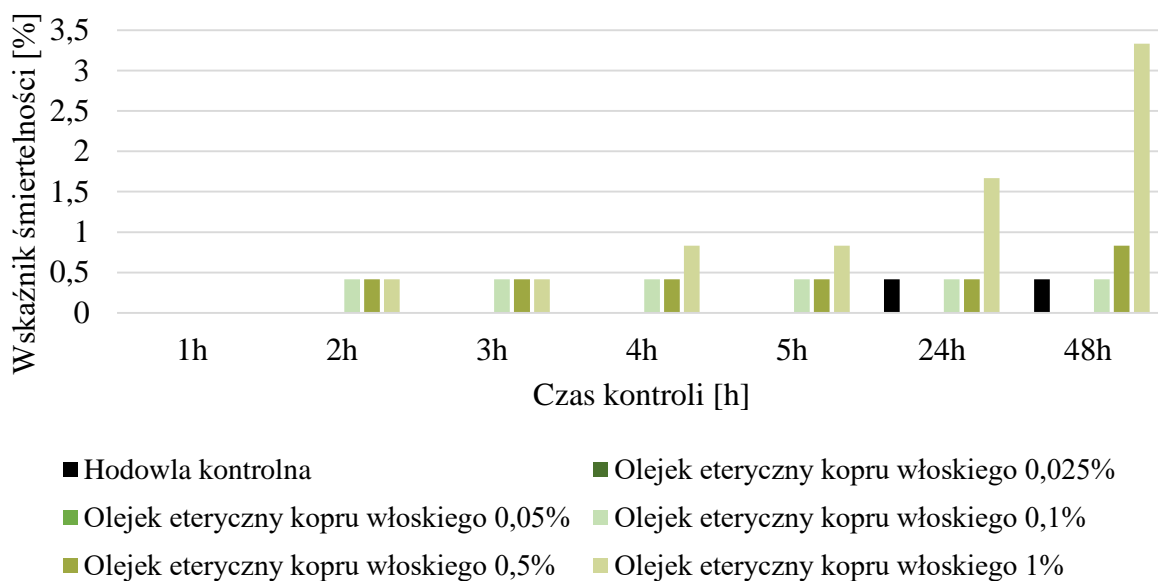


Ryc. 10. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z kopru włoskiego.

(* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowłą kontrolną)

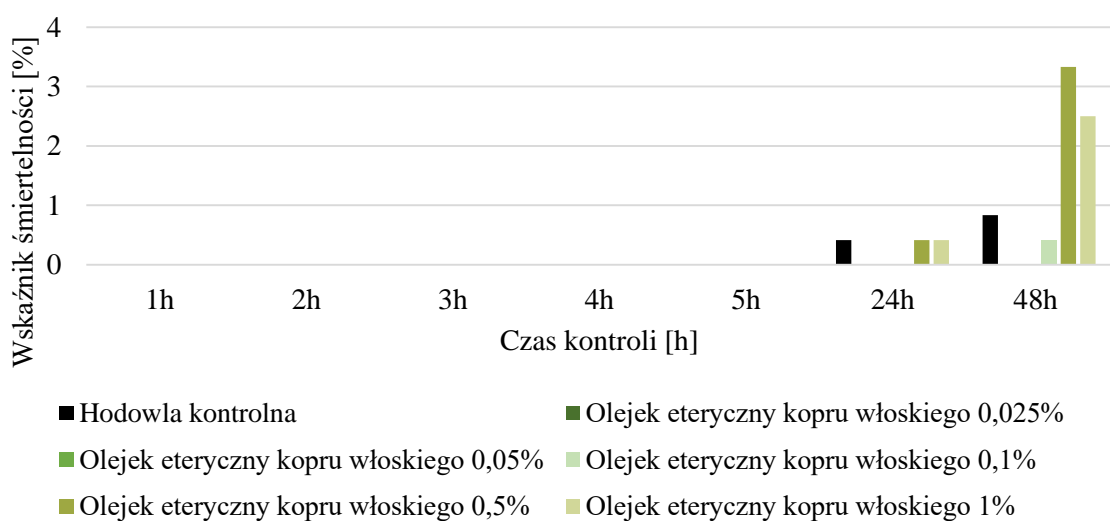
7.2.2. Wpływ olejku eterycznego z kopru włoskiego na śmiertelność wołka zbożowego

W hodowli kontrolnej bardzo niską (0,4%) śmiertelność wołka zbożowego w populacji wyjściowej stwierdzono tylko po 24 i 48 h badań. Olejek eteryczny z kopru włoskiego w stężeniu 0,025% i 0,05% nie spowodował śmiertelności chrząszczy w populacji wyjściowej. Również w hodowli z dodatkiem olejku kopru w stężeniu 0,1% śmiertelność wołka począwszy od 2 h do końca badań była bardzo niska wynosiła 0,4%. Taką samą niską śmiertelność odnotowano przy zastosowaniu olejku z kopru włoskiego w stężeniu 0,5% od 2 do 24 h eksperymentów, a po 48 h dwukrotnie wzrosła. Także ten olejek w stężeniu 1% spowodował śmiertelność od 2 h badań, która stopniowo wzrastała i po 48 h wynosiła 3,3% (Ryc. 11).



Ryc. 11. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z kopru włoskiego.

Przez pierwsze 5 godzin badań nie stwierdzono śmiertelności osobników emigrujących wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i hodowlach z dodatkiem olejku z kopru włoskiego. Przez cały okres badawczy olejek w stężeniach 0,025% i 0,05% w ogóle nie spowodował śmiertelności chrząszczy w populacji emigrantów. Po 24 h eksperymentów w hodowli kontrolnej oraz w hodowlach z dodatkiem olejku z kopru włoskiego w stężeniu 0,5% i 1% odnotowano bardzo małą śmiertelność taką samą jak w hodowli kontrolnej na poziomie 0,4%. Po 48 h badań wyższą niż w hodowli kontrolnej śmiertelność uzyskano po zastosowaniu olejku w stężeniu 0,5% i 1%, odpowiednio 3,3% i 2,5% (Ryc. 12).



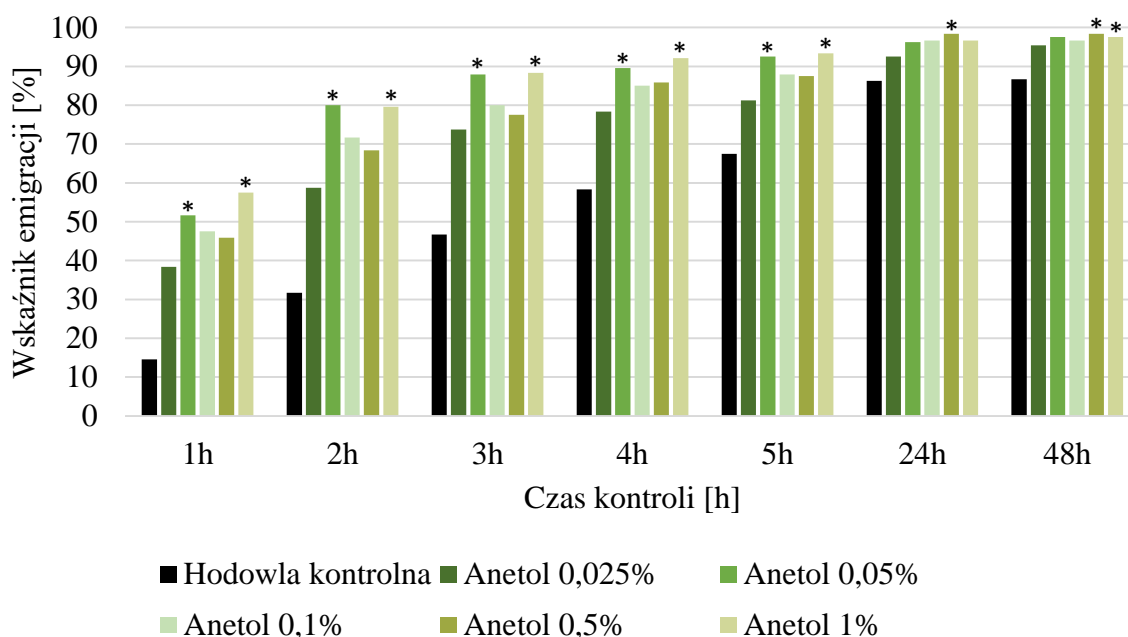
Ryc. 12. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z kopru włoskiego.

7.2.3. Wpływ anetolu na emigrację wołka zbożowego

Anetol w każdym badanym stężeniu i w każdym przedziale czasowym spowodował większą emigrację chrząszczy wołka zbożowego niż w hodowli kontrolnej. Najwyższe wartości wskaźnika emigracji odnotowano stosując anetol w stężeniu 1%. Najniższy wskaźnik emigracji uzyskano przy zastosowaniu anetolu w stężeniu 0,025%. Największą różnicę pomiędzy badanymi stężeniami anetolu, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 1 h badań przy zastosowaniu anetolu w stężeniu 0,05%, która wynosiła 48% (Ryc. 13).

Dużą emigrację wołka potwierdzoną wysokimi wartościami wskaźnika emigracji stwierdzono stosując anetol w stężeniach 0,05% i 1 % przez cały okres badań. Już po 1 h badań 1% anetol spowodował blisko 4-krotnie wyższą emigrację wołka niż w hodowli kontrolnej, a wartości wskaźnika emigracji przez cały okres eksperymentów wahały się od 58% do 98%. Począwszy od 1 do 5 h oraz po 48h badań wyniki badań były istotne statystycznie (Ryc. 13).

Również anetol w pozostałych stężeniach spowodował dużą emigrację wołka zbożowego, ale dopiero od 3 h do końca badań. W tym przedziale czasowym wartości wskaźnika emigracji wahały się od 74% do 98% (Ryc. 13).

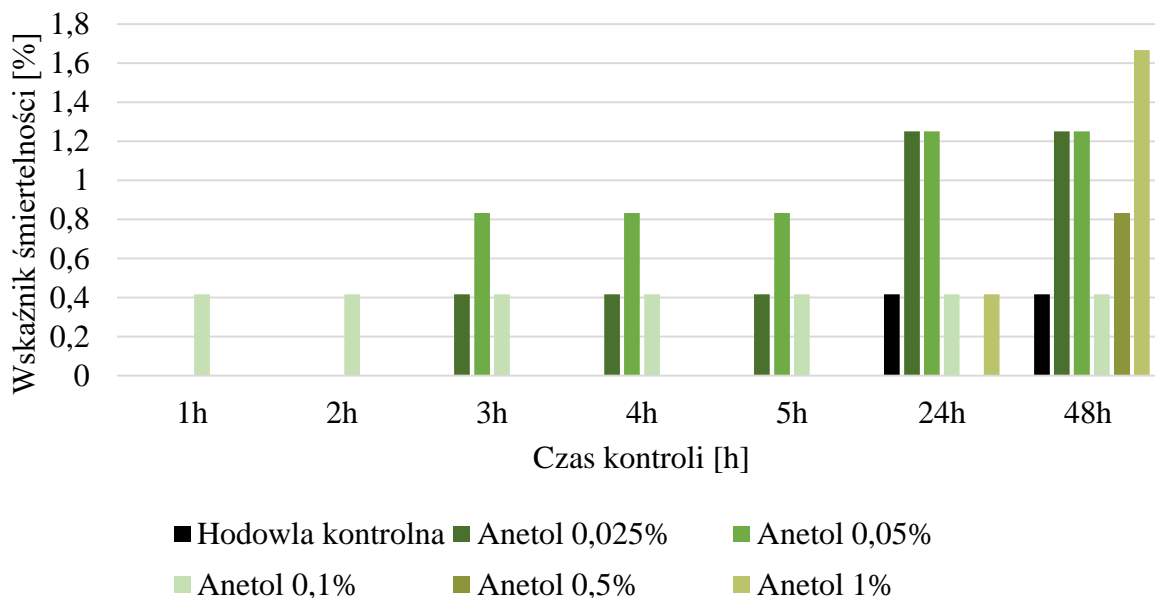


Ryc. 13. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem anetolu. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

7.2.4. Wpływ anetolu na śmiertelność wołka zbożowego

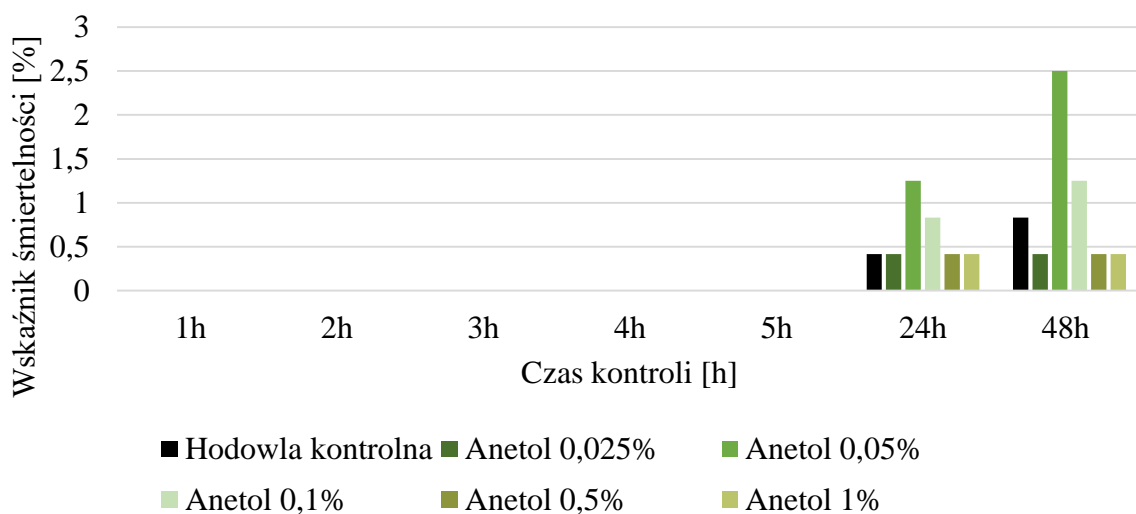
W hodowli kontrolnej bardzo niską (0,4%) śmiertelność wołka zbożowego w populacji wyjściowej stwierdzono tylko po 24 i 48 h badań. Taką samą śmiertelność odnotowano przy zastosowaniu 0,1% anetolu od 1 h, aż do końca eksperymentów. Również 1% anetol

spowodował bardzo niską śmiertelność po 24 h, która po 48 h wzrosła. W hodowli z dodatkiem 0,5% anetolu niską, dwukrotnie wyższą niż w hodowli kontrolnej śmiertelność wołka zbożowego stwierdzono tylko po 48 h (0,8%). W pozostałych stężeniach od 3 h śmiertelność wahała się od 0,4% do 1,3 % (Ryc. 14).



Ryc. 14. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem anetolu.

Przez pierwsze 5 godzin badań nie stwierdzono śmiertelności osobników emigrujących wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i hodowlach z dodatkiem anetolu. W hodowli kontrolnej bardzo niską (0,4%) śmiertelność wołka zbożowego w populacji emigrantów stwierdzono po 24 h, która po 48 h dwukrotnie wzrosła (Ryc. 15).



Ryc. 15. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem anetolu.

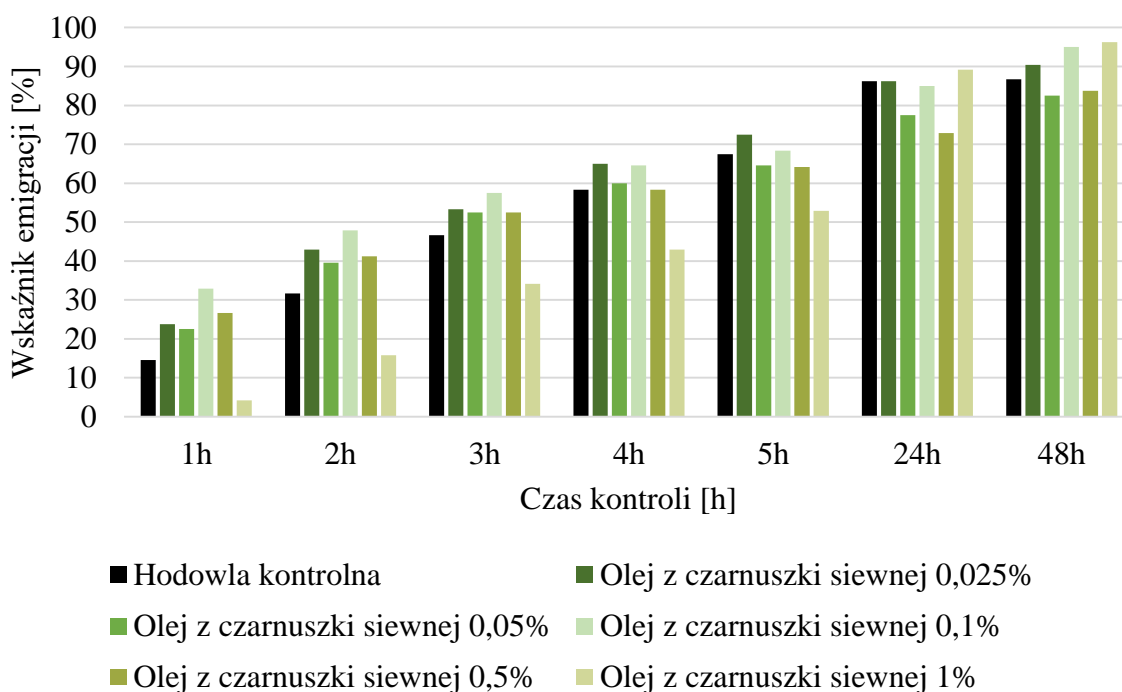
Również bardzo niską śmiertelność (0,4%) po 24 h odnotowano w hodowlach z 0,025%; 0,5% i 1% anetolem, która do końca badań nie wzrosła. Wyższą niż w hodowli kontrolnej śmiertelność po 24 i 48 h odnotowano przy zastosowaniu 0,05% i 0,1% anetolu (Ryc. 15).

