

五种植物油及其二元混剂对嗜卷书虱的熏蒸活性

王争艳^{1*}, 罗琼^{1,2}, 栗婷¹, 鲁玉杰¹

1. 河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001
2. 铜仁市碧江区环北街道办事处, 贵州 铜仁 554300

摘要: 本文测定了5种植物油及其混剂对嗜卷书虱成虫和卵的熏蒸活性。熏蒸24 h后, 5种植物油对嗜卷书虱成虫的熏蒸活性由强到弱依次为大蒜油、桉树油、芫荽油、山苍子油和丁香油, 其 LC_{50} 分别为0.89、8.31、9.93、19.05和36.80 $\mu\text{L/L}$ 空气。嗜卷书虱不同虫态(龄)对植物油熏蒸的敏感性由低到高依次为2日龄卵、4日龄卵、6日龄卵和成虫。桉树油和芫荽油, 桉树油和山苍子油的二元混配对嗜卷书虱成虫表现出明显的熏蒸增效作用, 其协同毒力指数分别为126.76和135.24。桉树油和芫荽油混合体积比为56:44时, 其毒性比率(1.77)和共毒系数最高(160.15)。桉树油和山苍子油混合体积比为50:50时, 其毒性比率(1.74)和共毒系数最高(227.35)。

关键词: 嗜卷书虱; 植物提取物; 熏蒸剂; 协同作用

中图分类号: S482.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)02-0172-05

Fumigation Activities of Five Plant Oils and Their Binary Mixtures against *Liposcelis bostrychophila* Badonnel

WANG Zheng-yan¹, LUO Qiong^{1,2}, LI Ting¹, LU Yu-jie¹

1. School of Food Science and Technology/Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China
2. North Ring Street Office of Bijiang District, Tongren 554300, China

Abstract: Fumigant activities of five plant oils and their binary mixtures were tested against adults and eggs of *Liposcelis bostrychophila* Badonnel. After 24 h of exposure, garlic oil exhibited the highest fumigant toxicity against adults of *L. bostrychophila*, followed by eucalyptus, coriander, attarasa and clove oils, with LC_{50} values of 0.89, 8.31, 9.93, 19.05 and 36.80 $\mu\text{L/L}$ air, respectively. The highest susceptibility of *L. bostrychophila* to plant oils was found in adults, followed by 6-, 4- and 2-day eggs. Binary mixtures of eucalyptus/coriander oil and eucalyptus/attarasa oil showed significant synergism with the co-toxicity factor of 126.76 and 135.24, respectively. When mixed at the ratio of 56:44 (v:v), the synergistic combination of eucalyptus/coriander oil possessed the highest toxicity index of 1.77 and the highest co-toxicity coefficient of 160.15. When mixed at the ratio of 50:50 (v:v), the synergistic combination of eucalyptus/attarasa oil possessed the highest toxicity index of 1.74 and the highest co-toxicity coefficient of 227.35.

Keywords: *Liposcelis bostrychophila*; plant extracts; fumigant; synergism

嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophila* Badonnel 营孤雌生殖, 个体微小, 发育历期短, 成虫寿命长, 食性杂, 抗饥饿能力强, 种群增长迅速, 是热带和亚热带地区常见的储粮害虫。长期单一使用磷化氢熏蒸剂导致嗜卷书虱对磷化氢的抗药性增强^[1], 从而增加了嗜卷书虱治理的难度。在仓储害虫防治中, 嗜卷书虱难以被全部杀死, 并很快又达到危害的种群密度, 对我国的粮食安全储藏造成了极大的威胁。嗜卷书虱发生严重时, 6个月内可造成储藏大米5%的重量损失; 3个月内可造成碎麦9.7%的重量损失^[2]。因此, 寻找嗜卷书虱有效的替代防治方法是一个亟待解决的问题。

植物提取物通常组份复杂, 杀虫作用方式和作用机理多样, 包括胃毒、触杀、驱避、拒食、麻醉和抑制生长发育等作用^[3]。从植物提取物中筛选出来的植物源杀虫剂通常具有高安全性、低毒性、高效性和不易诱导害虫产生抗药性等优势。植物油多具有挥发性, 对害虫会产生一定的熏蒸作用。目前, 已证实多种植物提取物对储粮害虫具有熏蒸作用, 如日本扁柏精油对米象^[4], 小豆蔻和花椒精油对玉米象和赤拟谷盗^[5,6], 丁香罗勒油对锯谷盗、谷蠹和绿豆象^[7]等都具有一定的熏蒸活性。并且, 不同植物提取物的混配增效作用可以大大提高其杀虫效果^[8]。因此, 有望从植物提取物中筛选出有效的熏蒸替代药剂, 从而实现储粮书虱的综合治理和绿色储粮。

