

CHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OILS OF ORIGANUM MAJORANA L. (LAMIACEAE) AND SALVIA OFFICINALIS (L.) (LAMIACEAE) UNDER BRUCHUS LENTIS (COLEOPTERA, CHRYSOMELIDAE)

M. El idrissi, G. Harmouch, A. Amechrouq

Laboratoire de Chimie Moléculaire et Substances Naturelles, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, B.P. 11201 Zitoune, Meknès (Maroc).

ABSTRACT : *To assess the biological activity of origanum majorana essential oils and salvia officinalis, 6 concentrations were tested as fumigation against Bruchus lentis (Coleoptera, Chrysomelidae) high on lentil seeds. Essential oils from two plants affect biological parameters weevil. The main components are marjoram: **Trans Sabinene hydrate (26,64%), Terpinen-4-ol (17,08%) and o-Cymene (6,29%),** while those of sage are: **α -Thujone (20,52%), Eucalyptol (12,39%) and γ -Gurjunene (11,13%).** The survival time of 50% of adults exposed to different concentrations of essential oils ranges from less than 24 hours to about 4 days depending on the concentration, while in the control group, in live adult average of 7 to 11 days. After 48h the letal concentration LC_{50} fumigation marjoram is $10,28\mu\text{l/l}$ while that of the sage is $13,42\mu\text{l/l}$. The intensity of the impact of the essential oil is directly dependent on their concentrations. The essential oils of officinal sage and marjoram studied can be integrated into management weevils, stored and associated with the pulses thus replace the phosphine and methyl bromide.*

Keywords: Origanum majorana, Salvia officinalis, Fumigants, Bruchus lentis, Chemical composition, LT_{50} , LC_{50}

INTRODUCTION

Le contrôle des populations d'insectes des denrées stockées dépend principalement de la poursuite des applications d'insecticides liquides et gazeux. Bien qu'efficace, leur utilisation répétée pendant plusieurs décennies a perturbé le système de contrôle biologique par les ennemis naturels et conduit à des effets néfastes notamment à une flambée d'insectes ravageurs, le développement généralisé de la résistance, des effets indésirables sur les organismes non ciblés, et les préoccupations de santé humaine et l'environnement (White et Leesch, 1995 ; Subramanyam et Hagstrum, 1995 ; Champ et Dyte, 1977).

Certains composés organiques tels que la phosphine et le bromure de méthyle sont actuellement utilisés comme pesticides contre les coléoptères nuisibles dans la majorité des produits stockés (Mueller, 1990). Ces composés sont tellement efficaces et conduisent à des résultats très satisfaisants, mais ils provoquent la destruction de l'environnement (Kim et al., 210). Par ailleurs, certains insectes des denrées stockées se trouvent avoir développé une résistance au bromure de méthyle et à la phosphine (Subramanyam et Hagstrum, 1995 ;

Champ et Dyte, 1977). Par conséquent, les huiles essentielles jouent un rôle important en tant que ressources potentielles pour la fumigation naturelle car de nombreuses huiles essentielles présentent des activités insecticides contre les insectes nuisibles et contiennent de nombreuses substances chimiques bioactives (Kim et al., 2003). Les plantes peuvent fournir des alternatives potentielles aux insectes utilisés actuellement, car ils constituent une riche source de composés chimiques bioactifs (Wink, 1993). Puisqu'ils sont souvent actifs contre un nombre limité d'espèces, y compris les insectes cibles spécifiques, sont souvent biodégradables pour des produits non toxiques, et sont potentiellement utilisables dans la gestion intégrée des ravageurs. Beaucoup d'efforts ont été portés sur des plantes, dérivées de matériaux pour les produits potentiellement utiles, pour lutter contre les insectes. Peu de travaux ont été faits pour gérer les insectes des denrées stockées à l'aide de plantes médicinales aromatiques, malgré leurs excellents effets pharmacologiques (Tang et Eisenbrand, 1992 ; Namba, 1993 ; Kim, 1996). Dans ce travail, nous présenterons les effets des huiles essentielles de la marjolaine et la sauge officinale sur *Bruchus lentis*.

