



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Effet des poudres des feuilles de *Securidaca longepedunculata* Fresen et d'*Indigofera* sp. (Fabaceae) contre *Callosobruchus maculatus* des stocks de niébé, au Tchad

Elie DOUGRIGUE<sup>1\*</sup>, Mbailao MBAIGUINAM<sup>2</sup>, Tagné Gabriel FOTSO<sup>3</sup> et Elias Nchiwan NUKENINE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut National Supérieur des Sciences Agronomiques et des Technologies Agroalimentaires de Lai, Tchad.

<sup>2</sup>Laboratoire de Recherche sur les Substances Naturelles, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Université de N'djamena, Tchad.

<sup>3</sup>Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences, Université de N'Gaoundéré, Cameroun.

\*Auteur correspondant ; E-mail : [eliedougrigue@gmail.com](mailto:eliedougrigue@gmail.com); Tél. : +235 66 48 88 78.

Received: 26-07-2023

Accepted: 26-08-2023

Published: 31-08-2023

### RESUME

Au Tchad, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera : Chrysomelidae) est le ravageur le plus redoutable du niébé en champ. Les dégâts se poursuivent jusque dans les stocks destinés à l'alimentation. Le présent travail a été mené afin d'évaluer l'effet insecticide des poudres des feuilles de *Securidaca longepedunculata* et d'*Indigofera* sp. sur la mortalité et l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub> en stockage. Ces poudres insecticides ont été également testées pour leur effet sur la viabilité des graines de niébé après quatre mois de stockage. Les poudres insecticides ont été testées à 2, 4, 6 et 8 g/kg et les graines de niébé sans produits insecticides ont servi de témoin négatif. La mortalité de *C. maculatus* a été évaluée après 1 et 5 jours après infestation. Les résultats ont montré qu'*Indigofera* sp. enregistré le pourcentage de mortalité le plus élevé (97,97%) à la plus grande concentration de 8 g/kg, tandis que *S. longepedunculata* a causé à la même concentration 86,12% de mortalité de *C. maculatus*. Ces données ont été traitées, à l'aide du logiciel statistique pour les sciences sociales (SPSS 16.0). Selon les valeurs des DL<sub>50</sub> et DL<sub>95</sub>, *Indigofera* sp. (DL<sub>50</sub> = 0,35 g/kg ; DL<sub>95</sub> = 0,94 g/kg) est plus toxique que *S. longepedunculata* (DL<sub>50</sub> = 0,44 g/kg ; DL<sub>95</sub> = 1,16 g/kg) sur les bruches. Les pourcentages d'inhibition de l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub> sont de 92,99% pour *S. longepedunculata* et 98,55% pour *Indigofera* sp. Les deux poudres insecticides testées n'ont eu aucun effet négatif sur la viabilité des graines après quatre mois de stockage. Au vu des résultats encourageants obtenus dans ce travail, la poudre des feuilles de *S. longepedunculata* et celle de *Indigofera* sp. peuvent être utilisées au Tchad pour lutter contre *C. maculatus* et préserver le niébé en stockage.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Poudres insecticides, *Securidaca longepedunculata*, *Indigofera* sp., Mortalité, Stockage.

### Effect of leaf powders of *Securidaca longepedunculata* Fresen and *Indigofera* sp. (Fabaceae) against *Callosobruchus maculatus* in cowpea stocks, in Chad

### ABSTRACT

In Chad, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Chrysomelidae) is the most serious pest of cowpea in the field. The damage continues even in the stocks intended for food. The present work was carried out in order to evaluate the insecticidal effect of the powders from *Securidaca longepedunculata* and *Indigofera* sp.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

9473-IJBCS

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i5.4>

leaves on mortality and emergence of F<sub>1</sub> progeny in storage. These insecticidal powders were also tested for their effect on the viability of cowpea seeds after four months of storage. The insecticidal powders were tested at 2, 4, 6 and 8 g/kg and the cowpea seeds without insecticide products served as a negative control. The mortality of *C. maculatus* was evaluated after 1 and 5 days after infestation. The results showed that *Indigofera* sp. recorded the highest percentage mortality (97.97%) at the highest concentration of 8 g/kg, while *S. longepedunculata* caused at the same concentration 86.12% mortality of *C. maculatus*. Based on LC<sub>50</sub> and LC<sub>95</sub> values, *Indigofera* sp. (LC<sub>50</sub> = 0.35 g/kg; LC<sub>95</sub> = 0.94 g/kg) is more toxic than *S. longepedunculata* (LC<sub>50</sub> = 0.44 g/kg; LC<sub>95</sub> = 1.16 g/kg) to the bruchids. The percentages of inhibition of the emergence of F<sub>1</sub> progeny are 92.99% for *S. longepedunculata* and 98.55% for *Indigofera* sp. the two insecticidal powders tested had no negative effect on seed viability after four months of storage. In view of the encouraging results obtained in this work, the powder from *S. longepedunculata* leaves and that of *Indigofera* sp. can be used in Chad to control *C. maculatus* and preserve cowpea in storage.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** Insecticidal powders, *Securidaca longepedunculata*, *Indigofera* sp., Mortality, Storage.

## INTRODUCTION

Le niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] est une culture vivrière et fourragère cultivée dans les tropiques semi-arides couvrant l'Afrique, l'Asie, l'Europe, les États-Unis et Amérique centrale et du Sud (Ojebode et al., 2016). Il est consommé par les humains en raison de sa teneur élevée en protéines et également utilisé comme aliment pour le bétail (Fouad et al., 2020). Le niébé est considéré comme l'une des sources les moins chères en protéines pour de nombreuses familles où obtenir les protéines animales sont difficiles (Nta et al., 2013). Sur le plan économique, le niébé constitue également la principale source de revenus chez les agriculteurs pauvres en ressources financières (Musa et Olaniyan, 2015). Bien que des quantités substantielles de niébé soient produites, pendant le stockage, les graines de niébé subissent plusieurs attaques notamment celles des insectes ravageurs qui sont la principale cause de dégâts. Parmi ces insectes, le charançon des graines de niébé *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera : Chrysomelidae : Bruchinae) est l'un des ravageurs le plus destructeur de la production de niébé depuis le champ jusqu'au stockage (Ekoja et al., 2020). Par conséquent, plus de 90% des dégâts causés par les insectes aux graines de niébé sont causés par ce charançon du niébé (Ogunsina et al., 2011).

