



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi -Tébessa-



Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie

Département : Biologie des êtres vivants

Laboratoire Eau et Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : BIOLOGIE ANIMALE

Option : Ecophysiologie animale

Thème

Effet d'une huile essentielle extraite de *Mentha spicata* sur
un Coléoptère ravageur des denrées stockées

Présentée par : Melle NASRI Siwar

Melle BOUSENSLA Sara Maya

Membres de Jury :

Pr. TINE-DJEBBAR Fouzia U. Larbi Tébessi-Tébessa Présidente

Dr. HLAIMIA Samira U. Larbi Tébessi-Tébessa Examinatrice

Dr. TINE Samir U. Larbi Tébessi-Tébessa Encadrant

Année universitaire : 2023/2024

Note :.....

Mention :.....

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu tout puissant et miséricordieux,

qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*La première personne que nous tenons à remercier est notre encadrant **Pr.***

***TINE Samir** pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au*

bon port.

*Toutes nos considérations à l'égard **Pr. TINE DJEBBAR FOUZIA** de qui*

nous avons fait l'honneur de juger le présent travail.

*Nos plus vifs remerciements vont à **Dr .HLAIMIA SAMIRA** qui a bien voulu accepter d'être membre du jury et de nous faire l'honneur de juger ce*

travail.

A nos parents et tous nos frères et soeurs.

Nos remerciements s'adressent également à ceux qui ont contribué de loin

ou de près

Dédicaces

Je dédie cet humble travail et mes remerciements et ma gratitude à l'âme de mon père, que Dieu ait pitié de lui, qui a été la source de ma force et de mon courage tout au long de ma vie.

Qui souhaitait me voir en ce lieu, mais le jugement de Dieu est de nous quitter et de ne pas être à mes côtés aujourd'hui, mais il est toujours présent dans mon cœur.

Et à la lumière de mes jours et à la flamme de mon cœur, ma mère, mon éternel exemple de patience et source de joie et de bonheur, et à mes chères sœurs Lina et fanny, pour leurs présence constante et leurs soutien indéfectible

À mon frère saleh, qui m'a toujours encouragé à essayer de ne pas désespérer et qui m'a accompagné en toutes circonstances, que Dieu vous protège.

BOUSSENSLA SARA MAYA

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à

A Moi-même...

Je me remercie pour ma volonté et ma résistance tout au long de ce parcours... malgré les difficultés, je n'ai pas baissé les bras... je suis vraiment fière de moi.

*A mon père **ABID NASRI***

Mon cher bien-aimé, merci pour tout ce que tu as fait pour moi tout au long de mon parcours scolaire, merci pour ta confiance, ton soutien, ton aide et ta présence constante avec moi, j'espère que cette réalisation te rendra fier de moi.

*A ma mère **DAHBLIA NASRI***

Chérie, tu étais ma force et ma stabilité, merci maman, il n'y a pas assez de mots pour te remercier ma belle, tu as toujours été le héros de mon histoire, ta petite fille aujourd'hui te présente ce succès.

*A mes sœurs **SARA SADJA KHOULOUD** Pour son soutien tout le temps, je suis très reconnaissant.*

*Qui m'a beaucoup aidé et qui m'a accompagné dans tous les moments difficiles et qui m'a donné Énergie positive et l'espoir de continuité par Dr. **Mariem soltani** Merci pour tout*

A mes amis Douaa, malak ,ilhem ,aicha, chahinez ,hana ,hadjer , imen, Radia, SOUNDES ,MALAK

*À mon amie, que Dieu ait pitié d'elle, **Bouthaina Manasria***

*A mon bînomme **BOUSSENSLA SARA MAYA** pour son soutien et sa patience.*

NASRI SIWAR

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION	1
II. MATERIEL ET METHODES	3
2.1. Présentation de l'insecte, <i>Trogoderma granarium</i> (Everts, 1898)	3
2.2. Collecte et élevage	5
2.3. Présentation de la plante, <i>Mentha spicata</i>	5
2.4. Extraction et rendement de l'huile essentielle de <i>Mentha spicata</i>	6
2.5. Traitement et bioessais	7
2.6. Test de répulsion	8
2.7. Analyses statistiques	8
III. RESULTATS	10
3.1. Rendement de l'huile essentielle	10
3.2. Toxicité par fumigation	10
3.3. Effet répulsif de l'huile essentielle de <i>Mentha spicata</i>	12
IV. DISCUSSION	13
4.1. Rendement en huile essentielle	13
4.2. Toxicité de l'HE de <i>M. spicata</i> à l'égard des larves de <i>T. granarium</i>	13
4.3. Effet répulsif de l'HE de <i>M. spicata</i> à l'égard des larves de <i>T. granarium</i>	15
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	17
RESUMES	18
Français	18
Anglais	19
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	20

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titres	Pages
Tableau 1	Efficacité de l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> , appliquée par fumigation sur les larves de <i>T. granarium</i> : détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.	12
Tableau 2	Pourcentage (PR) et classe (CR) de répulsion de l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> sur les larves de <i>T. granarium</i> .	12

LISTE DES FIGURES

Figures	Titres	Pages
Figure 1	<i>Trogoderma granarium.</i>	4
Figure 2	<i>Mentha spicata.</i>	6
Figure 3	Extraction de l'huile essentielle de <i>Mentha spicata</i> par Hydrodistillateur de type Clevenger.	7
Figure 4	Test de toxicité par fumigation.	8
Figure 5	Test de répulsion par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.	9
Figure 6	Toxicité de l'huile essentielle de <i>Mentha spicata</i> , appliquée par fumigation ($\mu\text{l/l}$ d'air) sur les larves de <i>T. granarium</i> à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=4$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	11
Figure 7	Effet de l'huile essentielle de <i>Mentha spicata</i> , appliquée par fumigation sur les larves de <i>T. granarium</i> à différents moments : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.	11

INTRODUCTION

I. INTRODUCTION

Les céréales et les légumineuses se posent comme les principaux piliers des réserves alimentaires mondiales et constituent la base des initiatives en matière de sécurité alimentaire. Du fait de leur consommation répandue, les céréales, notamment le blé, contribuent de manière significative au bien-être nutritionnel des populations du monde entier, mettant en évidence l'importance de promouvoir des pratiques de culture durable et des méthodes de stockage efficaces pour garantir un approvisionnement alimentaire mondial stable et sécurisé. Malheureusement, il a été rapporté que l'infestation des stocks de céréales par les insectes ravageurs entraîne des pertes substantielles, estimées entre 5 % et 30 % de la production agricole mondiale totale (Singh et al., 2021).

Parmi les 100 espèces les plus envahissantes et destructrices des produits stockés, le Coléoptère, *Trogoderma granarium* (Athanassiou et al., 2019). C'est un ravageur primaire capable d'affecter une large gamme de produits stockés, s'adaptant et persévérant dans des circonstances abiotiques très difficiles (Ntalli et al., 2021). À l'instar d'autres familles d'importance économique, la plupart des dommages causés par les coléoptères dermestidea se produisent au stade larvaire, qui démontre une longévité remarquable, tandis que le stade adulte est éphémère et ne dure généralement que 14 jours. En réponse à des conditions défavorables, les larves entrent fréquemment en état de dormance, ce qui leur permet de survivre plusieurs années. Elles peuvent ensuite sortir rapidement de cet état et reprendre leur développement normal dès que les conditions environnementales redeviennent favorables (Ghimire et al., 2017). En plus des dommages quantitatifs, les résidus d'insectes, tels que les soies (poils) et les excréments, peuvent également diminuer la valeur nutritionnelle des grains et présenter des risques significatifs pour les systèmes digestif et respiratoire humains (Islam et al., 2021).

