

**EFFET BIOCIDÉ DE L'HUILE ESSENTIELLE FORMULÉE DU BIGARADIER
 CITRUS AURANTIUM L. (1753) SUR LE PUCERON NOIR DE LA FÈVE
 APHIS FABAE. (SCOPOLI, 1763).**

BABA-AISSA Karima^{1*}, MOUSSAOUI Kamel¹, BERAHAL Sara¹, VERDEGUER SANCHO Mercedes²
 et DJAZOULI Zahr-Eddine¹

1. Université Saad Dahleb de Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, B.P. 270, route de Soumaa Blida, Algérie. Tél. + 213 25 43 48 03

2. Université Polytechnique de Valence, Institut Agro-Forestier Méditerranéen, Camino de Vera s/n bâtiment 8E, 46022, Valence, Espagne.

Reçu le 25/10/2017, Révisé le 09/12/2017, Accepté le 31/12/2017

Résumé

Description du sujet: La polyphagie et la grande capacité de reproduction des aphides, suscitent l'utilisation de plusieurs méthodes de contrôle, entre autres, les huiles essentielles qui constituent une bonne alternative à la lutte chimique et faisant partie des voies les plus explorées dans la régulation biologique des nuisibles.

Objectif: L'étude a pour but d'estimer le pouvoir insecticide d'un bioproduit formulé à base d'une huile essentielle de Bigaradier (*Citrus aurantium* L.), sur la réduction de la fécondité et la densité des populations des différentes formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae* Scopoli, 1763. L'efficacité temporelle du bioproduit formulé a été estimée par l'évaluation des taux de populations résiduelles

Méthodes: L'huile essentielle est extraite par hydrodistillation à partir de feuilles de Bigaradier. Après formulation, deux doses ont été préconisées (D=0,5g/l et DD=1g/l), et deux modes de traitement ont été utilisés (application foliaire et absorption racinaire) sur des plants de fève infestés par *Aphis fabae* dans le but de mettre en évidence la capacité insecticide de l'huile essentielle du Bigaradier.

Résultats: Les résultats ont montré que les deux modes de traitement ont un effet très marqué sur la densité globale d'*Aphis fabae* où le paramètre dose n'influe guère sur l'activité aphicide de l'huile essentielle du Bigaradier. En revanche, le traitement par absorption racinaire agit plus sur les populations résiduelles et la fécondité du puceron noir de la fève par rapport à l'application foliaire dont les potentialités biocide s'accroissent avec l'augmentation des doses.

Conclusion: La formulation a optimisé l'efficacité de l'huile essentielle du Bigaradier *Citrus aurantium* L. (1753), qui s'est traduite par sa forte toxicité dont l'application racinaire s'avère la plus efficace.

Mots clés: *Aphis fabae*, bioformulation, *Citrus aurantium* L., huile essentielle, toxicité.

**BIOCIDAL EFFECT OF FORMULATED ESSENTIAL OIL OF BITTER ORANGE CITRUS
 AURANTIUM L. (1753) ON THE BLACK BEAN APHID
 APHIS FABAE. (SCOPOLI, 1763)**

Abstract

Description of the subject: Polyphagia and the high reproductive capacity of the aphids, lead to the use of several control methods, among others, essential oils constitute a good alternative to the chemical fight and are one of the most explored ways in pest biological regulation.

Objective: The aim of this work was to estimate the insecticidal power of a bioproduct formulated with bitter orange (*Citrus aurantium* L.) essential oil on the reduction of the fertility and density of the populations of the various biological forms of the black aphid of the bean *Aphis fabae*. The temporal efficiency of the formulated bioproduct was estimated by the evaluation of the residual population levels.

Methods: The essential oil was extracted by hydrodistillation of *Citrus aurantium* L. After formulation, two doses were tested (D = 0.5g/l and DD = 1g/l) and were applied using two different methods: sprayed on leaves and root absorption in bean plants (*Vicia faba* L.) infested with *Aphis fabae* to evaluate the insecticidal activity of bitter orange essential oil.

Results: The two treatment methods showed high impact on the overall density of *Aphis fabae*, while the parameter dose had little effect on the aphicidal activity of the oil of bitter orange. On the other hand, the root absorption treatment act more on the residual populations and the fecundity of the black bean aphid compared to the foliar application whose biocidal potential was accentuated with the increase of the doses.

Conclusion: The formulation optimized the effectiveness of the essential oil of bitter orange, which resulted in its high toxicity. Root application proved to be the most effective.

Keywords: *Aphis fabae*, bioformulation, *Citrus aurantium* L., essential oil, toxicity.

* Auteur correspondant: BABA-AISSA Karima, E-mail: krimouss67@aol.fr

INTRODUCTION

En Algérie, la culture des légumineuses alimentaires a un intérêt national car leurs grains constituent une source protéique de qualité et à bas prix pour une large couche de la population. [1].

La fève est la culture qui fait depuis longtemps partie des systèmes agraires algériens dans différentes zones agro-écologiques du pays. Elle est la plus importante parmi les légumineuses alimentaires avec une superficie de 34617,1 hectares. Sa production moyenne annuelle nationale est de 338062,8 quintaux, et un rendement moyen de 8,56 qx/ha [2]. En plus des contraintes abiotiques (froid, gelées, chaleurs et salinité), les fèves sont exposées aux effets néfastes des adventices, des maladies fongiques et virales, des nématodes et enfin des insectes [3].

Parmi les insectes inféodés à la fève, les pucerons occupent une place très particulière. [4]. Ils sont considérés parmi les insectes ravageurs les plus importants induisant des pertes économiques notables dues d'une part à leurs dégâts directs de prises de nourriture engendrant l'affaiblissement de la plante, l'avortement des fleurs, l'enroulement et la chute des feuilles réduisant la surface photosynthétique et le dessèchement des pousses [5]. D'autre part, leurs dégâts indirects provoquent l'installation d'un champignon du genre *Fumago* se développant sur le miellat excrété par les pucerons induisant la formation de fumagine et la transmission de phytovirus [6].