目前, 已证实大蒜油^[9]、丁香精油^[10]、芫荽精油^[11]、桉树精油^[12]和山苍子精油^[13]对米象、绿豆象、赤拟谷盗、锯谷盗、锈赤扁谷盗和米蛾等害虫具有较强的熏蒸、触杀和驱避作用。但尚未明确这些植物源杀虫剂对嗜卷书虱的熏蒸活性。因此, 本实验拟通过研究5种植物油对嗜卷书虱成虫和

收稿日期: 2016-01-07

修回日期: 2016-01-22

基金项目: 河南工业大学人才基金(150434); 国家自然科学基金项目(31272360)

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:zywangedu@163.com

卵的熏蒸作用,筛选出能用于书虱综合防治的熏蒸药剂。

1 材料与方法

1.1 植物油

实验所用大蒜油购自江苏南通市苏东化工厂,桉树油、山苍子油、芫荽油和丁香油购自Sigma-Aldrich公司(瑞典)。植物油的组份见附件。

1.2 供试虫源

试虫嗜卷书虱为河南工业大学储粮害虫研究室培养的品系,已在实验室饲养超过10代以上。其培养条件为:28℃±1℃、相对湿度75%±5%,24D:0L。饲料为按10:1:1(质量比)混合的过80目筛的全麦粉、酵母粉和脱脂奶粉。

1.3 熏蒸实验

1.3.1 植物油单体对成虫的熏蒸活性测定 选取50头2~5日龄的嗜卷书虱成虫试虫置于底部粘贴有白色滤纸的培养皿(Φ=6 cm)中。在培养皿表面固定金属网以防止试虫逃逸。将含试虫的培养皿放入具螺旋瓶盖的玻璃瓶(1.0 L)内进行熏蒸实验。每种植物油设置6个熏蒸浓度,大蒜油、桉树油、芫荽油、山苍子油和丁香油的熏蒸浓度分别为0.5~1.4 μL/L空气、4.5~13 μL/L空气、7~13 μL/L空气、10~35 μL/L空气和35~40 μL/L空气,保证试虫的校正死亡率为10%~90%。实验时,将滤纸条(2 cm×10 cm)用双面胶粘贴在玻璃瓶盖上,使用微量进样器取一定量的植物油滴加到滤纸条上,并迅速拧紧瓶盖,将玻璃瓶置于上述培养条件下的培养箱内进行24 h的全黑暗熏蒸。熏蒸结束,打开瓶盖散气1.5 h后,将试虫转入新的培养皿中,加入适量饲料培养24 h,记录成虫死亡数量,并计算死亡率。在显微镜下用细毛笔轻轻触动虫体触角和足,虫体不动者判定为死亡。以不添加植物油的处理作为空白对照。每个处理重复3次。

1.3.2 植物油单体对卵的熏蒸活性测定 分别选取2日龄、4日龄和6日龄的卵进行熏蒸。将约100头3~7日龄的嗜卷书虱成虫转入含少量饲料的底部粘贴有白色滤纸的培养皿(Φ=6 cm)中产卵24 h,然后将成虫转出。继续培养皿内的卵(每个培养皿约含50~80粒卵)1 d、3 d和5 d后,分别获得2日龄、4日龄和6日龄的卵用于熏蒸实验。卵的熏蒸方法同1.3.1。每种植物油设置3~4个熏蒸浓度。在熏蒸散气后,继续培养观察,待空白对照的卵发育至若虫7 d后结束实验,记录各处理卵的死亡数量,并计算死亡率。每个处理重复3次。

1.3.3 植物油二元混剂协同作用评价 评价植物油混剂熏蒸成虫的协同作用时,首先使用协同毒力指数初步判定两种植物油是否具有增效作用。如果协同毒力指数大于20时,两种植物油存在增效作用,小于-20时存在拮抗作用,介于两者之间时存在相加作用^[14];然后,使用毒性比率确定增效混剂的最佳配比。毒性比率大于1时为增效作用,小于1时为拮抗作用,1左右时为相加作用。最佳配比的混剂具有最高的毒性比率^[15];最后,使用共毒系数验证混剂最佳配比的真实性。共毒系数大于200时混剂具有显著增效作用,大于120时为增效作用,小于80时为拮抗作用,80~120时为相加作用^[16]。熏蒸方法参考1.3.1。以不添加植物油的处理作为空白对照。每个处理重复3次。