Les pertes peuvent atteindre 100% en Afrique Subsaharienne (Ngamo et al., 2007).

La protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs est donc très importante, car elle permet d'assurer l'approvisionnement alimentaire dans le monde entier. Afin de réduire les pertes importantes causées par les insectes ravageurs pendant le stockage, diverses techniques et méthodes de lutttes ont été développées tous les jours. La lutte contre les ravageurs du niébé en stockage repose fortement sur l'utilisation d'insecticides chimiques (Islam et al., 2017), et dont dépendent encore les agriculteurs pour la gestion des produits stockés, en particulier la production à grande échelle (Gbaye et Holloway, 2011). Malgré leur efficacité incontestable, l'utilisation continue et intensive de ces insecticides de synthèses produit des effets toxiques indésirables sur les organismes biotiques non ciblés de l'écosystème (Ojo et Ogunleye, 2013). Devant cette situation, la plupart des petits agriculteurs ne peuvent pas adopter ces nouvelles techniques pour des raisons financières et techniques (Nwachukwu et al., 2020). De plus, en stockage, toute intervention avec ces insecticides conduit à une application au plus près pour le consommateur, ce qui est totalement dangereux (Soujanya et al., 2016). Pour résoudre ce problème, les recherches sont continuellement orientées vers les solutions alternatives, la bio pesticide végétale qui n'a aucun impact négatif sur l'environnement, biodégradable facilement et ne pose pas les problèmes des santés à la

population. Pour cela, plusieurs recherches se sont tournées vers l'utilisation de différentes parties de plantes à effet insecticide sous forme de poudres, d'huiles essentielles, extraits brutes pour conserver les grains stockés. Parmi elles, *Securidaca longepedunculata* appartenant à la famille des Polygalacées a fait l'objet de plusieurs travaux en médecine traditionnelle (Muanda et al., 2010), en stockage contre plusieurs insectes ravageurs des stocks (Belmain et al., 2001 ; Jayasekara et al., 2005 ; Stevenson et al., 2009 ; Afful et al., 2012). De nombreux travaux ont permis de caractériser les constituants chimiques de *S. longepedunculata* notamment les saponines, tanins, anthraquinones, alcaloïdes, terpènes, stérols, sucres, flavonoïdes, terpènes, coumarines (Mitaine-Offer et al., 2010 ; Muanda, et al., 2010 ; Adesina et al., 2017). Tandis que certaines espèces d'*Indigofera* sp. appartenant à la famille des Fabacées, telle qu'*Indigofera tinctoria* ont montré des propriétés insecticides due à la présence des roténoïdes et qui varient selon les essais (Leite, 2004). En effet, la toxicité des roténoïdes présents dans cette plante est plus efficace contre les larves de moustiques *Anopheles stephensi* que sur les adultes de la bruche *Callosobruchus chinensis* (Kamal et Mangla 1993). À la limite des publications scientifiques disponibles, les effets insecticides de la poudre des feuilles de *S. longepedunculata* et celle d'*Indigofera* sp. contre les insectes ravageurs des stocks en général et contre *C. maculatus* en stockage sont rares. L'objectif de ce travail est donc d'évaluer l'efficacité insecticide des poudres des feuilles de *Securidaca longepedunculata* Fresen et d'*Indigofera* sp. contre *Callosobruchus maculatus* sur les graines de niébé en stock au Tchad.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Collecte des feuilles et préparation des poudres

Les rameaux contenant des feuilles de *S. longepedunculata* et d'*Indigofera* sp. ont été

récoltés en décembre 2021, dans un village appelé Damdo - Ngolo, dans le Département de la Tandjilé - Ouest. Cette zone est caractérisée par une savane arborée. Après la récolte, les rameaux des feuilles ont été lavés à l'eau du robinet afin de les débarrasser de la poussière. Ensuite, ils ont été séchés à l'ombre d'une véranda, afin d'éviter toute contamination par les microorganismes, la poussière, les insectes et les rongeurs (Kayombo et al., 2015 ; Rania, 2021). Le séchage s'est fait pendant sept jours. Après séchage des rameaux, les feuilles de chacune des plantes ont été prélevées. Les feuilles de *S. longepedunculata* et d'*Indigofera* sp. ont été ensuite réduites en poudre séparément à l'aide d'un mortier et d'un pilon. Ensuite, tamisées à l'aide d'un tamis de maille de 0,4 mm de diamètre afin d'obtenir une poudre fine et de granulométrie homogène. La poudre de chaque plante a été conservée dans des bocaux et gardé au laboratoire dans les conditions de températures et d'humidité ambiantes.

### Collecte des graines de niébé : *Vigna unguiculata* L. Walp

Les graines de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) (Papilionaceae) utilisées dans la présente étude sont de la variété blanche non améliorée appelée communément « Tongou » dans la zone d'étude. Cette variété est la plus cultivée et la plus consommée dans cette zone. Ces graines ont été obtenues dans les stocks de niébé, auprès des commerçants du marché central de la commune de Kélo. Cette variété de niébé est la plus cultivée pour son rendement en termes de production abondante en graines et sa maturation précoce. Après acquisition auprès des commerçants, les graines ont été triées et débarrassées de toutes impuretés. Les graines saines ont été conditionnées dans des sacs en plastique et conservées dans un congélateur à une température de -4°C (Agnès et al., 2009, Fatou et al., 2022). Ceci afin d'éliminer toute autre forme vivante d'insectes ou d'œufs qui n'auraient pas été éliminées pendant le tri

(Gandeho et al., 2022). Trente jours après, les graines ont été retirées du congélateur et placées dans les conditions ambiantes de laboratoire. La teneur en eau des graines a été déterminée par la méthode d'AFNOR (1982), elle était de 18,12%. Les graines ont été ensuite utilisées pour l'élevage de masse des bruches et pour les tests biologiques.