La lutte chimique contre les pucerons pose souvent des problèmes du fait que ces insectes se fixent généralement à la face inférieure des feuilles et qu'ils sont difficiles à atteindre par les traitements [7] par conséquent, l'usage très répandu de ces pesticides a entraîné l'apparition de formes de résistance chez les insectes traités [8]. Les recherches de moyens de limitation de l'utilisation de ces insecticides dangereux prennent de plus en plus d'importance. A cet effet, de nombreux travaux récents se sont penchés sur la recherche de substances naturelles ayant des pouvoirs insecticides et respectueux de la santé humaine et de l'environnement. Que ce soit dans les pays développés ou en voie de développement, les huiles essentielles détiennent actuellement une place importante dans les systèmes de lutte représentant une solution alternative pour la protection des cultures [9].

Cependant, pour améliorer les performances des principes actifs, garantir la stabilité et augmenter l'efficacité de ces phytopesticides en permettant notamment une réduction des doses d'emploi limitant ainsi leur impact sur la faune et la flore, le recours à la formulation des huiles essentielles comme molécules naturelles d'intérêt écologique et économique aux propriétés insecticides se révèle une étape cruciale et très prometteuse et n'est plus à démontrer dans la recherche phytopharmaceutique [10]. C'est dans ce contexte que nous nous proposons par ce travail d'évaluer les potentialités aphicides d'un bioproduit formulé à base de l'huile essentielle du Bigaradier, *Citrus aurantium* L. (1753) à l'égard du puceron noir d'*Aphis fabae* Scop. (1763), et pour cela nous avons essayé de répondre aux hypothèses suivantes : (i) Est-ce que le mode d'application foliaire et l'absorption racinaire influencent l'activité aphicide du bioproduit ?, (ii) Est-ce que la concentration du principe actif de la formulation impacte l'activité aphicide du bioproduit ?, (iii) Les performances du bioproduit sont visibles sur la réduction des infestations ou sur la perturbation du potentiel biotique d'*Aphis fabae* ?

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le travail a commencé au laboratoire par l'extraction de l'huile essentielle de Bigaradier *Citrus aurantium* L puis sur terrain au niveau de la station expérimentale de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Blida1 afin de tester les différents traitements et évaluer de leur pouvoir biocide sur le puceron noir de la fève. *Aphis fabae*.

1. Matériel biologique

1.1. Matériel végétal spontané

Les feuilles de Bigaradier (*Citrus aurantium*), arbre fruitier de la famille des Rutacées ont été prélevées durant la saison hivernale entre le 29/01/2016 et le 22/02/2016 dans la commune de Bougara située au niveau de l'Atlas Blidéen (Bougara 36°32'26" N, 3°5'7" E) [11]. *Citrus aurantium* échantillonnée a été identifiée par référence au spécimen disponible dans l'herbier du Département de Botanique, de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (E.N.S.A.) El Harrach, Alger.

1.2. Modèle biologique végétal et conduite de la culture

Dans une serre, un semis de graines pré germées de la fève *Vicia fabae*. L (Variété Séville) a été effectué dans des alvéoles remplies de tourbe. Après levée et au stade 4 feuilles, 198 plantules ont été repiquées dans des sacs en plastique de 1500 ml capacité, remplis d'un mélange de tourbe et de terre puis déposés sur un paillage en plastique noir afin d'éviter tout développement de mauvaises herbes. Les conteneurs présentent des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de la quantité d'eau excédentaire. L'espacement est de 50 cm entre les lignes et de 25 cm entre les plants. La culture est conduite sans aucun traitement insecticide et sans fertilisation. Durant toute la période de l'essai, une température oscillant entre 24 et 37°C avec une humidité relative de l'air de 75 à 89% ont été enregistrées. Les plantules ont été irriguées régulièrement selon les besoins de la culture.

1.3. Modèle biologique animal

Des adultes d'*Aphis fabae* ont été obtenus à partir des colonies établies sur des cultures de fève (Variété Séville) cultivées sous abri serre situées au niveau de la commune de Larabaa à l'est de la wilaya de Blida en vue d'une infestation artificielle des plants de fève à traiter.

2. Méthodes d'étude

2.1. Distillation des huiles essentielles.

La distillation de l'huile essentielle a été effectuée par la technique d'hydrodistillation sur un appareil de type Clevenger selon la méthode recommandée dans la Pharmacopée européenne [12]. Au cours de chaque essai, 100 g de feuilles séchées ont été traités pendant une durée de 90 min. L'huile essentielle a été stockée à 4°C dans l'obscurité en présence de sulfate de sodium anhydre.

2.2. Bio essais de l'activité insecticide des huiles essentielles du Bigaradier

2.2.1. Formulation du bioproduit

Afin d'optimiser l'activité biologique de l'huile essentielle du Bigaradier, nous avons opté pour une formulation liquide, par référence à Barr [13] qui stipule que beaucoup d'attention a été axée sur les mouillants en raison de leur stabilité de stockage, une bonne miscibilité avec de l'eau et de l'application pratique. La formulation consiste à mélanger un tensioactif et un co-tensioactif d'origine végétale avec l'huile essentielle du Bigaradier comme principe actif [14].

2.2.2. Établissement des traitements

Afin d'évaluer l'efficacité du bioproduit formulé sur le puceron noir de la fève pour les deux modes d'administration des traitements (application foliaire et absorption racinaire), deux dilutions ont été respectivement préparées à savoir une dose complète (D) contenant 0,5g de la formulation mère (10% huile essentielle + 90% bioadjuvants) dilué dans 1L d'eau courante et une double dose (DD) composée de 1g de la formulation mère (10% huile essentielle + 90% bioadjuvants) dilué aussi dans 1 L d'eau. Le témoin étant une formulation à blanc (sans matière active), dont les doses sont aux mêmes concentrations que celles des traités.

2.2.3. Dispositif expérimental

L'essai est réalisé en factoriel bloc. Le dispositif expérimental est composé de 40 unités expérimentales relatives aux huit traitements des deux facteurs (application foliaire avec deux traitements D et DD, absorption racinaire avec deux traitement D et DD, témoin foliaire avec deux traitements D et DD et le témoin racinaire avec deux traitements D et DD) réalisés en cinq répétitions. Chaque traitement renferme 20 plants de fève, soit un total de 800 plants. L'application foliaire a été réalisée par un pulvérisateur manuel alors que l'application racinaire a été réalisée par récipient de 200ml afin d'administrer la même quantité de traitement à toutes les plantes de la fève.