7.3. Wpływ czarnuszki siewnej *Nigella sativa* L. na wołka zbożowego

7.3.1. Wpływ oleju z czarnuszki siewnej na emigrację wołka zbożowego

Największą różnicę pomiędzy badanymi stężeniami, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 1 h badań przy zastosowaniu oleju z czarnuszki siewnej w stężeniu 0,1%, która wynosiła 18% (Ryc. 16).

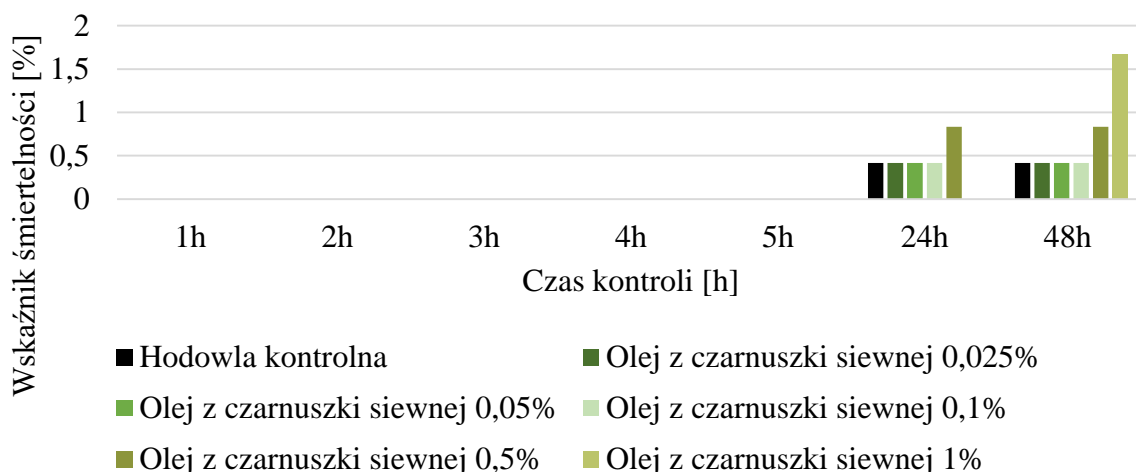
Od 1 do 3 h badań wartości wskaźnika emigracji były niskie i wahały się od 4% do 58%. Od 4 do 5 h badań emigracja stopniowo wzrastała. Po 24 h eksperymentów jedynie 1% olej z czarnuszki spowodował wyższą emigrację niż w hodowli kontrolnej. W pozostałych stężeniach wskaźnik emigracji był niższy lub taki sam, jak w hodowli kontrolnej. Po 48 h wyższą niż w hodowli kontrolnej emigrację uzyskano stosując olej z czarnuszki w stężeniach 0,025%; 0,1% i 1%. W tym czasie wartości wskaźnika emigracji wahały się od 90% do 96% (Ryc. 16).



Ryc. 16. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem oleju z czarnuszki siewnej.

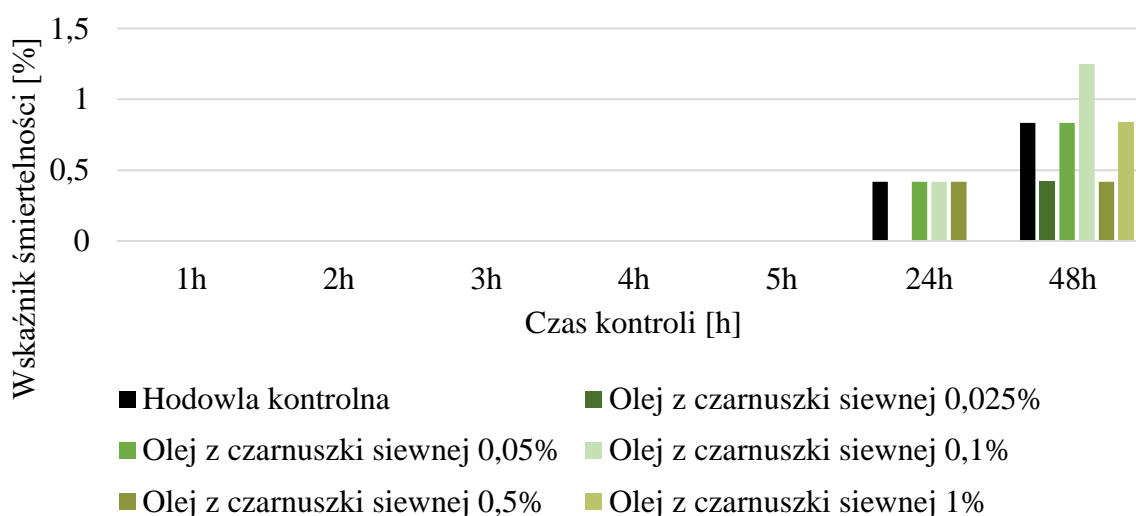
7.3.2. Wpływ oleju z czarnuszki siewnej na śmiertelność wołka zbożowego

Przez pierwsze 5 godzin badań nie stwierdzono śmiertelności osobników w populacji wyjściowej wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i hodowlach z dodatkiem oleju z czarnuszki siewnej. 1% olej z czarnuszki spowodował niską śmiertelność tylko po 48 h (1,7%). Po 24 h eksperymentów tylko w stężeniu 0,5% odnotowano śmiertelność wyższą niż w hodowli kontrolnej, a po 48 h nie odnotowano wzrostu śmiertelności w tych stężeniach (Ryc. 17).



Ryc. 17. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem oleju z czarnuszki siewnej.

Przez pierwsze 5 godzin badań nie stwierdzono śmiertelności osobników emigrujących wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i hodowlach z dodatkiem oleju z czarnuszki siewnej (Ryc. 18).



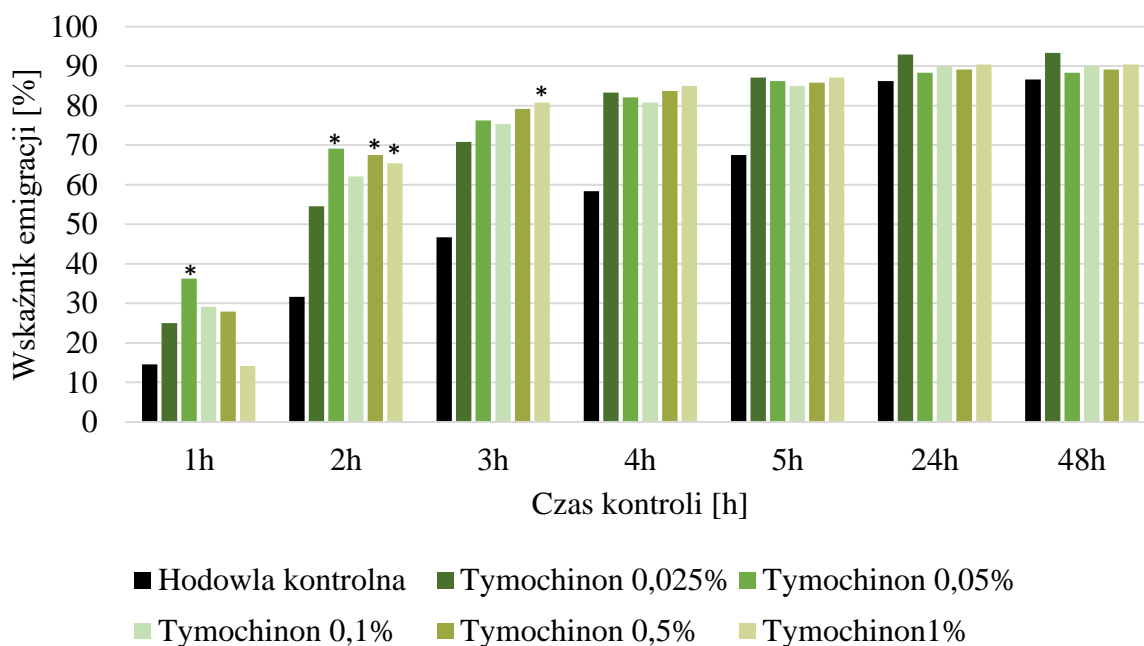
Ryc. 18. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem oleju z czarnuszki siewnej.

Po 24 h badań w hodowlach w olejem w stężeniach 0,025% i 1% nadal nie odnotowano martwych chrząszczy. W pozostałych stężeniach śmiertelność była taka sama, jak w hodowli kontrolnej. Po 48 h śmiertelność wyższą niż w hodowli kontrolnej stwierdzono tylko przy zastosowaniu oleju z czarnuszki w stężeniu 0,1%, a niższą w stężeniach 0,025% i 0,5% (Ryc. 18).

7.3.3. Wpływ tymochinonu na emigrację wołka zbożowego

Wszystkie przebadane stężenia tymochinonu spowodowały większą emigrację chrząszczy w porównaniu z hodowlą kontrolną w każdym przedziale czasowym z wyjątkiem 1% tymochinonu po 1 h badań. Największą różnicę pomiędzy badanymi stężeniami, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 2 h badań przy zastosowaniu tymochinonu w stężeniu 0,05%, która wynosiła 38% (Ryc. 19).

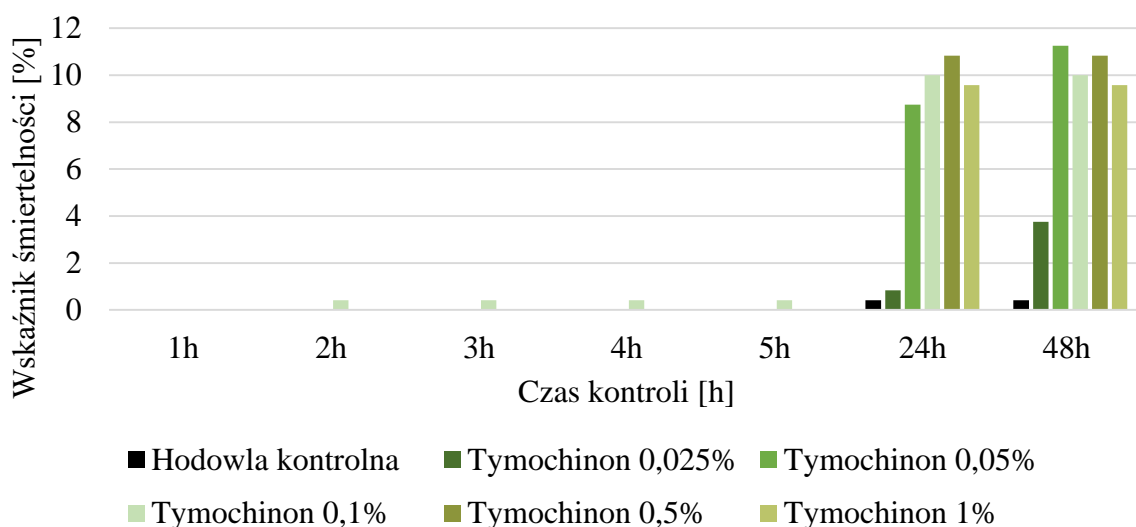
Po 1 h eksperymentów wartości wskaźnika emigracji były niskie i wahały się od 14% do 36%. Najwyższą, istotną statystycznie emigrację odnotowano w hodowli z dodatkiem 0,05% tymochinonu (36%). Po 2 h badań najwyższe, istotne statystyczne wartości wskaźnika emigracji stwierdzono w stężeniach 0,05%; 0,5% i 1%. Od 3 do 5 h badań emigracja stopniowo wzrastała. Po 24 i 48 h wartości wskaźnika emigracji zarówno w hodowli kontrolnej oraz z anetolem we wszystkich stężeniach były porównywalne (Ryc. 19).



Ryc. 19. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem tymochinonu. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

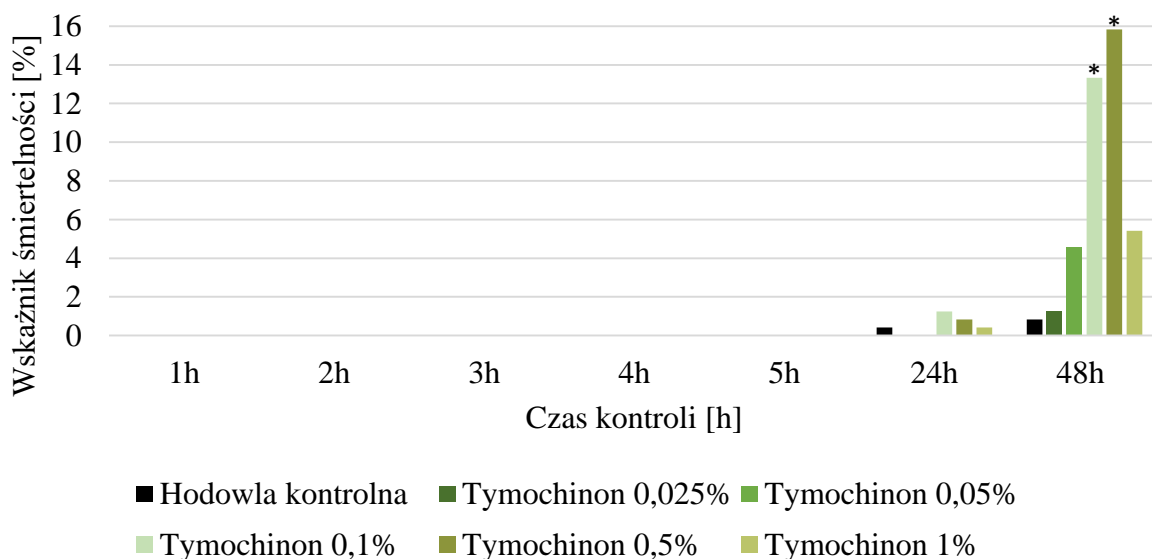
7.3.4. Wpływ tymochinonu na śmiertelność wołka zbożowego

W pierwszej godzinie badań nie stwierdzono śmiertelności osobników w populacji wyjściowej wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i hodowlach z dodatkiem tymochinonu. Od 2 do 5 h odnotowano niską śmiertelność (0,4%) tylko w hodowli z 0,1% tymochinonem. Po 24 h wyższe niż w hodowli kontrolnej wartości wskaźnika śmiertelności odnotowano w stężeniach 0,05%; 0,1%; 0,5% i 1%. Śmiertelność była niska - wahała się od 8,8% do 11%. Po 48 h wzrost śmiertelności odnotowano tylko w hodowlach z 0,025% i 0,05% tymochinonem (Ryc. 20).



Ryc. 20. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem tymochinonu.

Przez pierwsze 5 godzin badań nie stwierdzono śmiertelności osobników emigrujących wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i hodowlach z dodatkiem tymochinonu. Po 24 h odnotowano bardzo niską śmiertelność, która wahała się od 0,4% do 1,3%. Po 48 h najwyższe, istotne statystycznie wskaźniki śmiertelności wykazał tymochinon w stężeniach 0,1% i 0,5%, odpowiednio 13% i 16% (Ryc. 21).

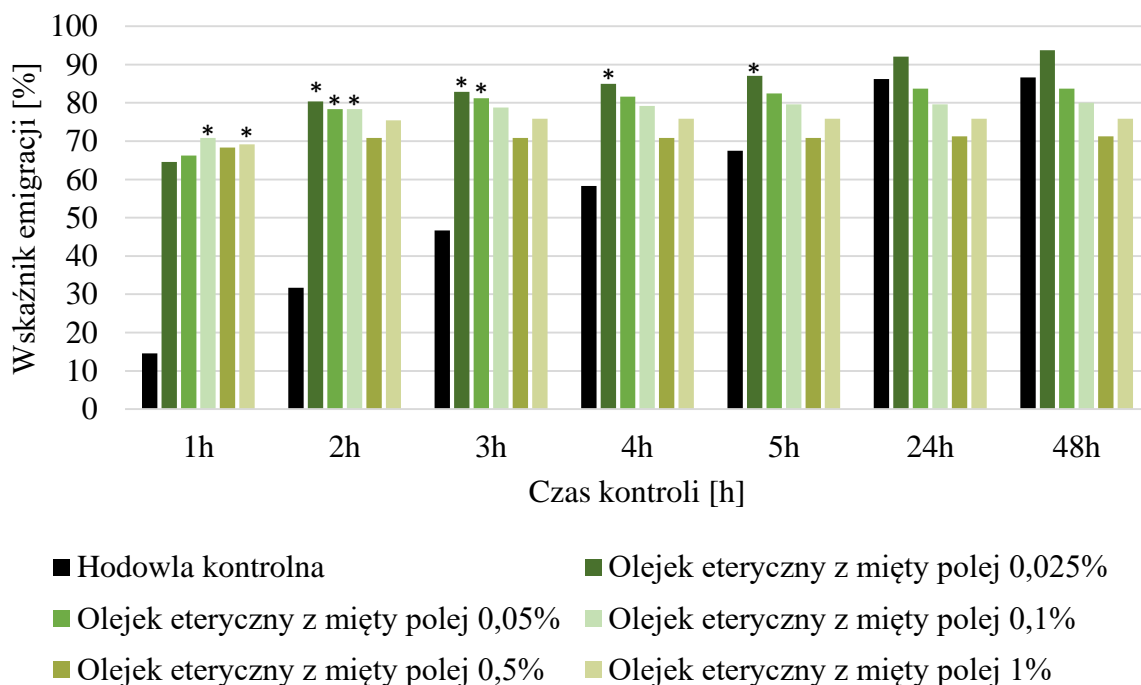


Ryc. 21. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem tymochinonu. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

7.4. Wpływ mięty polej *Mentha pulegium* L. na wołka zbożowego

7.4.1. Wpływ olejku eterycznego z mięty polej na emigrację wołka zbożowego

Wszystkie przebadane stężenia olejku eterycznego z mięty polej spowodowały większą emigrację wołka w porównaniu z hodowlą kontrolną od 1 do 5 h eksperymentów (Ryc. 22).

