

Influence du temps de séchage sur le rendement en huile essentielle et de l'activité insecticide d'*Ocimum gratissimum* contre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797)

Ibrahim FOFANA^{1*}, Christophe Kobenan KOFFI² et Malanno KOUAKOU²

¹ Vector Control Product Evaluation Centre (VCPEC), 01 BP 924 Bouaké 01, Bouaké, Côte d'Ivoire

² Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), 01 BP 633 Abidjan 01, Bouaké-Côte d'Ivoire

(Reçu le 26 Janvier 2026 ; Accepté le 24 Mars 2026)

* Correspondance, courriel : fofanaibrahim178@gmail.com

Résumé

Cette étude a évalué l'influence la durée de séchage des feuilles d'*Ocimum gratissimum* sur le rendement en huile essentielle et sur son activité insecticide contre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797). Les feuilles ont été séchées pendant 0, 7, 14, 21 et 28 jours, puis les huiles essentielles ont été extraites par distillation à la vapeur d'eau. Les extraits ont été appliqués par voie topique sur des larves de deuxième stade, et la toxicité a été déterminée à partir des concentrations létales médianes (CL₅₀). Les résultats ont montré une influence significative du temps de séchage sur le rendement et l'activité insecticide. Le rendement maximal (2,53 %) ainsi que la toxicité la plus élevée (CL₅₀ = 2,84 µL/mL) ont été obtenus après 7 jours de séchage, suivi d'une diminution progressive pour les durées les plus longues. Cette baisse de l'efficacité, pourrait s'expliquer par une modification de la composition chimique des huiles essentielles. Une durée de séchage de 7 jours apparaît donc optimale, permettant d'optimiser simultanément le rendement et l'efficacité biologique. Ces résultats confirment le potentiel de *O. gratissimum* comme biopesticide et soutiennent son utilisation dans les stratégies de lutte durable.

Mots-clés : *Spodoptera frugiperda*, *Ocimum gratissimum*, huile essentielle, durée de séchage, activité insecticide, bio-insecticide.

Abstract

Influence of drying time on the essential oil yield and insecticidal activity of *Ocimum gratissimum* against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797)

This study evaluated the effect of leaf drying duration on the essential oil yield of *Ocimum gratissimum* and its insecticidal activity against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797). Leaves were dried for 0, 7, 14, 21, and 28 days, and essential oils were extracted via steam distillation. The extracts were topically applied to second-instar larvae, and toxicity was assessed using median lethal concentrations (LC₅₀). The results showed a significant effect of drying time on both yield and insecticidal activity. The highest yield (2.53%) and the greatest toxicity (LC₅₀ = 2.84 µL/mL) recorded after 7 days of drying, followed by a progressive decline with

longer drying periods. These reductions likely reflect alteration in the chemical profile of the essential oil. A 7-day was therefore identified as the optimal compromise between maximizing yield and preserving biological efficacy. Overall, the findings reinforce the potential of *O. gratissimum* essential oil as a botanical insecticide and support its integration into sustainable pest management strategies.

Keywords : *Spodoptera frugiperda*, *Ocimum gratissimum*, essential oil, drying duration, insecticidal activity, biopesticide.