Le suivi des populations d'*Aphis fabae* a été conduit sur une période de 11 jours, soit un jour avant traitement et 10 jours après traitement.

2.2.4. Technique d'échantillonnage

La méthode consiste à prélever aléatoirement trois tiges de 20 cm de long de chaque bloc avant l'application des traitements puis renouveler les prélèvements à un intervalle de temps de 24h après leur application dans le but de suivre l'incidence de ces derniers sur l'évolution de la disponibilité du puceron noir et leur densité. Par ailleurs les différentes formes biologiques seront estimées à savoir le nombre des jeunes larves (L1 et L2), des larves âgées (L3 et L4), des nymphes ainsi que des adultes ailés et aptères.

2.2.5. Estimation de la densité des populations du puceron noir de la fève

À l'aide d'une loupe binoculaire (G×40), les différentes formes biologiques d'*Aphis fabae* ont été identifiées et dénombrées après chaque prélèvement. La densité est estimée par le rapport du nombre de pucerons par tige/ la longueur de la tige, et est exprimée en nombre d'individu par cm.

2.2.6. Estimation des populations résiduelles du puceron noir de la fève

L'effet des traitements appliqués a été estimé par la comparaison des populations résiduelles (P.R.) selon le Test de DUNNETT [15].

P.R.= Nombre de formes mobiles (NFM) par traitement x 100/ Nombre de formes mobiles (NFM) par témoin (eau).

Avec: P.R. <30% molécule toxique, 30% < P.R. <60% molécule moyennement toxique, P.R. > 60% molécule neutre ou faiblement toxique.

2.2.7. Estimation de la fécondité des adultes du puceron noir de la fève

La fécondité est estimée par le rapport du nombre de larves au nombre d'adultes, selon la formule

$$FEC = NL / NF$$

Avec :

NL : nombre des larves

NF : nombre des femelles

2.3. Analyses statistiques des données

L'analyse statistique a concerné l'évaluation de l'activité insecticide d'un bioproduit formulé à base d'huile essentielle de Bigaradier sur les différentes formes biologiques et le potentiel biotique d'*Aphis fabae*. Les analyses de la variance sont faites sur des moyennes homogènes adoptées sur la base d'un coefficient de variance (C.V. <15%). La description statistique des tendances de la variation temporelle des densités globales et du potentiel biotique des populations d'*Aphis fabae* sous l'effet des différentes doses du bioproduit formulé a été établie par une présentation en BoxPlot. L'analyse a été conduite par le logiciel (PAST vers. 1.37) [16]. La signification des comparaisons des moyennes a été confirmée par un test de comparaison par paire (Test ANOVA et le Test Newman-Keuls). Les contributions significatives et marginalement significatives retenues sont respectivement au seuil d'une probabilité de 5% et de 8%, les calculs ont été réalisés par le logiciel XLSTAT vers. 16 [17].

RÉSULTATS

1. Variation des densités globales d'*Aphis fabae* sous l'effet du bioproduit formulé

La fluctuation temporelle des densités observée chez les populations d'*Aphis fabae* sous l'effet du bioproduit formulé à base d'huile essentielle du Bigaradier montre un effet aphicide important dont la réduction numérique signalée sous l'effet des différents traitements se détache nettement de la réduction signalée chez les différents témoins (Fig. 1).

L'activité aphicide se trouve influencée par le mode d'apport du bioproduit, et par conséquent elle paraît obéir à un gradient positif Application foliaire < Absorption (Fig. 1a et b).

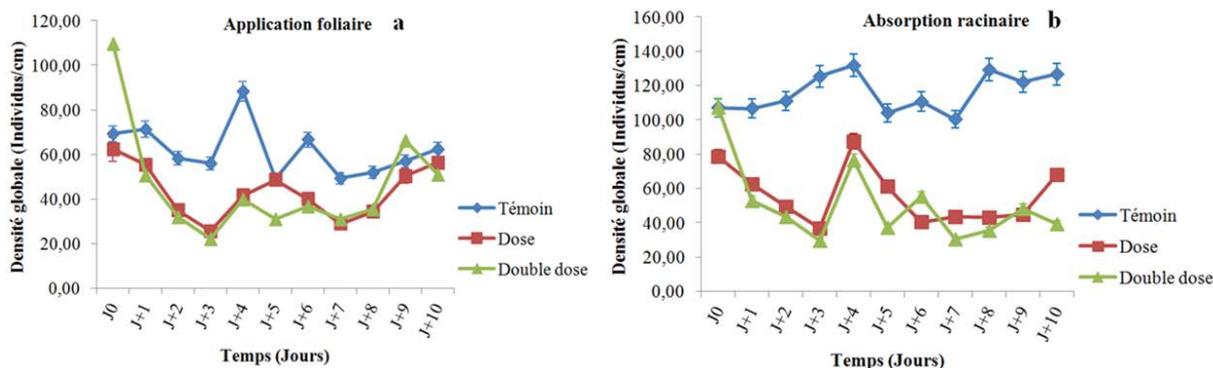


Figure 1 : Fluctuation temporelle des densités globales d’*Aphis fabae*

La présentation graphique en BoxPlot des données expérimentales est avancée dans le but d’apprécier la variation des densités globales d’*Aphis fabae* observées sous l’effet des différentes doses du bioproduit formulé à base d’huile essentielle du Bigaradier appliquées par voie foliaire et absorption racinaire (Fig. 2a et b). La comparaison des densités globales observées sous l’effet du bioproduit appliqué par voie foliaire annonce une similarité d’effet entre de la dose ($Q_1=34,33$, $Q_2=41,67$, $Q_3=55,33$) et de la double dose ($Q_1=31$, $Q_2=36,67$, $Q_3=51$) (Fig. 2a). À partir des résultats du test ANOVA, nous remarquons que le facteur dose enregistre un effet significatif sur la réduction des densités globales d’*Aphis fabae* pour le traitement foliaire ($p<5\%$) (Fig. 2a). Le test de comparaison multiple Post-Hoc de Newman-Keuls, désigne la présence de 2 groupes homogènes relatifs aux paliers d’activité aphicide du bioproduit.