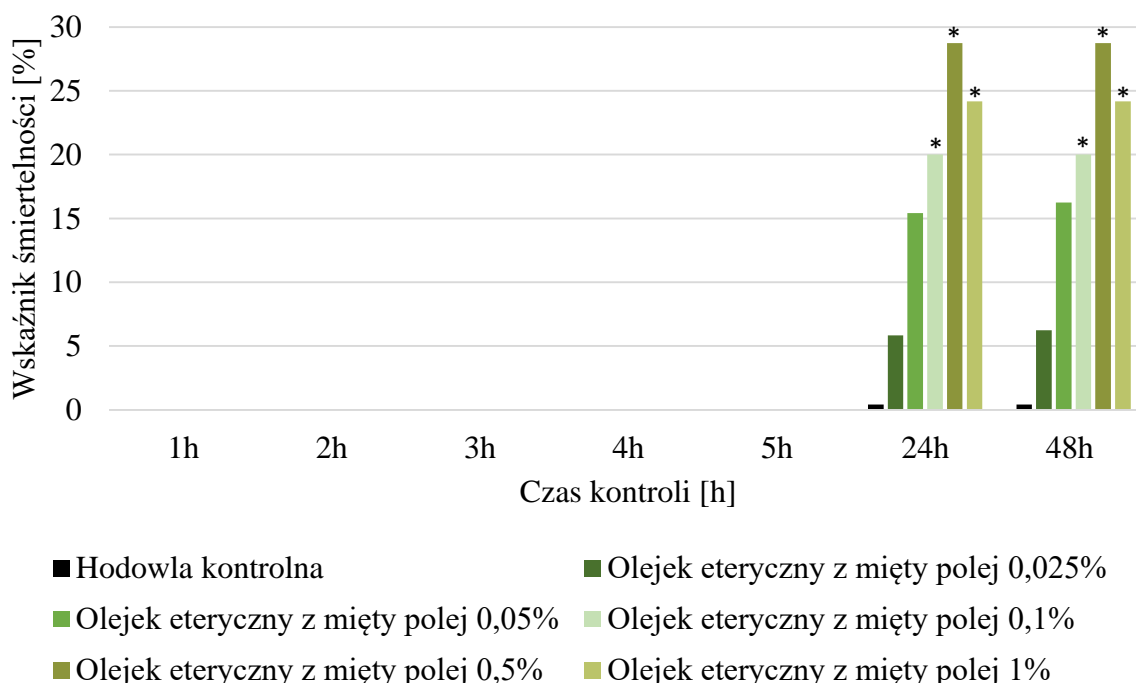


Ryc. 22. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z mięty polej. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

Największą różnicę pomiędzy badanymi stężeniami, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 1 h badań przy zastosowaniu olejku w stężeniu 0,1%, która wynosiła 56% (Ryc. 22). Po 1 h badań najwyższe, istotne statycznie wartości wskaźnika emigracji na poziomie 70% uzyskano w hodowlach z 0,1% i 1% olejkiem eterycznym. Po 2 h olejek w stężeniu 0,025%; 0,1% i 0,05% spowodował wysoką, istotną statycznie emigrację wołka. Od 3 do 5 h badań najwyższą emigrację na poziomie 83% - 87% obserwowano stosując 0,025% olejek, która była istotna statystycznie. Również po 24 i 48 h emigracja wołka w stężeniu olejku 0,025% była najwyższa (92% i 94%), ale nieistotna statystycznie (Ryc. 22).

7.4.2. Wpływ olejku eterycznego z mięty polej na śmiertelność wołka zbożowego

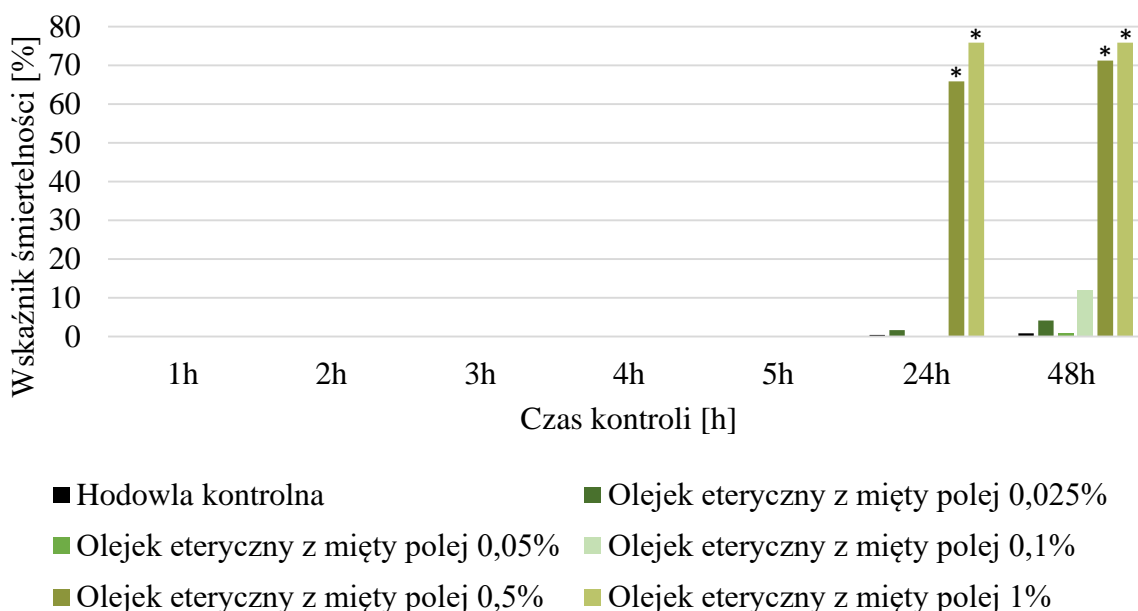
Przez pierwsze 5 godzin badań nie stwierdzono śmiertelności osobników w populacji wyjściowej wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i w hodowlach z dodatkiem olejku eterycznego z mięty polej. Po 24 h badań najwyższe wartości wskaźnika śmiertelności odnotowano w hodowlach z 0,1%; 0,5% i 1% olejkiem. Śmiertelność wahała się od 20% do 29%, a wyniki były istotne statystycznie do końca eksperymentów. Po 48 h niewielki wzrost śmiertelności obserwowano tylko w stężeniach 0,025% i 0,05% (Ryc. 23).



Ryc. 23. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z mięty polej.

(* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

Przez pierwsze 5 godzin badań nie stwierdzono śmiertelności osobników emigrujących wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i hodowlach z dodatkiem olejku eterycznego z mięty polej. Po 24 i 48 h badań wysokie, istotne statycznie wyniki wskaźnika śmiertelności odnotowano w hodowlach z dodatkiem 0,5% i 1% olejku. Śmiertelność wahała się od 66% do 76% (Ryc. 24).



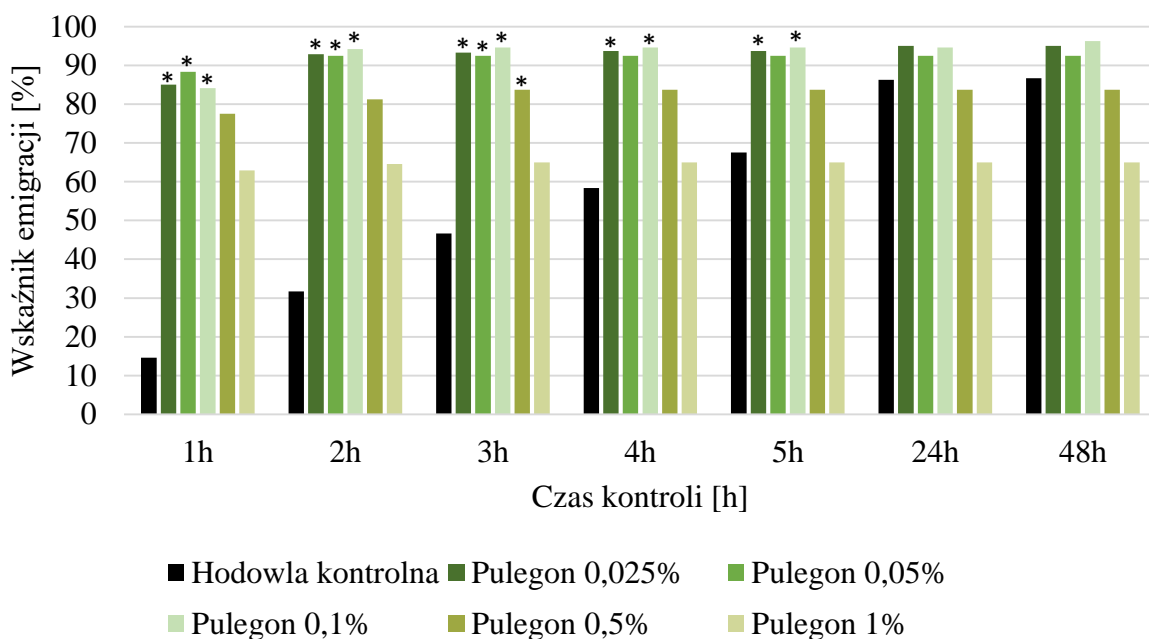
Ryc. 24. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z mięty polej.
(* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

7.4.3. Wpływ pulegonu na emigrację wołka zbożowego

Wszystkie przebadane stężenia pulegonu spowodowały większą emigrację chrząszczy w porównaniu z hodowlą kontrolną od 1 do 4 h eksperymentów. Największą różnicę pomiędzy badanymi stężeniami, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 1 h badań przy zastosowaniu olejku eterycznego z mięty polej w stężeniu 0,05%, która wynosiła 74% (Ryc. 25).

Po 1 h i 2h badań najwyższe, istotne statycznie wartości wskaźnika emigracji odnotowano w hodowlach z dodatkiem 0,025%; 0,05% i 0,1% pulegonu (84% - 94%). W stężeniu 0,05% od 2 h badań do końca eksperymentów wskaźnik emigracji utrzymywał się na takim samym poziomie. Po 3 h wysoką, istotną statystycznie emigrację (84% - 95%) odnotowano w każdym przebadanym stężeniu oprócz 1% pulegonu. W hodowlach, w których wykorzystano 0,5% i 1% pulegon wskaźnik emigracji nie wzrósł, aż do końca eksperymentów. Stosując 0,1% pulegon emigracja wołka nieznacznie wzrosła dopiero w 48 h badań, a wyniki od 1 do 5 h były istotne statystycznie. W hodowli z dodatkiem 0,025% pulegonu wartości

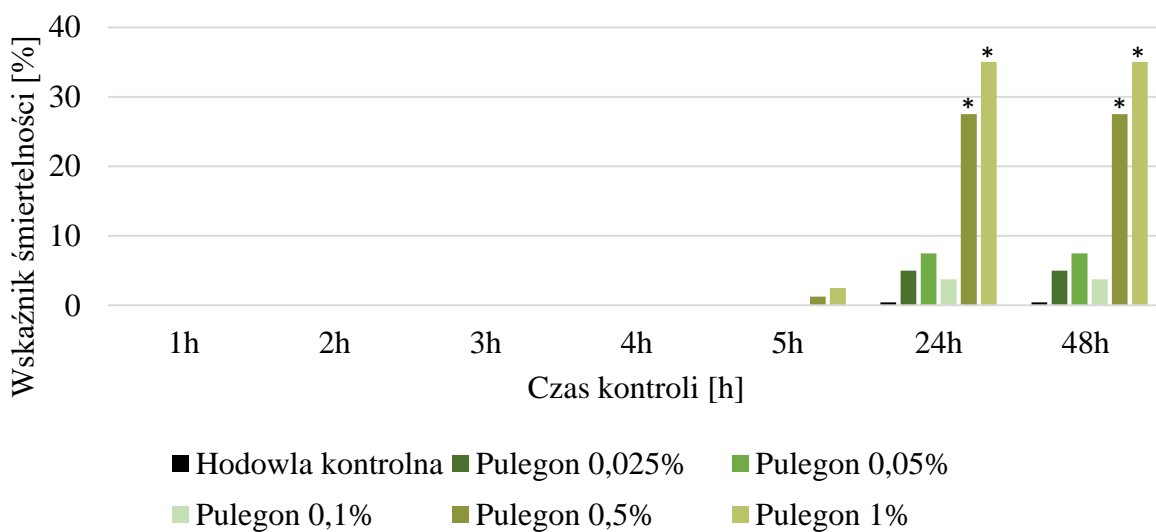
wskaźnika emigracji wahały się od 85% do 95%, a wyniki od 1 do 5 h badań były istotne statystycznie (Ryc. 25).



Ryc. 25. Wskaźnik emigracji wołła zbożowego pod wpływem pulegonu. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

7.4.4. Wpływ pulegonu na śmiertelność wołła zbożowego

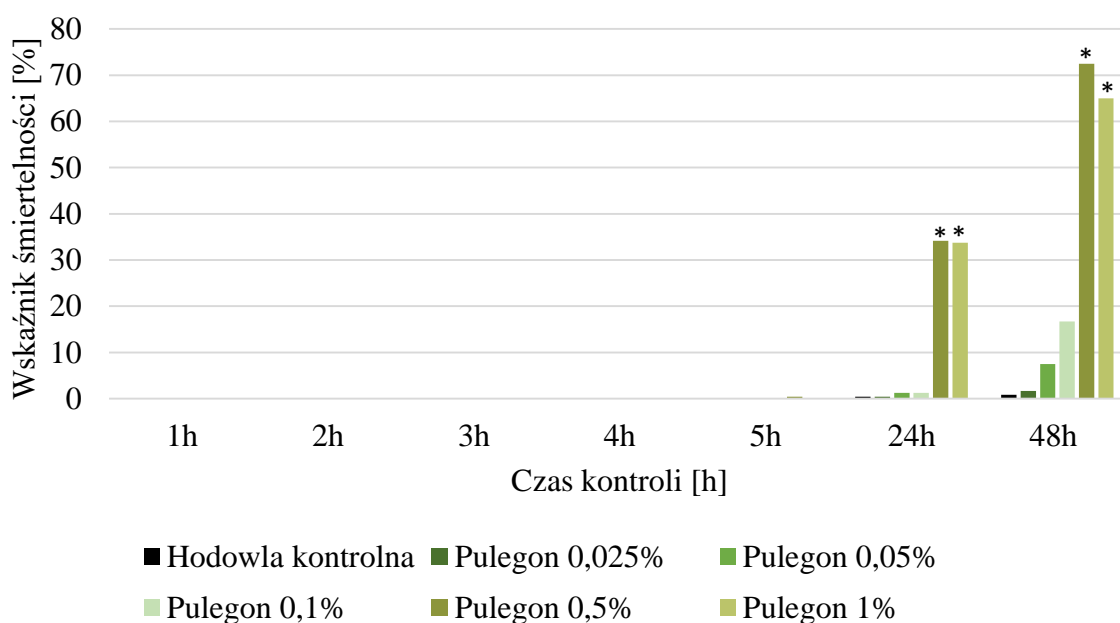
Przez pierwsze 4 godziny badań nie stwierdzono śmiertelności osobników w populacji wyjściowej wołła zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i w hodowlach z dodatkiem pulegonu (Ryc. 26).



Ryc. 26. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołła zbożowego pod wpływem pulegonu. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

Po 5 h eksperymentów niską śmiertelność wołka odnotowano tylko w stężeniu 0,5% i 1%. Po 24 h najwyższe, istotne statycznie wartości wskaźnika śmiertelności odnotowano w hodowlach z dodatkiem 0,5% i 1%, odpowiednio 28% i 35%. Po 48 h nie obserwowano wzrostu śmiertelności w hodowli kontrolnej oraz w hodowlach z dodatkiem pulegonu we wszystkich stężeniach (Ryc. 26).

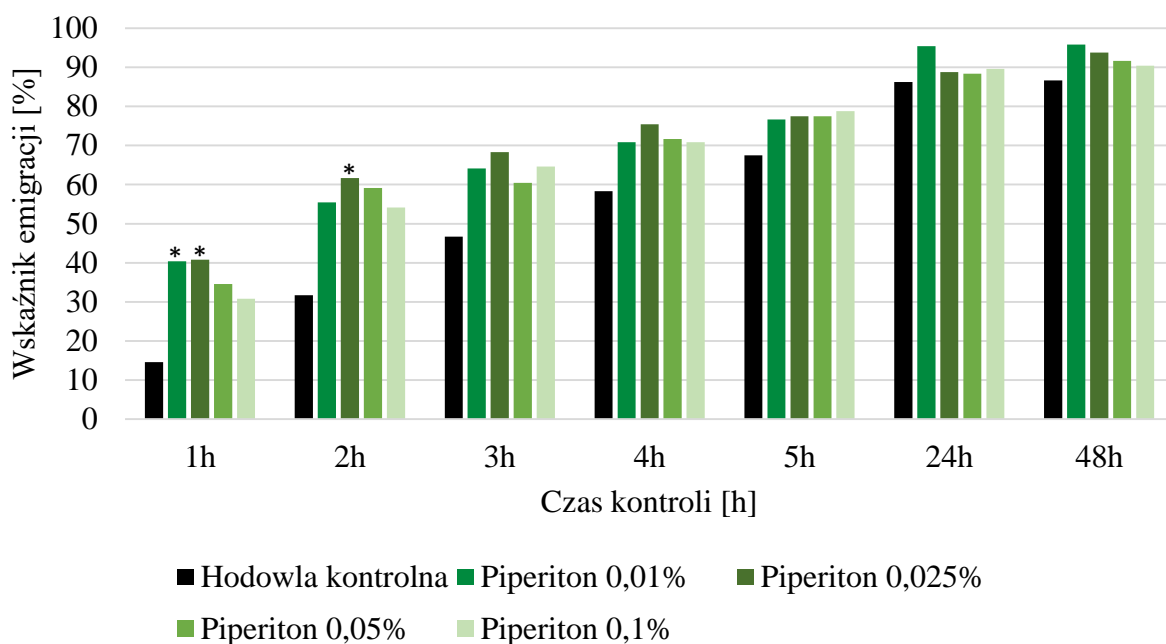
Przez pierwsze 4 godziny badań nie stwierdzono śmiertelności osobników emigrujących wołka zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i hodowlach z dodatkiem pulegonu. Po 5 h eksperymentów bardzo niską śmiertelność wołka odnotowano tylko w stężeniu 0,5%. Po 24 h badań najwyższe, porównywalne, istotne statycznie wyniki wskaźnika śmiertelności (34%) obserwowano w stężeniach 0,5% i 1%. Po 48 h wysokie, istotne statycznie wartości wskaźnika śmiertelności wykazano w hodowlach z 0,5% i 1% pulegonem, odpowiednio 73% i 65% (Ryc. 27).