### **Les élevages des bruches : *Callosobruchus maculatus***

Des graines de niébé infestées ont été obtenues des stocks, auprès des commerçants du marché central de la commune de Kélo. Un élevage de masse a ensuite été effectué avec les adultes de *C. maculatus* de sexes indéterminés. Pour ce faire, 20 kg de graines saines de niébé ont été introduits dans un sac plastique. Puis, 100 adultes de *C. maculatus* des sexes indéterminés ont été ajoutés. Les parents ont été retirés après 6 jours d'infestation par tamisage (Nukenine et al., 2007). Les graines infestées ont été ensuite remises dans le sac et conservées au laboratoire dans les conditions ambiantes jusqu'à l'émergence. L'émergence de la progéniture F<sub>1</sub>, avait commencé à partir du 28<sup>ème</sup> jour après infestation. À partir de là, plusieurs tamisages ont été réalisés et les insectes âgés de 0 à 24 heures ont été utilisés pour tous les tests biologiques.

### **Méthodes**

#### **Bioessais**

##### *Test de mortalité*

Les tests de mortalité ont été effectués au laboratoire dans les conditions ambiantes. Quatre concentrations (0,80 ; 0,16 ; 0,24 et 0,32 g correspondant à 2, 4, 6 et 8 g/kg) de la poudre obtenue à partir des feuilles sèches de *S. longepedunculata* ou d'*Indigofera* sp., ont été mélangées individuellement à 40 g de graines de niébé contenus dans des bocaux en verres de 200 ml. Les différentes pesées ont été effectuées à l'aide d'une balance électronique. Ensuite, chaque bocal a été secoué manuellement pendant 2 minutes, pour que la poudre adhère aux graines (Nukenine et al.,

2007). Les témoins négatifs étaient constitués de graines de niébé sans poudre insecticide. Puis un lot de 20 adultes de *C. maculatus* âgés de 0 - 24 heures (Demnati et al., 2018) et de sexe indéterminé ont été introduits dans chaque bocal à l'aide d'une pince entomologique (Nukenine et al., 2007). Les bocaux ont été ensuite recouverts par des tissus en coton pour empêcher l'évasion des insectes et fermés avec des couvercles perforés pour permettre l'aération de l'enceinte (Nukenine et al., 2007). Les bocaux contenant les graines de niébé traitées et les témoins négatifs, et infestées ont été laissées au laboratoire dans un bloc complètement randomisé de quatre répétitions. Après 1 et 5 jours d'exposition, les bocaux ont été débarrassés des poudres et des insectes par tamisage, puis le nombre des bruches mortes et celles des bruches vivantes ont été comptées à l'aide d'une pince entomologique et enregistrés. Était considérée morte, toute bruche qui ne bougeait ni les pattes, ni les antennes après plusieurs touchés délicats avec le bout de la pince entomologique (Nukenine et al., 2010). La mortalité corrigée a été calculée grâce à la formule d'Abbott (1925) ci-dessous:

$$\%Mc = \left( \frac{Mo - Mc}{100 - Me} \right) \times 100$$

Où : Mo est la mortalité observée dans les graines de niébé traitées, Mc est la mortalité corrigée, Me est la mortalité observée dans le contrôle négatif.

##### *Effet des poudres insecticides sur l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub>*

Cinq jours après avoir débarrassé les bocaux des tests de mortalité des poudres insecticides et des insectes, les graines de niébé (traitées et les témoins négatifs) ont été remises dans les bocaux correspondant aux différents traitements et laissés au laboratoire dans les conditions ambiantes jusqu'à l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub>. Cette émergence a commencé 28 jours après infestation des graines de niébé traitées. À partir de là, les bruches émergées ont été comptées et enregistrées une fois par semaine pendant quatre semaines. Le pourcentage d'inhibition (PI) de l'émergence

de la progéniture  $F_1$  a été calculé selon la formule utilisée par Rajashekar et al. (2010) ci-dessous :

$$\%PI = \left( \frac{(Cn - Tn)}{Cn} \right) \times 100$$

Où **Cn** est le nombre des bruches nouvellement émergées dans les bocaux témoins et **Tn** est le nombre de bruches émergées dans les bocaux traités.

#### *Effet des poudres insecticides sur la viabilité des graines de niébé après stockage*

Pour évaluer la viabilité des graines traitées avec les différents produits insecticides, le test de la germination dans du sable fin et humide contenu dans des plats en plastiques perforés a été utilisé. Les graines de niébé ont été traitées avec les mêmes concentrations du test de mortalité et stockées dans les conditions ambiantes de laboratoire. Après quatre mois de stockage, 30 graines ont été prises au hasard dans les lots des graines non perforées (Fotso et al., 2018). Puis ont été placées dans les trous qui ont été au préalable faits dans du sable, ensuite les graines ont été recouvertes avec du sable. Quatre répétitions ont été faites pour chaque traitement. L'arrosage a été fait tous les deux jours pendant 10 jours, au terme desquels, les graines germées ont été comptées et enregistrées. Le pourcentage de germination a été calculé suivant la formule utilisée par Fotso et al. (2018) ci-dessous :

*% de germination*

$$= \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre total de graines semées}} \times 100$$

#### **Analyses statistiques**

Les données sur les pourcentages de mortalité cumulées, le pourcentage de réduction de la progéniture  $F_1$ , le pourcentage de germination des graines ont été soumises à la procédure d'analyse de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel statistique pour les sciences sociales (SPSS 16.0). Le test de la Turquie ( $P = 0,05$ ) a été appliqué pour la séparation des moyennes. Une transformation logarithmique ( $\log_{10}(x+1)$ , {10, indice, x italiques} où x = teneur en %) a été effectuée

avant analyse de la régression. La formule d'Abbott (Abbott 1925) a été utilisée pour corriger la mortalité de contrôle lorsque la mortalité dans le contrôle négatif est comprise entre 3 et 10% avant soumission à l'ANOVA. Une analyse Probit (Finney 1971 ; SPSS 16.0) a été appliquée pour déterminer les doses létales causant 50% ( $DL_{50}$ ) et 95% ( $DL_{95}$ ) de mortalité de *C. maculatus* après 1 et 5 jours d'exposition.