Le premier palier est signalé chez le témoin, montrant les densités globales les plus importantes, affilié au groupe homogène (a). Le deuxième palier est remarquable chez les populations exposées à la dose et à la double dose, montrant les densités globales les plus faibles, affiliées au groupe homogène (b). Cependant, l’apport du bioproduit appliqué par absorption racinaire affiche une réduction des densités globales pareillement sous dose ($Q_1=43$, $Q_2=49,33$, $Q_3=68$) et double dose ($Q_1=35,67$, $Q_2=43,67$, $Q_3=55,33$). L’activité aphicide reste moins conséquente par comparaison à l’activité aphicide enregistrée par application foliaire (Fig. 2b). Le même test indique que les densités globales signalées sous l’effet du bioproduit (groupe homogène b) diffèrent très significativement des densités globales enregistrées chez le témoin (groupe homogène a) (Fig. 2b).

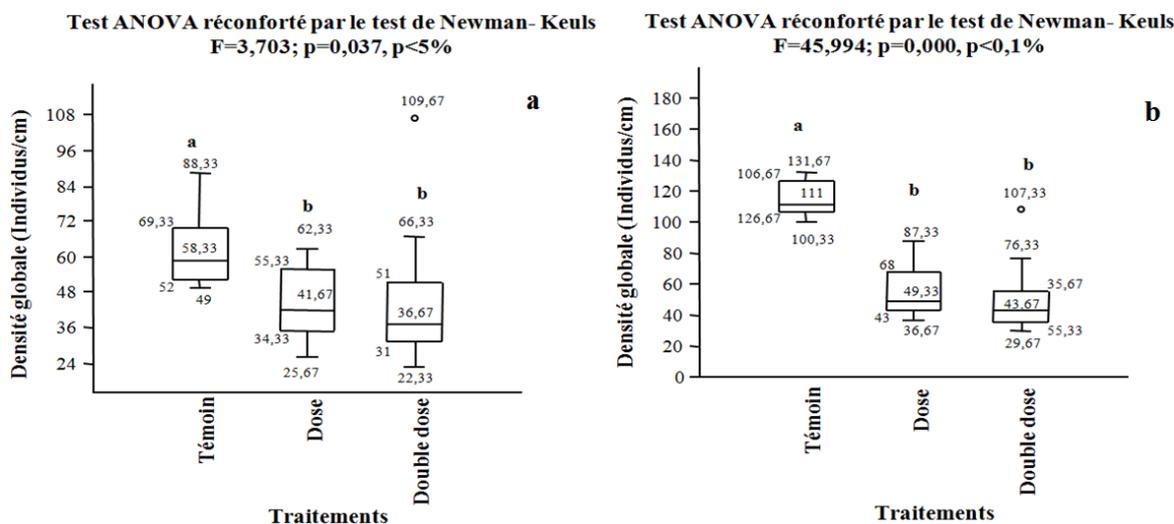


Figure 2 : Incidence du bioproduit formulé à base d’huile essentielle du Bigaradier sur les densités globales d’*Aphis fabae* / (a) Application foliaire, (b) Absorption racinaire

Dans le but d'estimer l'impact du bioproduit formulé à base d'huile essentielle du Bigaradier sur les différentes formes biologiques d'*Aphis fabae*, nous avons avancé le test de comparaison par paire pour chaque stade biologique en fonction du facteur mode d'application et du facteur dose. Les écarts très significatifs enregistrés entre les formes biologiques L₁-L₂, L₃-L₄, Nympe, adultes aptères et adultes

ailés traités (Df, DDf, Dr et DDr) et les témoins (Tf et Tr) informent la similitude d'effet aphicide des doses et du mode d'application (Tableau 1).

Tableau 1 : Comparaison des densités des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae* sous l'effet du bioproduit formulé à base d'huile essentielle du Bigaradier (Moyenne±SE)

		L1-L2	L3-L4	Nymphes	Aptères	Ailés
Application foliaire	Tf	21,97±1,41 a	17,73±1,31 b	11,00±1,09 a	7,39±0,59 a	3,61±0,47 a
	Df	15,70±3,23 b	12,46±1,96 c	9,46±1,24 b	6,24±0,86 b	2,88±0,59 b
	DDf	15,18±1,94 b	11,45±1,15 c	8,21±0,86 b	5,55±0,77 b	2,42±0,22 b
Absorption racinaire	Tr	46,12±1,53 a	31,45±1,70 a	20,33±1,17 a	11,24±0,36 a	6,73±0,40 a
	Dr	19,85±2,81 b	14,15±1,58 bc	10,55±1,23 b	7,88±0,71 b	3,33±0,34 b
	DDr	16,03±3,40 b	13,45±2,03 bc	10,67±1,05 b	7,39±0,71 b	3,12±0,40 b

Tf : Témoin foliaire, Df :Dose foliaire, DDf : Double dose foliaire, Tr : Témoin racinaire, Dr :Dose racinaire, DDr : Double dose racinaire

2. Variation temporelle des populations résiduelles d'*Aphis fabae* sous l'effet du bioproduit formulé

Les résultats relatifs aux variations temporelles des populations résiduelles d'*Aphis fabae* sous l'effet des différentes doses du bioproduit formulé apportées par application foliaire et absorption racinaire, montrent clairement une plus grande toxicité de l'huile essentielle du Bigaradier administrée par absorption racinaire (Fig. 3b) par rapport à celle attribuée par pulvérisation foliaire (Fig. 3a) et cela pour toute la période du suivi.

Cependant, la toxicité de l'application foliaire reste moyenne pour les deux doses testées (Dose) et (Double dose) avec des taux de populations résiduelles respectifs : (50% ≤ PR ≤ 60%) et (40% ≤ PR ≤ 60%) et cela du 2^{ème} jusqu'au 7^{ème} jour après traitement où la perte de toxicité est affichée (PR ≥ 60%) (Fig. 3a). En revanche, pour l'absorption racinaire, la double dose (DDR) se montre moyennement toxique durant les deux premiers jours (40% ≤ PR ≤ 50%), fortement toxique du 3^{ème} au 6^{ème} (20% ≤ PR ≤ 30%) puis redevient moyennement toxique jusqu'à la fin du suivi tandis que la dose reste plus ou moins toxique durant toute la période du suivi (Fig. 3b).