Des études récentes mettent en évidence les défis liés à la gestion de *T. granarium*, attribués à sa résistance à divers traitements tels que l'alpha-cyperméthrine, le chlorfénapyr, la deltaméthrine, le pyriproxifène, le thiaméthoxam et le spinosad (Athanassiou et al., 2015 ; Kavallieratos et al., 2017, 2017a ; Ghimire et al., 2017). D'autres études mettent en évidence les préoccupations découlant de l'utilisation des insecticides chimiques de synthèse (Ali et al., 2021; Sánchez-Bayo, 2021). Par conséquent, la gestion naturelle des ravageurs cherche à évoluer d'une approche curative agrochimique vers une approche plus durable et équilibrée. La communauté scientifique reconnaît de plus en plus le potentiel des huiles essentielles et leurs composés bioactifs, ces derniers

émergent comme un arsenal puissant de biopesticides prouvées efficaces contre les organismes nuisibles des cultures agissant à travers de multiples modes d'action (Zeni et al., 2021).

Les Lamiaceae, la sixième plus grande famille parmi les angiospermes, se composent de 236 genres et de plus de 7000 espèces, comprenant des plantes médicinales couramment utilisées (Singh et al., 2023). Lamioideae et Nepetoideae sont deux des sous-familles les plus répandues parmi les 11 sous-familles de la famille des Lamiaceae (Li et al., 2017). Le genre *Mentha* L., appartenant à la sous-famille des Nepetoideae, comprend 24 espèces (POWO 2023 ; Bremer et al., 1998). *Mentha spicata* L. (menthe verte) est l'une des espèces commerciales les plus vitales pour la production d'huile essentielle. Son utilisation est répandue à l'échelle mondiale, tant pour ses applications médicinales que culinaires (Mahendran et al., 2021). De plus, l'étude de Kumar et al. (2011), consolide plusieurs recherches démontrant l'activité insecticide de cette espèce contre divers ravageurs du grain entreposés et vecteurs de maladies.

Dans cette perspective, notre étude s'est focalisée sur l'évaluation de la toxicité et de la capacité répulsive de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, dans le but d'explorer ses applications curatives et préventives contre les larves de *T. granarium*.

MATERIEL ET METHODES

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de l'insecte, *Trogoderma granarium* (Everts, 1898)

Trogoderma granarium, un ravageur originaire du sous-continent indien, il appartient à l'ordre des Coléoptères et à un niveau plus spécifique, il est classé dans la super-famille des Bostrichoidea, la famille des Dermestidea, et la sous-famille des Anthreninae. Il est classé en catégorie A2 par l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes, ce qui en fait une menace potentielle prioritaire (EPPO 2016). Ce ravageur revêt une importance majeure pour les mesures de quarantaine, étant classé parmi les 100 espèces envahissantes les plus nuisibles au monde (Lowe et al., 2000). Dans des conditions favorables, 20°C et 35°C de température et une humidité relative <50%, il peut causer des pertes pouvant atteindre 70 % en une courte période (Lindgren & Vincent 1959 ; Kavallieratos et al., 2019).

La diapause larvaire de cette espèce est reconnue comme une caractéristique essentielle qui contribue grandement à l'expansion de sa zone géographique (Hadaway, 1956; Athanassiou et al., 2019). Ce stade de dormance peut persister pendant plusieurs années et résister à des températures extrêmes ainsi qu'à diverses méthodes de contrôle, qu'elles soient chimiques ou non-chimiques. (Athanassiou, 2022).

D'après la liste établi par Hagstrum et Subramanyam (2009), et par la suite complétée par Athanassiou et al. (2016) et Kavallieratos et al. (2019), *T. granarium* peut infester plus de 100 produits différents d'origine végétale et animale, allant des céréales à la poudre de lait. En ce qui concerne les céréales et les légumineuses, *T. granarium* se développe beaucoup plus facilement dans le blé que dans d'autres produits tels que le maïs, le riz ou les légumineuses (Athanassiou et al., 2016; Kavallieratos et al., 2019). Par conséquent, cette espèce est considérée comme une menace majeure pour les céréales et les produits amylicés associés (Athanassiou et al., 2019).

Les larves de cette espèce sont généralement très velues. Des spicisetæ de différentes longueurs sont disposées sur la surface dorsale, et une "brosse" de longues spicisetæ sur le neuvième segment abdominal s'étend vers l'arrière tel une queue et diminue en taille par rapport au corps au fur et à mesure de la croissance des larves. Des hastisetæ sont présentes et insérées sur les tergites, souvent en touffes distinctes. La larve de premier stade est jaunâtre, d'environ 1,6 mm de longueur, et présente deux touffes de 4 à 10 hastisetæ sur chacun des septième et huitième tergites abdominaux. En atteignant le quatrième stade, les larves deviennent brun doré, mesurent environ 3 mm de

longueur et présentent des touffes denses de hastisetæ insérées sur les parties postéro-latérales des tergites abdominaux et thoraciques ; ces touffes s'agrandissent et se densifient vers l'arrière. À pleine maturité, la larve mesure environ 5 mm, mais sa taille peut varier, notamment chez les larves en diapause (Athanassiou, 2022).

Les adultes de *T. granarium* sont brun rougeâtre, avec ou sans marques sombres vagues ; le pronotum est d'un brun plus foncé. Ils sont de forme ovale et varient en taille de 2 à 3 mm, les femelles étant légèrement plus grandes que les mâles. La surface dorsale est modérément recouverte de fins poils. Un ocelle médian est présent entre les yeux composés. Le nombre de segments antennaires est généralement de 11, mais une certaine fusion des segments peut avoir lieu, de sorte qu'il peut y en avoir aussi peu que neuf. Le club antennaire assez distinct se compose de 3 à 5 segments, selon le degré de fusion des segments distaux. Chez le mâle, le segment apical du club est allongé par rapport à celui de la femelle. Les antennes s'insèrent dans des rainures ventrales dans le prothorax (Athanassiou, 2022).

Des données récentes ont montré que l'éclosion des œufs se produit quelques jours après la ponte, généralement entre 2 et 4 jours (Gourgouta et al., 2021; Lampiri et Athanassiou, 2021). Le temps de développement de l'œuf à l'adulte peut varier de 39 à 45 jours à 30°C, mais peut prendre jusqu'à 220 jours à 21°C (Athanassiou et al., 2019). De plus, à des températures inférieures à 30°C, le développement larvaire peut être interrompu en raison de l'induction de la diapause (Wilches et al., 2016). Les stades larvaires varient considérablement en fonction de la température et du sexe, mais à des températures de 30°C ou plus, le développement peut être très rapide, de 15 jours, voire moins (Hadaway, 1956; Burges, 1962a, b; Gourgouta et al., 2021; Lampiri et Athanassiou, 2021). Les adultes ont une durée de vie courte et ne se nourrissent pas, seuls quelques-uns peuvent vivre plus de 7 jours, tandis que tous les adultes meurent avant 14 jours (Gourgouta et al., 2021).



Figure 1. *Trogoderma granarium*.

2.2. Collecte et élevage

La collecte de ce ravageur a été réalisée à l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales de Tébessa (OAIC). Son élevage en masse a été mené au Laboratoire d'Eau et d'Environnement de l'Université de Tébessa. Les individus ont été gardés dans des bocaux en plastique, contenant du blé sain, non infesté et non traité, provenant de la coopérative de céréales et légumineuses, comme substrat alimentaire. L'élevage a été maintenu à une température de $26 \pm 1^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $65 \pm 5\%$ pendant plusieurs générations afin d'obtenir des individus sains et purs.