1. Introduction

La chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797), est reconnue comme l'un des ravageurs agricoles les plus dévastateurs en zones tropicales et subtropicales. Ce ravageur se caractérise par une forte capacité d'adaptation alimentaire et peut attaquer plus de 80 espèces végétales, parmi lesquelles figurent les cultures majeures telles que le maïs, le sorgho et le riz. Les infestations sévères de ce ravageur entraînent d'importantes pertes de rendement compromettant ainsi la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne [1 - 3]. Depuis son introduction en Afrique de l'Ouest, *S. frugiperda* s'est rapidement propagé sur le continent, perturbant profondément les systèmes de production agricole [4 - 6]. La lutte contre ce ravageur repose encore majoritairement sur l'utilisation des insecticides de synthèse. Toutefois, leur utilisation répétée a favorisé l'apparition de résistance et engendré des impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine [7 - 9]. Ces contraintes remettent en question la durabilité des stratégies de lutte conventionnelles et soulignent la nécessité de développer des approches alternatives plus respectueuses de l'environnement [10]. Dans ce contexte, les biopesticides d'origine végétale apparaissent comme des alternatives prometteuses. Les huiles essentielles, en particulier, sont riches en composés bioactifs tels que les monoterpènes et les sesquiterpènes, reconnus pour leurs propriétés insecticides, répulsives et anti-alimentaires [11 - 13]. Leur diversité chimique et leurs modes d'action multiples limitent le développement rapide de résistances chez les insectes cibles [14, 15]. Parmi les plantes aromatiques d'intérêt agronomique, *Ocimum gratissimum* occupe une place importante en Afrique tropicale. Cette espèce, largement utilisée en pharmacopée traditionnelle, possède un potentiel insecticide avéré grâce à la présence de composés actifs tels que le thymol et le γ -terpinène [16 - 18]. De nombreuses études ont démontré l'efficacité de son huile essentielle contre divers insectes ravageurs, y compris *S. frugiperda* [19 - 21]. Toutefois, l'efficacité biologique des huiles essentielles dépend étroitement des conditions de production et de transformation. Les facteurs pré- et post-récolte, notamment la durée de séchage des feuilles, influencent significativement le rendement, la composition chimique et l'efficacité insecticide des huiles essentielles [22 - 24]. Le séchage constitue en effet une étape déterminante dans la conservation des composés volatils et la qualité finale de l'huile essentielle [25 - 27]. Malgré son importance, ce paramètre reste peu documenté en Afrique de l'Ouest. Cette insuffisance de données constitue un frein à l'optimisation des procédés de valorisation de *O. gratissimum* dans les programmes de lutte intégrée. Ainsi, la présente étude vise à évaluer l'influence de différentes durées de séchage des feuilles de *O. gratissimum* sur le rendement en huile essentielle et sur son activité insecticide contre les larves de deuxième stade de *S. frugiperda*. Elle a donc pour objectif d'identifier une durée de séchage optimale permettant de maximiser à la fois le rendement en huile et l'efficacité biologique, en vue d'une exploitation efficiente de cette ressource végétale dans les stratégies de lutte intégrée.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude

L'étude a été conduite au laboratoire d'entomologie basé à la station de recherche du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bouaké, au centre de la Côte d'Ivoire (7°44' N, 5°04' O ; altitude : 376 m). La zone d'étude appartient à une région de transition entre la savane et la forêt et est caractérisée par un climat tropical humide, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 1 373 mm, une température moyenne de 26,2 °C et une humidité relative variant de 70–80 en saison pluvieuse à environ 55 % en saison sèche.

2. Matériel

2-2-1. Matériel Végétal

Le matériel végétal de l'étude était constitué de feuille de *O. gratissimum*, présentées à la **Figure 1**. Les feuilles ont été récoltées à maturité puis triées afin d'éliminer les parties altérées. Les échantillons ont ensuite été séchés à l'ombre à température ambiante (≈ 28 °C), pendant différentes durées, à savoir 7, 14, 21 et 28 jours. Les feuilles fraîches (0 jour) ont été utilisées immédiatement pour l'extraction, tandis que les autres ont été conservées dans des conditions contrôlées jusqu'à l'atteinte des périodes définies.



Figure 1 : *Plant adulte d'O. gratissimum*

2-2-2. Matériel animal

Le matériel biologique de cette étude était constitué de larves de deuxième stade (L2) de *S. frugiperda*, présentées à la **Figure 2**. Les larves ont été élevées en conditions contrôlées, à une température comprise entre 25 et 28 °C et une humidité relative variant de 60 à 80 %. Elles ont été nourries à l'aide d'un régime artificiel jusqu'à leur utilisation dans les bioessais.



Figure 2 : *Larve de stade L2 de S. frugiperda*

2-2-3. Matériel technique

Le matériel technique était constitué d'équipements standards de laboratoire, notamment une balance de précision pour les pesées, des seringues graduées pour les dilutions, un agitateur pour l'homogénéisation des solutions, ainsi que de l'acétone utilisé comme solvant. L'extraction des huiles essentielles a été réalisée à l'aide d'un appareil de type Clevenger, et les bioessais ont été effectués à l'aide d'un micro-applicateur automatique.