Ryc. 27. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem pulegonu. (* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

7.4.5. Wpływ piperitonu na emigrację wołka zbożowego

Piperiton w każdym badanym stężeniu i w każdym przedziale czasowym spowodował większą emigrację chrząszczy wołka zbożowego niż w hodowli kontrolnej. Największą różnicę pomiędzy badanymi stężeniami, a hodowlą kontrolną stwierdzono po 2 h badań przy zastosowaniu piperitonu w stężeniu 0,025%, która wynosiła 30% (Ryc. 28).

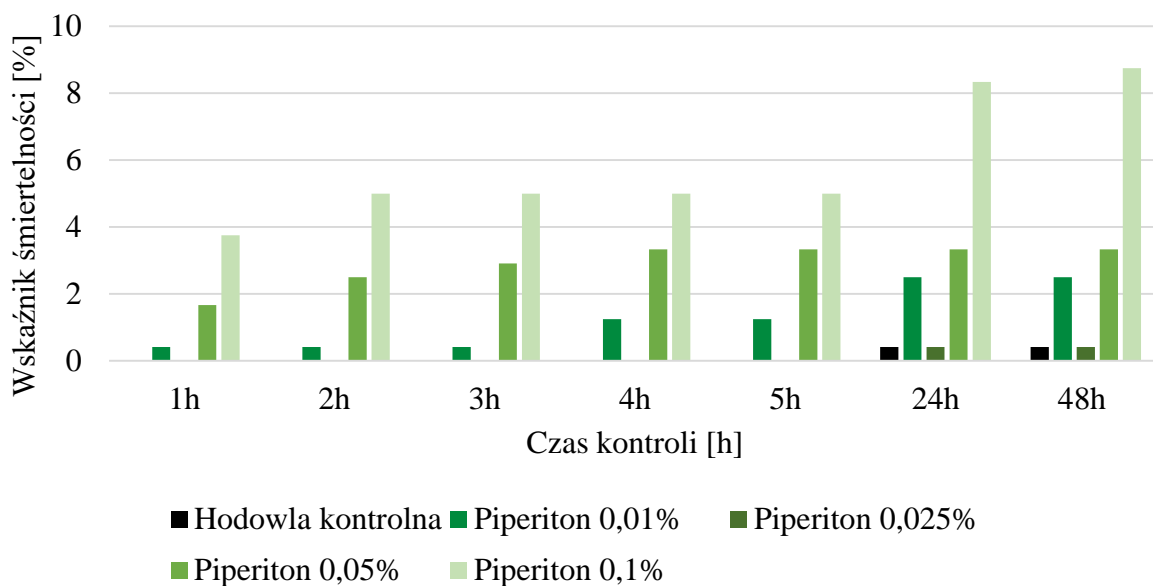


Ryc. 28. Wskaźnik emigracji wołła zbożowego pod wpływem piperitonu.
(* istotny statystycznie wzrost emigracji ($p < 0,05$) w porównaniu z hodowlą kontrolną)

Po 1 h eksperymentów najwyższe, istotne statystycznie wartości wskaźnika emigracji na poziomie 40% odnotowano w hodowlach z 0,01% i 0,025% piperitonem. Po 2 h również przy zastosowaniu 0,025% piperitonu uzyskano najwyższą, istotną statystycznie emigrację (62%). Po 3 i 4 h wskaźnik emigracji stopniowo wzrastał. Po 5 h eksperymentów wskaźnik emigracji w przebadanych stężeniach piperitonu był porównywalny – wynosił ok. 80%. Po 24 i 48 h najwyższe wartości wskaźnika emigracji (96%) obserwowano przy zastosowaniu 0,01% piperitonu (Ryc. 28).

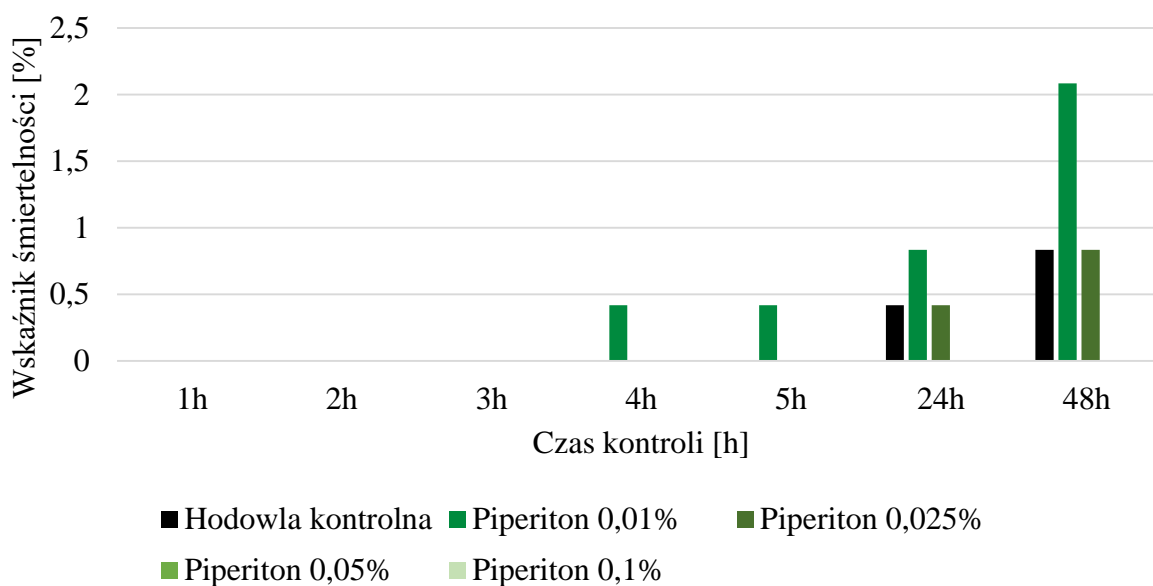
7.4.6. Wpływ piperitonu na śmiertelność wołła zbożowego

Przez pierwsze 5 godzin badań nie stwierdzono śmiertelności osobników w populacji wyjściowej wołła zbożowego zarówno w hodowli kontrolnej, jak i w hodowli z dodatkiem 0,025% piperitonu. W pozostałych stężeniach piperitonu w tym przedziale czasowym śmiertelność była niska, wahała się od 0,4% do 5%. Po 24 i 48 h najwyższe (choć nadal niskie), wartości wskaźnika śmiertelności odnotowano w hodowli z dodatkiem 0,1% piperitonu, odpowiednio 8% i 9% (Ryc. 29).



Ryc. 29. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem piperitonu.

Stosując piperiton w stężeniach 0,05% i 0,1% nie odnotowano martwych chrząszczy wołka zbożowego w populacji emigrantów. Przez pierwsze 5 godzin badań bardzo niskie wartości wskaźnika śmiertelności odnotowano tylko przy zastosowaniu 0,01% piperitonu. Po 24 i 48 h eksperymentów wyższą śmiertelność niż w hodowli kontrolnej choć nadal niską odnotowano tylko przy zastosowaniu 0,01% piperitonu, odpowiednio 0,8% i 2% (Ryc. 30).



Ryc. 30. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem piperitonu.

7.5. Skuteczność niższego stężenia zastosowanych substancji roślinnych w odstraszeniu wołka zbożowego

Olejek eteryczny z kminku zwyczajnego oraz wchodzące w jego skład związki L-carvon i R-(+)-limonen przebadano w pięciu stężeniach: 0,025%; 0,05%; 0,1%; 0,5% i 1%. Stwierdzono, że dwie najniższe dawki 0,025% i 0,05% olejku spowodowały wyższą emigrację wołka zbożowego niż wyższe dawki tego olejku przez cały okres prowadzonych badań (Ryc. 1). Również niższe 0,5% stężenie L-carvonu (74% - 93%) spowodowało wyższą emigrację wołka w porównaniu do stężenia 1%, ale tylko w okresie od 1 do 5 h badań (63% - 91%) (Ryc. 4). Także niższe stężenia 0,05% (81% - 100%) i 0,1% (82% - 99%) drugiego związku wchodzącego w skład olejku eterycznego z kminku zwyczajnego – R-(+)-limonenu spowodowały wyższą emigrację wołka zbożowego przez cały okres badań w porównaniu ze stężeniami 0,5% (50% - 98%) i 1% (42% - 94%) (Ryc. 7).

Również olejek eteryczny z kopru włoskiego i jego składnik etanol przebadano w takich samych pięciu stężeniach jak olejek z kminku. Stwierdzono, że najniższe zastosowane stężenie 0,025% olejku z kopru spowodowało wyższą emigrację wołka zbożowego przez cały okres badań niż przy zastosowaniu 0,05% olejku. Także 0,1% i 0,5% olejek wykazał silniejsze właściwości repelentne niż w stężeniu 1% w każdym przedziale czasowym (Ryc. 10).

Ponadto stwierdzono, że niższe stężenie anetolu 0,05% spowodowało wyższą emigrację wołka niż przy zastosowaniu stężenia 0,1% i 0,5% w większości badanych przedziałów czasowych (Ryc. 13).

Z kolei olej z czarnuszki siewnej i wyizolowany z niego tymochinon też przebadano w pięciu takich samych stężeniach 0,025%; 0,05%; 0,1%; 0,5% i 1%. Niższe 0,1% stężenie oleju spowodowało wyższą emigrację wołka (33% - 95%) w porównaniu z 0,5% (27% - 84%) stężeniem oleju przez cały okres badań, a także niż 1% (29% - 85%) olej w każdym przedziale czasowym z wyjątkiem 2 h eksperymentów. Olej z czarnuszki w najniższym użytym stężeniu 0,025% wykazał silniejszy efekt repelentny potwierdzony wyższymi wartościami wskaźnika emigracji w większości przedziałów czasowych niż w stężeniu 0,05%; 0,5% i 1% (Ryc. 16).

Tymochinon w stężeniu 0,025% wykazał silniejsze właściwości repelentne niż w stężeniu 0,05% i 0,1% w okresie od 4 do 48 h badań. Przy zastosowaniu dwukrotnie wyższego stężenia tymochinonu (0,05%) również odnotowano wyższe wartości wskaźnika emigracji niż w 0,1% stężeniu do 5 h badań (Ryc. 19).

Olejek eteryczny z mięty polej i zawarty w nim związek pulegon przebadano również w pięciu stężeniach: 0,025%; 0,05%; 0,1%; 0,5% i 1%. Stwierdzono, że niższa dawka (0,1%) olejku spowodowała wyższą emigrację wołka przez cały okres badań niż przy zastosowaniu

0,5% i 1% olejku. Natomiast najniższe 0,025% stężenie olejku wykazało silniejsze właściwości odstrasżające wobec wołka zbożowego niż pozostałe wyższe stężenia począwszy od 2 h aż do końca eksperymentów. W tym samym przedziale czasowym 0,05% olejek eteryczny z mięty polej spowodował większą emigrację wołka niż w stężeniu 0,5% i 1% (Ryc. 22).

Stwierdzono, że niższe stężenia pulegonu (0,025%; 0,05% i 0,1%) spowodowały wyższą emigrację wołka przez cały okres badań niż przy zastosowaniu stężeń 0,5% i 1% w każdym przedziale czasowym. Również 0,5% stężenie (78% - 84%) wykazało silniejsze odstrasżanie chrząszczy wołka zbożowego niż 1% w każdym przedziale czasowym (63% - 65%) (Ryc. 25).

Drugi związek wchodzący w skład olejku eterycznego z mięty polej piperiton przebadano w czterech stężeniach: 0,01%; 0,025%; 0,05% i 0,1%. Stwierdzono, że niższa dawka tego związku 0,025% (41% - 94%) spowodowała wyższą emigrację wołka niż przy zastosowaniu stężeń 0,05% (35% - 92%) i 0,1% (31% - 90%) w większości przedziałów czasowych (Ryc. 28).

8. Dyskusja

Szkodniki zwalczane są przede wszystkim pestycydami syntetycznymi. Jednak środki te mają negatywny wpływ na ludzi, środowisko oraz organizmy niebędące przedmiotem zwalczania. Dodatkowo owady wykształcają oporność na te związki. Dlatego poszukuje się bezpieczniejszych alternatyw dla pestycydów syntetycznych. Duży potencjał mają olejki eteryczne oraz ich aktywne związki. Chaudhari i in. (2021) opisują ich właściwości insektobójcze poprzez działanie kontaktowe, repelentne, fumigantowe, hamujące składanie jaj przez chrząszcze oraz larwobójcze. Dodatkowo olejki eteryczne powodują hamowanie działania neuroprzebieżników lub zmieniają ważne neuroprzebieżniki - esterazę acetylocholino (AChE) i oktopaminę lub inhibitor neuroprzebieżników kwasu γ -aminomasłowego (GABA) (Chaudhari i in. 2021, Mondal i in. 2022).

W niniejszej rozprawie doktorskiej zbadano skuteczność działania różnych olejków eterycznych, a także wyekstrahowanych z nich związków chemicznych na śmiertelność i emigrację wołka zbożowego (*S. granarius* L.) – groźnego szkodnika magazynowanego ziarna zbóż. Głównym motywem wyboru roślin i związków chemicznych było bezpieczeństwo tych substancji dla środowiska i/lub zdrowia człowieka.

Choć olejki eteryczne i ich związki sprawdzają się jako pestycydy to ich praktyczne zastosowanie jest trudne ze względu na dużą lotność, słabą rozpuszczalność w wodzie i podatność na degradację. Obecnie naukowcy opracowują nanokapsułki lub nanoemulsje na bazie olejków eterycznych. Takie rozwiązanie poprawia rozpuszczalność w wodzie, zwiększa stabilność i skuteczność EO i ich związków, co zwiększa możliwość ich zastosowania w walce ze szkodnikami magazynowymi (Chaudhari i in. 2021, Mondal i in. 2022).

Teke i Mutlu (2021) przebadali odstrasżające i owadobójcze właściwości olejków eterycznych z rozmarynu lekarskiego (*Rosmarinus officinalis* Spenn.), wawrzynu szlachetnego (*Laurus nobilis* L.), jeżówki purpurowej (*Echinacea purpurea* L. Moench.), lebiodki majeranku (*Origanum majorana* L.), bazylii pospolitej (*Ocimum basilicum* L.) i kopru włoskiego *F. vulgare* Mill. przeciwko wołkowi zbożowemu i trojszykowi gryzaczemu. Autorzy zastosowali metodę McDonalda i in. (1970) do oceny repelentności użytych substancji roślinnych. Wycięto krążki (o średnicy 9 cm) z bibuły filtracyjnej, które podzielono na pół i umieszczono na szalce Petriego. Jedną połowę nasączono acetonem (hodowla kontrolna), a drugą badanym olejkami w stężeniu 1% i 5% (v/v). Przez 5 min badany związek odparowywał, a następnie 20 dorosłych osobników obydwu gatunków umieszczono na środku krążka z bibuły filtracyjnej. Szalkę Petriego szczelnie zamknięto i umieszczono w temperaturze $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ w ciemnym miejscu. Po 2, 4, 8, 12 i 24 h otwierano szalki i określano obszar, który

preferowały chrząszcze. 1% (v/v) olejek eteryczny z kopru włoskiego po 24 h od aplikacji spowodował odstraszenie wołka zbożowego na poziomie 82% (Teke, Mutlu 2021). W niniejszej rozprawie również przebadano 1% olejek z kopru włoskiego. Po 24 h badań odnotowano 93% repelencję chrząszczy *S. granarius*. Teke i Mutlu (2021) dowiedli, że 1% olejek z kopru włoskiego w tym samym przedziale czasowym odstraszył wszystkie chrząszcze *T. castaneum*.

Guettal i in. (2021) zbadali właściwości owadobójcze i odstrasżające EO z cytryny zielonej (*Citrus limonum* L.) także stosując metodę McDonalda i in. (1970) maksymalny współczynnik repelencji wynosił 70% przy 8 $\mu\text{l/ml}$ po 30 minutach.

Z kolei Plata-Rueda i in. (2020) zbadali owadobójcze i odstrasżające właściwości olejku z trawy cytrynowej (*Cymbopogon citratus* (DC. ex Nees) Stapf) oraz substancji w nim zawartych przeciwko wołkowi zbożowemu. Stwierdzono, że głównymi substancjami zawartymi w olejku z trawy cytrynowej są: neral (24,6%), cytral (18,7%), octan geranylu (12,4%), geranial (12,3%) i limonen (7,55%). Oceniono dawki śmiertelne (LD_{50} i LD_{90}), przeżywalność chrząszczy wołka zbożowego oraz działanie repelentne. Przeżywalność owadów w próbie kontrolnej wynosiła 99,9%. Przy zastosowaniu olejku eterycznego z trawy cytrynowej, cytralu i octanu geranylu (LD_{50}) przeżywalność spadła do 57,6%, 43,1% i 25,9%. Chrząszcze wykazały niską częstotliwość oddechu i zdolność poruszania się po ekspozycji na olejek roślinny oraz octan geranylu i cytral. Plata-Rueda i in. (2020) wykazali, że zastosowane substancje roślinne wykazały działanie owadobójcze i repelentne przeciwko wołkowi zbożowemu oraz mają duży potencjał do zwalczania szkodników przechowywanych zbóż. Wysoką śmiertelność owadów obserwowano przy użyciu olejku 400 $\mu\text{l/l}$ po 24, 48 i 72 godzinach eksperymentów. Najwyższe działanie owadobójcze (śmiertelność 92,52%) uzyskano po 72 h od zastosowania stężenia 400 $\mu\text{l/l}$.