2.3. Présentation de la plante, *Mentha spicata*

Mentha spicata (ID: 29719) est également connue sous le nom de menthe verte. Cette espèce possède quelques synonymes hétérotypiques, notamment *Mentha cordifolia*, *Mentha crispa* var. *crispata* f. *reticulata*, *Mentha viridis* (L.) L., *Mentha* × *cordifolia* et *Mentha* × *villosa* var. *cordifolia*. Il s'agit d'une plante aromatique hybride de *M. longifolia* et *M. rotundifolia*, appartenant au genre *Mentha*, famille des Lamiaceae, sous-famille des Nepetoideae, classe des Magnoliopsida et à l'ordre des Lamiales (El Menyiy et al., 2022).

M. spicata L. (menthe verte) est une herbe vivace, glabre et rhizomateuse, connue pour son arôme puissant. Elle atteint une hauteur de 30 à 100 cm, avec des tiges et un feuillage variant de glabres à légèrement poilus, ainsi qu'un rhizome souterrain charnu et étendu (Kunwar et al., 2017). Les feuilles sont ovées à lancéolées, mesurant de 5 à 9 cm de long et de 1,5 à 3 cm de large, avec des bords dentelés. La menthe verte produit des fleurs en épis fins, chaque fleur étant rose, violacée ou blanche, et mesurant 2,5 à 3 mm de long et de large. La tige, typique de la famille des menthes, est de forme carrée (Bayani et al., 2017). *M. spicata* L. est bien adaptée aux conditions climatiques des régions tropicales et subtropicales. Elle peut être cultivée dans une grande variété de sols et se trouve fréquemment dans les jardins domestiques (Kassahun et al., 2014).

Les recherches ethnobotaniques indiquent que les propriétés pharmacologiques de *M. spicata* soutiennent ses utilisations traditionnelles. Les huiles essentielles et les extraits de cette espèce ont montré des activités remarquables y compris : antidiabétique, antimicrobiennes, antioxydantes, anticancéreuses, anti-inflammatoires et hépatoprotectrices (Mahendran et al., 2021).



Figure 2. *Mentha spicata*.

2.4. Extraction et rendement de l'huile essentielle de *Mentha spicata*

La collecte des feuilles de *Mentha spicata* a été faite au mois de septembre 2023 dans la région de Tébessa. Elles ont été lavées à l'eau du robinet pour éliminer le sol et les autres contaminants de surface. Après séchage des feuilles à l'air libre et à l'obscurité, 100 g de la matière sèche a été mélangée avec 1000 ml d'eau distillée. Le mélange est introduit dans un ballon d'une capacité de deux litre, surmonté d'une colonne de 60 cm de longueur. Le tout sera mis sur une chauffe ballon à une température voisine de 100°C et raccordé avec le reste de l'appareil d'extraction. Ce mélange est porté à ébullition pendant 1 heure, pendant ce temps, la vapeur se dirige vers le col du cygne puis dans le réfrigérant où elle se condense rapidement et tombe dans l'ampoule de décantation (Fig. 3).

L'huile essentielle recueillie a été filtrée en présence de sulfate de sodium (Na_2SO_4) pour éliminer les traces d'eau résiduelle. Elle est ensuite récupérée et stockée à 4°C et à l'obscurité dans un flacon en verre, hermétiquement fermé et couvert du papier aluminium pour la préserver de la lumière. La quantité d'huile obtenue est pesée pour le calcul du rendement.

Le rendement en HE est le rapport entre de poids de l'HE extraite et le poids de la biomasse végétale utilisée. Il est exprimé en pourcentage (%) et calculé par la formule suivante :

$$R = [\Sigma P B / \Sigma P A] \times 100$$

R : Rendement en huile (%).

PA : Poids de la matière sèche de la plante en g.

PB : Poids de l'huile en g.

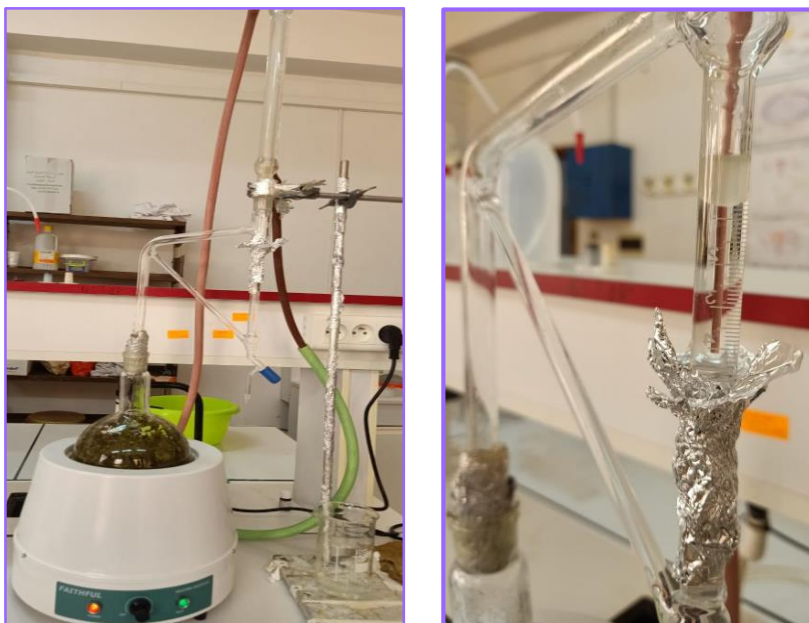


Figure 3. Extraction de l'huile essentielle de *Mentha spicata* par Hydrodistillateur de type Clevenger.

2.5. Traitement et bioessais :

L'effet toxique de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, sur les larves de *T. granarium* a été évalué dans des flacons en verre (60 mL), chacun contenant 10 larves. Des disques de papier filtre No.2 Whatman, mesurant 2 cm de diamètre, ont été fixés sur la face inférieure des bouchons à vis des flacons en verre. Ces disques ont été imprégnés d'HE de *M. spicata* à des concentrations de 166,66 ; 333,33 ; 500 et 666,66 $\mu\text{L/L}$. Les insectes témoins ont été maintenus dans des conditions identiques sans traitement. Chaque dose a été répliquée quatre fois. À des intervalles de 24, 48 et 72 heures après le début de l'exposition, le nombre de mortalités a été compté et ajusté à l'aide de la formule d'Abbott (1925). Dans cette étude, les insectes incapables de bouger leur tête, leurs antennes et leur corps ont été considérés comme morts. Les concentrations létales (CL_{25} , CL_{50} et CL_{90}) ainsi que leurs intervalles de confiance 95 % ont été déterminés par analyse de régression non linéaire.



Figure 4. Test de toxicité par fumigation.