#### **RÉSULTATS**

##### **Effet des poudres insecticides sur la mortalité des adultes de *Callosobruchus maculatus***

Les pourcentages de mortalité de *Callosobruchus maculatus* causés par la poudre de *Securidaca longepedunculata* ou celle d'*Indigofera* sp. sont représentés par la figure 1. Ces résultats montrent que le taux de mortalité de *C. maculatus* augmente significativement ( $P < 0,00001$ ) avec l'augmentation de la dose des poudres des différentes plantes et également avec l'augmentation des périodes d'exposition. Il est à noter que la poudre des feuilles d'*Indigofera* sp. a été plus efficace que celle des feuilles de *S. longepedunculata* à toutes doses et toutes les périodes d'exposition. En un jour d'exposition et à leur plus petite dose (2 g/kg), *S. longepedunculata* et *Indigofera* sp. ont enregistré respectivement 6,25 et 14,08% de mortalité, tandis que à leurs plus grandes doses de 8 g/kg et à la période d'exposition *S. longepedunculata* et *Indigofera* sp. ont causé respectivement 36,64 et 58,88% de mortalité de *C. maculatus*. Dans le même ordre, et en cinq jours d'exposition, les pourcentages de mortalité étaient de 36,64 et 53,22% pour *S. longepedunculata* et *Indigofera* sp. respectivement. Le pourcentage de mortalité le plus élevé (95,97%) enregistré dans les graines de niébé traitées a été causé par *Indigofera* sp. à sa plus grande dose (8 g/kg), tandis que *S. longepedunculata* a causé à la même dose un taux de mortalité de 86,12% (Figure 1).

Les paramètres de mortalité de *C. maculatus* sont présentés dans le Tableau 1. Ce Tableau montre que la poudre d'*Indigofera* sp. agit plus rapidement sur les adultes de *C. maculatus* (Pente =  $2.10 \pm 0,16$ ) que celle de *S. longepedunculata* (Pente =  $2,12 \pm 0,19$ ) au premier jour d'exposition, tandis que au cinquième jour d'exposition c'est plutôt *S. longepedunculata* qui agit plus rapidement sur les adultes de *C. maculatus* (Pente =  $2,30 \pm 0,15$ ) qu'*Indigofera* sp. (Pente =  $2,56 \pm 0,17$ ). Ce tableau montre également que les coefficients de régression  $R^2$  sont tous supérieurs à 0,6. Les doses létales (DL) 50 et 95 montrent que la poudre des feuilles d'*Indigofera* sp. est plus toxique que celle de *S. longepedunculata* sur les adultes de *C. maculatus*. Ces doses létales diminuent avec l'augmentation de la dose de produit insecticide. En un jour d'exposition, les DL<sub>50</sub> sont de 1,07 et 0,89 g/kg respectivement pour la poudre de *S. longepedunculata* et celle d'*Indigofera* sp. elles diminuent et atteignent 0,44 et 0,35 g/kg au cinquième jour d'exposition, respectivement pour *S. longepedunculata* et *Indigofera* sp. (Tableau 1). La même tendance est observée pour les DL<sub>95</sub> qui sont de 1,85 et 1,72 g/kg respectivement pour *S. longepedunculata* et *Indigofera* sp. en un jour d'exposition, tandis que en cinq jours d'exposition, ces DL<sub>95</sub> sont respectivement de 1,16 et 0,94 g/kg pour *S. longepedunculata* et *Indigofera* sp. respectivement. Les chi-carrés sont non significatifs en cinq jours d'exposition (Tableau 1).

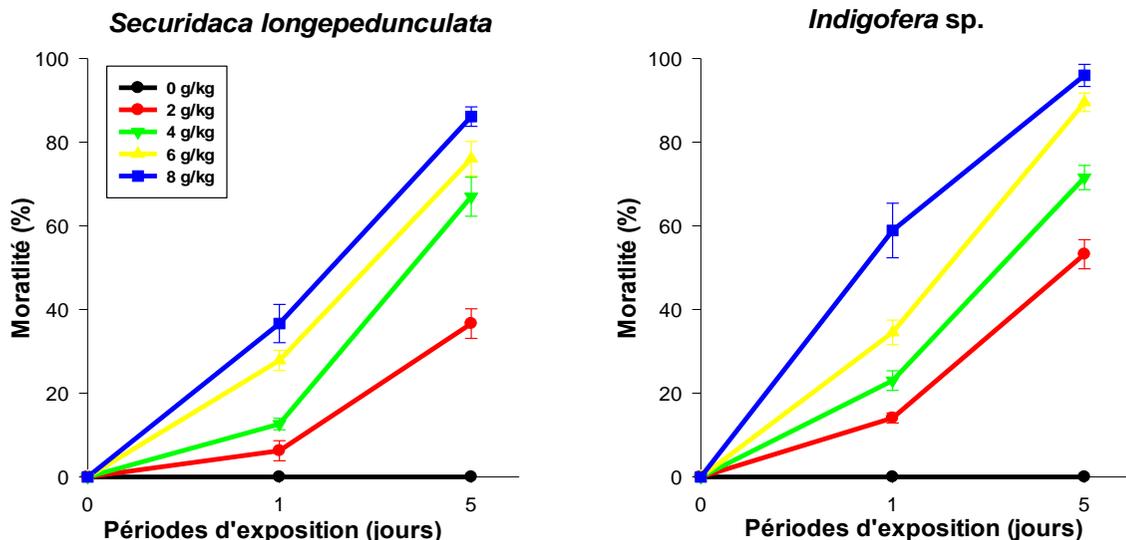
#### **Effet des poudres insecticides sur l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub> de *Callosobruchus maculatus***

