



源丽枫, 陈科伟, 曾 伶, 等. 植物精油对锈赤扁谷盗成虫熏蒸毒杀作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (1): 207–212.

植物精油对锈赤扁谷盗成虫熏蒸毒杀作用研究

源丽枫¹, 陈科伟^{1*}, 曾 伶², 黄诗宇¹, 曾 玲¹, 梁广文^{1*}

(1. 华南农业大学农学院, 广州 510640; 2. 广东省粮食科学研究所, 广州 510050)

摘要: 为明确适用于防治锈赤扁谷盗的植物精油种类及其用量, 本试验采用拌粮密闭熏蒸法, 比较 23 种植物精油对锈赤扁谷盗成虫熏蒸毒杀活性差异, 从中筛选出作用效果较好的精油种类进行熏蒸毒力测定。通过二次筛选结果表明, 大蒜与芥末精油对锈赤扁谷盗成虫具有明显的熏蒸毒杀作用。进一步的毒力测试结果表明, 在 24 h、48 h、72 h 处理时间下, 大蒜精油对锈赤扁谷盗成虫的 LC_{50} 值分别为 0.7827、0.7222、0.6478 $\mu\text{L/L}$, 而芥末精油在相同处理时间条件下的 LC_{50} 值分别为 2.7581、2.6117 及 2.4619 $\mu\text{L/L}$, 大蒜精油对锈赤扁谷盗具有更强的熏蒸毒杀活性。

关键词: 锈赤扁谷盗; 植物精油; 芥末精油; 大蒜精油; 熏蒸毒杀

中图分类号: Q965.9; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2017) 01-0207-06

Fumigant toxicity activity of essential oils against *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens)

YUAN Li-Feng¹, CHEN Ke-Wei¹, ZENG Ling², HUANG Shi-Yu¹, ZENG Ling¹, LIANG Guang-Wen^{1*}

(1. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong Institute for Cereal Science Research, Guangzhou 510050, China)

Abstract: The fumigant toxicity of 23 essential oils on adults of rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) was investigated with the method of mixing oils with diet. The results proved that the fumigant toxicity activity of the essential oils of *Allium sativum* and *Brassica nigra* were better than that of the other 21 essential oils. The LC_{50} of rusty grain beetle fumigated by the essential oils of *A. sativum* under the exposure time of 24, 48 and 72 hours were 0.7827, 0.7222 and 0.6478 $\mu\text{L/L}$, respectively. While the LC_{50} of *B. nigra* under the same exposure time were 2.7581, 2.6117 and 2.4619 $\mu\text{L/L}$, respectively. The fumigant toxicity of *A. sativum* on adults of rusty grain beetle was stronger than that of *B. nigra*.

Key words: *Cryptolestes ferrugineus*; essential oil; mustard oil; garlic oil; fumigant toxicity

锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens), 属于鞘翅目 Coleoptera 扁谷盗科 Laemophloeidae, 是一种世界性的储粮害虫, 也是当前储粮害虫防治中最难彻底杀除的害虫之一。锈赤扁谷盗喜好高温高湿的生长环境 (Rilett, 1949; Jian *et al.*, 2004), 近年来在我国南方各省猖獗为害, 给储粮

安全带来严重威胁。利用化学熏蒸剂熏杀害虫仍是目前储粮害虫防治中最主要的技术手段, 其中磷化氢 (PH_3) 是最为广泛与普遍使用的熏蒸剂 (Ei-Aziz, 2011), 但由于长期、单一使用这种熏蒸剂, 许多储粮害虫, 如谷蠹 *Rhyzopertha dominica* (Fabricius)、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*

基金项目: 粮食公益性行业科研专项 (201313002-04)

作者简介: 源丽枫, 女, 1990 年生, 硕士研究生, 研究方向为储粮害虫综合控制, E-mail: fatwist12@sina.com.cn

* 通信作者 Author for correspondence, E-mail: chenkewei@scau.edu.cn; gwliang@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-12-15; 接受日期 Accepted: 2016-05-11