Porównywanie wyników tych samych substancji jest trudne. Naukowcy stosują różne metody m.in. technika kubka, metoda szalek Petriego, olfaktometr, emigracja jedno- oraz dwukierunkowa i inne. Rzetelność uzyskanych wyników oraz możliwość porównywania ich właściwości odstrasżających i owadobójczych zależy również od warunków świetlnych, podłoża, temperatury, względnej wilgotności powietrza, wieku oraz liczby owadów, a także stężenia i czasu trwania eksperymentów. Dodatkowo naukowcy stosują różne postacie materiału roślinnego m.in. proszki, ekstrakty, napary, olejki oraz olejki eteryczne. Co więcej, materiał roślinny pochodzi z różnych stref klimatycznych (Ziaee, Moharramipour 2013; Wawrzyniak, Wrzesinska 2015; Kłys i in. 2017; Teke, Mutlu 2021; Cagań i in. 2022).

Kordali i in. (2022) przebadali owadobójcze właściwości olejków eterycznych z kminu rzymskiego (*Cuminum cyminum* L.), mięty długolistnej (*Mentha longifolia* L.) i czosnku pospolitego (*Allivum sativum* L.) przeciwko dorosłym osobnikom kapturnika zbożowca oraz wołka zbożowego. Badania prowadzono w temperaturze $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, względnej wilgotności powietrza $65\pm 5\%$ i w warunkach świetlnych 16:8 (jasno-ciemno). Odczytów dokonywano po 12, 24, 48, 72 i 96 h badań. W eksperymentach stosowano stężenia 5, 10, 15 i 20 $\mu\text{l/L}$. Najwyższą śmiertelność (100%) wołka zbożowego odnotowano w hodowlach z zastosowaniem 10, 15 i 20 $\mu\text{l/L}$ olejku z czosnku pospolitego po 12 h od aplikacji, a kapturnika zbożowca w hodowlach z zastosowaniem 15 i 20 $\mu\text{l/L}$ również olejku z czosnku pospolitego po 12 h od aplikacji. Najniższe wartości wskaźnika śmiertelności 1,25% i 12,5% odpowiednio dla *R. dominica* i *S. granarius* w hodowlach z wykorzystaniem olejku z mięty długolistnej w stężeniu 5 $\mu\text{l/L}$ po 12 h od aplikacji. Z kolei olejek z kminu rzymskiego w stężeniu 5 $\mu\text{l/L}$ nie spowodował śmiertelności chrząszczy *R. dominica* w żadnym przedziale czasowym. Autorzy dowodzą, że śmiertelność wzrastała wraz ze wzrostem stężeń badanych substancji roślinnych (Kordali i in. 2022). Taki sam wniosek został wyciągnięty na podstawie przeprowadzonych badań opisywanych w niniejszej rozprawie doktorskiej. Kordali i in. (2022) dowiedli, że badane olejki eteryczne mogą znaleźć zastosowanie jako biopreparaty, naturalne i przyjazne dla środowiska, które posłużą do zwalczania szkodliwych chrząszczy – szkodników magazynowanych produktów spożywczych.

Izdebska i in. (2023) porównali działanie dwóch stężeń (0,1 i 1%) olejków eterycznych na odstraszenie *R. dominica* i *S. granarius*. Obydwa gatunki poddano działaniu olejków eterycznych m.in. kopru włoskiego (*F. vulgare* Mill.) i jagodlinu wonnego (*Cananga odorata* Lam. Hook.f. & Thomson). Kontroli dokonywano po upływie 1, 2, 3, 4, 5, 24 i 48 godzin. Stwierdzono, że badane olejki roślinne w obydwu stężeniach i w każdym przedziale czasowym spowodowały odstraszenie chrząszczy wołka zbożowego i kapturnika zbożowca. Tylko 1% olejek z kopru włoskiego po 1 h badań nie spowodował odstraszenia *R. dominica*. Najlepszy efekt odstraszący chrząszcze *S. granarius* uzyskano stosując 0,1% olejek z kopru włoskiego (83% – 100%). W przypadku zastosowanych olejków zarówno w hodowlach z kapturnikiem zbożowcem, jak i wołkiem zbożowym wykazano, że silniejsze właściwości repelentne miało stężenie 0,1%, a nie 1%.

W niniejszej rozprawie doktorskiej zbadano wpływ różnych olejków eterycznych kopru włoskiego (*F. vulgare* Mill.), kminku zwyczajnego (*C. carvi* L.), mięty polej (*M. pulegium* L.), a także związków chemicznych zawartych w tych olejkach: anetolu, karwonu, pulegonu i tymochinonu na wołka zbożowego. Dowiedziono, że najlepsze właściwości odstraszące

wołka zbożowego wykazały olejek eteryczny z kopru włoskiego i z kminku zwyczajnego. Z kolei najsilniejsze właściwości owadobójcze wobec wołka zbożowego wykazały: 1% i 0,5% olejek eteryczny z mięty polej, oraz 0,5% pulegon. Wyciągnięto wnioski takie same, jak Izdebska i in. (2023), że niższe stężenie badanych substancji spowodowało silniejszy efekt odstraszający wołka zbożowego.

Conti i in. (2011) również wykazali lepsze działanie niższej dawki badanych substancji. Najpierw olejki eteryczne *Hyptis suaveolens* L. Poiteau i *Hyptis spicigera* Lamarck zbadano za pomocą chromatografii gazowej i spektrometrii mas z uderzeniami elektronów, a następnie oceniono ich właściwości toksyczne i odstraszające wołka zbożowego *S. granarius*. Wykazano, że obydwa olejki działają owadobójczo na chrząszcze po 24 h od zastosowania minimalnej, skutecznej dawki wynoszącej 0,4 i 0,6 μl na owada, odpowiednio olejku z *H. suaveolens* i *H. spicigera*.

Ouabou i in. (2024) zbadali olejek eteryczny z *Lavandula mairei* var. *Antiatlantica* Maire (LMEO) i karwakrol - ich właściwości odstraszające oraz przeciwdziałające żerowaniu *S. oryzae*. W biologicznych testach toksyczności fumigantów LMEO i karwakrolu LC_{50} wyniosła odpowiednio 69,5 i 69,3 $\mu\text{l/l}$ powietrza po 72 h. W biologicznych testach toksyczności kontaktowej LC_{50} wyniosła odpowiednio 0,14 i 0,117 $\mu\text{l/owada}$ po 24 godzinach po 24 h stosowania.

Z kolei Cagań i in. (2022) przebadali właściwości owadobójcze i odstraszające N,N-dietylo-*m*-toluamidu (DEET) i 2-undekanonopodu oraz olejków eterycznych z czosnku pospolitego (*A. sativum* L.), bylicy rocznej (*Artemisia annua* L.), bazylii pospolitej (*O. basilicum* L.), lawendy wąskolistnej (*Lavandula angustifolia* Mill.), eukaliptusa gałkowego (*Eucalyptus globulus* Labill.), sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i ostryżu długiego (*Curcuma longa* L.). W eksperymentach wykorzystano szkodniki magazynowe trojszyka ulca *Tribolium confusum* Jacquelin du Val, mącznika młynarka (*T. molitor*) i strąkowca fasolowego (*Acanthoscelides obtectus*). W badaniach owadów zastosowano test oflaktometryczny. Użyto substancji w stężeniach 1%; 0,1% i 0,01%. Monitoringu dokonywano po upływie 24, 48 i 72 h. Autorzy wykazali, że EO z *A. sativum*, *E. globulus* i *L. angustifolia* posiadają właściwości repelentne. Z kolei jako środki owadobójcze zastosowanie mogą znaleźć olejki eteryczne z *A. sativum*, *E. globulus* i *O. basilicum*. Cagań i in. (2022) wykazali, że najsukuteczniejsze olejki eteryczne w niższych stężeniach nadal wywoływały efekt owadobójczy i repelentny. DEET w stężeniu 1% wykazał silne właściwości repelentne (odstraszanie >97,5%). Z kolei 1% 2-undekanonopod spowodował odstraszanie *T. molitor*, *T. confusum* i *A. obtectus* na poziomie 100%.

Basile i in. (2022) zbadali owadobójcze właściwości EO z *Calendula incana* subsp. *maritima* i *Laserpitium siler* subsp. *siculum* przeciwko czterem gatunkom owadów: *R. dominica*, *S. oryzae*, *Lasioderma serricorne*, *Necrobia rufipes*, które są powszechnymi szkodnikami przechowywanych produktów spożywczych. Najpierw autorzy za pomocą chromatografii gazowej – spektrometrii mas (GC×GC-MS) ocenili skład wybranych przez siebie EO. Olejki ekstrahowano metodą hydrodestylacji z nadziemnych części obu roślin. Olejek z *Calendula incana* subsp. *maritima* zawierał utlenione seskwiterpenoidy m.in. szebebol (35,39%), 4-*epi*-cubebol (22,99%) i kobenol (12,77%). Natomiast olejek z *Laserpitium siler* subsp. *siculum* składał się głównie z węglowodorów monoterpenowych, takich jak β -fellandren (42,16%), limonen (23,87%) i β -terpinen (11,80%). Testy pozwalające ocenić właściwości owadobójcze olejków eterycznych prowadzono używając szalek Petriego o średnicy 9 cm. EO rozcieńczono w *n*-heksanie w stężeniu 1%. 100 μ l naniesiono na każdą wewnętrzną stronę szalek Petriego, tak aby pokryć całą powierzchnię. Rozpuszczalnik odparował i po 2 minutach wpuszczono dorosłe owady. W hodowli kontrolnej wykorzystano 100 μ l *n*-heksanu. Toksyczność oceniano zliczając martwe owady trzy dni po rozpoczęciu doświadczenia. EO z *C. maritima* spowodował śmierć średnio 65,5 % dorosłych *S. oryzae* i 44 % dorosłych *R. dominica*. EO z *L. siculum* nie wykazał lepszych właściwości owadobójczych, a działając na pozostałe gatunki nie odnotowano różnic w śmiertelności istotnych statystycznie.

Kłyś i in. (2020) zbadali kminkowy olejek eteryczny w stężeniach 0,1%; 0,5% i 1%. Spowodował on silne działanie odstraszające chrząszcze *S. oryzae*. Najsilniejszą repelencję wywołał 0,5% EO po 1, 2, 3 i 4 h badań. Wartości wskaźnika emigracji wahały się od 60% do 98%. W tym samym czasie wskaźnik emigracji w hodowli kontrolnej wahał się od 2% do 9%. Po 24 i 48 h kminkowy olejek eteryczny we wszystkich zastosowanych stężeniach spowodował bardzo wysoką emigrację chrząszczy. L-carvon w stężeniu 0,1% spowodował emigrację od 16% do 100% w każdym przedziale czasowym. Niższą repelencję (9–38%) spowodował L-carvon w stężeniu 0,5%, a dwukrotnie wyższe stężenie badanej substancji (1%) (7–22%) po 1, 2, 3 i 4 godzinach badań. Kminkowy olejek eteryczny 0,1% i 1% nie spowodował śmiertelności owadów w ciągu pierwszych 5 h eksperymentów. Po 24 h śmiertelność w hodowli *S. oryzae* z dodatkiem olejku kminkowego w stężeniu 0,5 i 1% wyniosła około 100%. Największą śmiertelność wśród *S. oryzae* uzyskano po zastosowaniu olejku kminkowego w stężeniu 0,5%, a nie po zastosowaniu olejku w najwyższym stężeniu.

W badaniach prezentowanych w tej rozprawie doktorskiej zbadano wpływ kminkowego olejku eterycznego oraz wyizolowanego z niego L-carvonu na emigrację i śmiertelność wołka zbożowego. Najwyższe wartości wskaźnika emigracji w większości przedziałów czasowych

odnotowano stosując olejek eteryczny w stężeniu 0,025%, a najniższe w stężeniu 1%. Po 48 h badań bardzo wysokie wskaźniki emigracji odnotowano przy użyciu olejku w stężeniach 0,05% i 0,1%, odpowiednio 99% i 98%, podczas gdy olejek w stężeniu 0,025% spowodował emigrację wszystkich chrząszczy z populacji wyjściowej. Również przy zastosowaniu L-carvonu po 24 i 48 h eksperymentów odnotowano wysokie wartości wskaźnika emigracji, które wynosiły ponad 90% w każdym badanym stężeniu. Najwyższe prawie 100% odstraszenie chrząszczy spowodował po 48 h L-carvon w stężeniu 0,025%. Kminkowy olejek eteryczny oraz L-carvon spowodowały niską śmiertelność chrząszczy wołka zbożowego.

Z kolei Johnson i in. (2022) zbadali skład chemiczny olejku eterycznego z *Clausena austroindica* oraz jego właściwości owadobójcze przeciwko *S. oryzae* L. i *T. castaneum* Herbst. EO z liści *C. austroindica* wyizolowano metodą hydrodestylacji i analizowano za pomocą chromatografii gazowej z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (GC-FID) i chromatografii gazowej ze spektrometrią mas (GC-MS). Głównym składnikiem olejku eterycznego był transanetol (95,12–97,44%). Badając olejek z liści *C. austroindica* i transanetol jako fumiganty, wykazano ich toksyczność wobec *S. oryzae* (LC₅₀ 38,80 i 76,98 µl/l) i *T. castaneum* (LC₅₀ 35,65 i 29,10 µl/l). Autorzy zbadali również, czy testowane związki roślinne mają toksyczny wpływ na komórki ssaków. Zarówno olej z liści *C. austroindica*, jak i transanetol (< 2,0 µg/ml) nie wykazały żadnej toksyczności wobec komórek ssaków (linia komórkowa L929).

EO oraz zawarte w nich aktywne związki są obiecującymi substancjami repelentnymi i/lub owadobójczymi wykorzystywanymi do zwalczania szkodników szczególnie szkodników magazynowanych produktów spożywczych. Stosowanie olejków eterycznych i ich aktywnych związków wiąże się z pewnymi ograniczeniami. Substancje te wykazują się dużą lotnością, słabą rozpuszczalnością w wodzie, a także są podatne na degradację. Nanokapsułkowanie olejków eterycznych lub nanoemulsje na bazie EO są bardzo obiecującym rozwiązaniem. Poprawiają rozpuszczalność w wodzie olejków eterycznych, stabilność oraz skuteczność biologiczną (Chaudhari i in. 2021).

Poszukiwanie różnych sposobów ochrony przechowywanych produktów spożywczych to nasz globalny priorytet. Wysoka toksyczność i pozostałości w środowisku syntetycznych środków owadobójczych skłoniła naukowców do poszukiwania naturalnych, roślinnych substancji zwalczających szkodniki (Papanikolaou i in. 2022). Dlatego autorzy Papanikolaou i in. (2022) wybrali do badań sześć EO z śródziemnomorskich roślin kulinarnych: jałowca fenickiego (*Juniperus phoenicea* L.), lebiodki majeranku (*O. majorana* L.), lebiodki pospolitej (*Origanum vulgare* ssp. *Hirtum* Link A.Terracc.), wawrzynu szlachetnego (*L. nobilis* L.), (*Echinophora tenuifolia* ssp. *Sibthorpiana* Guss. Tutin Apiales: Apiaceae) i cytryny zwyczajnej

(*Citrus limon* L. Osbeck). Badano właściwości owadobójcze w/w EO w stosunku do *T. castaneum* i *Trogoderma granarium* Everts. Olejki eteryczne aplikowano w postaci mikroemulsji (ME), równomiernie nakładając powłokę substancji na pszenicę. Działano na larwy oraz dorosłe osobniki chrząszczy *T. castaneum* i *T. granarium*. Mikroemulsje EO z *C. limon*, *O. majorana* i *E. tenuifolia* ssp. *sibthorpiana* wykazały najskuteczniejsze działanie toksyczne na larwy *T. castaneum*. Śmiertelność larw po 14 dniach była wysoka, gdyż wynosiła odpowiednio 93,3%; 91,1% i 90,0%. Z kolei mikroemulsje EO z *O. majorana*, *L. nobilis* i *J. phoenicea* wykazały najskuteczniejsze działanie owadobójcze na larwy *T. granarium*. Śmiertelność po 7 dniach wynosiła odpowiednio 87,8%; 84,4%; i 83,3%. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że powłoka mikroemulsji na bazie olejków eterycznych może znaleźć zastosowanie w walce ze szkodnikami magazynowymi.

Elnabawy i in. (2021) zbadali właściwości repelentne i owadobójcze olejków eterycznych z ośmiu roślin: czapetki pachnącej (*Syzygium aromaticum* L.), czosnku pospolitego (*A. sativum* L.), eukaliptusa kamaldulskiego (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.), lawendy wąskolistnej (*Lavandula officinalis* L.), simondsji kalifornijskiej (*Simmondsia chinensis* (Link) C.K. Schneid.), rumianku pospolitego (*Matricaria chamomilla* L.), cytryny zwyczajnej (*Citrus limon* Burm) i migdałowca pospolitego (*Prunus dulcis* Mill. DA Webb). W badaniach wykorzystano dorosłe osobniki *T. castaneum* Herbst. Użyto czterech stężeń EO 1%, 5%, 10% i 15% w rozpuszczalniku acetonowym. Olejek eteryczny z *S. aromaticum* w stężeniach 5%, 10% i 15% wykazał lepszy efekt odstrasżający *T. castaneum* w porównaniu z pozostałymi olejkami eterycznymi po 30 minutach od zastosowania. Również po takim samym czasie ekspozycji 15% EO z *A. sativum* odstraszył więcej chrząszczy niż EO z *E. camaldulensis*, *L. officinalis*, *S. chinensis*, *C. limon* i *M. chamomilla*. EO z *P. dulcis* po 24 h wykazał silne właściwości repelentne przeciwko *T. castaneum*. 15% olejki eteryczne z *P. dulcis* i *M. chamomilla* spowodowały większą śmiertelność *T. castaneum* w porównaniu z EO z *S. aromaticum*, *A. sativum*, *E. camaldulensis*, *L. officinalis* i *S. chinensis*. LC₅₀ po 24 h olejku eterycznego z *P. dulcis* wynosiła 6,62%, z *M. chamomilla* 7,78%, *L. officinalis* 23,58%, a *S. aromaticum* 17,58%.