1.4 数据统计与分析

对照组如有试虫死亡,则用Abbott公式对死亡率进行校正。使用校正死亡率计算毒力回归方程、协同毒力指数、毒性比率和共毒系数。使用几率值分析法计算毒力回归方程和估算LC₂₅、LC₅₀和LC₉₅及其95%的置信区间。使用单因素方差分析和Tukey检验比较不同日龄的卵对植物油熏蒸敏感性的差异。使用SPSS16.0软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 植物油单体对嗜卷书虱成虫和卵的熏蒸活性

从植物油对嗜卷书虱成虫熏蒸的LC₅₀和LC₉₅(表1)可以看出,5种植物油对嗜卷书虱的熏蒸作用由强到弱依次为大蒜油、桉树油、芫荽油、山苍子油和丁香油。因此,选取熏蒸活性较高的大

蒜油、桉树油和芫荽油用于卵的熏蒸实验，选取大蒜油、桉树油、芫荽油和山苍子油用于进一步的植物油混配实验中。

表 1 5 种植物油对嗜卷书虱成虫的熏蒸活性
Table 1 Fumigation activities of five plant oils against *Liposcelis bostrychophila* adults

植物油 Plant oils	毒力回归方程 Toxicity regression equations	LC ₂₅ /(μ L/L 空气) (95%置信区间) 95% confidence limits	LC ₅₀ /(μ L/L 空气) (95%置信区间) 95% confidence limits	LC ₉₅ /(μ L/L 空气) (95%置信区间) 95% confidence limits	R ²	χ^2 (df)
大蒜油	Y=5.23+4.38X	0.62(0.54~0.68)	0.89(0.82~0.96)	2.10(1.63~2.48)	0.986	1.972(4)
桉树油	Y=1.29+4.04X	5.66(4.91~6.27)	8.31(7.55~9.07)	21.25(15.42~25.88)	0.961	5.028(4)
芫荽油	Y=-1.21+6.22X	7.74(7.35~8.07)	9.93(9.64~10.22)	18.25(16.38~19.79)	0.996	1.587(4)
山苍子油	Y=0.18+3.76X	12.61(10.51~14.32)	19.05(17.44~21.13)	52.11(40.57~61.45)	0.977	3.679(4)
丁香油	Y=-32.33+23.84X	35.53(34.75~36.06)	36.80(36.32~37.42)	43.13(40.63~44.47)	0.990	8.157(4)

表 2 3 种植物油对嗜卷书虱卵的熏蒸活性
Table 2 Fumigation activities of three plant oils against *Liposcelis bostrychophila* eggs

植物油 Plant oils	浓度/(μ L/L) Nominal concentrations	卵死亡率/% Mortality of eggs		
		2 日龄卵 2-day eggs	4 日龄卵 4-day eggs	6 日龄卵 6-day eggs
大蒜油	2	8.40±0.12 c	13.13±0.35 b	14.93±0.23 a
	3	39.52±0.24 c	75.18±0.19 b	96.78±0.36 a
	4	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
	30	7.80±0.96 a	9.20±0.60 a	9.40±0.70 a
桉树油	55	56.58±0.29 c	58.94±0.58 b	79.09±0.47 a
	75	91.45±0.63 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
	85	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
	45	1.99±0.01 b	3.95±0.03 a	4.00±0.05 a
芫荽油	65	13.32±0.55 c	39.07±0.58 b	91.68±0.58 a
	80	57.33±2.40 c	79.00±1.73 b	100.00±0.00 a
	100	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a

注:表中数据为平均值±标准误，同行数据标记相同字母的表示差异不显著 ($P>0.05$ ，单因素方差分析和 Tukey 检验)。

Note: Data are mean±SE and those followed by the same letters in the same row are not significantly different by Tukey test and one-way analysis of variance ($P>0.05$)