2-3. Méthodes

2-3-1. Extraction de l'huile essentielle

Les feuilles de *Ocimum gratissimum* ont été séchées à l'ombre à température ambiante ($\approx 28^\circ\text{C}$) pendant 0, 7, 14, 21 et 28 jours. Pour chaque durée, une masse connue de matière végétale a été soumise à une distillation à la vapeur d'eau à l'aide d'un appareil de type Clevenger pendant 3 heures. L'huile essentielle obtenue a été récupérée par décantation, puis séchée afin d'éliminer les traces d'eau. Elle a été conservée à 4°C dans des flacons en verre ambré jusqu'à son utilisation dans les bioessais insecticides. Les composés majoritaires de ces huiles essentielles identifiées par les travaux de [17] sont présentées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Composition des éléments majoritaires de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum*

Huile essentielle	Composés majoritaires	Pureté
<i>Ocimum gratissimum</i> L.	Thymol, Gamma-terpinène, Para-Cymène, Alpha-Thujène, Myrcène, Alpha-terpinène.	93 %

Source : Kobenan et al., [17]

2-3-2. Détermination du rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle a été déterminé pour chaque durée de séchage, à partir du rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse de matière végétale utilisée, selon la **Formule** suivante :

$$R(\%) = \frac{M_h}{M_f} \times 100 \quad (1)$$

où, R est le rendement en huile essentielle exprimé en pourcentage (%), M_h est la masse d'huile essentielle obtenue (g), M_f est la masse de matière végétale utilisée pour l'extraction (g).

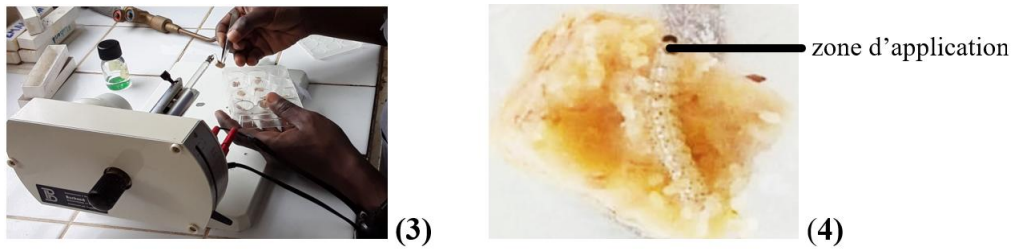
2-3-3. Préparation des solutions test

Les huiles essentielles ont été diluées dans l'acétone afin d'obtenir une solution mère. Des solutions filles de concentrations croissantes (0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 4 ; 8 et 16 %) ont ensuite été préparées par dilutions successives. Les concentrations ont été choisies de manière à couvrir une gamme de mortalité comprise entre 5 et 95 %.

2-3-4. Réalisation des bioessais insecticides

Les bioessais ont été réalisés par application topique sur des larves L2 de *Spodoptera frugiperda* à l'aide d'un micro-applicateur comme l'indique la **Figure 3**. Chaque larve a reçu une dose de $1\ \mu\text{l}$ de solution sur la face dorsale comme présentée à la **Figure 4**. Pour chaque concentration, trois répétitions de 10 larves ont été

constituées (n = 30). Après traitement, les larves ont été isolées individuellement et maintenues en conditions contrôlées (25–28 °C ; 60–80 % d'humidité relative). Un lot témoin traité uniquement à l'acétone a été inclus pour chaque série.



Figures : 3) Application topique de l'huile essentielle d'*O. gratissimum* sur *S. frugiperda* ; 4) Larve de *S. frugiperda* ayant reçu 1 µl d'extrait d'huile

2-3-5. Évaluation de la mortalité

La mortalité larvaire a été évaluée 48 heures après traitement. Les larves ont été classées comme vivantes, moribondes ou mortes selon leur capacité de mouvement. En présence de mortalité dans le lot témoin, les taux ont été corrigés à l'aide de la formule d'Abbott [1].

$$MC = \frac{M_t - M_0}{100 - M_0} \times 100 \quad (2)$$

où, : *MC* représente la mortalité corrigée (%), *M_t* est la mortalité observée dans le traitement (%), *M₀* est la mortalité observée dans le témoin (%).