MATERIELS ET METHODES

Matériel végétal

Les plantes utilisées dans le présent travail sont: la marjolaine (*origanum majorana* L.) et la sauge officinale (*salvia officinalis* L.) Elles proviennent de la région de Meknès, Maroc. Seules les parties aériennes des plantes ont été collectées, elles ont été ensuite séchées au laboratoire et conservées à l'abri de la lumière.

Insecte

Bruchus lentis est une espèce d'insectes ravageurs appartenant à la famille des Chrysomelidae. Il a une taille de 3 à 3,5mm, des poils gris rougeâtres sur le dos, marqués par plusieurs taches blanchâtres. *Bruchus lentis* utilisé pour les essais biologiques ont émergé des graines de lentille provenant d'un entrepôt de stockage à Azrou, Maroc. Les insectes sont mis au laboratoire dans une salle aérée où la température est entre 24°C et 28°C.

Extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée par hydrodistillation à pression atmosphérique dans un appareil de type Clevenger. La distillation a duré 3h. L'huile essentielle recueillie a été séchée sur le sulfate de sodium anhydre et stockée à 4°C à l'obscurité.

Analyses chromatographiques

Les analyses chromatographiques ont été effectuées sur chromatographe en phase gazeuse de type GC ULTRA muni d'une colonne de type VB-5 (95% methylpolysiloxane à 5% phenyl) de 25m de longueur, 0,25mm de diamètre et 0,25µm d'épaisseur de film, d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) réglé à 260°C et alimenté par un mélange de gaz H₂/air et d'un injecteur split-splitless réglé à 250°C. Le mode d'injection est split. L'appareil est piloté par un système informatique de type «HP Chemstation» gérant le fonctionnement de l'appareil et permettant de suivre l'évolution des analyses chromatographiques. L'identification des constituants a été réalisée sur la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (Polaris Q MS à trappe ionique). La fragmentation est effectuée par impact électronique sous un champ de 70eV. La température de la colonne est programmée de 50°C

à 350°C à raison de 4°C/min. le gaz vecteur est l'Hélium dont le débit est fixé à 1,4ml/min. l'appareil est relié à un système informatique gérant une bibliothèque de spectres de masse NIST 98. L'identification des composés a été établie en comparant leurs spectres de masse avec ceux des bases de données informatiques.

Tests biologiques

Les concentrations utilisées sont: 5, 10, 15, 20, 25 et 30µl/l d'air. La fumigation a été effectuée dans des boîtes de plastique transparentes, de capacité 1l. Chaque concentration a été faite sur papier filtre et déposée dans la boîte contenant 5 boîtes de pétris de 5,5cm de diamètre, renfermant 5 insectes adultes. Les boîtes ont été gardées fermées au laboratoire, un traitement identique sans huile essentielle a été utilisé comme témoin, chaque concentration a été répétée 5 fois. Après 24h de fumigation, le contrôle de mortalité au niveau de chaque boîte a été relevé chaque jour jusqu'au dernier insecte mort.

Analyses des données

Pour comparer les effets des huiles essentielles testées sur les paramètres biologiques mesurés, une analyse de variance suivie du test de Scheffé à 5% a été réalisée au moyen du logiciel Excel version 2007. Les CL₅₀ et CL₉₉ ont été déterminées par la méthode des probits selon Finney (Finney, 1971). Les mortalités ont été corrigées par la formule d'Abbott (Abbott, 1925). Le temps léthal, requis pour la mort de 50% (TL₅₀) des adultes exposés aux différentes concentrations de l'huile essentielle, a été estimé à partir des équations de régression linéaire, exprimant la mortalité corrigée en fonction du temps.