在较低的熏蒸浓度下，嗜卷书虱卵的死亡率从低到高依次为 2 日龄卵、4 日龄卵和 6 日龄卵（表 2），说明高日龄的卵对植物油熏蒸的敏感性较高。随着熏蒸浓度的增加，卵的死亡率也相应增加。大蒜油、桉树油和芫荽油使卵全部死亡的剂量分别为 4 μ L/L、85 μ L/L 和 100 μ L/L，说明植物油对嗜卷书虱卵的熏蒸作用由强到弱依次为大蒜油、桉树油和芫荽油。另外，使用 2 μ L/L 大蒜油、30 μ L/L 桉树油和 45 μ L/L 芫荽油熏蒸 6 日龄卵时，卵的死亡率分别为 14.93%、9.40%和 4.00%。而使用较低的熏蒸浓度处理成虫时，成虫的死亡率远高于卵的，如分别使用 1.40 μ L/L 大蒜油、13.0 μ L/L 桉树油和 13.0 μ L/L 芫荽油处理后成虫的死亡率分别为 86.27%、86.95%和 79.75%，说明成虫对植物油熏蒸的敏感性远高于卵。

2.2 植物油的二元混剂对嗜卷书虱成虫的熏蒸活性

植物油的二元混剂熏蒸嗜卷书虱成虫时，桉树油和芫荽油、桉树油和山苍子油的二元混剂的协同毒力指数分别为 126.76 和 135.24，均大于 20，表现出明显的增效作用。芫荽油和山苍子油的二元混剂表现为相加作用。而当大蒜油与其他 3 种植物油复配时，均表现为拮抗作用（表 3）。

表 3 植物油混剂对嗜卷书虱成虫的协同毒力指数
Table 3 Co-toxicity factors of paired plant oil mixtures tested on *Liposcelis bostrychophila* adults

植物油浓度/(μ L/L 空气) Nominal concentrations of plant oils	期望死亡率/% Expected mortality	实际死亡率/% Observed mortality	协同毒力指数 Co-toxicity factor
大蒜油(0.62)+桉树油(5.66)	41.86	24.44	-41.61
大蒜油(0.62)+芫荽油(7.74)	43.87	18.42	-58.01
大蒜油 G(0.62)+山苍子油(12.61)	42.26	17.39	-58.85
桉树油(5.66)+芫荽油(7.74)	44.10	100	126.76
桉树油(5.66)+山苍子油(12.61)	42.51	100	135.24
芫荽油(7.74)+山苍子油(12.61)	44.49	46.00	3.39

选定表现出增效作用的桉树油和芫荽油、桉树油和山苍子油两个组合进行最佳增效配比研究。当桉树油与芫荽油的 LC₅₀ 剂量比为 60:40，即两者的混合体积比为 56:44 时，毒性比率达到最大值 1.77（表 4）。桉树油与山苍子油的 LC₅₀ 剂量比为 70:30，即两者的混合体积比为 50:50 时，毒性比率达到最大值 1.74（表 5）。

通过共毒系数进一步验证,发现桉树油和芫荽油混剂(体积比 56:44)的共毒系数为 160.15,大于 120,表现为增效作用;桉树油和山苍子油混剂(体积比 50:50)的共毒系数为 227.35,大于 200,表现为显著增效作用(表 6)。因此,确定桉树油和芫荽油、桉树油和山苍子油的最佳混配体积比分别为 56:44 和 50:50。

表 4 桉树油与芫荽油混剂对嗜卷书虱成虫的毒性比率

Table 4 Toxicity ratio of paired mixtures of eucalyptus/coriander oil tested on *Liposcelis bostrychophila* adults

植物油浓度/($\mu\text{L/L}$ 空气)		期望死亡率/% Expected mortality	实际死亡率/% Observed mortality	毒性比率 Toxicity ratio
Nominal concentrations of plant oils 桉树油 Eucalyptus oil	芫荽油 Coriander oil			
100% \times 8.31	0	50.31	50.31	1.00
90% \times 8.31	10% \times 9.93	50.34	64.96	1.29
80% \times 8.31	20% \times 9.93	50.37	44.91	0.89
70% \times 8.31	30% \times 9.93	50.39	85.57	1.70
60% \times 8.31	40% \times 9.93	50.42	89.12	1.77
50% \times 8.31	50% \times 9.93	50.45	29.97	0.59
40% \times 8.31	60% \times 9.93	50.48	18.06	0.36
30% \times 8.31	70% \times 9.93	50.51	17.78	0.35
20% \times 8.31	80% \times 9.93	50.53	39.35	0.78
10% \times 8.31	90% \times 9.93	50.56	28.78	0.57
0	100% \times 9.93	50.59	50.59	1.00