2-3-6. Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide des logiciels Excel et RStudio. Les CL₅₀ et leurs intervalles de confiance à 95 % ont été estimés avec le logiciel WinDL. Une analyse de variance (ANOVA) à un facteur a été réalisée pour comparer les moyennes. En cas de différence significative, le test de Fisher (LSD) a été appliqué au seuil de 5 %.

3. Résultats

3-1. Effet du temps de séchage sur le rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle varie significativement en fonction du temps de séchage (p < 0,05). Il augmente de 0,80 % pour les feuilles fraîches à 2,53 % après 7 jours de séchage. Au-delà, une diminution progressive est observée, atteignant 1,28 % après 28 jours. Cette évolution est illustrée à la **Figure 5**.

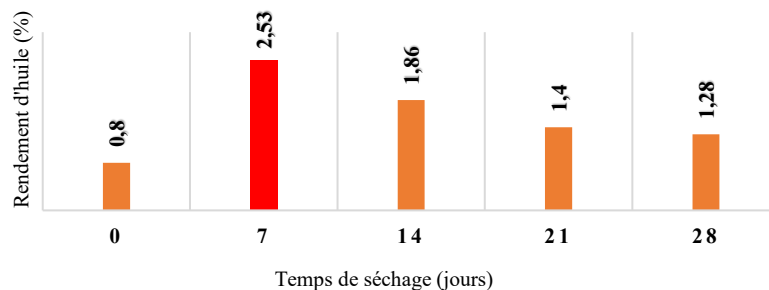


Figure 5 : Rendement d'huile essentielle en fonction du temps de séchage

3-2. Effet des huiles essentielles sur la mortalité larvaire

La mortalité larvaire augmente avec la concentration des huiles essentielles. L'huile issue des feuilles séchées pendant 7 jours présente les taux de mortalité les plus élevés. En revanche, celles obtenues après 21 et 28 jours montrent une efficacité réduite. Ces résultats sont illustrés à la **Figure 6**.

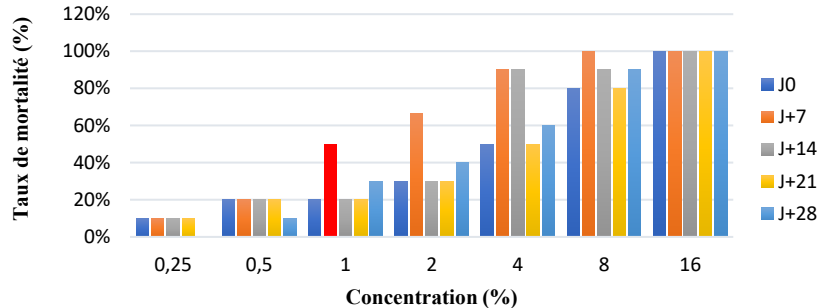


Figure 6 : Taux de mortalité des larves de *S. frugiperda* après 48h d'exposition

3-3. Influence du temps de séchage sur la toxicité (CL₅₀)

La toxicité des huiles essentielles varie selon le temps de séchage. La CL₅₀ la plus élevée est observée pour les feuilles fraîches (5,69 µL/mL). La valeur minimale est obtenue après 7 jours de séchage (2,84 µL/mL). Au-delà de cette durée, la CL₅₀ augmente progressivement (3,10 ; 3,21 et 3,40 µL/mL pour 14, 21 et 28 jours), traduisant une diminution de la toxicité. Cela suggère une altération progressive des composés bioactifs de l'huile essentielle lors des périodes de séchage prolongées. Ces résultats sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 2 : CL₅₀ des huiles essentielles des différents temps de séchages

Temps de séchage (jour)	N	χ ²	Ddl	CL ₅₀ (µL/mL)
0	210	7,28	5	5,69
7	210	3,13	5	2,84
14	210	8,54	5	3,10
21	210	7,32	5	3,21
28	210	11,03	5	3,40
Probabilité (p)				0,071

N : nombre de larves testées, *χ²* : Chi 2, *ddl* : degré de liberté, *CL₅₀* : concentration létale à 50 % de mortalité.