RESULTATS

Compositions chimiques des huiles essentielles

Le rendement moyen en huile essentielle de la marjolaine est de 2,19%. L'analyse chromatographique a permis d'identifier treize constituants représentant environ 77% de l'huile essentielle (**Tableau 1**). En effet les composés majoritaires obtenus sont: Trans-Sabinène hydrate (26,64%), Terpinèn-4-ol (17,08%) et O-Cymène (6,29%). Le profil chimique de l'huile essentielle d'*Origanum majorana* est relativement différent de ce qui a été rapporté dans la littérature. En effet, Vera et Chane-Ming (1999) ont étudié la composition chimique de l'huile essentielle de la marjolaine d'origine Française. Les composés majoritaires sont: Sabinène (4,94%), α-Terpinène (2,75%), p-Cymène (7,01%), Trans-Sabinène hydrate (3,49%), Cis-Sabinène hydrate (14,95%), Terpinèn-4-ol (38,40%) et α-Terpinéol (4,88%). Ben Hamada-Ben Ezzeddine et al., (2001) reportèrent une huile essentielle d'origine du Tunisie: Sabinène (3,9%), α-Terpinène (5,1%), p-Cymène (3,8%), γ-Terpinène (9,9%), Cis-Sabinène hydrate (8,6%) et Terpinèn-4-ol (32,8%). Yong et al., (2005 et 2009) ont trouvé en Corée majoritairement Sabinène (3,25%), α-Terpinène (3,49%), 1,8-Cinéol (41,50%), γ-Terpinène (6,48%), Linalool (11,11%) et Terpinèn-4-ol (10,6%). Busatta et al., (2008) ont analysé l'huile essentielle d'origine d'Egypte qui s'est avérée riche en Sabinène (5,11%), α-Terpinène (7,7%), γ-Terpinène (13,94%), Cis-Sabinène hydrate (9,64%), Terpinèn-4-ol (30,41%) et α-Terpinéol (4,47%).

Tandis que pour l'huile essentielle de la sauge, douze composés ont été identifiés et qui représentent plus de 76% de la composition chimique totale de l'huile essentielle (**Tableau 2**). Les composés majoritaires sont: α-Thujone (20,52%), Eucalyptol (12,39%) et γ-Gurjunène (11,13%). Lima et al., (2004) ont étudiés la composition chimique de la sauge provenant du Portugal: 1,8-Cinéole (12,7%), cis-Thujone (17,4%), Bornéol (8,3%), α-

Humulène (13,3%), E-Caryophyllène (8,5%), Veridiflorol (6,2%). Valeria et al., (2004) ont trouvés en Roumanie: 1-Octène-3-ol (8,5%), α -Thujone (21,85%), Camphor (11,25%), β -Thujone (5,51%), α -Humulène (4,51%), Veridiflorol (11,71%). Vukovic'-Gacic' et al., (2006) ont analysés une huile essentielle d'origine Belgrade: α -Pinène (5%), 1,8-Cinéole (14,42%), α -Thujone (37,51%), Camphor (13,77%), α -Humulène (4,99%). Eugénia et al., (2007) reportèrent une huile essentielle d'origine Portugal: Camphène (3,8%), 1,8-Cinéole (13%), cis-Thujone (32,9%), Camphor (23,4%), α -Humulène (3,7%).