(Herbst)、米象 *Sitophilus oryzae* (L.) 等对磷化氢均产生了明显的抗性(曾伶, 1996; 曹阳, 2006); 扁谷盗类的锈赤扁谷盗与土耳其扁谷盗 *Cryptolestes turcicus* (Grouville) 在全国许多储粮点的监测表明其对磷化氢的抗性普遍比较严重(严晓平等, 2004; 马晓辉等, 2008), 使磷化氢的杀虫效果大幅下降, 给储粮害虫的防治工作带来新的挑战。寻求有效防治储粮害虫的新方法、新技术已刻不容缓(Collins, 2006)。

植物源杀虫剂具有对人畜安全、低残留、无污染等诸多优点, 受到国内外学者的极大关注。研究表明, 许多植物精油对仓储害虫具有明显的生物活性, 如毒杀、熏蒸、驱避、引诱、拒食、抑制生长发育等作用机制(Shaaya *et al.*, 1991; 徐汉虹和赵善欢, 1993)。另外, 植物精油具有取材广泛、挥发性强、在谷物中残留量低等优点, 是开发储粮熏蒸剂和驱避剂的理想资源, 有望成为替代磷化氢的最具应用前景的防治措施之一。目前, 国内有关研究利用植物精油防治的储粮害虫种类主要有谷蠹(李宁等, 2013)、米象(吕建华等, 2006)、玉米象 *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)(邓永学等, 2004; 卢传兵等, 2009)、锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis* (Linne)(李宁等, 2011)等初期性害虫, 以及赤拟谷盗(吕建华等, 2006)、杂拟谷盗 *Tribolium confusum* (Duval)(杨德军等, 2002)等中间性害虫, 而鲜见有关植物精油对锈赤扁谷盗这类后期性害虫杀虫活性的研究报道。本研究在参考目前报道对仓储害虫具有较高生物活性的植物精油的基础上, 测试了大蒜素等 23 种植物精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀作用, 旨在从中筛选出高效精油, 为储粮害虫的综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试昆虫

锈赤扁谷盗: 由广东省粮食科学研究所提供, 置于温度 30℃, 相对湿度 80%, 24 h 黑暗的培养箱中饲养, 饲料为小麦、燕麦片、全麦粉和酵母混合物(饲料配比为小麦: 燕麦片: 含 5% 酵母粉的全麦粉 = 6: 3: 1)。挑选羽化后 2 周左右的成虫作为试虫。实验中使用的小麦含水量在 12.1% - 12.5%。

1.1.2 供试植物精油

植物精油来源植物: 大蒜 *Allium sativum*、芥末 *Brassica nigra*、小茴香 *Foeniculum vulgare*、柠檬 *Citrus limon*、辣椒 *Capsicum annuum*、樟脑 *Cinnamomum camphora*、留兰香 *Mentha spicata*、薄荷 *Mentha haplocalyx*、孜然 *Cuminum cyminum*、芸香 *Ruta graveolens*、蛇床子 *Cnidium monnieri*、广藿香 *Pogostemon cablin*、龙柏 *Sabina chinensis*、八角茴香 *Illicium verum*、肉桂 *Cinnamomum cassia*、蓝桉叶 *Eucalyptus globulus*、艾叶 *Artemisia argyi*、豆蔻 *Alpinia katsumadai*、香茅 *Cymbopogon citratus*、冬青 *Ilex chinensis*、紫苏叶 *Perilla frutescens*、高良姜 *Alpinia officinarum*、罗勒 *Ocimum basilicum*, 以上植物精油均购自江西省吉水县顺民药用香料油提炼厂。