Zbyt intensywne stosowanie syntetycznych pestycydów doprowadziło do degradacji środowiska oraz problemów zdrowotnych u ludzi. Z tego względu zaczęto poszukiwać ich naturalnych zamienników. W ostatnich latach do walki ze szkodnikami wykorzystuje się olejki eteryczne oraz związki w nich zawarte, które określane są mianem „zielonych pestycydów” Saroj i in. (2020). Saroj i in. (2020) opisują związki 1,8-cyneol i limonen jako składniki

aktywne w produktach, które odstraszaają komary, w szamponach na wszawicę i innych środkach insektobójczych.

W niniejszej rozprawie również wykorzystano limonen i zbadano jego właściwości odstraszaające i owadobójcze. Właściwości repelentne wykazał R-(+)-limonen w stężeniu 0,05% i 0,1 %, ponieważ spowodował dużą emigrację wołka zbożowego potwierdzoną wysokimi wartościami wskaźnika emigracji przez cały okres badań. Również R-(+)-limonen w pozostałych stężeniach (0,025%, 0,5%, 1%) wykazał właściwości repelentne. Od 2 h do końca badań, w tym przedziale czasowym wartości wskaźnika emigracji wahały się od 73% do 98%. R-(+)-limonen nie wykazał właściwości owadobójczych. Najwyższą śmiertelność odnotowano przy zastosowaniu R-(+)-limonenu w stężeniu 1%. Martwe osobniki wołka zbożowego obserwowano tylko po 24 i 48h badań, a wskaźnik śmiertelności wynosił odpowiednio 5,8% i 6,3%.

Również olejek eteryczny z dziewięciśliu bezłodygowego (*Carlina acaulis* L.) posiada silne działanie owadobójcze. Dodatkowo w/w EO wykazuje niską toksyczność dla ssaków. Kavallieratos i in. (2022) przebadali olejek z *C. acaulis* oraz jego główny składnik aktywny – tlenek carlina. W celu wzmocnienia właściwości wykorzystywanych w badaniach substancji stworzono nanoemulsję EO. Oceniono toksyczność NE na larwy i dorosłe osobniki *T. castaneum*, *T. confusum* i *T. molitor*. Wykorzystano stężenie 500 i 1000 ppm nanoemulsji. Śmiertelność określano po 4, 8 i 16 godzinach oraz po 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7 dniach. Nanoemulsja olejku eterycznego w stężeniu 1000 ppm po 7 dniach ekspozycji wykazała właściwości owadobójcze w stosunku do larw *T. castaneum* i *T. confusum*, zabijając odpowiednio 93,9% i 98,9%. NE w stężeniu 1000 ppm po 7 dniach wykazała śmiertelność dorosłych osobników *T. molitor* na poziomie 85,2%. Autorzy dowiedli, że nanoemulsja na bazie olejku eterycznego *Carlina acauli* L. może zostać wykorzystana jako skuteczny środek owadobójczy lub larwobójczy.

Prowadzono również badania, w których porównywano działanie olejku eterycznego i jego nanoemulsji. Gharsan i in. (2022) dokonali takiego porównania badając olejek cytronelowy i jego nanoemulsję i ich wpływ na samce i samice. W eksperymentach wykorzystano dorosłe osobniki *O. surinamensis*. Nanoemulsja okazała się skuteczniejsza zarówno wobec samic ($LC_{50} = 20,3 \mu\text{l/l}$), jak i samców ($LC_{50} = 15,7 \mu\text{l/l}$) niż olejek eteryczny ($LC_{50} = 40,02$ i $52,5 \mu\text{l/l}$).

Rozwój nano-insektycydów wzbudza coraz większe zainteresowanie. Ali i in. (2022) wykorzystali oleje z rozmarynu lekarskiego (*Rosmarinus officinalis* Spenn.) i czarnuszki siewnej (*N. sativa* L.) do przygotowania ich nanoemulsji. Porównano toksyczne działanie

olejów oraz ich nanoemulsji na wołka zbożowego. Ali i in. (2022) podobnie jak Gharsan i in. (2022) wykazali, że nanoemulsja posiada silniejsze działanie owadobójcze niż olej. Przy zastosowaniu nanoemulsji z rozmarynu i czarnuszki po 24 h oszacowano LD₅₀ na odpowiednio 102,56 i 35,08 µg/g, w porównaniu do olejów z rozmarynu i czarnuszki odpowiednio 188,95 i 210,09 µg/g.

W prezentowanych badaniach również oceniono wpływ oleju z czarnuszki siewnej na śmiertelność wołka zbożowego. Olej z czarnuszki spowodował bardzo niską śmiertelność *S. granarius*.

Z kolei Palermo i in. (2021) w swoich badaniach wykorzystali olejki eteryczne z biedrzeńca anyżu (*Pimpinella anisum* L.), bylicy pospolitej (*Artemisia vulgaris* L.), kopru włoskiego (*F. vulgare* Mill.), czosnku pospolitego (*A. sativum* L.), lawendy wąskolistnej (*L. angustifolia* Mill.), mięty pieprzowej (*Mentha piperita* L.), rozmarynu lekarskiego (*R. officinalis* Spenn.) i szalwii lekarskiej (*Salvia officinalis* L.) oraz stworzone na bazie tych olejków nanoemulsje. Wymienione substancje testowano pod kątem toksyczności i odstraszania chrząszczy *T. confusum*. Najlepsze właściwości repelentne wykazał preparat na bazie anyżowego olejku eterycznego, natomiast największą toksyczność wykazała nanoemulsja EO z czosnku pospolitego.

W niniejszej rozprawie doktorskiej również badano roślinę z rodzaju *Mentha* – miętę polej, która wykazała właściwości repelentne oraz owadobójcze, zwłaszcza wśród osobników emigrujących. Po 24 i 48 h badań wysokie, istotne statycznie wartości wskaźnika śmiertelności odnotowano w hodowlach z dodatkiem 0,5% i 1% olejku. Śmiertelność wahała się od 66% do 76%.

Stosowanie chemicznych środków ochrony roślin przyczyniło się do wyginięcia pożytecznych gatunków, zanieczyszczenia środowiska, skażenia żywności oraz problemów zdrowotnych u ludzi. Z tego względu coraz częściej stosowane są biopestycydy. Przytoczone wyniki badań różnych autorów dowodzą, że olejki eteryczne są skutecznymi środkami do zwalczania szkodników magazynowanych produktów spożywczych, a coraz częściej wykorzystywane nanoemulsje na ich bazie wykazują jeszcze lepszą skuteczność. Rosnąca liczba publikacji na temat wykorzystywania nanotechnologii w walce ze szkodnikami dowodzi o efektywności ich działania. Należy stosować biopestycydy, aby promować zrównoważone rolnictwo. Jest ono elementem realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Substancje wprowadzane do środowiska powinny nie ograniczać potrzeb obecnego pokolenia, ale również uwzględniać potrzeby przyszłych pokoleń (Fenibo i in. 2022).

9. Wnioski

1. Kminkowy olejek eteryczny, L-carvon, R-(+)-limonen, olejek eteryczny z kopru włoskiego, anetol i piperiton w każdym badanym stężeniu i w każdym przedziale czasowym spowodowały większą emigrację chrząszczy wołka zbożowego w porównaniu z hodowlą kontrolną.
2. W pierwszych godzinach badań stwierdzono duże różnice pomiędzy wartością wskaźnika emigracji w hodowli kontrolnej, a wartościami wskaźników emigracji w hodowlach doświadczalnych. Największą różnicę odnotowano pomiędzy wskaźnikiem emigracji uzyskanym przy zastosowaniu 0,05% pulegonu, a hodowlą kontrolną po 1 h eksperymentów.
3. Najlepsze właściwości odstrasżające wołka zbożowego wykazał olejek eteryczny z kopru włoskiego oraz z kminku zwyczajnego.
4. Najsilniejsze właściwości owadobójcze wobec wołka zbożowego wykazały: 1% i 0,5% olejek eteryczny z mięty polej, oraz 0,5% pulegon.
5. Stwierdzono, że im niższe stężenie badanych substancji tym silniejszy efekt repelentny.
6. Im wyższe stężenie badanych substancji tym silniejszy efekt owadobójczy.
7. Zastosowanie wyizolowanego z olejku eterycznego związku roślinnego nie gwarantuje jego silniejszego działania owadobójczego lub repelentnego.
8. Olejek eteryczny z kopru włoskiego i z kminku zwyczajnego mogłyby zostać wykorzystane jako środki repelentne, a olejek z mięty polej oraz pulegon jako środki owadobójcze i znaleźć zastosowanie w ochronie magazynowanego ziarna zbóż.

10. Streszczenie

Celem pracy było zbadanie skuteczności działania różnych olejków eterycznych, a także wyekstrahowanych z nich związków chemicznych na śmiertelność i emigrację wołka zbożowego *Sitophilus granarius* L. – groźnego szkodnika magazynowanego ziarna zbóż. W badaniach wykorzystano substancje pochodzące z następujących roślin: kopru włoskiego *Foeniculum vulgare* Mill., kminku zwyczajnego *Carum carvi* L., czarnuszki siewnej *Nigella sativa* L. oraz mięty polej *Mentha pulegium* L.

Znalezienie skutecznego repelentu lub insektycydu może pomóc w ochronie ziarna zbóż przed szkodnikami. W badaniach skupiono się na substancjach pochodzenia roślinnego, które są powszechnie wykorzystywane w różnych gałęziach gospodarki. Szczególną uwagę przy wyborze roślin i związków chemicznych zwrócono na to, aby stosowane preparaty nie zagrażały środowisku i/lub zdrowiu człowieka.

W badaniach oceniano aktywność emigracyjną i śmiertelność chrząszczy *S. granarius*. Przeprowadzono eksperymenty oparte na jednokierunkowej emigracji bez możliwości powrotu owadów do populacji macierzystej. Zliczano również martwe osobniki wołka zbożowego. W badaniach wykorzystano olejek eteryczny z kminku zwyczajnego oraz L-carvon i R-(+)-limonen, olejek eteryczny z kopru włoskiego oraz anetol, olej z czarnuszki siewnej i tymochinon, olejek eteryczny z mięty polej oraz pulegon w stężeniach wagowych 0,025%; 0,05%; 0,1%; 0,5%, 1%. Przebadano również piperiton wyizolowany z olejku eterycznego z mięty polej w stężeniach wagowych 0,01%; 0,025%; 0,1%; 0,05%. Doświadczenia kontrolowano po upływie 1, 2, 3, 4, 5, 24 i 48 godzinach. Liczono żywe i martwe chrząszcze zarówno w mniejszym, jak i w większym naczyniu. Prowadzono również hodowle kontrolne, w których substratem była pszenica bez dodatku żadnej substancji. Oceniono naturalną tendencję chrząszczy do emigracji.

Porównano wpływ roślinnych substancji – olejków eterycznych oraz wyizolowanych z nich związków - na emigrację (repelentność) i śmiertelność wołka zbożowego. Najlepsze właściwości odstrasżające wołka zbożowego wykazał olejek eteryczny z kopru włoskiego oraz z kminku zwyczajnego. Najsilniejsze właściwości owadobójcze wobec wołka zbożowego wykazały: 1% i 0,5% olejek eteryczny z mięty polej, oraz 0,5% pulegon. Stwierdzono, że im niższe stężenie badanych substancji tym silniejszy efekt repelentny oraz im wyższe stężenie badanych substancji tym silniejszy efekt owadobójczy. Zastosowanie wyizolowanego z olejku eterycznego związku roślinnego nie gwarantuje jego silniejszego działania owadobójczego lub repelentnego. Olejek eteryczny z kopru włoskiego i z kminku zwyczajnego mogłyby zostać

wykorzystane jako środki repelentne, a olejek z mięty polej oraz pulegon jako środki owadobójcze i znaleźć zastosowanie w ochronie magazynowanego ziarna zbóż.

11. Summary

The aim of the study was to investigate the effectiveness of various essential oils, as well as the chemical compounds extracted from them on the mortality and emigration of the grain weevil *Sitophilus granarius* L. - a dangerous pest of stored cereal grain. The researchers used substances derived from the following plants: fennel *Foeniculum vulgare* Mill., caraway *Carum carvi* L., black cumin *Nigella sativa* L. and *Mentha pulegium* L.

Finding an effective repellent or insecticide can help protect cereal grain from pests. The researchers focused on plant-based substances that are commonly used in various industries. Particular attention was paid to the selection of plants and chemical compounds so that the preparations used did not pose a threat to the environment and/or human health.

The studies assessed the emigration activity and mortality of *S. granarius* beetles. Experiments were conducted based on unidirectional emigration without the possibility of insects returning to the parent population. Dead grain weevil individuals were also counted. The studies used caraway essential oil and L-carvone and R-(+)-limonene, fennel essential oil and anethole, black cumin oil and thymoquinone, pennyroyal essential oil and pulegone in concentrations of 0.025%; 0.05%; 0.1%; 0.5%, 1%. Piperitone isolated from pennyroyal essential oil was also tested in concentrations of 0.01%; 0.025%; 0.1%; 0.05%. The experiments were checked after 1, 2, 3, 4, 5, 24 and 48 hours. Live and dead beetles were counted in both the smaller and larger vessels. Control cultures were also conducted in which the substrate was wheat without any added substance. The natural tendency of the beetles to emigrate was assessed.

The influence of plant substances – essential oils and compounds isolated from them – on the emigration (repellence) and mortality of grain weevils was compared. The best repellent properties against grain weevils were demonstrated by fennel essential oil and caraway essential oil. The strongest insecticidal properties against grain weevils were demonstrated by: 1% and 0.5% spearmint essential oil, and 0.5% pulegone. It was found that the lower the concentration of the tested substances the stronger the repellent effect, and the higher the concentration of the tested substances the stronger the insecticidal effect. The use of a plant compound isolated from an essential oil does not guarantee its stronger insecticidal or repellent effect. Fennel and caraway essential oil could be used as repellents, and peppermint oil and pulegone as insecticides and find application in the protection of stored cereal grain.

12. Bibliografia

1. Abbou F., Azzi R., Ouffai K., El Hacı I. A., Belyagoubi-Benhammou N., Bensouici C., Benamar H. 2022. Phenolic profile, antioxidant and enzyme inhibitory properties of phenolic-rich fractions from the aerial parts of *Mentha pulegium* L. South African Journal of Botany, 146: 196-204.
2. Adil B., Tarik A., Kribii A., Ounine K. 2015. The study of the insecticidal effect of *Nigella sativa* essential oil against *Tuta absoluta* larvae. International Journal of Scientific & Technology Research, 4(10): 88-90.
3. Ahmad A., Husain A., Mujeeb M., Khan S. A., Najmi A. K., Siddique N. A., Anwar F. 2013. A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*: A miracle herb. Asian Pacific journal of tropical biomedicine, 3(5): 337-352.
4. Ahmed A. F., Shi M., Liu C., Kang W. 2019. Comparative analysis of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds from Egypt and China. Food Science and Human Wellness, 8(1): 67-72.
5. Ahmed A. K., Kamal A. M., Mowafy N. M. E., Hassan E. E. 2020. Storage mite infestation of dry-stored food products and its relation to human intestinal acariasis in the city of Minia, Egypt. Journal of medical entomology, 57(2): 329-335.
6. Aimad A., Sanae R., Anas F., Abdelfattah E. M., Bourhia M., Mohammad Salamatullah A., Alzahrani A., Alyahya H. K., Albadr N. A., Abdelkrim A., Barnossi A. E., Nouredine, E. 2021. Chemical Characterization and Antioxidant, Antimicrobial, and Insecticidal Properties of Essential Oil from *Mentha pulegium* L. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021(1), 1108133.
7. Aitboulahsen M., Zantar S., Laglaoui A., Chairi H., Arakrak A., Bakkali M., Hassani Zerrouk M. 2018. Gelatin-based edible coating combined with *Mentha pulegium* essential oil as bioactive packaging for strawberries. Journal of food quality, 2018(1), 8408915.
8. Alamdari S., Mirzaee O., Jahroodi F. N., Tafreshi M. J., Ghamsari M. S., Shik S. S., Ara M. H. M., Lee K-Y., Park H. H. 2022. Green synthesis of multifunctional ZnO/chitosan nanocomposite film using wild *Mentha pulegium* extract for packaging applications. Surfaces and Interfaces, 34, 102349.
9. Albakry Z., Karrar E., Ahmed I.A.M., Oz E., Proestos C., El Sheikha A.F., Wang X. 2022. Nutritional composition and volatile compounds of black cumin (*Nigella sativa*

- L.) seed, fatty acid composition and tocopherols, polyphenols, and antioxidant activity of its essential oil. *Horticulturae*, 8(7): 575.
10. Ali S. A., Mory Mandiana Diakite S. A., Wang M. Q. 2015. The influence of grain cracked on reproduction of *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) on different types of host grains. *Rev. Kasmera*, 43(1): 67-92.
 11. Ali S. A. I., Diakite M. M., Ali S., Wang M. Q. 2016. Morphology and ultrastructure of the antennal sensilla of *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). *Bulletin of entomological research*, 106(4): 481-487.
 12. Ali T., Hussain F., Naeem M., Khan A., Al-Harrasi, A. 2022. Nanotechnology approach for exploring the enhanced bioactivities and biochemical characterization of freshly prepared *Nigella sativa* L. nanosuspensions and their phytochemical profile. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 888177.
 13. Ali S. A., Khairy M., Ibrahim A. A., Zohry N. M. 2022. Black seed and rosemary nanoformulations as green insecticides for the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Food Science*, 87(7): 3095-3106.
 14. Al-Sagan A.A., Khalil S., Hussein E. O. S., Attia Y.A. 2020. Effects of Fennel Seed Powder Supplementation on Growth Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, and Economic Efficiency of Broilers under Thermoneutral and Chronic Heat Stress Conditions. *Animals*, 10: 206.
 15. Alvarado-García P. A. A., Soto-Vasquez M. R., Rosales-Cerquin L. E., Rodrigo-Villanueva E. M., Jara-Aguilar D. R., Tuesta-Collantes L. 2022. Anxiolytic and Antidepressant-like Effects of *Foeniculum vulgare* Essential Oil. *Pharmacognosy Journal*, 14(2).
 16. Anka Z. M., Gimba S., Nanda A., Salisu L. 2020. Phytochemistry and pharmacological activities of *Foeniculum vulgare*. *IOSR J. Pharm*, 10: 1-10.
 17. Arazmjoo S., Es-haghi A., Mahmoodzadeh H. 2021. Evaluation of anti-cancer and antioxidant properties of nanoemulsions synthesized by *Nigella sativa* L. tincture. *Nanomedicine Journal*, 8(1).
 18. Auerswald L., Lopata, A. 2005. Insects-diversity and allergy. *Current Allergy & Clinical Immunology*, 18(2): 58-60.
 19. Avci G., Ulutas E., Ozdemir V., Kivrak I., Bulbul A. 2022. The positive effect of black seed (*Nigella sativa* L.) essential oil on thyroid hormones in rats with hypothyroidism and hyperthyroidism. *Journal of Food Biochemistry*, 46(4): 13801.