4. Discussion

4-1. Influence du temps de séchage sur le rendement en huile essentielle

Les résultats de cette étude montrent clairement que la durée de séchage des feuilles de *Ocimum gratissimum* influence significativement le rendement en huile essentielle. L'augmentation du rendement observée jusqu'à 7 jours de séchage peut être attribuée à la réduction progressive de la teneur en eau des feuilles, favorisant ainsi la concentration des composés volatils et leur meilleure disponibilité lors de l'extraction par distillation à la vapeur d'eau [22 - 24]. Ces observations concordent avec celles rapportées par plusieurs auteurs, notamment [22, 25], qui ont montré qu'un séchage modéré permet d'optimiser le rendement en huile

essentielle chez diverses plantes aromatiques. De manière générale, la maîtrise des conditions post-récolte, en particulier la durée de séchage, constitue un facteur déterminant pour améliorer l'efficacité de l'extraction des huiles essentielles [22 - 25]. En revanche, la diminution progressive du rendement observée au-delà de 7 jours de séchage pourrait résulter de la volatilisation et de la dégradation de certains composés aromatiques thermosensibles ou hautement volatils [25 - 27]. Un séchage prolongé peut ainsi entraîner des pertes quantitatives en huile essentielle, malgré une déshydratation avancée du matériel végétal. Ces résultats confirment que l'optimisation du temps de séchage repose sur un compromis entre la réduction de l'humidité et la préservation des composés volatils.

4-2. Influence du temps de séchage sur l'activité insecticide

L'activité insecticide des huiles essentielles de *O. gratissimum* a également été fortement influencée par la durée de séchage des feuilles. Les huiles essentielles issues de feuilles séchées pendant 7 jours ont présenté la plus forte efficacité insecticide, comme en témoignent les taux de mortalité larvaire élevés observés et la valeur minimale de CL_{50} . Cette efficacité maximale suggère une concentration optimale en composés bioactifs à cette durée de séchage. Plusieurs études ont montré que certains constituants majeurs des huiles essentielles, tels que le thymol, le γ -terpinène ou l'eugénol, possèdent une activité neurotoxique marquée chez les insectes, agissant notamment par perturbation des canaux ioniques ou inhibition enzymatique [13,17–19,32]. La forte toxicité observée à 7 jours pourrait donc être liée à une composition chimique favorable, résultant d'un séchage ni insuffisant ni excessif. À l'inverse, la réduction de l'activité insecticide observée pour les durées de séchage prolongées (21 et 28 jours) pourrait être expliquée par une altération progressive de la composition chimique de l'huile essentielle, due à la dégradation ou à la perte de certains composés actifs [23, 26]. Ces résultats confirment que la durée de séchage joue un rôle clé non seulement sur le rendement, mais également sur l'efficacité biologique des huiles essentielles.

4-3. Relation entre rendement et efficacité biologique

Les résultats obtenus mettent en évidence une relation étroite entre le rendement en huile essentielle et son efficacité insecticide. La durée de séchage de 7 jours apparaît comme un point d'équilibre optimal, permettant d'obtenir simultanément un rendement élevé et une toxicité maximale vis-à-vis des larves de *Spodoptera frugiperda*. Cette relation traduit l'importance d'une maîtrise fine des conditions post-récolte afin d'optimiser les performances biologiques des huiles essentielles. Des observations similaires ont été rapportées dans plusieurs études portant sur les biopesticides d'origine végétale, soulignant que l'augmentation du rendement n'est pas nécessairement synonyme d'une meilleure efficacité biologique lorsque les conditions de transformation altèrent les composés actifs [11, 33]. Ces résultats renforcent l'idée que la qualité biologique d'une huile essentielle dépend autant de sa composition chimique que de sa quantité extraite.

4-4. Implications agronomiques et perspectives

Les résultats de cette étude présentent un intérêt agronomique important dans le contexte de la lutte intégrée contre *Spodoptera frugiperda*. L'identification d'une durée optimale de séchage de 7 jours permet d'améliorer à la fois le rendement d'extraction et l'efficacité insecticide de l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum*. Dans un contexte de réduction progressive de l'utilisation des insecticides de synthèse, ces résultats confirment le potentiel des huiles essentielles comme alternatives écologiques et durables dans les programmes de protection des cultures [10, 13]. Toutefois, des études complémentaires en conditions semi-réelles et en plein champ seront nécessaires afin de valider l'efficacité de ces huiles essentielles dans des contextes agronomiques variés et d'évaluer leur impact sur les organismes non-cibles.