1.2 试验方法

1.2.1 高效植物精油的筛选

采用拌粮熏蒸法: 将 90 g 完整颗粒小麦和 10 g 破碎小麦(过 10 目筛但不过 18 目筛)加入 1000 mL 广口瓶中, 用移液枪吸取相应的植物精油原液拌入小麦中, 塞上塞子, 充分摇匀后, 接入锈赤扁谷盗成虫 30 头。塞上橡胶塞, 用保鲜膜和透明胶带封好瓶口。置于温度 30℃, 相对湿度 70%, 24 h 黑暗的培养箱中。以空白处理为对照, 每个处理设 3 个重复。经过 48 h 后, 检查记录成虫的死亡数, 计算出死亡率和校正死亡率, 比较各处理熏蒸毒杀效果, 优选杀虫效果好的植物精油种类。

本筛选试验分两步进行, 第一轮筛选所用植物精油量为 20 μ L, 选取对锈赤扁谷盗成虫熏蒸毒杀死亡率在 90% 以上的植物精油进行第二轮筛选。第二轮筛选所用植物精油量为 10 μ L, 筛选出熏蒸毒杀效果最好的植物精油进入下一阶段的毒力测定。

1.2.2 高效植物精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀活性测定

由 1.2.1 的筛选试验, 确定了大蒜油与芥菜油这两种对锈赤扁谷盗成虫具有较强熏蒸毒杀作用的植物精油, 并进一步采用拌粮熏蒸法(方法同 1.2.1)开展这两种植物精油的毒力测定。根据预试验的结果, 大蒜与芥菜精油的熏蒸毒杀作用存在一定的差异, 因而对大蒜油与芥菜油设置了不同的浓度梯度。大蒜精油设置的用量为 0.4 μ L、0.6 μ L、0.8 μ L、1.0 μ L、1.2 μ L、1.4 μ L、

1.8 μL, 而芥茉精油设置的用量为 1.0 μL、1.5 μL、2.0 μL、2.5 μL、3.0 μL、3.5 μL、4.0 μL。熏蒸时间设定为 24 h、48 h、72 h。每个处理试虫 30 头, 3 次重复, 并以不加植物精油的处理作为对照, 试验温湿度及光照条件同 1.2.1。检查记录不同精油用量及熏蒸时间条件下锈赤扁谷盗成虫的死亡数, 具体方法为在体视镜下观察, 以小毛笔拨动虫体, 30 min 内不动者确定为死亡个体。计算出死亡率和校正死亡率。

1.3 数据处理

校正死亡率 (%) = (处理死亡率 - 对照死亡率) / (1 - 对照死亡率) × 100

所有数据采用 SAS 9.0 软件进行统计分析, 校正死亡率数据经反正弦平方根转换后采用 one-way ANOVA 进行方差分析, 多重比较采用 Duncan's 新复极差方法, 半致死浓度 (LC₅₀) 用 PROC PROBIT 分析, 采用χ²检验对回归方程的适合性进行检验。

2 结果与分析

2.1 23 种植物精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀活性

在植物精油浓度为 20 μL/L 时, 芥末等 23 种

植物精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀活性表现出明显的差异。芥末油、大蒜油、冬青油、樟脑油、留兰香油及蓝桉叶油的熏杀作用最为明显, 48 h 的校正死亡率在 90% 以上; 柠檬油、八角茴香油、罗勒油、薄荷油、肉桂油及小茴香油的熏杀作用相对较弱, 48 h 的校正死亡率介于 30% - 70%; 香茅油、高良姜油与豆蔻油的校正死亡率介于 5% - 15%, 而蛇床子油、紫苏叶油、辣椒油、广藿香油、芸香油、龙柏油、艾叶油及孜然油这 8 种植物精油的熏杀作用不明显, 48 h 的校正死亡率均不超过 5% (见表 1)。为此选择了芥末、大蒜、冬青、樟脑、留兰香及蓝桉叶这 6 种熏杀活性较好的植物精油进入第二轮筛选。

当进一步降低植物精油浓度后, 芥末、大蒜、冬青、樟脑、留兰香及蓝桉叶这 6 种植物精油对锈赤扁谷盗成虫的熏杀活性也产生一定的分化。在植物精油浓度为 10 μL/L 时, 芥末与大蒜精油在 48 h 内对锈赤扁谷盗成虫的校正死亡率仍保持在 100%, 而冬青油、樟脑油、蓝桉叶油和留兰香油的校正死亡率都降到了 40% 以下 (表 2)。为此, 选择了芥末与大蒜这两种植物精油进入最后的熏杀毒力测试。