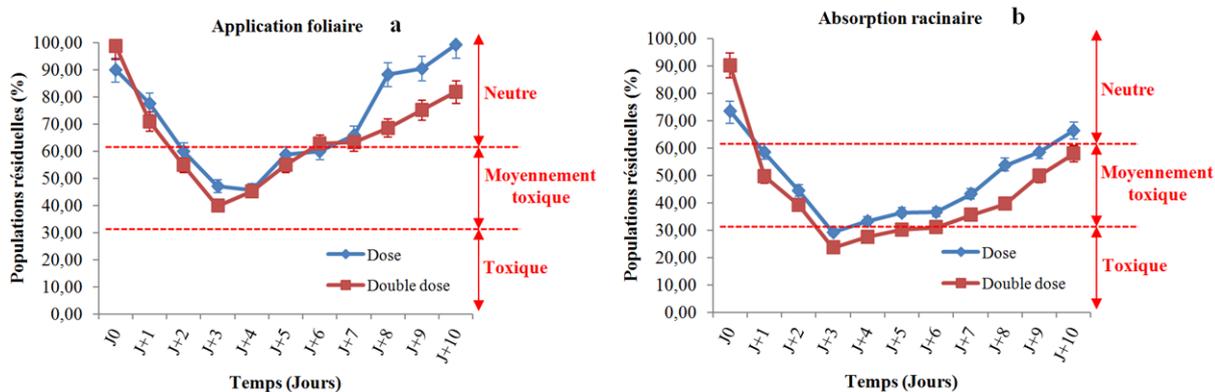


Figure 3 : Fluctuation temporelle des populations résiduelles d'*Aphis fabae*

Les résultats graphiques de l'analyse de la variance relatifs aux facteurs étudiés sont consignés dans la figure 4. Les populations résiduelles d'*Aphis fabae* n'enregistrent aucune différence significative en termes d'effet des doses du bioproduit appliquées par voie foliaire ($p > 5\%$) (Fig. 4a). En revanche, sous l'effet de l'application par absorption racinaire, le bioproduit formulé exprime une activité aphicide très significative qui s'accroît graduellement en fonction de la concentration du principe actif (Fig. 4b). Le test Post-Hoc de

Newman-Keuls, désigne la présence de 2 groupes homogènes relatifs aux paliers d'efficacité du bioproduit formulé à base d'huile essentielle du Bigaradier. Le premier palier est signalé à travers l'application de la dose (0,5g/l) dévoilant le taux de populations résiduelles le plus important, affilié au groupe homogène (a). Le deuxième palier est remarquable par l'application de la double dose (1g/l) montrant le taux de populations résiduelles le plus faible, affiliée au groupe homogène (b) (Fig. 4b).

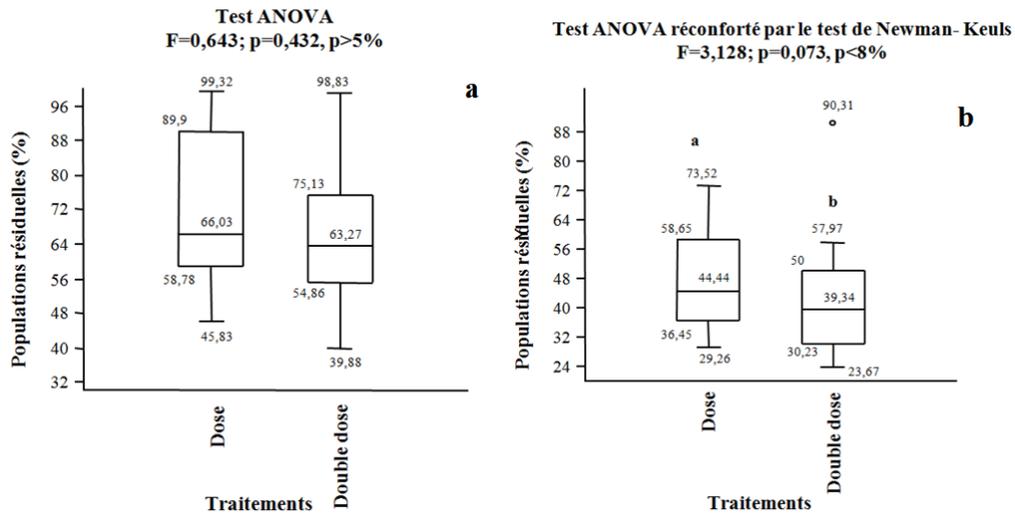


Figure 4 : Incidence du bioproduit formulé à base d'huile essentielle du Bigaradier sur les populations résiduelles d'*Aphis fabae*
(a) Application foliaire, (b) Absorption racinaire

3. Variation de la fécondité d'*Aphis fabae* sous l'effet du bioproduit formulé

Pour mettre en évidence l'effet perturbateur du bioproduit formulé à base d'huile essentielle de Bigaradier (*Citrus aurantium*) sur la progéniture du puceron noir de la fève, nous avons estimé le potentiel biotique par évaluation de la fécondité. Par comparaison de la fécondité des adultes

exposés aux différents traitements à la fécondité des adultes témoins, nous constatons que les deux modes de traitement (foliaire et racinaire) présentent un effet certain sur la fécondité du puceron noir avec une efficacité progressive dans le temps et une suprématie d'action de l'huile essentielle formulée administrée par absorption racinaire et de sa double dose par rapport à la dose testée (Fig. 5a et b).