Tableau 1. Principaux composés de l'huile essentielles de la marjolaine

TR (min)	Constituants	Formule	Spectre de masse	%
7,82	α -Pinène	C ₁₀ H ₁₆	136(3), 121(10), 105(15), 91(100), 77(45), 65(7)	0,56
9,17	γ -Terpinène	C ₁₀ H ₁₆	136(14), 107(9), 91(100), 77(64), 65(8)	4,89
10,95	O-Cymène	C ₁₀ H ₁₄	136(30), 119(100), 103(3), 91(41), 77(6)	6,29
11,10	Cyclohexane, 1-méthyl-4-(1-méthylethylidène)	C ₁₀ H ₁₆	136(17), 121(16), 119(48), 107(14), 91(100), 77(52), 65(48), 154(5), 139(30), 135(24), 121(41), 106(25), 93(100), 91(75), 81(50), 79(82), 77(50), 67(36)	3,39
13,59	trans-Sabinène hydrate	C ₁₀ H ₁₈ O	136(13), 121(50), 105(20), 93(100), 91(90), 79(61), 77(48), 67(45), 55(43), 154(17), 136(25), 111(45), 93(100), 91(65), 77(30), 71(45), 67(34)	17,08
13,73	Santolina triène	C ₁₀ H ₁₆	154(0), 136(60), 121(80), 107(16), 93(100), 91(64), 81(35), 79(45), 67(35)	2,12
16,37	Terpinèn-4-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	136(8), 121(31), 105(20), 93(100), 91(80), 79(46), 67(25), 204(2), 189(26), 175(10), 161(42), 147(25), 133(75), 119(41), 105(80), 93(45), 91(100), 79(50), 67(21), 204(23), 189(26), 176(4), 161(75), 147(15), 133(26), 121(100), 105(82), 93(90), 91(92), 79(60), 67(20), 220(0), 205(100), 187(55), 159(80), 145(46), 119(57), 105(70), 91(75), 79(38), 67(25)	17,08
16,84	p-Menth-1-èn-8-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	136(8), 121(31), 105(20), 93(100), 91(80), 79(46), 67(25), 204(2), 189(26), 175(10), 161(42), 147(25), 133(75), 119(41), 105(80), 93(45), 91(100), 79(50), 67(21), 204(23), 189(26), 176(4), 161(75), 147(15), 133(26), 121(100), 105(82), 93(90), 91(92), 79(60), 67(20), 220(0), 205(100), 187(55), 159(80), 145(46), 119(57), 105(70), 91(75), 79(38), 67(25)	3,50
19,18	3-Carène	C ₁₀ H ₁₆	136(8), 121(31), 105(20), 93(100), 91(80), 79(46), 67(25), 204(2), 189(26), 175(10), 161(42), 147(25), 133(75), 119(41), 105(80), 93(45), 91(100), 79(50), 67(21), 204(23), 189(26), 176(4), 161(75), 147(15), 133(26), 121(100), 105(82), 93(90), 91(92), 79(60), 67(20), 220(0), 205(100), 187(55), 159(80), 145(46), 119(57), 105(70), 91(75), 79(38), 67(25)	4,77
24,38	Caryophyllène	C ₁₅ H ₂₄	161(42), 147(25), 133(75), 119(41), 105(80), 93(45), 91(100), 79(50), 67(21), 204(23), 189(26), 176(4), 161(75), 147(15), 133(26), 121(100), 105(82), 93(90), 91(92), 79(60), 67(20), 220(0), 205(100), 187(55), 159(80), 145(46), 119(57), 105(70), 91(75), 79(38), 67(25)	3,33
26,75	γ -Gurjunène	C ₁₅ H ₂₄	161(75), 147(15), 133(26), 121(100), 105(82), 93(90), 91(92), 79(60), 67(20), 220(0), 205(100), 187(55), 159(80), 145(46), 119(57), 105(70), 91(75), 79(38), 67(25)	1,40
29,08	(-)-Spathulénol	C ₁₅ H ₂₄	159(80), 145(46), 119(57), 105(70), 91(75), 79(38), 67(25)	2,79

32,95	1-Methyl-3-(3,4-dimethoxyphenyl)-6,7-dimethoxyisochromène	C ₂₀ H ₂₂ O	342(25), 340(48), 327(74), 281(60), 253(31), 207(82), 187(60), 162(87), 147(65), 119(64), 105(75), 91(100), 79(58), 67(41)	0,29
Total				77,05%
Monoterpènes bicycliques				22,02%
Monoterpènes oxygénés				47,22%
Sesquiterpènes bicycliques				4,73%
Sesquiterpènes oxygénés				2,79%
Diterpènes oxygénés				0,29%

Tableau 2. Principaux composés de l'huile essentielles de la sauge officinale

TR (min)	Constituants	Formule	Spectre de masse	%
7,82	α -Pinène	C ₁₀ H ₁₆	136(5), 121(10), 105(15), 93(62), 92(45), 91(100), 77(45), 65(9)	3,79
8,27	Santolina triène	C ₁₀ H ₁₆	136(3), 121(41), 107(17), 93(100), 91(67), 79(45), 77(32), 67(24)	2,56
9,23	3-Carène	C ₁₀ H ₁₆	136(9), 121(20), 107(10), 93(85), 91(100), 79(40), 77(55), 67(16)	3,65
11,15	Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	154(22), 139(54), 125(33), 121(25), 111(28), 108(30), 93(100), 81(59), 67(39)	12,39
14,2	α-Thujone	C ₁₀ H ₁₆ O	152(1), 135(8), 110(35), 109(30), 95(99), 81(43), 79(40), 67(100)	20,52
15,08	(-)-Camphre	C ₁₀ H ₁₆ O	152(20), 137(7), 108(85), 95(100), 93(42), 81(48), 67(65)	6,62
20,09	Exobornyl acétate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196(0), 154(10), 136(41), 121(66), 108(24), 95(100), 93(85), 79(35), 67(50)	0,15
24,38	Trans-Caryphyllène	C ₁₅ H ₂₄	204(5), 189(23), 175(15), 161(40), 147(25), 133(81), 119(50), 105(82), 91(100), 79(50), 67(26)	6,78
25,43	α -Guaiène	C ₁₅ H ₂₄	204(20), 189(21), 175(3), 161(22), 147(60), 121(37), 105(65), 93(100), 91(90), 79(45), 77(41), 67(26)	5,99
29,22	(-)-Caryophyllène oxyde	C ₁₅ H ₂₄ O	220(0), 187(16), 121(40), 105(60), 93(65), 91(100), 79(75), 67(47)	1,31