表 1 23 种植物精油在 20 μL/L 浓度下对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀效果
Table 1 Fumigant toxicity activity of 23 species of essential oil on *Cryptolestes ferrugineus* adults (20 μL/L)

植物精油 Essential oils	校正死亡率 (%) Corrected mortality	植物精油 Essential oils	校正死亡率 (%) Corrected mortality
芥末 <i>Brassica nigra</i>	100.00 ± 0.00 a	香茅 <i>Cymbopogon citratus</i>	12.36 ± 1.95 d
大蒜 <i>Allium sativum</i>	100.00 ± 0.00 a	高良姜 <i>Alpinia officinarum</i>	6.74 ± 4.90 de
冬青 <i>Ilex chinensis</i>	95.51 ± 2.97 a	豆蔻 <i>Alpinia katsumadai</i>	5.62 ± 1.95 def
樟脑 <i>Cinnamomum camphora</i>	95.51 ± 2.97 a	蛇床子 <i>Cnidium monnieri</i>	4.50 ± 2.25 def
留兰香 <i>Mentha spicata</i>	95.51 ± 2.25 a	紫苏叶 <i>Perilla frutescens</i>	4.50 ± 2.97 def
蓝桉叶 <i>Eucalyptus globulus</i>	93.26 ± 5.15 a	辣椒 <i>Capsicum annum</i>	1.13 ± 2.25 ef
柠檬 <i>Citrus limon</i>	64.04 ± 2.25 b	广藿香 <i>Pogostemon cablin</i>	1.13 ± 2.25 ef
八角茴香 <i>Illicium verum</i>	59.55 ± 10.30 b	芸香 <i>Ruta graveolens</i>	0.00 ± 1.12 ef
罗勒 <i>Ocimum basilicum</i>	51.69 ± 1.12 bc	龙柏 <i>Sabina chinensis</i>	0.00 ± 1.12 ef
薄荷 <i>Mentha haplocalyx</i>	46.07 ± 1.95 bc	艾叶 <i>Artemisia argyi</i>	0.00 ± 1.12 ef
肉桂 <i>Cinnamomum cassia</i>	37.08 ± 2.25 c	孜然 <i>Cuminum cyminum</i>	-1.12 ± 0.00 f
小茴香 <i>Foeniculum vulgare</i>	33.71 ± 1.13 c		

注: 表中数据为平均数 ± 标准误; 两列数据后具不同字母表示经 Duncan 新复极差法测验差异显著 (P < 0.05)。Note: Data are presented as means ± SE, and those followed by different letters in the two column are significantly different at 5% level (Duncan's multiple range test).

表 2 6 种植物精油在 10 $\mu\text{L/L}$ 浓度下对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀效果

Table 2 Fumigant toxicity activity of 6 species of essential oil on *Cryptolestes ferrugineus* adults (10 $\mu\text{L/L}$)

植物精油 Essential oils	校正死亡率 (%) Corrected mortality
大蒜 <i>Allium sativum</i>	100.00 $\pm$ 0.00 a
芥末 <i>Brassica nigra</i>	100.00 $\pm$ 0.00 a
冬青 <i>Ilex chinensis</i>	30.68 $\pm$ 3.01 b
樟脑 <i>Cinnamomum camphora</i>	28.41 $\pm$ 3.94 b
桉叶 <i>Eucalyptus globulus</i>	26.14 $\pm$ 2.27 b
留兰香 <i>Mentha spicata</i>	10.22 $\pm$ 1.14 c

注: 表中数据为平均数 $\pm$ 标准误; 同列数据后具不同字母表示经 Duncan 新复极差法测验差异显著 ($P < 0.05$)。下同。Note: Data are presented as means $\pm$ SE, and those followed by different letters in the same column are significantly different at 5% level (Duncan's multiple range test). The same below.