5. Conclusion

Les résultats de la présente étude ont mis en évidence l'influence significative de la durée de séchage des feuilles de *Ocimum gratissimum* sur le rendement en huile essentielle et sur son activité insecticide contre les larves de *Spodoptera frugiperda*. Il ressort qu'un séchage de 7 jours apparaît comme la durée optimale, permettant d'obtenir simultanément le rendement le plus élevé en huile essentielle et la toxicité maximale, traduite par la plus faible valeur de CL_{50} . Au-delà de 7 jours, le rendement en huile et l'activité insecticide diminuent, probablement liée à la volatilisation et à la dégradation des composés bioactifs lors de périodes de séchage prolongées. Ces résultats confirment le potentiel de *O. gratissimum* comme source de biopesticide. Toutefois, le contrôle des conditions post-récolte, en particulier la durée de séchage, est indispensable dans l'optimisation des performances des huiles essentielles. Des études complémentaires en conditions semi-contrôlées et en milieu réel permettront de confirmer l'efficacité de cette huile essentielle issue des feuilles séchées durant 7 jours.

Références

- [1] - R. DAY, P. ABRAHAMS, M. BATEMAN, T. BEALE, V. CLOTTEY, M. COCK, Y. COLOMENA, N. CORNIANI, E. REGAN, J. GODWIN, J. L. GOMEZ, P. GONZALEZ-MORENO, S. T. MURPHY, B. OPPONG-MENSAH, N. PHIRI, C. PRATT, S. SILVESTRI and A. WITT, Fall armyworm: impacts and implications for Africa, *Outlooks on Pest Management*, 28 (5) (2017) 196 - 201
- [2] - R. EARLY, P. GONZALEZ-MORENO, S. T. MURPHY and R. DAY, Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, *NeoBiota*, 40 (2018) 25 - 50
- [3] - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), Briefing note on FAO actions on fall armyworm in Africa, FAO, Rome, (2018)
- [4] - D. G. MONTEZANO, A. SPECHT, D. R. SOSA-GOMEZ, V. F. ROQUE-SPECHT, J. C. SOUSA-SILVA, S. V. DE PAULA-MORAES, J. A. PETERSON and T. E. HUNT, Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas, *African Entomology*, 26 (2) (2018) 286 - 300
- [5] - G. GOERGEN, P. L. KUMAR, S. B. SANKUNG, A. TOGOLA and M. TAMÒ, First report of outbreaks of the fall armyworm in West and Central Africa, *PLoS ONE*, 11 (10) (2016) e0165632
- [6] - R. N. NAGOSHI, G. GOERGEN and R. L. MEAGHER, Genetic characterization of fall armyworm populations in Africa and implications for pest management, *Scientific Reports*, 9 (2019) 1 - 10
- [7] - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) and PLANT PROTECTION DIRECTORATE (PPD), Manual on integrated fall armyworm management, FAO, Rome, (2020)
- [8] - R. GUTIERREZ-MORENO, D. MOTT, M. WISE, K. HUNT and A. ARTHUR, Field-evolved resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt maize in Puerto Rico, *Journal of Economic Entomology*, 112 (2) (2019) 792 - 802
- [9] - Y. XIAO, M. ZHANG, D. JIANG, X. ZHU, J. CHEN and H. ZHANG, The genetic adaptations of *Spodoptera frugiperda* facilitated its rapid global spread, *GigaScience*, 6 (9) (2017) 1 - 11
- [10] - M. PENG, X. CHEN, H. ZHANG, Y. LIU, Y. WANG and J. LI, Genome-wide analysis reveals adaptation mechanisms of *Spodoptera frugiperda*, *Communications Biology*, 4 (2021) 1 - 14
- [11] - WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes, WHO, Geneva, (2016)
- [12] - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), Technical guidelines for sustainable management of fall armyworm, FAO, Rome, (2020)
- [13] - M. B. ISMAN, Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise?, *Annual Review of Entomology*, 65 (2020) 233 - 249