29,5	γ -Gurjunène	$C_{15}H_{24}$	204(35), 189(64), 175(15), 161(100), 147(35), 133(40), 119(55), 105(71), 93(50), 81(35), 67(47)	11,13
39,4	Verticellol	$C_{20}H_{34}O$	290(0), 272(9), 257(100), 229(30), 189(34), 161(40), 133(46), 121(56), 95(100), 81(82), 67(38)	1,16
Total				75,87%
Monoterpènes bicycliques				10%
Monoterpènes oxygénés				39,68%
Sesquiterpènes bicycliques				23,9%
Sesquiterpènes oxygénés				1,13%
Diterpènes oxygénés				1,16%

Effet des huiles essentielles sur les adultes de *B. lentis*

Les figures 1 et 2 donnent un aperçu sur les courbes de survie de *Bruchus lentis* traités par les huiles essentielles de la marjolaine et la sauge officinale.

Pour chaque huile essentielle des deux plantes, on observe nettement un effet toxique qui dépend de leurs concentrations. La survie des adultes diminuant au fur et à mesure que la concentration des huiles essentielles augmente. Les temps de survie de 50% des adultes exposés aux différentes concentrations des huiles essentielles varient de 1 à 4 jours, alors que dans le lot témoin, les adultes vivent en moyenne de 7 à 11 jours. Les TL_{50} sont négativement corrélés aux concentrations en huiles essentielles testées (Tableau 3).

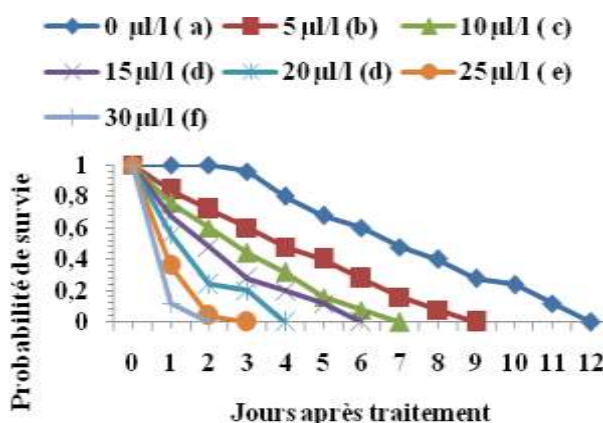


Figure 1. Survie des adultes de *Bruchus lentis* exposés à l'huile essentielle d'*Origanum majorana*

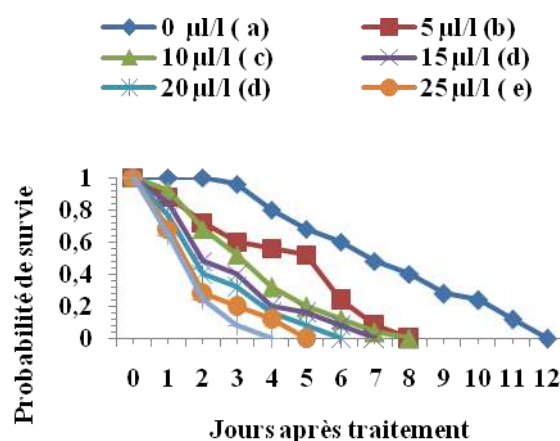


Figure 2. Survie des adultes de *Bruchus lentis* exposés à l'huile essentielle de *Salvia officinalis*

Tableau 3. TL₅₀ (jours) des adultes de *Bruchus lentis* exposés par les huiles essentielles de la marjolaine et la sauge officinale