20. Badgujar S. B., Patel V. V., Bandivdekar A. H. 2014. *Foeniculum vulgare* Mill: a review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. *BioMed research international*, 2014(1), 842674.
21. Banga K. S., Kotwaliwale N., Mohapatra D., Giri S. K. 2018. Techniques for insect detection in stored food grains: An overview. *Food Control*, 94: 167-176.
22. Baptista-Silva S., Borges S., Ramos O. L., Pintado M., Sarmiento B. 2020. The progress of essential oils as potential therapeutic agents: A review. *Journal of Essential Oil Research*, 32(4): 279-295.
23. Basile S., Badalamenti N., Riccobono O., Guarino S., Ilardi V., Bruno M., Peri E. 2022. Chemical composition and evaluation of insecticidal activity of *Calendula incana* subsp. *maritima* and *Laserpitium siler* subsp. *siculum* essential oils against stored products pests. *Molecules*, 27(3): 588.
24. Belgaumi U. I., Patil S., Gandhi J. M., Shete A. S. 2020. The Many Therapeutic Applications of *Nigella sativa*—A Review of Literature. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*. 9(30): 2151-2157.
25. Boczek J. 1999. *Zarys akarologii rolniczej*. Wyd. Nauk. PWN S.A., Warszawa. 358pp.
26. Boczek J. 2008. Rozkruszki – szkodniki pasz. *Polskie Drobiarstwo*. 35-38.
27. Boczek J., Czajkowska B. 2003. *Roztocze – magazynowe i kurzu domowego*. Wyd. Themar, Warszawa: 132pp.
28. Boczek J., Stępień 1981. Znaczenie i zwalczanie szkodników w czasie przechowywania, przetwórstwa i obrotu żywności. *Entomologia a gospodarka narodowa*. PWN Warszawa, Wrocław: 145-157.
29. Borozan A. B., Popescu S., Bordean D., Dobrei A. 2022. *Carum carvi*—ASPECIES of food interest with antimicrobial properties. A Short Review. *Current Trends in Natural Sciences*, 11(21): 315-321.
30. Cagaň Ľ., Apacsová Fusková M., Hlávková D., Skoková Habušťová O. 2022. Essential oils: useful tools in storage-pest management. *Plants*, 11(22): 3077.
31. Chaubey M. K. 2019. Essential oils as green pesticides of stored grain insects. *European Journal of Biological Research*, 9(4): 202-244.
32. Chaudhari A. K., Singh V. K., Kedia A., Das S., Dubey N. K. 2021. Essential oils and their bioactive compounds as eco-friendly novel green pesticides for management of storage insect pests: prospects and retrospects. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 18918-18940.

33. Chen J., Ding J., Li D., Wang Y., Wu Y., Yang X., Chinnathambi A., Salmen S. H., Alharbi S. A. 2022. Facile preparation of Au nanoparticles mediated by *Foeniculum vulgare* aqueous extract and investigation of the anti-human breast carcinoma effects. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(1): 103479.
34. Ciesielska Z. 1983. Consumption, grain exploitation and population in granary beetles, *Sitophilus granarius* L. (Col. Curculionidae), *Rhizopertha dominica* F. (Col. Bostrychidae) and *Oryzaephilus surinamensis* L. (Col. Cucujidae). *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 4: 104-107.
35. Ciesielska Z., Kłyś M. 2002. Aktywność migracyjna populacji kaptownika zbożowca *Rhizopertha dominica* F. (Coleoptera, Bostrychidae). *Annales Academiae Paedagogicae Cracoviensis*. Kraków. 7: 25–37.
36. Conti B., Canale A., Cioni P. L., Flamini G., Rifici A. 2011. *Hyptis suaveolens* and *Hyptis spicigera* (Lamiaceae) essential oils: qualitative analysis, contact toxicity and repellent activity against *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Dryophthoridae). *Journal of Pest Science*, 84: 219-228.
37. Dangi K., Verma A. K. 2021. Efficient & eco-friendly smart nano-pesticides: Emerging prospects for agriculture. *Materials Today: Proceedings*, 45: 3819-3824.
38. Deshwal R., Vaibhav V., Kumar N., Kumar A., Singh R. 2020. Stored grain insect pests and their management: An overview. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(5): 969-974.
39. Dinuță A., Bunescu H., Bodiș I. 2009. Contributions to the knowledge of morphology of the granary weevil (*Sitophilus granarius* L.), major pest of the stored cereals. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine. Agriculture*, 66: 59-66.
40. Dobrucka R., Ankiel M. 2019. Possible applications of metal nanoparticles in antimicrobial food packaging. *Journal of Food Safety*, 39(2): 12617.
41. Domingues P. M., Santos L. 2019. Essential oil of pennyroyal (*Mentha pulegium*): Composition and applications as alternatives to pesticides—New tendencies. *Industrial Crops and Products*, 139: 111534.
42. El-Ghorab A. H. 2006. The chemical composition of the *Mentha pulegium* L. essential oil from Egypt and its antioxidant activity. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 9(2): 183-195.
43. El-Saadony M. T., Abd El-Hack M. E., Taha A. E., Fouda M. M., Ajarem J. S., N. Maodaa S., Allam A. A., Elshaer N. 2020. Ecofriendly synthesis and insecticidal

- application of copper nanoparticles against the storage pest *Tribolium castaneum*. *Nanomaterials*, 10(3): 587.
44. Fatima Shad K., Soubra W., Cordato D. J. 2021. The role of thymoquinone, a major constituent of *Nigella sativa*, in the treatment of inflammatory and infectious diseases. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 48(11): 1445-1453.
 45. Fawzy Ramadan M. 2015. Nutritional value and applications of *Nigella sativa* essential oil: a mini review. *Journal of Essential Oil Research*, 27(4): 271-275.
 46. Fenibo E. O., Ijoma G. N., Nurmahomed W., Matambo T. 2022. The potential and green chemistry attributes of biopesticides for sustainable agriculture. *Sustainability*, 14(21): 14417.
 47. Elnabawy E. S. M., Hassan S., Taha E. K. A. 2021. Repellent and toxicant effects of eight essential oils against the red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Biology*, 11(1): 3.
 48. Fox T. *Global Food: Waste Not, Want Not*. London. Westminster: Institution of Mechanical Engineers 2013: 1-31.
 49. Gałęcki R., Bakula T., Wojtacki M., Żuk-Gołaszewska K. 2019. Susceptibility of ancient wheat species to storage pests *Sitophilus granarius* and *Tribolium confusum*. *Journal of Stored Products Research*, 83: 117-122.
 50. Ganseman E., Gouwy M., Bullens D., Breynaert C., Schrijvers R., Proost P. 2023. Reported Cases and Diagnostics of Occupational Insect Allergy: A Systematic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1): 86.
 51. Gharsan F. N., Kamel W. M., Alghamdi T. S., Alghamdi A. A., Althagafi A. O., Aljassim F. J., Al-Ghamdi S. N. 2022. Toxicity of citronella essential oil and its nanoemulsion against the sawtoothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae). *Industrial crops and products*, 184: 115024.
 52. Giunti G., Palermo D., Laudani F., Algeri G. M., Campolo O., Palmeri V. 2019. Repellence and acute toxicity of a nano-emulsion of sweet orange essential oil toward two major stored grain insect pests. *Industrial Crops and Products*, 142: 111869.
 53. Głowaciński Z. (Ed.). 2011. *Gatunki obce w faunie Polski: Przegląd i ocena stanu*. Instytut Ochrony Przyrody PAN.
 54. Godfrey H. C., Beddington J. R., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Pretty J., Robinson S., Thomas S. M., Toulmin C. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327: 812–818.

55. Guettal S., Tine S., Hamaidia K., Tine-Djebbar F., Soltani N. 2021. Effect of *Citrus limonum* essential oil against granary weevil, *Sitophilus granarius* and its chemical composition, biological activities and energy reserves. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41: 1531-1541.
56. Gupta A., Dubey M., Parmar M., Mahajan S., Sharma R. 2011. Evaluation of Antimicrobial activity of *Carum carvi* (seeds) extract against *E. coli* and *Aspergillus niger*. *Drug Invention Today*, 3(9): 211-213.
57. Gupta R. K., Guroo M. A., Gani M., Bali K., Kour R. 2022. Technological Innovations for the Management of Insect-Pests in Stored Grains. In *New Horizons in Wheat and Barley Research: Crop Protection and Resource Management* (pp. 309-319). Singapore: Springer Nature Singapore.
58. Grytner- Zięcina B. 2002. *Classis: Cestoda Monticelli, 1892 - Gromada: Tasiemce*. W: *Parazytologia i akarontomologia medyczna* (Red. Deryło A.) Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2002, s. 200-236.
59. Halerewicz A. 2015. *Atlas ziół. Kulinarne wykorzystanie roślin dziko rosnących*. Wyd. SBM, 192 ss., Warszawa.
60. Hannan M. A., Rahman M. A., Sohag A. A. M., Uddin M. J., Dash R., Sikder M. H., Rahman S., Timalisina B., Munni Y. A., Sarker P. P., Alam M., Mohibullah, Haque N., Jahan I., Hossain T., Afrin T., Rahman M., Tahjib-Ul-Arif, Mitra S., Oktaviani D. F., Khan K., Choi H. J., Moon S., Kim, B. 2021. Black cumin (*Nigella sativa* L.): A comprehensive review on phytochemistry, health benefits, molecular pharmacology, and safety. *Nutrients*, 13(6): 1784.
61. Hassanpouraghdam M. B., Akhgari A. B., Aazami M. A., Emarat-Pardaz J. 2011. New menthone type of *Mentha pulegium* L. volatile oil from Northwest Iran. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(3): 285-290.
62. Hilger C., Kuehn A., Raulf M., Jakob T. 2014. Cockroach, tick, storage mite and other arthropod allergies: Where do we stand with molecular allergy diagnostics? Part 15 of the Series Molecular Allergology. *Allergo Journal International*, 23: 172-178.
63. Hodges R. J., Buzby J. C., Bennett B. 2011. Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use. *J. Agric. Sci.* 149: 37-45.
64. Holloway J.C., Darglish G.J., Mayer D.G. Spatial Distribution and Flight Patterns of Two Grain Storage Insect Pests, *Rhyzopertha dominica* (Bostrichidae) and *Tribolium castaneum* (Tenebrionidae): Implications for Pest Management. *Insects* 2020, 11: 715.

65. Iacobellis N.S., Lo Cantore P., Capasso F., Senatore F. 2005. Antibacterial activity of *Cuminum cyminum* L. and *Carum carvi* L. essential oils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(1): 57-61.
66. Ignatowicz S. 2013. Zwalczanie pleśniakowca lśniącego w fermach drobiarskich. szkodniki.waw.pl
67. Isman M.B. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51: 45–66.
68. Izdebska A. M., Kłyś M., Nowak-Chmura M., Koczanowicz S. 2023. Lower dose of plant substance more effective in repelling *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera, Bostrichidae) and *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera, Dryophthoridae). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 30(3): 407-412.
69. Jadid N., Widodo A. F., Ermavitalini D., Sa'adah N. N., Gunawan S., Nisa C. 2023. The medicinal Umbelliferae plant Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): cultivation, traditional uses, phytopharmacological properties, and application in animal husbandry. *Arabian Journal of Chemistry*, 104541.
70. Jakubas-Zawalska J., Asman M., Kłyś M., Solarz K. 2016. Sensitization to *Sitophilus granarius* in selected suburban population of South Poland. *Journal of Stored Products Research*, 69: 1-6.
71. Johnson J. 2020. Near-infrared spectroscopy (NIRS) for taxonomic entomology: A brief review. *Journal of Applied Entomology*, 144(4): 241-250.
72. Johnson A. J., Venukumar V., Varghese T. S., Viswanathan G., Leeladevi P. S., Remadevi R. K. S., Baby S. 2022. Insecticidal properties of *Clausena austroindica* leaf essential oil and its major constituent, trans-anethole, against *Sitophilus oryzae* and *Tribolium castaneum*. *Industrial Crops and Products*, 182: 114854.
73. Kaur P., Gupta S., Kaur K., Kaur N., Kumar R., Bhullar M. S. 2021. Nanoemulsion of *Foeniculum vulgare* essential oil: A propitious striver against weeds of *Triticum aestivum*. *Industrial Crops and Products*, 168: 113601.
74. Kavallieratos N. G., Nika E. P., Skourti A., Boukouvala M. C., Ntalaka C. T., Maggi F., Spinozzi E., Petrelli R., Perinelli D. R., Benelli G., Canale A., Bonacucina G. 2022. *Carlina acaulis* essential oil nanoemulsion as a new grain protectant against different developmental stages of three stored-product beetles. *Pest Management Science*, 78(6): 2434-2442.

75. Kazemi M. 2015. Chemical composition and antioxidant properties of the essential oil of *Nigella sativa* L. Bangladesh Journal of Botany, 44(1), 111-116.
76. Keshavarz A., Minaiyan M., Ghannadi A., Mahzouni P. 2013. Effects of *Carum carvi* L.(Caraway) extract and essential oil on TNBS-induced colitis in rats. Research in pharmaceutical sciences, 8(1): 1.
77. Keskin I., Gunal Y., Ayla S., Kolbasi B., Sakul A., Kilic U., Gok O., Koroglu K., Ozbek H. 2017. Effects of *Foeniculum vulgare* essential oil compounds, fenchone and limonene, on experimental wound healing. Biotechnic & Histochemistry, 92(4): 274-282.
78. Khalil N., Ashour M., Fikry S., Singab A. N., Salama O. 2018. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of selected Apiaceous fruits. Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 4(1): 88-92.
79. Khan N.T. 2017. In vitro antibacterial activity of *Foeniculum vulgare* seed extract. Agrotechnology, 6(162): 2.
80. Khan R. U., Fatima A., Naz S., Ragni M., Tarricone S., Tufarelli V. 2022. Perspective, opportunities and challenges in using fennel (*Foeniculum vulgare*) in poultry health and production as an eco-friendly alternative to antibiotics: a review. Antibiotics, 11(2): 278.
81. Khatamian N., Homayouni Tabrizi M., Ardalan P., Yadamani S., Darchini Maragheh A. 2019. Synthesis of *Carum Carvi* essential oil nanoemulsion, the cytotoxic effect, and expression of caspase 3 gene. Journal of food biochemistry, 43(8): 12956.
82. Khezri K., Farahpour M. R., Rad S. M. 2020. Efficacy of *Mentha pulegium* essential oil encapsulated into nanostructured lipid carriers as an in vitro antibacterial and infected wound healing agent. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 589: 124414.
83. Kiran S., Kujur A., Patel L., Ramalakshmi K., Prakash B. 2017. Assessment of toxicity and biochemical mechanisms underlying the insecticidal activity of chemically characterized *Boswellia carterii* essential oil against insect pest of legume seeds. Pesticide Biochemistry and Physiology, 139: 17-23.
84. Kłyś M. 1997. Morfologiczne i ekologiczne uwarunkowania dynamiki liczebności i migracji populacji *Rhizopertha dominica* F. (Coleoptera, Bostrychidae). Praca doktorska. WSP Kraków.
85. Kłyś M. 2007. The influence of the herbs sage and wormwood on the migration