Le Tableau 2 montre les effets des poudres des feuilles de *Securidaca longepedunculata* et d'*Indigofera* sp. sur la progéniture F<sub>1</sub> des bruches. Ce Tableau montre que les deux poudres insecticides ont eu un effet inhibiteur très significatif ( $P = 0,0001$ ) sur

l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub> de *C. maculatus* comparées au contrôle négatif. La poudre des feuilles d'*Indigofera* sp. ( $F_{(4, 15)} = 1661,29$ ) s'est relevée plus efficace que celle de *S. longepedunculata* ( $F_{(4, 15)} = 1918,83$ ) à toutes les concentrations utilisées. Cet effet inhibiteur augmente avec l'augmentation de la concentration de produit insecticide utilisée. A la plus petite concentration (2 g/kg), *Indigofera* sp. a enregistré 16 insectes émergés correspondant à un pourcentage d'inhibition de 86,68% contre 25,50 insectes émergés correspondant à un taux d'inhibition de 78,38% dans les graines de niébé traitées avec *S. longepedunculata* à la même concentration. Les pourcentages d'inhibition les plus élevés étaient de 98,55% (1,75 insecte émergé) causés par *Indigofera* sp. Plus que *S. longepedunculata* qui est de 92,99% (7,75 insectes émergés). Il est à noter que 120,50 *C. maculatus* ont émergé dans les bocal contenant les graines de niébé non traitées avec les poudres insecticides (contrôle négatif) (Tableau 2).

#### **Effet des poudres insecticides sur le pouvoir germinatif des graines de niébé**

Les deux poudres insecticides utilisées n'ont eu aucun effet négatif sur la viabilité des graines (Tableau 3). Dans les graines de niébé traitées avec la poudre des feuilles de *S. longepedunculata*, il n'y a pas de différence significative ( $P > 0,05$ ; ( $F_{(4, 15)} = 3,00$ ) comparées avec les graines du contrôle négatif, les pourcentages de germination enregistrés avec ce produit insecticide sont compris entre 90 et 95%, tandis que la poudre des feuilles d'*Indigofera* sp. a enregistré des pourcentages de germination significatifs (compris entre 90 et 97%) ( $P = 0,01$ ; ( $F_{(4, 15)} = 5,40$ ) par rapport au contrôle négatif qui a enregistré 93% de graines germées. Le taux de germination le plus élevé a été enregistré dans les graines de niébé traitées avec la poudre des feuilles d'*Indigofera* sp. à la concentration de 4 g/kg et était de 97%.



**Figure 1:** Pourcentage de mortalité de *Callosobruchus maculatus* sur les graines de niébé traitées en fonction des périodes d'exposition.

**Tableau 1:** Paramètres de mortalité des adultes de *Callosobruchus maculatus* dans les graines de niébé traitées avec les différentes poudres insecticides.

Poudres insecticides	Pentes	R <sup>2</sup>	DL <sub>50</sub> (95% FL) (g/kg)	DL <sub>95</sub> (95% FL) (g/kg)	□ <sup>2</sup>
<b>Jour 1</b>					
<i>S. longepedunculata</i>	2,12 ± 0,19	0,87	1,07(0,98 – 1,25)	1,85(1,58 – 2,35)	35,12***
<i>Indigofera sp.</i>	2,10 ± 0,16	0,89	0,89(0,81 – 1,01)	1,72(1,46 – 2,15)	53,70***
<b>Jour 5</b>					
<i>S. longepedunculata</i>	2,30 ± 0,15	0,88	0,44(0,36 – 0,50)	1,16(1,04 – 1,33)	37,38 <sup>ns</sup>
<i>Indigofera sp.</i>	2,56 ± 0,17	0,86	0,35(0,25 – 0,42)	0,94(0,85 – 1,09)	46,56 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>P > 0,05 ; \*\*\* P < 0,001

**Tableau 2 :** Production de la progéniture F<sub>1</sub> de *Callosobruchus maculatus* dans les graines de niébé traitées avec les deux poudres.

Concentrations (g/kg)	Poudre des feuilles	
	Nombres d'insectes émergés	% d'inhibition de la progéniture F <sub>1</sub>
	Moyenne ± Erreur Standard	
	<i>Securidaca longepedunculata</i>	
0	120,50 ± 1,94 <sup>d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>a</sup>
2	25,50 ± 0,86 <sup>c</sup>	78,38 ± 0,45 <sup>b</sup>

4	14,25 ± 0,85 <sup>b</sup>	87,68 ± 0,86 <sup>c</sup>
6	11,00 ± 0,41 <sup>ab</sup>	90,30 ± 0,40 <sup>cd</sup>
8	7,75 ± 0,75 <sup>a</sup>	92,99 ± 1,06 <sup>d</sup>
<b>Valeurs de <math>F_{(4, 15)}</math></b>	<b>1918,83***</b>	<b>3509,76***</b>
<i>Indigofera</i> sp.		
0	120,50 ± 1,94 <sup>d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>a</sup>
2	16,00 ± 1,08 <sup>c</sup>	86,68 ± 1,07 <sup>b</sup>
4	10,50 ± 1,55 <sup>b</sup>	91,24 ± 1,34 <sup>c</sup>
6	5,50 ± 0,51 <sup>ab</sup>	95,44 ± 0,44 <sup>d</sup>
8	1,75 ± 0,23 <sup>a</sup>	98,55 ± 0,20 <sup>d</sup>
<b>Valeurs de <math>F_{(4, 15)}</math></b>	<b>1661,29***</b>	<b>2751,06***</b>

Les moyennes contenues dans la même colonne suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le test de Tukey.\*\*\*  $P < 0,001$ .

**NB:** a, b, c et d explique, Pour la même période d'exposition, les moyennes portant la même lettre minuscule dans une colonne ne présentent pas de différence significative.

**Tableau 3 :** Pourcentage de germination des graines de niébé traitées avec les deux poudres des feuilles après quatre mois de stockage.

<b>Poudre des feuilles</b>		
<b>Concentrations (g/kg)</b>	<b>Pourcentages de germination (Moyenne ± Erreur Standard)</b>	
	<i>Securidaca longepedunculata</i>	<i>Indigofera</i> sp.
0	93,00 ± 0,58	93,00 ± 0,58 <sup>ab</sup>
2	91,00 ± 0,61	93,00 ± 0,43 <sup>ab</sup>
4	95,00 ± 0,50	97,00 ± 0,58 <sup>b</sup>
6	90,00 ± 2,31	90,00 ± 0,54 <sup>a</sup>
8	91,00 ± 0,48	90,00 ± 2,12 <sup>a</sup>
<b>Valeurs de <math>F_{(4, 15)}</math></b>	<b>3,00<sup>ns</sup></b>	<b>5,40**</b>

Les moyennes contenues dans la même colonne suivie de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le test de Tukey.<sup>ns</sup> $P > 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$ .