2.6. Test de répulsion

L'effet répulsif l'huile essentielle de *Mentha spicata* a été évalué sur les larves de *T. granarium*, en utilisant la méthode de la zone préférée sur papier filtre décrite par [Jilani & Saxena \(1990\)](#). Ainsi, les disques de papier filtre de 9 cm de diamètre utilisés à cet effet ont été coupés en deux parts égales. Trois doses ont été préparées (6 µl, 12 µl et 24 µl/ml) et diluées avec l'éthanol. Ensuite, 0,5 ml de chaque solution ainsi préparée a été étalée uniformément sur une moitié du disque, tandis que l'autre moitié était traitée uniquement avec de l'éthanol. Après 15 minutes d'évaporation, les deux moitiés ont été collées ensemble à l'aide de ruban adhésif. Le disque de papier filtre a été remis en place et placé dans une boîte, et un lot de 10 larves a été placé au centre de chaque disque. Chaque traitement a été répliqué trois fois et les pourcentages d'insectes présents sur les zones traitées (G) et de contrôle (P) ont été enregistrés après 30 minutes, 1 heure, 3 heures, 6 heures, 12 heures et 24 heures. Le pourcentage de répulsion (RP) a été calculé à l'aide de la formule de [McDonald et al. \(1970\)](#) :

$$RP = [(P-G) / (P+G)] \times 100$$

Les valeurs moyennes ont été calculées et classées selon la méthode de [McDonald et al. \(1970\)](#) en utilisant une échelle de répulsion allant de 0 à V :

Classe 0 (PR < 0,1 %), classe I (PR = 0,1 % - 20,0 %), classe II (PR = 20,1 % - 40,0 %), classe III (PR = 40,1 % - 60,0 %), classe IV (PR = 60,1 % - 80,0 %) et classe V (PR = 80,1 % - 100,0 %).

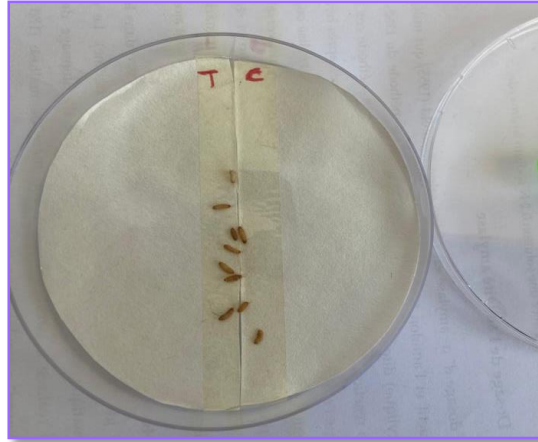


Figure 5. Test de répulsion par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.

2.7. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel GRAPH PAD PRISM 7. Les résultats obtenus ont été exprimés par la moyenne \pm l'écart-moyen (SEM). L'analyse de la variance à un critère de classification et le test HSD de Tukey ont été utilisés.

RÉSULTATS

III. RESULTATS

3.1. Rendement de l'huile essentielle :

L'huile essentielle obtenue par hydrodistillation des feuilles de *Mentha spicata* présente un aspect liquide, limpide et se caractérise par une forte odeur. Le rendement de cette huile marque un taux de 1,65%.

3.2. Toxicité par fumigation :

Les essais toxicologiques ont permis de déterminer l'efficacité de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, évaluée à partir de la mortalité enregistrée chez les larves de *T. granarium* à différentes périodes après traitement.

Après un screening test, des concentrations différentes de l'huile essentielle de *Mentha spicata* (166,66 ; 333,33 ; 500 et 666,66 $\mu\text{L/L}$) ont été utilisées contre les larves de *T. granarium* par fumigation. Aucune mortalité n'a été observée dans les séries témoins.

Les mortalités corrigées enregistrées au cours des tests de toxicité par fumigation varient de 20 % à 24 heures à 42,5 % à 72 heures pour la dose la plus faible (166,66 $\mu\text{l/ml}$), et de 85 % à 24 heures à 100 % à 72 heures pour la dose la plus élevée (666,66 $\mu\text{l/ml}$). Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez les larves de *T. granarium* à 24 heures ($F_{3,12}=21,27$; $P < 0,0001$), 48 h ($F_{3,12}=14,60$; $p=0.0003$) ; et 72 h ($F_{3,12}=42,80$; $p<0.0001$).

Les résultats indiquent que l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation présentent une activité insecticide avec une relation dose-réponse envers les larves de *T. granarium*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 3 groupes de moyennes à 72h et seulement 2 groupes à 24h et 48h (Fig. 6).

La courbe dose-réponse, représentant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées (Fig. 7), a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le Hill Slope (Tableau 1).

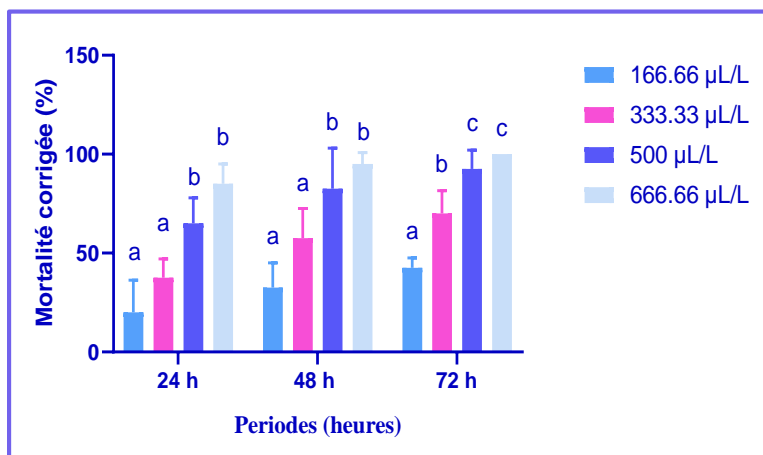


Figure 6. Toxicité de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation ($\mu\text{l/l}$ d'air) sur les larves de *T. granarium* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=4$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

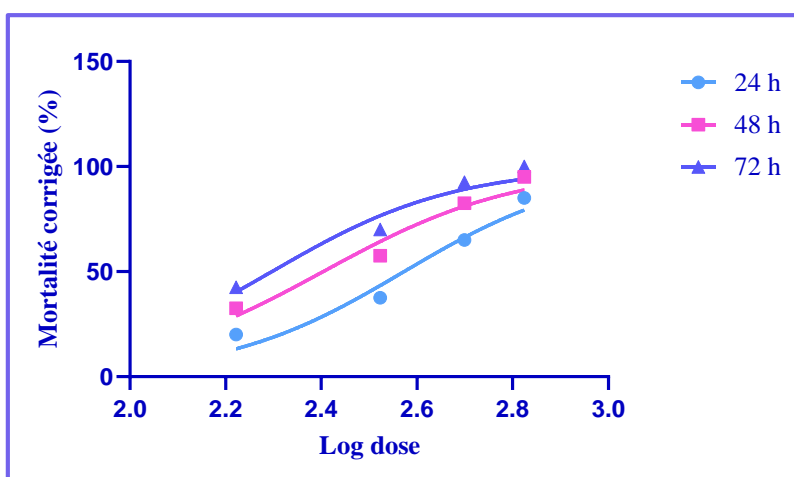


Figure 7. Effet de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation sur les larves de *T. granarium* à différents moments : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 1. Efficacité de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation sur les larves de *T. granarium* : détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.

Temps	R ²	HillSlope	CL ₂₅ IC	CL ₅₀ IC	CL ₉₀ IC
24 h	0,95	2,32	233,10	374,10	963,20
			(53,24 - 395,40)	(219,70 - 549,10)	(501,40 - 1070,4)
48 h	0,95	2,14	151,90	253,40	705,90
			(27,56 - 274,10)	(116,90 - 369,90)	(370,90 - 3707)
72 h	0,95	2,27	122,10	198,00	520,40
			(14,60 - 210,80)	(66,07 - 293,20)	(290.80 - 2202)

3.3. Effet répulsif de l'huile essentielle de *Mentha spicata*

Les résultats de l'effet répulsif de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, sur les larves de *T. granarium* sont présentés dans le [Tableau 2](#). Le pourcentage de répulsion augmente en fonction des concentrations appliquées et de la durée d'exposition. Un taux de répulsion élevé de 70% est observé à 24 heures après le traitement avec la concentration la plus élevée (24 µl/ml). De plus, l'huile essentielle de *M. spicata* est classée dans la catégorie IV (Répulsif).