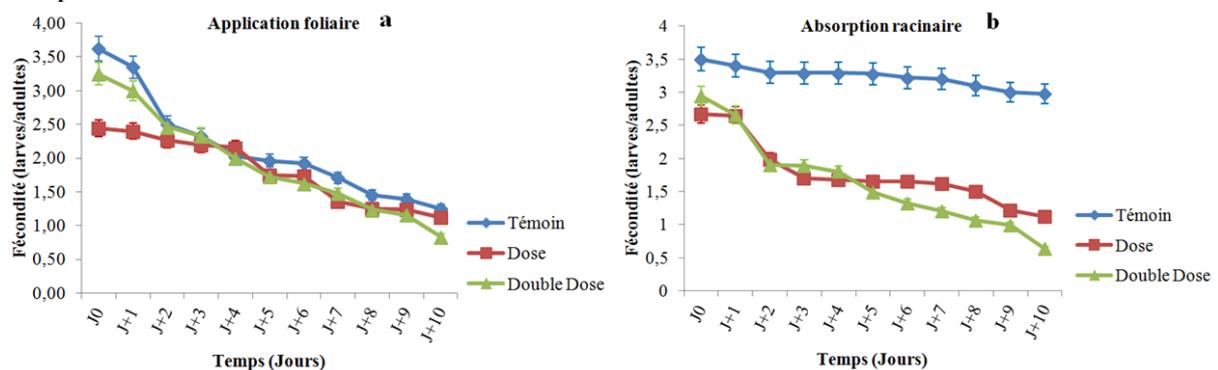


Figure 5 : Fluctuation temporelle de la fécondité des adultes d'*Aphis fabae*

A propos, du facteur mode d'administration du bioproduit formulé. L'analyse de la variance estime que la voie foliaire n'affecte pas la fécondité d'*Aphis fabae* ($p > 5\%$) (Fig. 6a). Cependant, la voie d'absorption racinaire, pontifie significativement le potentiel biotique du puceron noir de la fève. Les résultats du test de Newman-Keuls reportés dans la figure 6b

montrent la présence de 2 groupes homogènes d'efficacité (a et b), dont la fécondité la plus marquée est allouée au témoin formant ainsi le groupe homogène (a), par conséquent le groupe homogène (b) renferme simultanément la dose et la double dose dont la fécondité est moins importante (Fig. 6b).

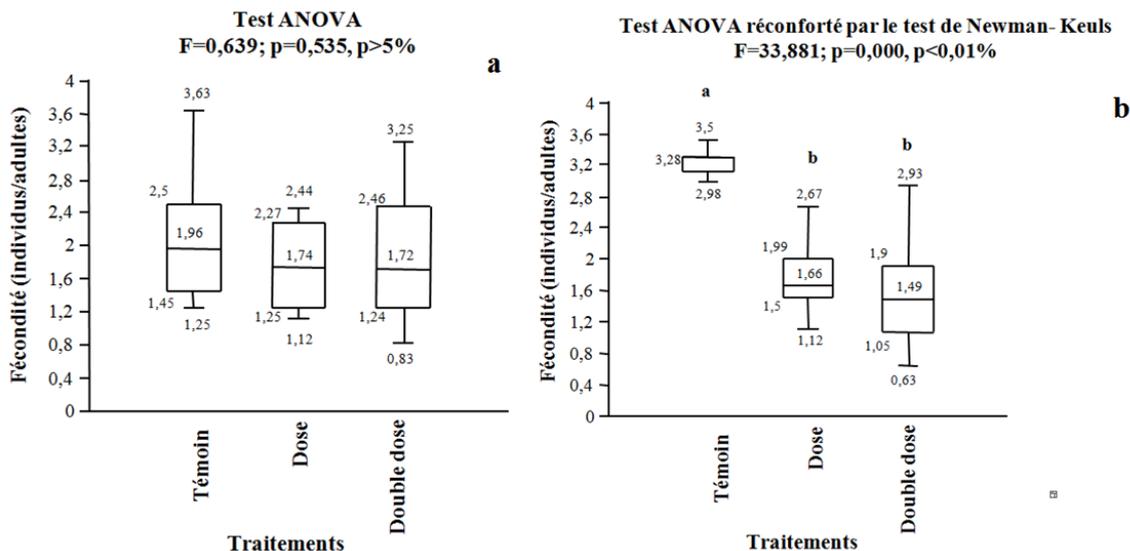


Figure 6 : Incidence du bioproduit formulé à base d'huile essentielle du Bigaradier sur la fécondité des adultes d'*Aphis fabae*

(a) Application foliaire, (b) Absorption racinaire

DISCUSSION

Les résultats relatifs aux potentialités aphicides du bioproduit formulé à base d'huile essentielle du Bigaradier ont montré une efficacité sur les taux d'infestations des différentes formes biologiques ainsi que sur le potentiel biotique des formes adultes. Par référence aux modalités des traitements (application foliaire et absorption racinaire) et aux concentrations du bioproduit (dose et double dose), les fluctuations des populations d'*Aphis fabae* évoluent dans la même trajectoire en accusant une forte toxicité par rapport à celles des témoins. Les deux modes de traitement ont montré une diminution remarquable des densités des populations du puceron noir de la fève. De même, les résultats relatifs aux fluctuations des populations résiduelles sous l'effet de la formulation de l'huile essentielle du Bigaradier, une similarité d'action sur la diminution des populations résiduelles des formes biologiques du puceron noir de la fève a été constatée. La double dose de l'absorption racinaire donne une toxicité plus élevée par rapport à la dose racinaire et aux doses de l'application foliaire.

L'effet répressif de l'huile essentielle formulée du Bigaradier rejoint les nombreuses études qui ont fait un état des lieux sur la qualité des composantes des huiles essentielles. Ainsi, nos résultats sont confirmés par ceux trouvés par [18] qui ont montré que la toxicité de la formulation d'huile essentielle du Bigaradier est dépendante de la dose signalant que plus la dose augmente plus la formulation présente un effet biocide plus important qui se traduit par la réduction de la densité des populations aphidiennes. Haubruge et al [19] ont montré que l'acétate de linalyle (56,80%) dont la concentration est la plus élevée serait la matière active qui joue un rôle déterminant dans l'activité biocide de l'huile essentielle du Bigaradier. Isman [20], suppose que les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule des arthropodes à corps mous étant donné que plusieurs huiles essentielles semblent plus efficaces contre ce genre d'arthropodes et moins efficaces avec des insectes à carapace dure tels que les Coléoptères et les Hyménoptères adultes [21]. La toxicité par contact des huiles essentielles peut être très élevée avec des CL_{50} de 9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Des résultats de l'étude, il en ressort que le traitement foliaire du bioproduit aurait un effet de toxicité directe par contact sur le puceron et une toxicité indirecte par systémie alors que le traitement par voie racinaire n'agirait que par systémie.

Toutefois, les chémotypes de l'huile essentielle formulée qui ont été absorbés par la plante sont véhiculés par la sève jusqu'à la partie apicale où l'insecte piqueur suceur se nourrit, ce qui pourrait affecter la qualité de cette sève dans sa composition et conditionner donc la prise systémique de la nourriture par l'insecte. En général, les huiles essentielles sont connues comme des neurotoxiques à effets aigus interférant avec les transmetteurs octopaminergiques des Arthropodes [22].