## DISCUSSION

Le présent travail étudie l'efficacité insecticide des poudres des feuilles de *S. longepedunculata* et d'*Indigofera* sp. sur les adultes de *Callosobruchus maculatus* dans les graines de niébé en stock. Les poudres de ces deux plantes insecticides se montrent efficaces pour lutter contre les adultes de *C. maculatus*, et protègent les stocks de niébé, *Vigna unguiculata*. La mortalité augmente avec l'augmentation des concentrations utilisées et des périodes d'exposition. Ces deux plantes renfermeraient des composés chimiques toxiques pour ces insectes. L'augmentation de la mortalité serait due à la dose des principes actifs par rapport à la différente concentration. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs auteurs, qui ont enregistré des mortalités des adultes *C. maculatus*, par rapport à l'augmentation des doses et les périodes d'exposition lorsqu'ils étaient exposés à la poudre de *Plectranthus glandulosus* (Katamssadan et al., 2014) et à la poudre de *Hemizygia welwitschii* (Fotso et al., 2018). L'efficacité insecticide de ces deux plantes varie en fonction de la plante utilisée, des concentrations et des périodes d'expositions. En effet, la poudre la plus efficace ayant causé plus de mortalité des adultes de *C. maculatus* est celle d'*Indigofera* sp. On pourrait dire qu'*Indigofera* sp., renfermerait des composés chimiques très efficace contre les *C. maculatus*. La présente étude a révélé qu'à certaines doses de poudre insecticide utilisée, bien des feuilles de *S. longepedunculata* et celle de *Indigofera* sp. n'ont pas enregistré une mortalité très élevée de *C. maculatus*, mais ces doses ont été efficaces, en causant une mortalité significative par rapport au témoin non traité. Des travaux antérieurs ont caractérisé les constituants chimiques de *S. longepedunculata* notamment les saponines, tanins, anthraquinones, alcaloïdes, terpènes, stérols, sucres, xanthonnes, flavonoïdes, terpènes, coumarines (Mitaine-Offer et al., 2010 ; Muanda, et al., 2010 ; Adesina et al., 2017). Tandis que certaines espèces d'*Indigofera* telle qu'*Indigofera tinctoria* ont montré des propriétés insecticides

due à la présence des différents types roténoïdes dont l'effet insecticide variait selon les essais (Kamal et Mangla, 1993). En effet, la toxicité de ces différents roténoïdes présents dans cette plante était plus efficace contre les larves de moustiques *Anopheles stephensis* que sur les adultes de la bruche *Callosobruchus chinensis* (Kamal et Mangla, 1993). Dans cette présente étude, les pourcentages de mortalité enregistrés dans les graines de niébé traitées individuellement avec les deux espèces de plantes utilisées seraient dus à la présence de ces composés phytochimiques dans la poudre de ces plantes.

En plus de causer la mortalité, Faraway (2002) a rapporté que, lors des expériences biologiques, lorsque le coefficient de détermination ( $R^2$ ) est supérieur ou égal à 0,6 alors les résultats favorables obtenus sont attribuables aux produits insecticides utilisés. Dans la présente étude, tous les coefficients de détermination sont supérieurs ou égaux à 0,86. Ce qui veut dire que la poudre des feuilles de *S. longepedunculata* ou celle d'*Indigofera* sp. est grandement responsable de la mortalité de *C. maculatus* obtenue à toutes les concentrations et à toutes les périodes d'expositions. Les valeurs de  $\chi^2$  n'étaient généralement pas significatives pour la poudre de chacune des espèces de plantes insecticides utilisées, ce qui implique que les modèles de régression obtenus se rapprochent du modèle théorique, en ce qui concerne la toxicité des substances utilisées à *C. maculatus* (Finney, 1971).

L'efficacité de tout agent de protection des grains est attribuée à sa capacité à induire la mortalité des stades adultes et/ou immatures des ravageurs, confirmée par l'absence de génération de descendance et la perforation des graines (Nzeli et al., 2020). Les deux poudres insecticides ont significativement inhibé l'émergence de la progéniture  $F_1$  de *C. maculatus*. Plusieurs travaux de recherches ont montré que *S. longepedunculata* possède des propriétés qui inhibent le développement des insectes à partir du stade œuf jusqu'au stade adulte. Les résultats obtenus dans le présent travail sur l'inhibition de la progéniture  $F_1$  de

*C. maculatus* confirment ceux obtenus par Boeke et al. (2004) qui ont rapporté que *S. longepedunculata* réduisait considérablement l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub> de *C. maculatus*, tandis que Stevenson et al. (2009) ont indiqué que l'extrait au méthanol des racines de *S. longepedunculata* contenaient des composés qui inhibent l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub> de *C. maculatus* et *S. zeamais*. Ceci indiquerait aussi une forte présence de propriétés ovicides et de propriétés larvicides dans les poudres des feuilles de *S. longepedunculata* et d'*Indigofera* sp. qui inhiberait le développement des œufs et des larves de *C. maculatus* empêchant ainsi l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub>. Les pourcentages élevés d'inhibition de la progéniture F<sub>1</sub> de *C. maculatus* causés par chaque plante seraient également dus à la mortalité élevée des adultes de *C. maculatus* pendant le test de mortalité enregistrés au dernier jour d'exposition. En effet, Hertlein et al. (2011) ont rapporté que le contrôle efficace des insecticides est attribué à la mortalité des adultes et/ou aux stades immatures des ravageurs, confirmés par l'absence de progéniture F<sub>1</sub>. De manière générale, les poudres insecticides des feuilles des plantes utilisées dans le présent travail n'ont eu aucun effet négatif sur la viabilité des graines de niébé après quatre mois de stockage. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Fotso et al. (2018) qui ont montré que les pourcentages de germination des grains de niébé et de maïs n'étaient pas affectés lorsque les graines étaient traitées avec la poudre des feuilles de *H. welwitschii* après trois mois de stockage. Les résultats obtenus en termes de taux de germination dans le présent travail, sont également en accord avec les études conduites par Onu et Alitu (1995) et Keita et al. (2001) qui ont rapporté que les graines traitées avec les poudres de plantes ne perdaient pas leur viabilité.