Tableau 2. Pourcentage (PR) et classe (CR) de répulsion de l'huile essentielle de *Mentha spicata* sur les larves de *T. granarium*.

Doses	Périodes	PR (%)	Classe
6 µl/ml	30 min	10	I
	1 h	15	I
	3 h	20	I
	6 h	25	II
	12 h	35	II
	24 h	45	III
12µl/ml	30 min	30	II
	1 h	35	II
	3 h	45	III
	6 h	45	III
	12 h	45	III
	24 h	55	III
24µl/ml	30 min	45	III
	1 h	45	III
	3 h	55	III
	6 h	60	III
	12 h	60	III
	24 h	70	IV

DISCUSSION

IV. DISCUSSION

4.1. Rendement de l'huile essentielle :

Le rendement en huile essentielle obtenu par hydrodistillation des feuilles de *M. spicata* a enregistré une valeur de 1,65% au cours de notre étude. Plusieurs études réalisées sur le genre *Mentha* montrent que le rendement en huile essentielle varie d'une espèce à une autre (Al-Marzouqi et al., 2007 ; Golparvar et Hadipanah 2016).

Selon Guenther (1972), il est établi que la quantité et la qualité des huiles varient selon les parties de la plante examinées. Cette variation est également influencée par multiples facteurs, notamment climatiques, la nature du sol, le moment de la récolte, la méthode d'extraction, le cycle végétatif et le chémotype, comme l'a mentionné Besombes (2008).

4.2. Toxicité de l'HE de *M. spicata* à l'égard des larves de *T. granarium*

La nature lipophile des huiles essentielles des plantes leur permet d'interférer avec les fonctions métaboliques, biochimiques, physiologiques et comportementales des insectes (Jacobson, 1989). Le taux de pénétration à travers la cuticule, le transport dans les tissus de l'organisme, le métabolisme (Besard et al., 2011), mais aussi les récepteurs membranaires ou encore les canaux ioniques ciblés par les insecticides peuvent jouer un rôle crucial pour expliquer les différences de sensibilité des insectes aux pesticides (Lavialle-Defaix et al., 2010).

Dans notre étude, les résultats indiquent que l'huile essentielle de *M. spicata*, appliquée par fumigation présentent une activité insecticide avec une relation dose-réponse envers les larves de *T. granarium*.

L'activité insecticide de l'huile de *Mentha* a été testée et établie contre divers insectes/ravageurs à différents stades de développement, en utilisant diverses méthodes d'application (Kumar et al., 2011 ; El Menyiy et al., 2022). L'étude de Brahmi et al. (2016) a révélé que l'huile essentielle des feuilles de *M. spicata* était efficacement toxique contre les adultes de *Rhyzopertha dominica*. À une concentration élevée de 2 µL/mL, le taux de mortalité était de 43% après 96 heures de traitement. De plus, l'essai de toxicité par contact a montré que l'huile de menthe verte avait un effet insecticide avec une DL50 égale à 6,1 µL/mL. Selon les résultats de Kedia et al. (2014), le traitement avec l'huile essentielle de *M. spicata* a causé 100% de mortalité à *Callosobruchus*

chinensis après 12 heures, à une concentration de 0,1 µL/mL d'air en utilisant le test de toxicité par fumigation. Les valeurs de CL50 et CL90 obtenues étaient de 0,003 et 0,005 µL/mL d'air, respectivement. Lamiri et al. (2001) ont constaté que l'huile essentielle de menthe verte provoquait une mortalité de 80 % après 24 heures et de 43 % après 48 heures d'exposition. Ces résultats indiquent que le taux de mortalité des adultes augmente avec la concentration d'huile. L'étude de Papachristos et Stamopoulos (2002) a examiné l'efficacité de l'huile essentielle extraite des plantes à fleurs entières de menthe verte contre *Acanthoscelides obtectus*. Les résultats ont révélé que l'huile de menthe verte exerçait un effet hautement toxique chez les mâles d'*Acanthoscelides obtectus* que les femelles, LC50 de 1,2 mL/L d'air pour les mâles et de 4,4 mL/L d'air pour les femelles. Abdel-Shafy et Soliman (2004) ont constaté que l'huile de menthe verte (*M. viridis*) était moins toxique à l'égard de *Boophilus annulatus*, pour les œufs (CL50 = 1,20 %), les larves non nourries (CL50 = 0,90 %) et les femelles nourries (CL50 = 10,57 %) par rapport à d'autres huiles testées, telles que *Mentha piperita*, *Majorana hortensis*, *Lavandula officinalis* et *Ocimum basilicum*. En comparaison avec l'étude menée par Derbalah et Ahmed (2010), l'huile de feuille de menthe verte s'est révélée très efficace contre *Callosobruchus maculatus* avec une valeur de CL50 de 235 ppm.

Les activités biologiques des huiles essentielles reposent principalement sur quelques molécules présentes en concentrations élevées, généralement entre 20 et 85%. Cependant, d'autres molécules présentes à des niveaux de traces peuvent jouer un rôle crucial dans l'amélioration de leur efficacité globale (Pavela & Benelli, 2016). Parmi les monoterpènes, le carvone est le principal composant de l'huile essentielle de *M. spicata* L., (22 % – 73 %) (Hussain et al., 2010). De nombreuses études ont rapporté l'activité insecticide de cette molécule contre les ravageurs des grains stockés. La carvone extraite des huiles essentielles d'*Anethum graveolens*, *Carum carvi*, *Coriandrum sativum* et *Ocimum basilicum* a démontré une excellente toxicité sur *Blattella germanica*, *Callosobruchus maculatus*, *Cryptolestes pusillus*, *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius*, *Sitophilus oryzae*, *Tribolium castaneum* et *Sitophilus zeamais* (Lopez et al. 2008; Abdelgaleil et al. 2009; Yeom et al. 2012; Kim et al. 2013; Mbata et Payton 2013; Yildirim et al. 2013; Herrera et al. 2017; Kordali et al. 2017).

4.3. Effet répulsif de l'HE de *M. spicata* à l'égard des larves de *T. granarium*

Au cours des dernières décennies, il y a eu un intérêt croissant pour explorer la manipulation comportementale des insectes comme une approche plus durable et ciblée pour la protection des cultures (da Camara et al. 2015). Les huiles essentielles et leurs composants bioactifs peuvent être utilisées dans des méthodes curatives (effet toxique direct) telles que le contact, l'ingestion et la fumigation, ainsi que dans des pratiques préventives en exploitant leur potentiel répulsif et sur les insectes (Akhtar et al. 2010).

En général, les huiles essentielles (HE) et leurs composants bioactifs démontrent une toxicité notable à des concentrations élevées. Cependant, en réduisant ces concentrations, elles peuvent acquérir des propriétés soit répulsives, soit attractives pour les insectes. De plus, elles manifestent une phase neutre au cours de laquelle un équilibre délicat se maintient entre leurs effets attractifs et répulsifs (Bedini et al., 2019).

La répulsion est un mécanisme de défense naturel des plantes contre les insectes. Ce phénomène physiologique peut être exploité pour prévenir les dommages causés par ces insectes nuisibles (Jayakumar et al., 2017; Adjou et al., 2019).

Les résultats de notre étude révèlent que l'HE de *M. spicata* exerce un effet répulsif significatif sur les larves de *T. granarium*, avec un taux de répulsion atteignant 70 % à 24 heures après traitement à la concentration maximale de 24 µl/ml. En outre, le pourcentage de répulsion augmente proportionnellement à la concentration de l'huile essentielle et à la durée d'exposition.