Les travaux d'Obeng-Ofori et al. [23], ont montré que certains composants des huiles essentielles au contact avec les insectes, agissent en bloquant la synthèse de l'hormone juvénile, ils inhibent l'acétyl-cholinestérase en occupant le site hydrophobique de cette enzyme qui est très active. Les effets toxiques des huiles essentielles dépendent de l'espèce de l'insecte, de la plante et du temps d'exposition [24].

L'huile essentielle formulée du Bigaradier est efficace contre tous les stades biologiques d'insectes, sans mention d'une suprématie de toxicité à l'égard d'un stade particulier. Stamopoulos et al. [25], ont souligné que la susceptibilité des insectes aux actions des huiles essentielles varie en fonction de l'âge des stades larvaires où les larves les plus âgées résistent mieux et peuvent tolérer de fortes concentrations d'huile essentielle. Ceci s'expliquerait probablement par la taille des larves plutôt que par différence dans le mode d'action de l'huile. Selon Ngamo et Hance [26], une huile essentielle n'exerce pas forcément la même activité aux différents stades du cycle biologique de l'insecte, comme il existe une grande variation dans les sensibilités des espèces d'insectes pour une même huile essentielle.

Les travaux réalisés par Ketoh [27], sur l'activité biologique de différentes huiles essentielles ont montré que les huiles essentielles d'*Ocimum basilicum* (Lamiaceae) et de *Cymbopogon schoenanthus* (Poaceae) présentaient une action sur tous les stades de développement de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Chrysomelidae).

Les résultats de l'évolution temporelle de la fécondité des populations d'*Aphis fabae* sous l'influence des doses de l'huile essentielle formulée de *Citrus aurantium* administrées par application foliaire et absorption racinaire ont montré que le mode absorption racinaire aux doses testées affiche un effet répressif par rapport au témoin. La réduction de la fécondité sous l'effet de traitements est probablement due à une stratégie évolutive de l'espèce face à un stress causé par l'application du bioproduit. En effet, selon la théorie d'allocation du sujet énergétique, les femelles consacrent leur énergie dans la dégradation de la matière du principe actif au détriment du développement ovarien. Cette hypothèse trouve son appui dans les travaux effectués par plusieurs auteurs, qui ont mis en évidence l'action des huiles essentielles sur le paramètre démographique de certains ravageurs. La réduction de la fécondité des femelles résulte de la réduction de la longévité des adultes [28]. Selon Kellouche et Soltani [29], la réduction de la fécondité n'est pas seulement liée à la période de ponte ou de survie des femelles adultes, mais elle peut être également le résultat d'une perturbation du processus de vitellogenèse. Les huiles essentielles et leurs constituants, exercent des effets insecticides et réduisent ou perturbent la croissance de l'insecte à différents stades de leur vie ([30], [31] & [32]). Elles ont des effets antiappétants, affectant la croissance, la mue, la fécondité ainsi que le développement des insectes et acariens. [33].

Ces produits ont donc leur place comme outils de phytoprotection en milieu agricole soit en serres ou en plein champ, par application topique [34]; [35]; [36] ou au sol [37](Lee et al., 1997).

CONCLUSION

Ce travail à été mené dans le cadre de l'estimation de la toxicité de l'huile essentielle formulée du Bigaradier par différents modes d'administration sur la population du puceron noir de la fève *Aphis fabae* Scopoli (1763). Les résultats de cette étude semblent être intéressants et confirment le pouvoir insecticide de l'huile essentielle formulée du Bigaradier apportée par différents modes d'application sur le puceron noir de la fève. Cependant, la toxicité des traitements diffère selon le mode d'application du bioproduit et de la concentration des doses.

La double dose administrée par voie foliaire est plus toxique sur la densité du puceron noir de la fève alors que celle de l'application racinaire se révèle plus efficace sur les populations résiduelles des formes biologiques étudiées et la fécondité. De plus, l'évaluation temporelle des populations résiduelles a montré une toxicité précoce dès les 72 h d'application pour tous les traitements appliqués.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Boudjenouia A., Fleury A., Tacherifte A. (2003).** Les légumineuses alimentaires dans les zones périurbaines de Sétif (Algérie): analyse d'une marginalisation NEW MEDII N. 4/ p27.
- [2]. **Anonyme. (2014).** Ministère de l'agriculture. Direction des services agricoles et des enquêtes. Analyse statistique de l'évolution de la culture des principaux produits agricoles durant la période 2004-2014.
- [3]. **Maatougui M.E.H. (1996).** Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance. *Rev. Céréale* .29 :6-14
- [4]. **Fouarge C. (1990).** Les pucerons sont-ils si dangereux. *Revue Agronomie Belge* 47: 4-6.
- [5]. **Delorme R. (1997).** Pucerons et insecticides : prévention et gestion des résistances. Cultures Légumières, numéro hors série: environnement, juin 1997, France: 11 - 15.
- [6]. **Leclant F. (1999).** *Les pucerons des plantes cultivées. Clefs d'identification.* Ed. ACTA.INRA. Paris.64p
- [7]. **SAUVION N. (1995).** Effets et modes d'action de deux lectines à mannose sur le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum* (Harris).potentiel d'utilisation des lectines végétales dans une stratégie de création de plantes transgéniques résistantes aux pucerons. Thèse Doc., l'Inst. Nati. Scie. Appl., Lyon, 179p.
- [8]. **Leonard et Ngamo, (2004).** *Conseil phytosanitaire interafricain, bulletin d'informations phytosanitaires* Ed. F.A.O. Rome N°44, 58p
- [9]. **Lahlou M. (2004).** Methods to study phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy Research* 18 : 435-448.
- [10]. **Holloway. P.J. (1993)** Adjuvants for agrochemicals : why do we need them? Meded Fac. Landbouwwet. Rijksuniv. Gent, 58/2a, 125-140.
- [11]. **Grabger S. (2011).** *Atlas de l'Algérie 1830-1960*, Éditions Archives & Culture, février 2011, 80 p.
- [12]. **European Pharmacopoeia. (2004):** (5th ed.), 217–218. Council of Europe: Strasbourg Cedex, France.
- [13]. **Brar S.K., Verma M., Tyagi R.D. & Valéro J.R. (2006).**Recent advances in downstream processing and formulations of *Bacillus thuringiensis* based biopesticides. *Process Biochemistry*. 41(2):323-342.
- [14]. **Moussaoui K., Ahmed Hadjlal O., Zitouni G. & Djazouli Z.E. (2014).** Estimation de la toxicité des huiles essentielles formulées de thym et d'eucalyptus et d'un produit de synthèse sur le parasite de l'abeille tellienne *Varroa destructor* (Arachnida, Varroidae) *Revue Agrobiologia* 4(1) :17-26
- [15]. **Magali, C. (2009).** Lutte intégrée en serres florales et en verger de pomme. Revue éditée dans le cadre du Programme National Agriculture et Développement Durable
- [16]. **Hammer Øyvind, David A.T., Harper, & Paul D. Ryan. (2001).** Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, vol. 4, issue 1, art. 4: 9pp., 178kb. .
- [17]. **SPSS, Inc. (2016)** –SYSTAT 4.00 for windows, statistics and graphics
- [18]. **Belhadi R et Bouregghda Y. (2015).** Contribution à l'étude de l'efficacité globale de l'huile essentielle du Bigaradier sur le puceron noir de la fève *Aphis fabae* Scop. (1763). mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master académique en sciences de la nature et de la vie, Spécialité : Phytopharmacie appliquée. Pp 41
- [19]. **Haubruge H., Lognay G., Marlier M., Danhier P., Gilson J-C.,Gasper Ch. (1989).** Mémoire, Etude de la toxicité de cinq huiles essentielles extraites de *Citrus sp.* A l'égard de *Sitophilus zeamais* Motsch (COL., *CURCULIONIDAE*) ET *Tribolium castaneum* Herbst (COL., *TENERBRIONIDAE*), Fac Sciences agronomique de Gembloux, Belgique, Laboratoire de UNDA, Avenue Jules Bordé 118, 1040 Evere. PP : 1085- 1086.