### Conclusion

Les poudres des feuilles de *Securidaca longepedunculata* et d'*Indigofera* sp. se sont révélées toxiques contre *Callosobruchus*

*maculatus* en stockage. En effet, les résultats obtenus ont montré que la poudre des feuilles d'*Indigofera* sp. est plus efficace (97,97% de mortalité) lorsque elle est utilisée à la dose de 8 g/kg, que celle de *S. longepedunculata* qui cause 86,12% de mortalité de *C. maculatus* à la même dose. Les poudres de ces deux plantes insecticides ont significativement inhibé l'émergence de la progéniture F<sub>1</sub>. Les deux poudres insecticides testées n'ont eu aucun effet négatif sur la viabilité des graines après quatre mois de stockage. La disponibilité de *S. longepedunculata* et d'*Indigofera* sp. dans la zone d'étude, et l'efficacité positive de ces deux poudres insecticides obtenues dans le présent travail, elles peuvent constituer des alternatives aux insecticides de synthèse pour protéger les graines de niébé stockées pour l'alimentation. Dans un futur proche, il serait nécessaire de faire un screening phytochimique des poudres des feuilles de ces deux plantes insecticides afin de mettre en lumière les composés chimiques responsables de ces effets insecticides contre les ravageurs du niébé en stockage. Une isolation et purification du ou des principes actifs permettra de connaître le ou leurs structures.

### CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs de ce travail déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts.

### CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

ED : investigation, collecte des données, traitement des données brutes, et rédaction de la version originale de l'article ; MM : correction et orientation scientifique de la rédaction ; TGF et ENN : Analyse des données.

### REMERCIEMENTS

Nous remercions vont à l'endroit des guides qui nous ont aidé dans notre investigation sur le terrain pour la réalisation des collectes de données et tous les lectures pour leurs suggestions et leurs remarques pour améliorer les idées scientifiques à la réalisation.

## RÉFÉRENCES

- Abbot W.1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, **18**: 265-267.
- Adesina SK, Johnny II, Olayiwola G. 2017. Plants in respiratory disorders I anti-asthmatics, a review. *Journal of Pharmaceutical Research International*, **16**(2): 1-22. DOI: 10.9734/BJPR/2017/32973
- Afful E, Owusu EO, Obeng-Ofori D. 2012. Bioactivity of *Securidaca longepedunculata* Fres. Against *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Bruchidae) and *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Agricultural Science Research*, **1**(3): 046-054.
- AFNOR (Association Française de Normalisation). 1981. Recueil de normes françaises des corps gras, graines, oléagineux et produits dérivés. 2ème Edition, Paris, France. 438p.
- Agnès FN, Tapondjou AL, Tendonkeng F, Félicité MT.2009. Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera; Bruchidae). *Tropicicultura*, **27**(3) : 137-143.
- Belmain SR, Neal GE, Ray DE, Golob R. 2001. Insecticidal and vertebrate toxicity associated with ethnobotanicals used as post-harvest protectants in Ghana. *Food Chemistry and Toxicology*, **39**: 287-291.
- Boeke SJ, Baumgart IR, Van LJJA, Van HA, Dicke M, Kossou DK. 2004. Toxicity and repellence of African plants traditionally used for the protection of stored cowpea against *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Stored Product Research*, **40**: 423-438.
- Demnati F, Mebrek N, Ouabed A. 2018. Toxicité comparée de trois extraits de poudres végétales récoltées dans les régions semi-arides et arides sur le comportement de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), insecte des denrées stockées. *Revue Ecologique-Environnement*, **15** : 1-6. <http://fsnv.univ-tiaret.dz/index.php/13-la-revue/10-la-revue>.
- Ekooja EE, Onekutub A, OdeHS. 2020. Control of *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) using triglycerides from animal sources. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1080/03235408.2020.1843324>
- Faraway JJ. 2002. Practical regression and Anova using R; 2002. Published on the URL: <http://www.cranproject.org/doc/contrib/Faraway-PR.pdf>. Accessed 3rd February 2010.
- Fatou W, Momar TG, Ibrahima S, Aïssatou KS, Papa SC, Karamoko D, Boubacar B. 2022. Etude de l'efficacité de la poudre d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehnhsur *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) et *Tribolium castaneum* (Herbst) ravageurs du sorgho stocké au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **16**(3): 1137-1148. DOI: 10.4314/ijbcs.v16i3.19
- Finney DJ. 1971. *Probit Analysis*. Cambridge University Press: London.
- Fotso TG, Nukenine EN, Tchameni R, Goudougou JW, Kosini D, Tigamba V, Adler C. 2018. Use of Cameroonian *Hemizygia welwitschii* Rolfe Ashby (Lamiaceae) leaf powder against *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **6**(4): 1261-1269.
- Fouad HA, Hasnaa B, Abdelmeged, Salman AMA. 2020. Insecticidal activity of six botanical powders against the cowpea seed beetle, *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *J. Plt. Prot. Pathol. Mansoura Uni.*, **11**(4): 237-240.
- Gandeho GJ, Tchekessi CKC, Aboubakar SD, Tamadaho MP, Odjoumani E, Joseph D.