表 5 桉树油与山苍子油混剂对嗜卷书虱成虫的毒性比率

Table 5 Toxicity ratio of paired mixtures of eucalyptus/attarasa oil tested on *Liposcelis bostrychophila* adults

植物油浓度/($\mu\text{L/L}$ 空气)		期望死亡率/% Expected mortality	实际死亡率/% Observed mortality	毒性比率 Toxicity ratio
Nominal concentrations of plant oils 桉树油 Eucalyptus oil	山苍子油 Attarasa oil			
100% \times 8.31	0	50.31	50.31	1.00
90% \times 8.31	10% \times 19.05	50.09	24.63	0.49
80% \times 8.31	20% \times 19.05	49.87	35.33	0.71
70% \times 8.31	30% \times 19.05	49.65	86.27	1.74
60% \times 8.31	40% \times 19.05	49.43	33.97	0.69
50% \times 8.31	50% \times 19.05	49.22	20.91	0.42
40% \times 8.31	60% \times 19.05	49.00	22.95	0.47
30% \times 8.31	70% \times 19.05	48.78	21.25	0.44
20% \times 8.31	80% \times 19.05	48.56	25.97	0.53
10% \times 8.31	90% \times 19.05	48.34	19.68	0.41
0	100% \times 19.05	48.12	48.12	1.00

表 6 两种植物油混剂对嗜卷书虱成虫的共毒系数

Table 6 Co-toxicity coefficients of two plant oil mixtures tested on *Liposcelis bostrychophila* adults

植物油混剂组成/(v/v) Percentage composition of plant oils in mixtures	毒力回归方程 Toxicity regression equations	LC ₅₀ /($\mu\text{L/L}$ 空气) (95%置信区间) 95% confidence limits	R ²	χ^2 (df)	共毒系数 Co-toxicity coefficient
桉树油 Eucalyptus oil (56%) + 芫荽油 Coriander oil (44%)	Y=-3.86+5.17X	5.59(4.88~6.16)	0.992	2.672(4)	160.15
桉树油 Eucalyptus oil (50%) + 山苍子油 Attarasa oil (50%)	Y=-1.96+2.78X	5.09(4.39~5.83)	0.997	0.463(4)	227.35

3 结论与讨论

储藏物昆虫对植物源杀虫剂的敏感性存在种间的差异^[17]。嗜卷书虱成虫对 5 种植物油熏蒸的敏感性顺序为:大蒜油>桉树油>芫荽油>山苍子油和丁香油,而绿豆象卵对其熏蒸的敏感性顺序为:大蒜油>丁香油>山苍子油>芫荽油>桉树油(未发表数据)。尽管昆虫对不同植物油敏感性的差异有利于提高植物油防治的靶标性,从而减少对天敌如寄生蜂的伤害,但在储粮害虫的综合防治中,天敌对储粮害虫的控制作用往往可以忽略,因此可以考虑将多种植物源杀虫剂混配使用来扩大药剂的杀虫谱、提高杀虫效果和减少药剂的使用剂量。此外,植物源杀虫剂的混配还可以降低杀虫剂对粮食种子活力的影响^[8]。

大蒜油对多种储藏物害虫表现出较高的毒性,因而被视为是一种极具应用前景的熏蒸替代药剂^[9]。但是,大蒜油的杀虫活性成份多为含硫挥发物,这些化合物的刺激性气味及其残留阻碍了大蒜油在储粮害虫防治中的推广应用。因此,很多研究拟从芳香性的植物材料,如丁香、丁香罗勒、芫

菱、小豆蔻和花椒中筛选出气味相对宜人的储藏物害虫防治替代药剂^[5-7,10,11]。本实验发现,尽管桉树油、芫荽油和山苍子油对嗜卷书虱成虫或卵的熏蒸活性低于大蒜油,但是其二元混剂具有很好的熏蒸增效作用。特别是当桉树油和芫荽油,桉树油和山苍子油分别以 56:44 和 50:50 的体积比混合时,其对嗜卷书虱成虫的熏蒸活性大大提高。而大蒜油与其它植物油复配时,均表现为拮抗作用,类似的研究表明,当大蒜提取物与一品红的提取物混配防治蝗虫时,也表现出拮抗作用^[18]。因此,当大蒜油与其它杀虫剂混配使用防治害虫时,需要考虑其是否有拮抗作用。