Plantes	Concentrations (µl/l d'air)	TL ₅₀	r>r (0,05;5)	TL ₉₉	r>r (0,05;5)
Témoin	0	7,06		11,94	
	5	4,64		8,57	
	10	3,56		6,64	
	15	2,89	-0,97	5,87	-0,98
	20	1,89		4,18	
	25	-		2,91	
Marjolaine	30	-		-	
	5	4,59		8,02	
	10	3,33		7,27	
	15	2,44	-0,93	6,68	-0,94
	20	2,19		5,77	
	25	1,44		5,06	
Sauge	30	1,22		3,84	

Les paramètres toxicité des huiles essentielles de la marjolaine et la sauge officinale vis-à-vis des adultes de *Bruchus lentis* sont regroupés dans le **tableau 4**. En effet, les CL₅₀ extrêmes varient d'environ 17,66 à 5,02µl/l d'air pour la marjolaine et entre 66,96 à 4,69µl/l d'air pour la sauge officinale, alors que CL₉₉ s'échelonnent d'environ 155,35 à 16,34µl/l pour la marjolaine et de 4230,49 à 28,23µl/l pour la sauge.

Tableau 4. Paramètres de toxicité des huiles essentielles de la marjolaine et la sauge officinale vis-à-vis des adultes de *Bruchus lentis*

Plante	Jours	Pente [intervalle de confiance]	$\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{(0,05;5)} = 9,488$	CL ₅₀ (µl/l d'air) [intervalle de confiance]	CL ₉₉ (µl/l d'air) [intervalle de confiance]
Marjolaine	1	2,46 [1,52; 3,39]	7,604	17,66 [14,34; 22,27]	155,35 [81,79; 629,41]
	2	3,04 [0,89; 5,19]	10,36	10,28 [3,77; 15,48]	59,67 [30,21; 2124,56]
	3	2,88 [1,86; 3,89]	6,985	8 [5,47; 10,12]	51,26 [34,49; 111,35]
	4	3,72 [2,16; 5,28]	6,02	7,58 [4,51; 9,97]	31,96 [23,02; 63,80]
	5	4,87 [2,40; 7,34]	1,834	6,12 [3,43; 8,05]	18,37 [13,41; 39,73]
	6	4,53 [1,81; 7,25]	0,741	5,02 [2,14; 6,91]	16,34 [11,31; 52,16]
Sauge	1	1,29 [0,30; 2,27]	2,144	66,96 [34,23; 5869,43]	4230,49 [381,76; 21535986,04]
	2	1,78 [0,95; 2,61]	1,619	13,42 [9,48; 17,74]	270,76 [105,73; 3370,90]
	3	1,88 [1,00; 2,76]	3,104	9,56 [5,46; 12,93]	164,18 [73,91; 1389,71]
	4	2,65 [1,43; 3,86]	2,3	8,29 [4,24; 11,49]	62,54 [38,16; 211,46]
	5	3,69 [1,91; 5,46]	2,41	8,06 [4,06; 10,99]	34,44 [24,21; 80,41]
	6	2,98 [1,27; 4,68]	2,234	4,69 [1,30; 7,30]	28,23 [17,81; 110,71]

DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans la littérature, l'huile essentielle d'*Origanum acutidens* obtenue par hydrodistillation a causé une mortalité de 37% des adultes de *Tribolium confusum* après 96h d'exposition (Kordali, 2008). L'huile d'*origanum majorana* et ses constituants ont montré une activité ovicide et adulticide contre l'insecticide pyréthrianoïde (Yong et al., 2009). En outre l'activité insecticide de l'huile d'origan contre les femelles de *Blattella germanica* L., était comparable à celle de la perméthrine et du propoxur comme démontre les valeurs de CL₅₀ après 24h

d'exposition (Yong et al., 2005). Aussi l'huile d'origan présente une forte toxicité fumigant sur les adultes de *Tribolium castaneum* par action d'une phase vapeur (Kim et al., 2010).