Mkolo et al. (2011) ont testé les effets toxiques et répulsifs des huiles essentielles de *Mentha piperita* et de *Mentha spicata* sur les adultes d'*Amblyomma hebraeum*. Leurs résultats indiquent que les deux HEs ont montré des effets répulsifs positifs pendant la durée de l'expérience. La répulsivité des concentrations de 5%, 10% et 20% v/v de l'HE de *M. piperita* a persisté pendant 60, 40 et 20 minutes respectivement, entraînant finalement la mort des tiques au cours de l'expérience. Quant à l'HE de *M. spicata*, sa répulsivité a persisté pendant 80, 50 et 30 minutes aux concentrations de 5%, 10% et 20% v/v respectivement. De plus, les études menées par Giatropoulos et al. (2018) ont démontré que, parmi les huiles essentielles testées, celles dérivées de *M. officinalis*, *O. dictamus*, *M. spicata* (chim. Piperitenone epoxide) et *O. mantzuratum*

présentaient le plus fort effet répulsif contre *Aedes albopictus*. Egalement, Les huiles de *M.spicata* ont montré une forte efficacité répulsive contre les adultes d'*Oc. caspius* (Koc et al. 2012).

Selon Casida et Quistad (1995), La toxicité et l'effet répulsif des composés phytochimiques sur les ravageurs varient en fonction de nombreux facteurs, notamment la composition chimique des huiles et la sensibilité spécifique des insectes.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le travail réalisé, nous a permis d'évaluer chez les larves de Coléoptère ravageur des denrées stockées, *Trogoderma granarium*, l'effet d'une huile essentielle extraite de *Mentha spicata*.

Les essais toxicologiques réalisés par fumigation ont permis de déterminer les concentrations létales (CL₂₅, CL₅₀ et CL₉₀). L'HE de *M. spicata* appliqué présente un effet insecticide avec une relation dose-réponse sur les larves de *T. granarium*. De plus, le test de répulsion réalisé par la méthode de la zone préférentielle sur papiers filtre a permis de mettre en évidence le pouvoir répulsif de l'HE de *M. spicata* à l'égard des larves de *T. granarium*.

En guise des perspectives, nous recommandons de :

- Cibler d'autres ravageurs afin d'élargir le spectre d'action de cette huile.
- Examiner l'impact de cette huile sur la physiologie de l'insecte afin de renforcer les résultats de toxicité, d'identifier ses différents modes d'action, et de comprendre les causes spécifiques de la mortalité.
- Déterminer le profil chimique et évaluer la toxicité et le pouvoir répulsif des composants bioactifs majoritaires de cette huile pour avoir une stratégie bien définie et déterminer s'il faut se concentrer sur l'utilisation des huiles essentielles brutes ou sur l'isolement et la caractérisation du composé (s) bioactif (s) spécifique responsable de leur activité insecticide.
- Envisager l'utilisation des nanotechnologies pour surmonter les défis liés à l'industrialisation et à la commercialisation des pesticides botaniques (possibilité de résoudre des problèmes tels que la volatilité, l'instabilité, l'immiscibilité avec l'habitat naturel des larves d'insectes vecteurs de maladies, la sensibilité à l'oxydation et à la dégradation par la température et la lumière des huiles essentielles)
- En dernier lieu, nous suggérons des essais pilotes dans les entrepôts de stockage afin de mieux évaluer l'efficacité de ce traitement in situ.

RESUMES

RESUME

Les pertes post-récoltes des céréales et des légumineuses présentent un problème majeur en Algérie. Les insectes ravageurs des denrées, majoritairement des Coléoptères peuvent causer la perte totale d'un stock. Pendant plusieurs années, le moyen le plus courant pour limiter leurs activités est l'usage des pesticides dont les effets indésirables sont malheureusement très nombreux. Dans le but de rechercher des méthodes de protection des denrées plus sélectives, plus spécifiques et respectueuses de la santé humaine et de l'environnement, le recours aux insecticides d'origine botanique telle que les huiles essentielles est celle qui retient l'attention des chercheurs à l'heure actuelle.

Dans cette perspective, notre étude a pour but d'évaluer l'activité insecticide et répulsive d'une huile essentielle extraite de la menthe verte, *Mentha spicata* à l'égard des larves d'un ravageur des denrées stockées, *Trogoderma granarium*. Le rendement en HE des feuilles de *Mentha spicata* obtenue par hydrodistillation, affiche une valeur de 1,65% de la matière sèche. De plus, Les essais toxicologiques réalisés par fumigation ont révélé l'activité insecticide de cette huile avec une relation dose-réponse. Finalement, Le test de répulsion a permis de mettre en évidence le pouvoir répulsif de ce traitement à l'égard des larves de *T. granarium*.

En guise de conclusion, cette étude offre une opportunité intéressante de développer des bio-insecticides pour une nouvelle stratégie dans les programmes de lutte intégrée.

Mots clés : *Trogoderma granarium*, *Mentha spicata*, Biocontrôle, Fumigation, Répulsion.

ABSTRACT

Post-harvest losses of cereals and legumes pose a major problem in Algeria. Pests, mainly beetles, can cause complete loss of stock. For many years, the most common method to limit their activities has been the use of pesticides, which unfortunately have numerous undesirable effects. However, in pursuit of more targeted and environmentally sustainable solutions that prioritize human health, researchers are currently focusing on botanical insecticides such as essential oils.

In this perspective, our study aims to evaluate the insecticidal and repellent activity of an essential oil extracted from spearmint, *Mentha spicata*, against larvae of a stored food pest, *Trogoderma granarium*. The essential oil yield from *M.spicata* leaves obtained by hydrodistillation shows a value of 1.65% of dry matter. Additionally, toxicological tests conducted by fumigation revealed the insecticidal activity of this oil with a dose-response relationship. Finally, the repellency test demonstrated the repellent power of this treatment against *T. granarium* larvae.

As a conclusion, this study offers an interesting opportunity to develop bio-insecticides for a new strategy in integrated pest management programs.

Keywords: *Trogoderma granarium*, *Mentha spicata*, Biocontrol, Fumigation, Repulsion.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

1. **Abbott, W. B. 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18(2): 265-267.
2. **Abdelgaleil, S.A.M., Mohamed, M.I.E., Badawy, M.E.I., El-arami, S.A.A. 2009.** Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst) and their inhibitory effect on acetylcholinesterase activity. *J Chem Ecol* 35:518–525.
3. **Abdel-Shafy, S and Soliman, M.M.M. 2004.** Toxicity of some essential oils on eggs, larvae and females of *Boophilus annulatus* (Acari: Ixodida: Amblyommidae) infesting cattle in Egypt,” *Open Science in Acarology*, vol. 44.
4. **Adjou, E. S., Chougourou, D., & Soumanou, M. M. 2019.** Insecticidal and repellent effects of essential oils from leaves of *Hyptis suaveolens* and *Ocimum canum* against *Tenebroides mauritanicus* (L.) isolated from peanut in post-harvest. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 14, 25-30.
5. **Akhtar, Y., Yu, Y., Isman, M.B., Plettner, E. 2010.** Dialkoxybenzene and dialkoxyallylbenzene feeding and oviposition deterrents against the cabbage looper *Trichoplusia ni*: potential insect behavior control agents. *J Agric Food Chem* 58(8):4983–4991.
6. **Ali, S., Ullah, M. I., Sajjad, A., Shakeel, Q., & Hussain, A. 2021.** Environmental and health effects of pesticide residues. *Sustainable Agriculture Reviews* 48: Pesticide Occurrence, Analysis and Remediation Vol.
7. **Al-Marzouqi, A. H., Rao, M. V., & Jobe, B. 2007.** Comparative evaluation of SFE and steam distillation methods on the yield and composition of essential oil extracted from spearmint (*Mentha spicata*). *Journal of liquid chromatography & related technologies*, 30(4), 463-475.
8. **Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Boukouvala, M. C., Mavroforos, M. E., & Kontodimas, D. C. 2015.** Efficacy of alpha-cypermethrin and thiamethoxam against *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) and *Tenebrio molitor* L.(Coleoptera: Tenebrionidae) on concrete. *Journal of Stored Products Research*, 62, 101-107.