2022. Effet insectifuge et insecticide des extraits totaux des épiluchures d'orange sur *Callosobruchus maculatus* Fab.un déprédateur de niébé (*Vigna unguiculata* L., Walp) en stock. *Journal of Applied Biosciences*, **172**: 17881-17892.
- Gbaye OJ, Holloway GJ. 2011. Varietal effects of cowpea, *Vigna unguiculata* on tolerance to malathion in *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Stored Product Research*, **47**: 365-371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.06.003>
- Islam T, Iqbal J, Abdullah K, Khan EA. 2017. Evaluation of some plant extracts against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, **54**(4): 737-741. DOI: 10.21162/PAKJAS/17.5988.
- Jayasekara TK, Stevenson PC, Hall DR, Belmain S. 2005. Effect of volatile constituents from *Securidaca longepedunculata* on insect pests of stored grain. *Journal of Chemistry and Ecology*, **31**(2): 303-313.
- Kamal R, Mangla M. 1993. In vivo and in vitro investigations on rotenoids from *Indigofera tinctoria* and their bioefficacy against the larvae of *Anopheles stephensi* and adults of *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Biosciences*, **18** : 93-101.
- Katamssadan HT, Elias NN, Detlef U, Cornel A. 2014. Effect of drying regime on the chemical constituents of *Plectranthus glandulosus* leaf powder and its efficacy against *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, **5**(1): 80-91.
- Kayombo MA, Mutombo TJM, Muka MP, Somue MA, Kalambaie BMM. 2015.Effet de la poudre de *Tephrosia vogelii* dans la conservation des graines de Niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) en stock contre *Callosobruchus maculatus* F. à Mbujimayi (RD Congo). *Journal of Animal & Plant Sciences*, **25**(1): 3827-3835.
- Keita SM, Vincent C, Schmit J, Arnason JT, Belanger A. 2001. Efficacy of oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insecticidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fabr.). *Journal of Stored Products Research*, **37**: 339-349.
- Leite SP, Medeiros PL, Silva EC, Souza-Maia MB, Menezes-Lima VL, Saul DE. 2004. Embryotoxicity in vitro with extract of *Indigofera suffruticosa* leaves. *Reproductive Toxicology*, **18**(5): 701-705.
- Mitaine-Offer AC, Pénez N, Miyamoto T, Delaude C, Mirjolet JF, Duchamp O, Lacaille-Dubois MA. 2010. Acylated triterpene saponins from the roots of *Securidaca longepedunculata*. *Phytochemistry*, **71**(1): 90-94.
- Muanda FN, Dicko A, Soulimani R. 2010. Assessment of polyphenolic compounds, in vitro antioxidant and anti-inflammation properties of *Securidaca longepedunculata* root barks. *Comptes Rendus de Biologie*, **333**(9): 663-669.
- Musa AK, Olaniyan JO. 2015. Studies on the efficacy of *Jatropha curcas* L. seed oil on adult mortality and emergence of seed beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) in cowpea. *International Journal of Phytofuels Allied Science*, **4**(1): 1-12.
- Ngamo LS, Hance T. 2007. Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, **25**(4): 215-220.
- Nta AI, Ibiang YB, Uyoh EA, Edu NE, Ekanem BE, John QE.2013. Insect pest damage to leaves of cowpea [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)] comparative effects of aqueous extracts of *Piper guineensis*, *Allium sativum* and *Myristica fragrans*. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, **3**(2): 17-20.

- Nukenine EN, Adler C, Reichmuth C. 2007. Efficacy evaluation of plant powders from Cameroon as post-harvest grain protectants against the infestation of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera : Curculionidae). *Journal of Plant Disease and Protection*, **114**(1): 30-36.
- Nukenine EN, Goudougou JW, Adler C, Reichmuth C. 2010. Efficacy of diatomaceous earths and botanical powders against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on maize. 10<sup>th</sup> International Working Conference on Stored. *Julius-Kühn-Archiv.*, **425**: 26-41.
- Nwachukwu MO, Azorji JN, Onyebuagu PC, Ikenna S, Adjeroh LA, Manuemelula NU. 2020. Phytochemical screening and insecticidal activity of *Zingiber officinale*, *Allium sativum* and *Curcuma longa* powders against *Callosobruchus maculatus* Fab. of stored cowpea seeds. *International Journal of Advanced Research*, **8**(5): 44-50. DOI: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/10906>
- Nzelu CO, Emeasor KC, Okonkwo NJ. 2020. Insecticidal Activity of *Piper guineense* (Schumacher and Thonn) Seed Oil Against *Callosobruchus Maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) in Stored Cowpea Seeds. *International Journal of Research-granthaalayah*, **8**(08): 262–270. DOI: <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v8.i8.2020.875>
- Ogunsina OO, Oladimeji MO, Lajide L. 2011. Insecticidal action of hexane extracts of three plants against bean weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) and maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motsch. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, **3**(1): 23-28.
- Ojebode ME, Olaiya CO, Adegbite AE, Karigidi KO, Ale TO. 2016. Efficacy of Some Plant Extracts as Storage Protectants against *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Biotechnology and Biomaterials*, **6**(1): 1-4. DOI:10.4172/2155-952X.1000217
- Ojo DO, Ogunleye RF. 2013. Comparative Effectiveness of the powders of some underutilized botanicals for the control of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Plant Diseases and Protection*, **120**(5/6): 227-232. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03356479>
- Onu I, Aliyu M. 1995. Evaluation of powdered fruit of four peppers, *Capsicum* spp. For the control of *C. maculatus* on stored cowpea seeds. *International Journal of Pest Management*, **41**(3): 143-145.
- Rajashekar Y, Gunasekaran N, Shivanandappa T. 2010. Insecticidal activity of the root extract of *Decalepis hamiltonii* against stored-product insect pests and its application in grain protection. *Journal of Food Sciences and Technology*, **43**: 310-314.
- Rania BN. 2021. Investigation phytochimique, évaluation des activités larvicide et anti-acétylcholinestérase de différents extraits de *Mercurialis annua* L. Thèse de Doctorat.
- Soujanya PL, Sekhar JC, Kumar P, Sunil N, Prasad CV, Mallavadhani UV. 2016. Potentiality of botanical agents for the management of post-harvest insects of maize: a review. *Journal of Food Sciences and Technology*, **53**(5): 2169-2184. DOI: 10.1007/s13197-015-2161-0.
- Stevenson PC, Dayarathna TK, Belmain SR, Nigel CV. 2009. Bisdesmosidic saponins from *Securidaca longipedunculata* Roots: evaluation of deterrence and toxicity to coleopteran storage pests. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **57**: 8860-8867.