Les huiles essentielles de *Salvia triloba* et de *Salvia officinalis* sont utilisées pour la production commerciale de la sauge en Turquie (Baytop, 1999). Les espèces de *Salvia*, appelés «adaçayi» en Anatolie, sont utilisés comme antiseptiques, stimulants, diurétiques et pour la cicatrisation des plaies dans la médecine traditionnelle turque et pour des tisanes et des aromatisants alimentaires (Baytop, 1999 ; Demirci et al., 2003 ; Tepe et al., 2004). L'huile de *Salvia hydrangea* a montré la mortalité 68,3-75,0% contre les adultes de *Sitophilus granarius* et *Tribolium confusum* (Recep et al., 2008). Cependant, il n'existe jusqu'à présent aucun effet insecticide de l'huile essentielle de la sauge officinale.

Le mode d'action des fumigants de plantes naturelles sur les insectes est largement concentré sur les monoterpénoides (Rajendran et Sriranjini, 2008). Chez les insectes traités plusieurs rapports indiquent que les monoterpénoides causent leurs mortalités par l'inhibition de l'enzyme acétylcholinestérase (AChE) (Houghton et al., 2006 ; López et Pascual-Villalobos, 2010). Les monoterpènes inhibent aussi l'octopamin (Price et Berry, 2006 ; Verlinden et al., 2010). Dans cette étude, les huiles essentielles de la marjolaine et de la sauge officinale peuvent ainsi être utilisées comme biopesticides dans la gestion intégrée des bruches polyvoltines et les ravageurs des denrées agricoles stockées. Elles peuvent donc substituer la phosphine, vis-à-vis de laquelle la plupart des ravageurs des denrées stockées ont acquis la résistance (Benhalima et al., 2004), et le bromure de méthyle dont l'usage agricole va être retiré en 2015 dans les pays en développement. L'adoption des huiles essentielles par les agriculteurs pour le contrôle des ravageurs des denrées entreposées, ne devrait pas a priori poser de problème, dans la mesure où les gens sont habitués à utiliser des produits d'origine végétale pour préserver leurs récoltes.

REFERENCES

- Abbott W. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, 18, 265-267.
- Baytop T. (1999). *Therapy with Medicinal Plants in Turkey; Today and in Future*. Istanbul University Press, Istanbul.
- Ben Hamada-Ben Ezzeddine N., Abdelkéfi M.M., Ben Aissa R. et Chaabouni M.M. (2001). Antibacterial screening of origanum majorana L. oil from Tunisia. *Journal of Essential Oil Research*, 13 (4), 295-297.
- Benhalima H., Chaudhry M.Q., Mills K.A., Price N.R. (2004). Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *Journal of Stored Products Research*, 40, 241-249
- Busatta C., Vidal R.S., Popiolski A.S., Mossi A.J., Dariva C., Rodrigues M.R.A., Corazza F.C., Corazza M.L., Vladimir J.O., Cansian R.L. (2008). Application of origanum majorana L. essential oil as an antimicrobial agent in sausage. *Food Microbiology*, 25, 207-211.
- Champ B.R., Dyte C.E. (1977). FAO global survey of pesticide susceptibility of stored grain pests. *FAO Plant Protection Bulletin*, 25, 49-67.
- Demirci B., Baser K.H.C., Yildiz B., Bahcecioglu Z. (2003). Composition of the essential oils of six endemic *Salvia* spp. from Turkey. *Flavour Fragr. J.*, 18, 116-121.