9. **Athanassiou, C. G., Phillips, T. W., & Wakil, W. 2019.** Biology and control of the khapra beetle, *Trogoderma granarium*, a major quarantine threat to global food security. Annual Review of Entomology, 64, 131-148.
10. **Athanassiou, C.G. 2022.** *Trogoderma granarium* (khapra beetle). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epdf/10.1079/cabicompndium.55010> [25 Mai 2024].
11. **Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Boukouvala, M.C. 2016.** Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae) on different commodities. Journal of Stored Products Research, 69:72-77. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022474X16300297>
12. **Bayani, M., Ahmadi-hamedani, M., Jebelli Javan, A. 2017.** Study of hypoglycemic, hypocholesterolemic and antioxidant activities of Iranian *mentha spicata* leaves aqueous extract in diabetic rats,” Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR, vol. 16, no. 8, pp. 75–82.
13. **Bedini, S., Farina, P., Conti, B. 2019.** Bioattività degli oli essenziali: Luci e ombre del loro utilizzo nella gestione degli insetti dannosi. In Atti dell’Accademia Nazionale Italiana di Entomologia; Accademia Nazionale Italiana di Entomologia: Florence, Italy, pp. 201–206.
14. **Besard, L., Mommaerts, V., Abdu-Alla, G., Smaghe, G. 2011.** Lethal and sublethal side-effect assessment supports a more benign profile of spinetoram compared with spinosad in the bumblebee *Bombus terrestris*. Pest Management Science. 67(5): 541–547.
15. **Besombes, C. 2008.** Contribution à l’étude des phénomènes d’extraction hydrothermomécanique d’herbes aromatiques. Applications généralisées. Thèse Doctorat. Université de La Rochelle. p :41-45.
16. **Brahmi, F., Adjaoud, A., Marongiu, B., et al.... 2016.** Chemical and biological profiles of essential oils from *Mentha spicata* L. Leaf from Bejaia in Algeria. Journal of Essential Oil Research, vol. 28, no. 3, pp. 211–220.
17. **Bremer, K.; Chase, M.W.; Stevens, P.F. 1998.** An ordinal classification for the families of flowering plants. Ann. Mo. Bot. Gard, 85, 531–553.
18. **Burges, H.D. 1962a.** Diapause, pest status and control of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts. Annals of Applied Biology, 50:614-617.

19. **Burges, H.D. 1962b.** Studies on the dermestid beetle *Trogoderma granarium* Everts. V. Reactions of diapause larvae to temperature. Bulletin of Entomological Research, 53(1):193-213. DOI: 10.1017/S0007485300048057
20. **Casida, J. E., & Quistad, G. B. 1995.** Pyrethrum flowers: production, chemistry, toxicology, and uses. Oxford University Press, New York, ISBN-10: 0195082109, pp: 356.
21. **Da Camara, C.A., Akhtar, Y., Isman, M.B., Sefrin, R.C., Born, F.S. 2015.** Repellent activity of essential oils from two species of Citrus against *Tetranychus urticae* in the laboratory and greenhouse. Crop Prot 74:110–115.
22. **Derbalah, A.S., and Ahmed, A.I. 2010.** Efficacy of spearmint oil and powder as alternative of chemical control against *C. maculatus* in Cowpea Seeds. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, F. Toxicology & Pest Control, vol. 2, no. 1, pp. 53–61.
23. **El Menyiy, N., Mrabti, H. N., El Omari, N., Bakili, A. E., Bakrim, S., Mekkaoui, M., ... & Bouyahya, A. (2022).** Medicinal uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of *Mentha spicata*. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2022.
24. **Eur. Mediterr. Plant Prot. Org. 2016.** A2 list of pests recommended for regulation as quarantine pests. *Trogoderma granarium*. <https://gd.eppo.int/taxon/TROGGA>.
25. **Ghimire, M. N., Myers, S. W., Arthur, F. H., & Phillips, T. W. 2017.** Susceptibility of *Trogoderma granarium* Everts and *Trogoderma inclusum* LeConte (Coleoptera: Dermestidae) to residual contact insecticides. Journal of Stored Products Research, 72, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.02.006>
26. **Giatropoulos, A., Kimbaris, A., Michaelakis, A., Papachristos, D. P., Polissiou, M. G., & Emmanouel, N. 2018.** Chemical composition and assessment of larvicidal and repellent capacity of 14 Lamiaceae essential oils against *Aedes albopictus*. Parasitology research, 117, 1953-1964.
27. **Golparvar, A. R., & Hadipanah, A. 2016.** Diversity in chemical composition and yield of essential oil from two *Mentha* species. Genetika, 48(3), 1101-1110.
28. **Gourgouta, M., Agrafioti, P., Athanassiou, C.G. 2021.** Insecticidal effect of phosphine for the control of different life stages of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae). Crop Protection, 140. DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105409

29. **Guenther, E. 1972.** The essential oils. Volume 4. Robert E. Krieger Publishing Co., Malabar Florida: 551-668.
30. **Hadaway, A.B. 1956.** The biology of the dermestid beetles, *Trogoderma granarium* Everts and *Trogoderma versicolor* (Creutz). Bulletin of Entomological Research, 46(4):781-796. DOI: 10.1017/S0007485300037044
31. **Hagstrum, D.W., Subramanyam, B. 2009.** Stored-product insect resource, [ed. by Hagstrum, D.W., Subramanyam, B.]. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, Inc (AACC). vii + 509 pp.
32. **Herrera, J.M., Goni, M.L., Ganán, N.A., Zygadlo, J.A. 2017.** An insecticide formulation of terpene ketones against *Sitophilus zeamais* and its incorporation into low-density polyethylene films. Crop Prot 98:33–39.
33. **Hussain, A.I., Anwar, F., Shahid, M., Ashraf, M., Przybylski, R. 2010.** Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of spearmint (*Mentha spicata* L.) from Pakistan. J. Essent. Oil Res. 22, 78–84.
34. **Islam, W., Noman, A., Akutse, K. S., Qasim, M., Ali, H., Haider, I., Hashem, M., Alamri, S., al Zoubi, O. M., & Khan, K. A. 2021.** Phyto-derivatives: An efficient eco-friendly way to manage *Trogoderma granarium* (Everts) (Coleoptera: Dermestidae). International Journal of Tropical Insect Science, 41(2), 915–926. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00370-x>
35. **Jacobson, M., 1989.** Botanical Pesticides: Past, Present and Future. Insecticides of Plant Origin. Arnason, Philogene, Bjr and Morand, P. ACS Symp. Ser., vol. 387, pp. 1–10.
36. **Jayakumar, M., Arivoli, S., Raveen, R., & Tennyson, S. 2017.** Repellent activity and fumigant toxicity of a few plant oils against the adult rice weevil *Sitophilus oryzae* Linnaeus 1763 (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Entomology and Zoology Studies, 5(2), 324-335.
37. **Jilani, G., & Saxena, R. C. 1990.** Repellent and feeding deterrent effects of turmeric oil, sweetflag oil, neem oil, and a neem-based insecticide against lesser grain borer (Coleoptera: Bostrychidae). Journal of Economic Entomology, 83(2), 629-634.
38. **Kassahun, M., Egata, D. F., Lulseged, T., Yosef, W. B., Tadesse, S. 2014.** Variability in agronomic and chemical characteristics of spearmint (*mentha spicata* L.) genotypes in