- of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) populations. Journal of Stored Products Research, 43: 558–563.
86. Kłyś M., Malejky N., Nowak-Chmura M. 2017. The repellent effect of plants and their active substances against the beetle storage pests. Journal of Stored Products Research, 74: 66-77.
 87. Kłyś M., Izdebska A., Malejky-Kłusek N. 2020. Repellent effect of the caraway *Carum carvi* L. on the rice weevil *Sitophilus oryzae* L.(Coleoptera, Dryophthoridae). Insects, 11(12): 836.
 88. Kordali Ş., Kesdek M., Akkan Ü., Usanmaz Bozhöyük A. 2022. Insecticidal activities of some plant essential oils on *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Sitophilus granarius* L.(Coleoptera: Bostrichidae and Curculionidae) adults. Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty. 23(1): 127-134.
 89. Koshak, A. E., Koshak, E. A., Mobeireek, A. F., Badawi, M. A., Wali, S. O., Malibary, H. M., ... & Madani, T. A. (2021). Nigella sativa for the treatment of COVID-19: An open-label randomized controlled clinical trial. Complementary Therapies in Medicine, 61, 102769.
 90. Kozłowski J. 2019. Zielarnia Jak czerpać ze skarbów natury Wyd. Publicat, 336 ss., Poznań.
 91. Lasram S., Zemni H., Hamdi Z., Chenenaoui S., Houissa H., Tounsi M. S., Ghorbel A. 2019. Antifungal and antiaflatoxinogenic activities of *Carum carvi* L., *Coriandrum sativum* L. seed essential oils and their major terpene component against *Aspergillus flavus*. Industrial crops and products, 134: 11-18.
 92. Luís Â., Domingues F. 2021. Screening of the potential bioactivities of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) essential oil. Antibiotics, 10(10): 1266.
 93. Lyon W.F. Granary and Rice Weevils. Ohio State University Extension Fact Sheet 2011 HYG-2088-97.
 94. Malaikozhundan B., Vinodhini J., Vaseeharan B. 2019. Nanopesticides for the management of insect pests of stored grains. Nanotechnology for Agriculture: Crop Production & Protection, 8: 303-322.
 95. Manju S., Malaikozhundan B., Vijayakumar S., Shanthi S., Jaishabanu A., Ekambaram P., Vaseeharan B. 2016. Antibacterial, antibiofilm and cytotoxic effects of *Nigella sativa* essential oil coated gold nanoparticles. Microbial pathogenesis, 91: 129-135.
 96. McDonald L., Guy R. H., Speirs R. D. 1970. Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents and attractants against stored product insect. Marketing

- research report no.882. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington
97. Mederska M. 2022 Atlas roślin leczniczych. Wydawnictwo SBM, 193 ss., Warszawa.
 98. Mehra N., Tamta G., Nand V. 2021. A review on nutritional value, phytochemical and pharmacological attributes of *Foeniculum vulgare* Mill. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 10(2): 1255-1263.
 99. Michel M., Sereme Y., Mezouar S., Vitte J. 2019. Indoor environmental allergens. Encyclopedia of Respiratory Diseases.
 100. Miraj S., Kiani S. 2016. Pharmacological activities of *Carum carvi* L. Pharm Lett, 8(6): 135-138.
 101. Mohamed S. H., Zaky W. M., Kassem J. M., Abbas H. M., Salem M. M. E., Said-Al Ahl H. A. H. 2013. Impact of antimicrobial properties of some essential oils on cheese yoghurt quality. World Applied Sciences Journal, 27(4): 497-507.
 102. Mondal P., Laishram R., Sarkar P., Kumar R., Karmakar R., Hazra D. K., Banerjee K., Pal K., Choudhury A. 2022. Plant essential oil-based nanoemulsions: A novel asset in the crop protection arsenal. Agricultural Nanobiotechnology, 12: 325-353.
 103. Nawrot J. 2001. Owady – szkodniki magazynowe. Wydawnictwo Themar. 149 ss. Warszawa.
 104. Nollet L. M., Rathore H. S. 2017. Green pesticides handbook: Essential oils for pest control. CRC Press, 524 pp., New York.
 105. Oguh C. E., Okpaka C. O., Ubani C. S., Okekeaji U., Joseph P. S., Amadi E. U. 2019. Natural pesticides (biopesticides) and uses in pest management-a critical review. Asian Journal of Biotechnology and Genetic Engineering, 2(3): 1-18.
 106. Ouabou M., Annaz H., Maggi F., Ferrati M., Spinozzi E., El Amrani A. 2024. Insecticidal, antifeedant, and repellent effect of *Lavandula mairei* var. *antiatlantica* essential oil and its major component carvacrol against *Sitophilus oryzae*. Journal of Stored Products Research, 107: 102338.
 107. Palermo D., Giunti G., Laudani F., Palmeri V., Campolo O. 2021. Essential oil-based nano-biopesticides: Formulation and bioactivity against the confused flour beetle *Tribolium confusum*. Sustainability, 13(17): 9746.
 108. Papanikolaou N. E., Kavallieratos N. G., Iliopoulos V., Evergetis E., Skourti A., Nika E. P., Haroutounian S. A. 2022. Essential oil coating: Mediterranean culinary

- plants as grain protectants against larvae and adults of *Tribolium castaneum* and *Trogoderma granarium*. *Insects*, 13(2): 165.
109. Parfitt J., Barthel M., Macnaughton S. 2010. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554): 3065-3081.
110. Pavela R. 2016. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects—a review. *Plant Protection Science*, 52 (4): 229-241.
111. Pedrotti C., Ribeiro R. T., Schwambach J. 2017. Control of postharvest fungal rots on grapes using essential oil of *Foeniculum vulgare* Mill. *J. Agric. Sci*, 9(4): 205-216.
112. Plata-Rueda A., Rolim G. D. S., Wilcken C. F., Zanuncio J. C., Serrão J. E., Martínez L. C. 2020. Acute toxicity and sublethal effects of lemongrass essential oil and their components against the granary weevil, *Sitophilus granarius*. *Insects*, 11(6): 379.
113. Rad S. S., Sani A. M., Mohseni S. 2019. Biosynthesis, characterization and antimicrobial activities of zinc oxide nanoparticles from leaf extract of *Mentha pulegium* (L.). *Microbial pathogenesis*, 131: 239-245.
114. Rafieian F., Amani R., Rezaei A., Karaça A. C., Jafari S. M. 2023. Exploring fennel (*Foeniculum vulgare*): Composition, functional properties, potential health benefits, and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-18.
115. Rahimi R., Ardekani M. R. S. 2013. Medicinal properties of *Foeniculum vulgare* Mill. in traditional Iranian medicine and modern phytotherapy. *Chinese journal of integrative medicine*, 19: 73-79.
116. Raj G. A., Chandrasekaran M., Krishnamoorthy S., Jayaraman M., Venkatesalu V. 2015. Phytochemical profile and larvicidal properties of seed essential oil from *Nigella sativa* L.(Ranunculaceae), against *Aedes aegypti*, *Anopheles stephensi*, and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 114: 3385-3391.
117. Rastogi S., Pandey M. M., Rawat, A.K.S. 2016. Traditional herbs: a remedy for cardiovascular disorders. *Phytomedicine*, 23(11): 1082-1089.
118. Rather M. A., Dar B. A., Sofi S. N., Bhat B. A., Qurishi M. A. 2016. *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry*, 9: 1574-1583.
119. Ritter C. *Naturalne antybiotyki*. 2017 Wyd. Muza, 160 ss., Warszawa.

120. Rizwana H., Alwhibi M. S. 2021. Biosynthesis of silver nanoparticles using leaves of *Mentha pulegium*, their characterization, and antifungal properties. *Green Processing and Synthesis*, 10(1): 824-834.
121. Sadadekar A. S., Shruthy R., Preetha R., Kumar N., Pande K. R., Nagamani G. 2023. Enhanced antimicrobial and antioxidant properties of Nano chitosan and pectin based biodegradable active packaging films incorporated with fennel (*Foeniculum vulgare*) essential oil and potato (*Solanum tuberosum*) peel extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3): 938-946.
122. Sadeghi E., Mohammadi A., Jamilpanah M., Bashiri M., Bohlouli S. 2016. Antimicrobial effects of *Mentha pulegium* essential oil on *Listeria monocytogenes* in Iranian white cheese. *Journal of Food Quality & Hazards Control*, 3(1).
123. Salari Rafsanjani M., Tabatabaei Naeini A., Meimandi-Parizi A., Nowzari F., Mujtaba Wani M., Iraj A. 2022. Wound healing effect of *Carum carvi* L. on the incised skin wound in male rats: Histopathology, total protein and biomechanical evaluations. *Veterinary Medicine and Science*, 8(6): 2726-2737.
124. Saleh L., Pal Singh R., Nagar S. Efficacy of *Foeniculum vulgare* seeds powder on growth performance in broiler. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2018, 3: 167–170.
125. Saroj A., Oriyomi O. V., Nayak A. K., Haider S. Z. 2020. Phytochemicals of plant-derived essential oils: A novel green approach against pests. In *Natural remedies for pest, disease and weed control* (pp. 65-79). Academic Press.
126. Sawicka B., Egbuna C. 2020. Pests of agricultural crops and control measures. In *Natural remedies for pest, disease and weed control* (pp. 1-16). Academic Press.
127. Sebai E., Serairi R., Saratsi K., Abidi A., Sendi N., Darghouth M. A., Wilson M. S., Sotiraki S., Akkari H. 2020. Hydro-ethanolic extract of *Mentha pulegium* exhibit anthelmintic and antioxidant properties in vitro and in vivo. *Acta Parasitologica*, 65: 375-387.
128. Shah J. A., Vendl T., Aulicky R., Stejskal V. 2021. Frass produced by the primary pest *Rhyzopertha dominica* supports the population growth of the secondary stored product pests *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum*, and *T. confusum*. *Bulletin of Entomological Research*, 111(2): 153-159.
129. Shahmohamadi R., Sariri R., Rasa M., Ghafoori H., Aghamali M., Nasuti S., Tahery M. 2011. Chemical composition and antimicrobial activity of flowering aerial parts *Mentha Pulegium* from Gilan. *Pharmacologyonline*, 3: 651-659.

130. Shaikh Y. I., Shaikh V. S., Ahmed K., Nazeruddin G. M., Pathan H. M. 2020. The revelation of various compounds found in *Nigella sativa* L.(Black Cumin) and their possibility to inhibit COVID-19 infection based on the molecular docking and physical properties. *Engineered Science*, 11(2): 31-35.
131. Singh K. D., Mobolade A. J., Bharali R., Sahoo D., Rajashekar Y. 2021. Main plant volatiles as stored grain pest management approach: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 4: 100127.
132. Snoussi A., Koubaier H. B. H., Bouacida S., Essaidi I., Kachouri F., Bouzouita N. In vitro antimicrobial activity of *Carum carvi* L. seed essential oil against pink potato spoilage flora. *Chemia Naissensis*, 3(1): 92-102.
133. Solarz K. 2002. Subclassis Acari Latreille, 1795 – Podgromada: Roztocze. Roztocze alergogenne. W: *Parazytologia i akaroentomologia medyczna* (Red. Deryło A.) Wydawnictwo Naukowe PWN, ss. 332-377, Warszawa.
134. Souto A. L., Sylvestre M., Tölke E. D., Tavares J. F., Barbosa-Filho J. M., Cebrián-Torrejón G. 2021. Plant-derived pesticides as an alternative to pest management and sustainable agricultural production: Prospects, applications and challenges. *Molecules*, 26(16): 4835.
135. Sultan M. T., Butt M. S., Karim R., Iqbal S. Z., Ahmad S., Zia-Ul-Haq M., Aliberti L., Ahmad A. N., De Feo, V. 2014. Effect of *Nigella sativa* fixed and essential oils on antioxidant status, hepatic enzymes, and immunity in streptozotocin induced diabetes mellitus. *BMC complementary and alternative medicine*, 14(1): 1-7.
136. Taban A., Rastegar S., Nasirzadeh M., Saharkhiz M. J. 2022. Essential oil composition and comparative phytotoxic activity of fennel, summer savory, Mexican marigold and feverfew: A potential bioherbicide. *Vegetos*: 1-9.
137. Tanavar H., Barzegar H., Alizadeh Behbahani B., Mehrnia M. A. 2021. Investigation of the chemical properties of *Mentha pulegium* essential oil and its application in *Ocimum basilicum* seed mucilage edible coating for extending the quality and shelf life of veal stored in refrigerator (4° C). *Food Science & Nutrition*, 9(10): 5600-5615.
138. Teke M. A., Mutlu Ç. 2021. Insecticidal and behavioral effects of some plant essential oils against *Sitophilus granarius* L. and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(1): 109-119.

139. Thippeswamy N. B., Naidu K. A., Achur R. N. 2013. Antioxidant and antibacterial properties of phenolic extract from *Carum carvi* L. Journal of pharmacy research, 7(4): 352-357.
140. Trifan A., Aprotosoiaie A. C., Cioanca O., Hancianu M., Jitareanu A., Gille E., Miron A. 2016. Antioxidant activity of essential oil from *Carum carvi* L. cultivated in north-eastern Romania. The Medical-Surgical Journal, 120(3): 732-736.
141. Tripathi A. K. 2018. Pests of stored grains. Pests and their management, 311-359.
142. Wawrzyniak M., Wrzesinska D., Lamparski R., Piesik D. 2015. Wpływ suszu z mięty pieprzowej (*Mentha piperita* L.) na rozwój i płodność wołka zbożowego. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, (580).
143. Van Winkle, T., Ponce, M., Quellhorst, H., Bruce, A., Albin, C. E., Kim, T. N., Zhu K. Y., Morrison, W. R. 2022. Microbial Volatile Organic Compounds from Tempered and Incubated Grain Mediate Attraction by a Primary but Not Secondary Stored Product Insect Pest in Wheat. Journal of Chemical Ecology, 48, 1-14.
144. Zhu L., Ma Q., Chen J., Zhao G. 2022. Current progress on innovative pest detection techniques for stored cereal grains and thereof powders. Food Chemistry: 133706.
145. Ziaee M., Moharramipour S. 2013. Effectiveness of medicinal plant powders on *Sitophilus granarius* and *Tribolium confusum*. Journal of Crop Protection, 2(1): 43-50.

13. Spis rycin

Ryc. 1. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z kminku zwyczajnego.....	34
Ryc. 2. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej pod wpływem olejku eterycznego z kminku zwyczajnego.....	36
Ryc. 3. Wskaźnik śmiertelności emigrantów pod wpływem olejku eterycznego z kminku zwyczajnego.....	37
Ryc. 4. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem L-carvonu.	38
Ryc. 5. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem L-carvonu.	39
Ryc. 6. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem L-carvonu. ...	39
Ryc. 7. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem R-(+)-limonenu.....	40
Ryc. 8. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem R-(+)-limonenu.	41
Ryc. 9. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem R-(+)-limonenu.	42
Ryc. 10. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z kopru włoskiego.	43
Ryc. 11. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z kopru włoskiego.....	44
Ryc. 12. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z kopru włoskiego.....	44
Ryc. 13. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem anetolu.	45
Ryc. 14. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem anetolu.....	46
Ryc. 15. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem anetolu.	46
Ryc. 16. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem oleju z czarnuszki siewnej. ...	47
Ryc. 17. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem oleju z czarnuszki siewnej.	48
Ryc. 18. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem oleju z czarnuszki siewnej.	48
Ryc. 19. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem tymochinonu.....	49

Ryc. 20. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem tymochinonu.	50
Ryc. 21. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem tymochinonu.	51
Ryc. 22. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z mięty polej.	51
Ryc. 23. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z mięty polej.	52
Ryc. 24. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem olejku eterycznego z mięty polej.	53
Ryc. 25. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem pulegonu.	54
Ryc. 26. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem pulegonu.....	54
Ryc. 27. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem pulegonu....	55
Ryc. 28. Wskaźnik emigracji wołka zbożowego pod wpływem piperitonu.....	56
Ryc. 29. Wskaźnik śmiertelności populacji wyjściowej wołka zbożowego pod wpływem piperitonu.	57
Ryc. 30. Wskaźnik śmiertelności emigrantów wołka zbożowego pod wpływem piperitonu. .	57

14. Spis fotografii

Fot. 1. Dorosły osobnik wołka zbożowego (Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Wheat_weevil).....	13
Fot. 2. Dorosłe osobniki wołka zbożowego: a) samica; b) samiec (Źródło: Dinuță 2009).....	14
Fot. 3. Rostrum u dorosłych: a) samic wołka zbożowego; b) samców wołka zbożowego (Źródło: Dinuță 2009).....	14
Fot. 4. Włosy czuciowe na czułkach: a) samicy wołka zbożowego; b) samca wołka zbożowego (Źródło: Dinuță 2009).....	15
Fot. 5. Oko złożone: a) samicy wołka zbożowego; b) samca wołka zbożowego (Źródło: Dinuță 2009).....	15
Fot. 6. Omatidia oka złożonego: a) samca wołka zbożowego; b) samicy wołka zbożowego (Źródło: Dinuță 2009).....	15
Fot. 7. Pas oddzielający przedplecze od śródplecza u: a) samic wołka zbożowego; b) samców wołka zbożowego (Źródło: Dinuță 2009).....	16
Fot. 8. Odwłok u dorosłych: a) samic wołka zbożowego; b) samców wołka zbożowego (Źródło: Dinuță 2009).....	16
Fot. 9. Narządy płciowe zewnętrzne u: a) samca wołka zbożowego; b) samicy wołka zbożowego (Źródło: Dinuță 2009).....	16
Fot. 10. Liść kopru włoskiego (Fot. A. Izdebska).....	18
Fot. 11. Nasiona kopru włoskiego (Fot. A. Izdebska).....	18
Fot. 12. Liść kminku zwyczajnego (Fot. A. Izdebska).....	21
Fot. 13. Nasiona kminku zwyczajnego (Fot. A. Izdebska).....	22
Fot. 14. a) Kwiat czarnuszki siewnej; b) Liść czarnuszki siewnej (Fot. A. Izdebska).....	24
Fot. 15. Nasiona czarnuszki siewnej (Fot. A. Izdebska).....	24
Fot. 16. Liść mięty polej (Fot. A. Izdebska).....	27
Fot. 17. Nasiona mięty polej (Fot. A. Izdebska).....	27
Fot. 18. Zestaw naczyń doświadczalnych (Fot. A. Izdebska).....	31
Fot. 19. Krążek bibuły filtracyjnej (Fot. A. Izdebska).....	31
Fot. 20. Usytuowanie krążka bibuły filtracyjnej w małym naczyniu doświadczalnym: a) widok z góry; b) widok z boku (Fot. A. Izdebska).....	31