- [14] - R. PAVELA, Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review, *Industrial Crops and Products*, 76 (2015) 174 - 187
- [15] - G. BENELLI, R. CANALE, A. CONTI, M. CAPPONI and F. MASCIA, Insecticidal activity of essential oils and their applications in pest control, *Industrial Crops and Products*, 94 (2016) 144 - 151
- [16] - C. REGNAULT-ROGER, C. VINCENT and J. T. ARNASON, Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world, *Annual Review of Entomology*, 57 (2012) 405 - 424
- [17] - K. KOBENAN, Évaluation des propriétés insecticides des huiles essentielles en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, (2020) 180 p.
- [18] - J. D. GBENOU, A. AHOANGONOU, M. YEHOUENOU, A. GBAGUIDI and E. AKINDE, Chemical composition and insecticidal activity of essential oils from West African medicinal plants, *Journal of Essential Oil Research*, 31 (2019) 1 - 10
- [19] - M. BOURKHISS, A. OUAZZANI, M. BOUHROUM, A. BENLARBI and M. BERRADA, Chemical composition and bioactivity of essential oils from aromatic plants, *African Journal of Biotechnology*, 14 (2015) 1 - 7
- [20] - H. KOUNINKI, P. NGASSAM, D. NGAMO, F. MAPONGMETSEM and L. NTONIFOR, Evaluation of botanical insecticides against fall armyworm larvae, *Crop Protection*, 98 (2017) 1 - 8
- [21] - A. K. TOUNOU, T. K. ADJOVI, G. NUTO, S. A. AHOANGONOU and A. K. KOSSOU, Insecticidal effects of plant extracts on Spodoptera frugiperda larvae, *International Journal of Tropical Insect Science*, 37 (2017) 1 - 10
- [22] - O. BOUSSAADA, M. SKANDER, A. CHAABANE, M. R. HADDAD and M. BEN JANNET, Effects of drying on essential oil yield and chemical composition, *Industrial Crops and Products*, 97 (2017) 1 - 8
- [23] - O. T. ASEKUN, A. ADEWUSI and O. FAMUYIWA, Influence of drying methods on essential oil composition of aromatic plants, *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 21 (2018) 1 - 9
- [24] - I. H. SELLAMI, W. MAHMOUD, B. DJEMAI, H. TITI and M. ABDELLELY, Impact of drying process on essential oil yield and quality, *Food Chemistry*, 202 (2016) 1 - 8
- [25] - R. S. VERMA, R. KUMAR, A. KUMAR and R. K. VERMA, Influence of drying on yield and chemical composition of essential oils, *Industrial Crops and Products*, 163 (2021) 1 - 9
- [26] - N. F. S. MORSY, Effect of drying conditions on essential oil content and composition, *Journal of Essential Oil Research*, 31 (2019) 1 - 10
- [27] - A. K. TRIPATHI, V. PRAJAPATI and N. K. AGGARWAL, Bioactivity of essential oils against insect pests, *Journal of Applied Entomology*, 143 (2019) 1 - 10
- [28] - R. SINGH, S. KUMAR and P. SHARMA, Insecticidal activity of plant-derived compounds against agricultural pests, *Journal of Economic Entomology*, 113 (2020) 1 - 10
- [29] - J. H. G. DOS SANTOS, M. R. SILVA and F. LIMA, Essential oils as bioinsecticides against agricultural pests, *Journal of Pest Science*, 98 (2025) 1 - 12
- [30] - H. S. A. SALAMA, Plant-derived insecticides and their applications in pest management, *Journal of Plant Protection Research*, 64 (2024) 1 - 10
- [31] - O. KOUL, S. WALIA and G. S. DHALIWAL, Essential oils as green pesticides: potential and constraints, *Biopesticides International*, 4 (1) (2008) 63 - 84
- [32] - L. S. NERIO, J. OLIVERO-VERBEL and E. STASHENKO, Repellent activity of essential oils : a review, *Bioresource Technology*, 101 (1) (2010) 372 - 378
- [33] - V. L. USSEGLIO, M. RODRIGUEZ and J. PEREZ, Essential oils in sustainable pest management strategies, *Plants*, 14 (2025) 2204
- [34] - A. C. L. ALVES, T. I. SILVA, J. L. BATISTA and J. C. C. GALVÃO, Insecticidal activity of essential oils on Spodoptera frugiperda, *Brazilian Journal of Biology*, 84 (2024) e260522
- [35] - A. S. DÍAZ, M. TORRES and J. GARCIA, Botanical insecticides for sustainable crop protection, *Crop Protection*, (2025) 1 - 10