- Ethiopia,” International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, vol. 2, no. 10, pp. 2704–2711.
39. **Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Diamantis, G. C., Gioukari, H. G., & Boukouvala, M. C. 2017.** Evaluation of six insecticides against adults and larvae of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on wheat, barley, maize and rough rice. *Journal of Stored Products Research*, 71, 81-92.
40. **Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Boukouvala, M.C., Tsekos, G.T. 2019.** Influence of different non-grain commodities on the population growth of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Stored Products Research*, 81:31-39. DOI: 10.1016/j.jspr.2018.12.001
41. **Kedia, A., Prakash, B., Mishra, P. K., Chanotiya, C. S., and Dubey, N. K. 2014.** Antifungal, antiaflatoxic, and insecticidal efficacy of spearmint (*Mentha spicata* L.) essential oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 89, pp. 29–36, 2014.
42. **Kim, S.W., Kang, J., Park, I.K. 2013.** Fumigant toxicity of Apiaceae essential oils and their constituents against *Sitophilus oryzae* and their acetylcholinesterase inhibitory activity. *J Asia-Pac Entomol* 6(4):443–448.
43. **Koc, S., Oz, E., Cetin, H. 2012.** Repellent activities of some Labiatae plant essential oils against the saltmarsh mosquito *Ochlerotatus caspius* (Pallas, 1771) (Diptera: Culicidae). *Parasitol Res* 110:2005–2209.
44. **Kordali, Ş., Usanmaz, A., Bayrak, N., Çakır, A. 2017.** Fumigation of volatile monoterpenes and aromatic compounds against adults of *Sitophilus granarius* (L) (Coleoptera: Curculionidae). *Rec Nat Prod* 11(4):362–373.
45. **Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., & Satya, S. 2011.** Insecticidal properties of *Mentha* species: a review. *Industrial Crops and products*, 34(1), 802-817.
46. **Kunwar, C. Pande, and G. Tewari. 2017.** Essential oil composition of the aerial parts of *Mentha spicata* L.” *Journal of essential oil-bearing plants JEOP*, vol. 13, no. 3, pp. 353–356.
47. **Lamiri, A., Lhaloui, S., Benjlali, B., and Berrada, M. 2001.** Fumigant toxic activity of essential oils on *Sitophilus granarius* (linné),” *Physical and Chemical News*, vol. 1.

48. **Lampiri, E., Athanassiou, C.G. 2021.** Insecticidal effect of phosphine on eggs of the khapra beetle (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Economic Entomology*, 114(3):1389-1400. DOI: 10.1093/jee/toab074
49. **Lavialle-Defaix, C., Moignot, B., Legros, C., Lapied, B. 2010.** How does calcium-dependent intracellular regulation of voltage-dependent sodium current increase the sensitivity to the oxadiazine insecticide indoxacarb metabolite decarbomethoxylated JW062 (DCJW) in insect pacemaker neurons?. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 333(1), 264-272.
50. **Li, B.O.; Olmstead, R.G. 2017.** Two new subfamilies in Lamiaceae. *Phytotaxa*, 313, 222–226.
51. **Lindgren, D.L., Vincent, L.E. 1959.** Biology and control of *Tragoderma granarium* Everts. *J. Econ. Entomol.*
52. **Lopez, M.D., Jordan, M.J., Pascual-Villalobos, M.J. 2008.** Toxic compounds in essential oils of coriander caraway and basil active against stored rice pests. *J Stored Prod Res* 44(3):273–278.
53. **Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Poorter, M. 2000.** 100 of the World's Worst Invasive Alien Species: A Selection from the Global Invasive Species Database. Auckland, NZ: Invasive Species Spec. Group, World Conserv. Union, Int. Union Conserv. Nat. http://www.issg.org/pdf/publications/worst_100/english_100_worst.pdf
54. **Mahendran, G., Verma, S. K., & Rahman, L. U. 2021.** The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of spearmint (*Mentha spicata* L.): A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 278, 114266.
55. **Mbata, G.N., Payton, M.E., 2013.** Effect of monoterpenoids on oviposition and mortality of *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera: Bruchidae) under hermetic conditions. *J Stored Prod Res* 53:43–47.
56. **Mc Donald, L. L., Guy, R. H., Speirs, R. D. 1970.** Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents, and attractants against stored-product insects. USDA Marketing Research Report. 882.
57. **Mkolo, N. M., Olowoyo, J. O., Sako, K. B., Mdakane, S. T. R., Mitonga, M. M. A., & Magano, S. R. 2011.** Repellency and toxicity of essential oils of *Mentha piperita* and

- Mentha spicata* on larvae and adult of *Amblyomma hebraeum* (Acari: Ixodidae). Science Journal of Microbiology, 1(1).
58. **Ntalli, N., Skourti, A., Nika, E. P., Boukouvala, M. C., & Kavallieratos, N. G. 2021.** Five natural compounds of botanical origin as wheat protectants against adults and larvae of *Tenebrio molitor* L. and *Trogoderma granarium* Everts. Environmental Science and Pollution Research, 28, 42763-42775.
59. **Papachristos, D. P., and Stamopoulos, D. C. 2002.** Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: bruchidae),”Journal of Stored Products Research, vol. 38.
60. **Pavela, R., & Benelli, G. 2016.** Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. Trends in Plant Science, 21(12), 1000–1007. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>
61. **POWO. 2023.** Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet. 2023. Available online: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (accessed on 3 July 2023).
62. **Sánchez-Bayo, F. 2021.** Indirect Effect of Pesticides on Insects and Other Arthropods. Toxics, 9(8), 177. <https://doi.org/10.3390/toxics90801772> Analysis, 311-336.
63. **Singh, D., Mittal, N., Siddiqui, M.H. 2023.** A review on pharmacological potentials of phenolic diterpenes carnosic acid and carnosol obtained from *Rosmarinus officinalis* L. and modern extraction methods implicated in their recovery. Trends Phytochem. Res, 7,156–169.
64. **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. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100127>
65. **Wilches, D.M., Laird, R.A., Floate, K.D., Fields, P.G. 2016.** A review of diapause and tolerance to extreme temperatures in dermestids (Coleoptera). Journal of Stored Products Research, 68:50-62. DOI: 10.1016/j.jspr.2016.04.004
66. **Yeom, H.J., Kang, J.S., Kim, G.H., Park, I.K. 2012.** Insecticidal and acetylcholine esterase inhibition activity of Apiaceae plant essential oils and their constituents against adults of German cockroach (*Blattella germanica*). J Agric Food Chem 60:7194–7203.

67. **Yildirim, E., Emsen, B., Kordali, S. 2013.** Insecticidal effects of monoterpenes on *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *J Appl Bot Food Qual* 86:198–204.
68. **Zeni, V., Benelli, G., Campolo, O., Giunti, G., Palmeri, V., Maggi, F., Rizzo, R., Lo Verde, G., Lucchi, A., & Canale, A. 2021.** Toxics or Lures? Biological and Behavioral Effects of Plant Essential Oils on Tephritidae Fruit Flies. *Molecules*, 26(19), 5898. <https://doi.org/10.3390/molecules26195898>