- Eugénia Pinto, Ligia Ribeiro Salgueiro, Carlos Cavaleiro, Ana Palmeira, Maria José Gonçalves. (2007). In vitro susceptibility of some species of yeasts and filamentous fungi to essential oils of *Salvia officinalis*. *Industrial Crops and Products*, 26, 135-141.
- Finney D. J. (1971). Probit analysis. 3th ed. Cambridge University Press. ISBN 0 521080421 X, 333 p.
- Houghton P.J., Ren Y., Howes M.J. (2006). Acetylcholinesterase inhibitors from plants and fungi. *Natural Products Reports*, 23, 181-199.
- 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*. *Journal of Stored Product Research*, 39, 293-303.
- Kim S., Yoon J., Jung J., Hong K., Ahn Y., Kwon H. (2010). Toxicity and repellency of origanum essential oil and its components against *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidea) adults. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 13, 369-373.
- Kim T. J. (1996). Korean Resources Plants, Vols. I–VI. Seoul National University Press, Seoul, Republic of Korea.
- Kordali S., Cakir A., Ozer H., Cakmakci R., Kesdek M., Mete E. (2008). Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and p-cymene. *Biores. Technol.*, 99, 8788-8795.
- Lima C.F., Carvalho F., Fernandes E., Bastos M.L., Santos-Gomes P.C., Fernandes-Ferreira M., Pereira-Wilson C. (2004). Evaluation of toxic/protective effects of the essential oil of *Salvia officinalis* on freshly isolated rat hepatocytes. *Toxicology in Vitro*, 18, 457-465.
- López M.D., Pascual-Villalobos M.J. (2010). Mode of inhibition of acetylcholinesterase by monoterpenoids and implications for pest control. *Industrial Crops and Products*, 31, 284-288.
- Mueller D.K. (1990). Fumigation. In: Mallis, A. (Ed.), Handbook of Pest Control. Franzak & Foster Co., Cleveland, OH, pp. 901-939.
- Namba T. (1993). The Encyclopedia of Wakan-Yaku (Traditional Sino-Japanese Medicines) with Color Pictures, Vol I. Hoikusha, Osaka, Japan, 606pp.
- Price D.N., Berry M.S. (2006). Comparison of effects of octopamine and insecticidal essential oils on activity in the nerve cord, foregut, and dorsal unpaired median neurons of cockroaches. *Journal of Insect Physiology*, 52, 309-319.
- Rajendran S., Sriranjini V. (2008). Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research*, 44, 126-135.
- Recep K., Saban K., Ahmet C., Memis K., Yusuf K., Hamdullah K. (2008). *Biochemical Systematics and Ecology*. 36 360-368.
- Subramanyam B., Hagstrum D.W. (1995). Resistance measurement and management. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (Eds.), Integrated Management of Insects in Stored Products. Marcel Dekker, New York, pp. 331-397.
- Tang W., Eisenbrand G. (1992). Chinese Drugs of Plant Origin. Springer, New York, 1056pp.

- Tepe B., Donmez E., Unlu M., Candan F., Daferera D., Vardar-Unlu G., Polissiou M., Sokmen A. (2004). Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts of *Salvia cryptantha* (Montbret et Aucher ex Benth.) and *Salvia multicaulis*. *Food Chem.*, 84, 519-525.
- Valeria Radulescu, Silvia Chiliment, Eliza Oprea. (2004). Capillary gas chromatography–mass spectrometry of volatile and semi-volatile compounds of *Salvia officinalis*. *Journal of Chromatography A*, 1027, 121-126.
- Vera R.R., Chane-Ming J. (1999). Chemical composition of the essential oil of marjoram (*Origanum majorana* L.) from Reunion Island. *Food Chemistry*, 66, 143-145.
- Verlinden H., Vleugels R., Marchal E., Badisco L., Pfluger H., Blenau W., Vanden Broeck J. (2010). The role of octopamine in locusts and other arthropods. *Journal of Insect Physiology*, 56, 854-867.
- Vukovic´-Gacic´ B., Nikcevic´ S., Beric´-Bjedov T., Knezevic´-Vukcevic´ J., Simic D. (2006). Antimutagenic effect of essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) and its monoterpenes against UV-induced mutations in *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Food and Chemical Toxicology*, 44, 1730-1738.
- White N.D.G., Leesch J.G. (1995). Chemical control. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (Eds.), *Integrated Management of Insects in Stored Products*. Marcel Dekker, New York, pp. 287-330.
- Wink M. (1993). Production and application of phytochemicals from an agricultural perspective. In: van Beek, T.A., Breteler, H. (Eds.), *Phytochemistry and Agriculture*, Vol. 34. Clarendon, Oxford, UK, pp. 171-213.
- Yong J.S., Yang Y.C., Choi D.S., Ahn Y.J. (2005). Vapor phase toxicity of marjoram oil compounds and their related monoterpenoids to *Blattella germanica* (Orthoptera: Blattellidae). *J. Agric. Food Chem.*, 53, 7892-7898.
- Yong Y.C., Lee S.H., Clark J.M., Ahn Y.J. (2009). Ovicidal and adulticidal activities of *Origanum majorana* essential oil constituents against insecticide-susceptible and pyrethroid/malathion-resistant *Pediculus humanus capitis* (Anoplura: Pediculidae). *J. Agric. Food Chem.*, 57, 2282-2287.