- [20]. **Isman.B. (2000)**. Plant essential oils for pest and disease management .*Crop Protection* 19:603-608
- [21]. **Bostanian N.J., Akalach M., and Chiasson H. (2005)**. Effets of a Chenopodium based botanical insecticide/acaricide on *orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) and *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae). *Pest Manag.Sci*, 61: 979-984.
- [22]. **Fanny B. (2008)**. Effet larvicide des huiles essentielles sur *Stomoxys calcitrans* à la Réunion. Thèse pour obtenir le grade de Docteur vétérinaire. Université Paul-Sabatier de Toulouse.78p.
- [23]. **Obeng-Ofori D, Reichmuth CH, Bekele J, Hassanali A. (1997)**. Biological activity of 1,8 cineole, a major component of essential oil of *Ocimum kenyense* (Ayobangira) against stored product beetles. *J. Appl. Entomol.* 121: 237-243
- [24]. **Kim S., Roh J., Kim D., Lee H., & Ahn Y. (2003)**. Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *J. Stored Prod. Res*, 39 : 293-303.
- [25]. **Stamopoulos D. C., P. Damos, G & Karagianidou. (2007)**. Bioactivity of five monoterpenoid vapours to *Tribolium confusum* (du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Product Research*, 43: 571-577.
- [26]. **Ngamo L.S.T., et Hance T. (2007)**. Diversités des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropicale, *Tropicultura J.*, 25(4): 215-220
- [27]. **Ketoh G. K. (1998)**. Utilisation des huiles essentielles des quelques plantes aromatiques du Togo comme biopesticides dans la gestion des stades de développement de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), Thèse Doc. Univ. Bénin, Lomé, 141 p.
- [28]. **Goucem K. (2014)**. Etude de l'activité insecticides de quelques plantes à l'égard de la bruche du haricot *Acanthocelides obtectus* Say (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae) et comportement de ce ravageur vis-à-vis des composés volatils de différentes variétés de la plante hôte (*Phaseolus vulgaris* L). Thèse de doctorat on Sciences Biologique. Option : Ecologie et biologie de population. Universités : Mouloud Mammeri de Tizi – ouzou . Pp.178.
- [29]. **Kellouche A., et Soltani N. (2004)**. Activité biologique des poudres de cinq plantes de l'huile essentielles d'une d'entre elles sur *Callosobruchus masculatus(F)*. *International Journal of Tropicale Insect Science*, 24(1): 184-191
- [30]. **Weaver DK, Dubkel FV, Netzububanza L, Jackson LL & Stock DT. (1991)**. The efficacy of linalool, a major component of freshly milled *Ocimum canum* Sim (Lamiaceae) for protection against post-harvest damage by certain stored Coleoptera. *J Stored Prod Res*, 27 : 213-270.
- [31]. **Konstantopoulou LL, Vassilopoulou L, Mavragani-Tsipidou P, Scouras ZG. (1992)** Insecticidal effects of essential oils. A study of the effects of essential oils extracted from eleven Greek aromatic plants on *Drosophila auraria*. *Experientia.* ;48:616–619.
- [32]. **Regnault-Roger C, Hamrouni A. (1995)** Fumigant toxic activity reproductive inhibition induced by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* (Say), a bruchid of kidney bean. *Journal of Stored Products Research.*;31:291–299.
- [33]. **Keane S.et Ryan M.F. (1999)**. Purification, characterization and inhibition by monoterpenes of acetylcholinesterase from the waxmoth, *Galleria L.* *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 29(12):1097-1104.
- [34]. **Coats JR, Karr LL & Drewes CD. (1991)**. Toxicity and neurotoxic effects of monoterpenoids in insects and earthworms. In; edin PA (cd) Naturally occurring bioregulators, ACS (American Chemical Society). American Chemical Society Washington, DC, pp 305-316
- [35]. **Isman, M. (1999)**. Pesticides based on plant essential oils. *Pesticide. Outlook*, 10: 68-72
- [36]. **Chiasson H, Vincent C & Bostanian NJ. (2004)**. Insecticidal properties of a Chenopodium-based botanical *J Econ Entomol.* 97(4):1378-83
- [37]. **Lee, S., B. Tsao, C. Peterson & J.R. Coats. (1997)**. Insecticidal activity of monoterpenoids to western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae), twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae), and house fly Diptera: Muscidae). *J. Econ. Entomol.* 90 : 885-892