桉树油具有较高的熏蒸活性,无刺激性气味,并且与其它植物油混配时表现出卓越的增效作用,有望成为储粮书虱防治的熏蒸替代药剂。由于嗜卷书虱卵对植物油的抗性远高于成虫,在害虫防治实践中,为防止亚致死剂量诱导抗药性的发展,应该将卵的致死剂量作为防治的推荐剂量。应该指出的是,由于受到植物源材料来源、采摘季节和植物油提取方法的影响,桉树油的组份会发生变化,进而会影响其杀虫活性。因此,对桉树油的杀虫活性组份进行分离和鉴定并明确其在混剂中的增效机制将有利于开发商品化的熏蒸替代药剂。

参考文献

- [1] Phillips TW, Throne JE. Biorational approaches to managing stored-product insects[J]. Annual Review of Entomology, 2010,55:375-397
- [2] Nayak MK, Collins PJ, Throne JE, et al. Biology and management of psocids infesting stored products[J]. Annual Review of Entomology, 2014,59:279-297
- [3] 徐河山,马雅军.植物源杀虫剂作用方式和机理的研究进展[J].热带医学杂志,2006,6(6):743-745
- [4] Park IK, Lee SG, Choi DH, et al. Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtusa* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.)[J]. Journal of Stored Products Research, 2003,39(4):375-384
- [5] Huang Y, Lam SL, Ho SH. Bioactivities of essential oil from *Elletaria cardamomum* (L.) Maton. to *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst)[J]. Journal of Stored Products Research, 2000,36(2):107-117
- [6] 聂霄艳.花椒提取物对玉米象和赤拟谷盗的控制作用研究[D].重庆:西南大学,2007
- [7] Ogendo JO, Kostyukovsky M, Ravid U, et al. Bioactivity of *Ocimum gratissimum* L. oil and two of its constituents against five insect pests attacking stored food products[J]. Journal of Stored Products Research, 2008,44(4):328-334
- [8] Liu CH, Mishra AK, Tan RX, et al. Repellent and insecticidal activities of essential oils from *Artemisia princeps* and *Cinnamomum camphora* and their effect on seed germination of wheat and broad bean[J]. Bioresource Technology, 2006,97(15):1969-1973
- [9] Lu Y, Zhong J, Wang Z, et al. Fumigation toxicity of allicin against three stored product pests[J]. Journal of Stored Products Research, 2013,55(4):48-54
- [10] Mishra BB, Tripathi SP, Tripathi CPM. Bioactivity of two plant derived essential oils against the rice weevils *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae)[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 2013,83(2):171-175
- [11] Islam MS, Hasan MM, Xiong W, et al. Fumigant and repellent activities of essential oil from *Coriandrum sativum* (L.) (Apiaceae) against red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae)[J]. Journal of Pest Science, 2009,82(2):171-177
- [12] Rani PU. Fumigant and contact toxic potential of essential oils from plant extracts against stored product pests[J]. Journal of Biopesticides, 2012,5(2):120-128
- [13] Ko K, Juntarajumnong W, Chandrapatya A. Repellency, fumigant and contact toxicities of *Litsea cubeba* (Lour.) Persoon against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst)[J]. Kasetsart Journal (Natural Science), 2009,43(1):56-63
- [14] Mansour NA, El-Defrawi ME, Topozada A, et al. Toxicology studies on the Egyptian cotton leafworm, *Prodenia litura*. VI. potentiation and antagonism of organophosphorus and carbamate insecticides[J]. Journal of Economic Entomology, 1966,59(2):307-311
- [15] 陈福良,郑斐能,王 仪.农药混配室内毒力测定的一种实验技术[J].农药科学与管理,1997(4):30-31,34
- [16] Sun YP, Johnson ER. Analysis of joint action of insecticides against houseflies[J]. Journal of Economic Entomology, 1960,53(5):887-892
- [17] Rajendran S, Sriranjini V. Plant products as fumigants for stored-product insect control[J]. Journal of Stored Products Research, 2008,44(2):126-135
- [18] Sharaby A, Gesraha MA, Montasser SA, et al. Combined effect of some bio-agents against the grasshopper, *Heteracris littoralis* under semi-field condition[J]. ISOR Journal of Agriculture and Veterinary Science, 2013,3(5):29-27