2.2 芥末与大蒜精油对锈赤扁谷盗的熏蒸毒杀活性

芥末精油与大蒜精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀活性均随使用浓度与处理时间的增加而增强, 但熏蒸时间的延长对杀虫效果的增效较缓慢, 表现出较强的速效性 (表 3、表 4)。通过比较相同处理时间、不同处理浓度植物精油的熏蒸毒杀效果来看, 大蒜精油的熏蒸毒杀活性明显高于芥末精油。在处理 24 h 时, 芥末精油浓度为 1.0 $\mu\text{L/L}$ 与 4.0 $\mu\text{L/L}$ 时, 锈赤扁谷盗的校正死亡率分别为 2.22% 与 95.56% (表 3); 而大蒜精油在相同处理时间下, 浓度为 1.0 $\mu\text{L/L}$ 时, 锈赤扁谷盗的校正死亡率为 73.03%, 而当浓度为 1.4 $\mu\text{L/L}$ 时就达到芥末精油浓度为 4.0 $\mu\text{L/L}$ 的毒杀效果 (表 4)。

表 3 芥末精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀效果

Table 3 Fumigant toxicity activity of mustard oil against adult of *Cryptolestes ferrugineus* under different concentrations and exposure times

浓度 ($\mu\text{L/L}$) Concentration	校正死亡率 (%) Corrected mortality		
	24 h	48 h	72 h
1.0	2.22 $\pm$ 1.11 e	2.22 $\pm$ 1.11 e	2.22 $\pm$ 1.11 e
1.5	4.45 $\pm$ 2.22 de	4.45 $\pm$ 2.22 e	7.78 $\pm$ 2.22 e
2.0	13.34 $\pm$ 3.33 d	22.22 $\pm$ 2.94 d	27.78 $\pm$ 4.01 d
2.5	35.56 $\pm$ 5.56 c	46.67 $\pm$ 8.39 c	55.56 $\pm$ 7.29 c
3.0	64.45 $\pm$ 9.09 b	71.11 $\pm$ 9.10 b	78.89 $\pm$ 9.49 b
3.5	83.33 $\pm$ 3.85 b	85.55 $\pm$ 4.01 b	88.89 $\pm$ 2.22 b
4.0	95.56 $\pm$ 2.94 a	96.67 $\pm$ 1.93 a	97.78 $\pm$ 1.11 a

表 4 大蒜精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒杀效果

Table 4 Fumigant toxicity activity of garlic oil against adult of *Cryptolestes ferrugineus* under different concentrations and exposure times

浓度 ($\mu\text{L/L}$) Concentration	校正死亡率 (%) Corrected mortality		
	24 h	48 h	72 h
0.4	11.24 $\pm$ 4.90 c	13.64 $\pm$ 4.54 c	17.44 $\pm$ 4.19 c
0.6	22.47 $\pm$ 5.15 c	28.41 $\pm$ 3.94 c	36.05 $\pm$ 5.07 c
0.8	57.30 $\pm$ 9.19 b	64.77 $\pm$ 10.10 b	73.25 $\pm$ 14.15 b
1.0	73.03 $\pm$ 7.02 b	78.41 $\pm$ 6.01 b	82.56 $\pm$ 6.98 b
1.2	78.65 $\pm$ 4.05 b	81.82 $\pm$ 4.95 b	84.88 $\pm$ 2.32 b
1.4	95.51 $\pm$ 2.97 a	98.86 $\pm$ 1.14 a	100.00 $\pm$ 0.00 a
1.8	100.00 $\pm$ 0.00 a	100.00 $\pm$ 0.00 a	100.00 $\pm$ 0.00 a

采用线性回归方程拟合了死亡机率值 (y) 与供试植物精油浓度 (x) 之间的关系, 结果表明该数学模型可用于这两种植物精油的熏蒸毒力描述 (表 5、表 6)。从两种植物精油对锈赤扁谷盗致死浓度 LC_{50} 值来看, 随着处理时间的延长, 两种精

油的 LC_{50} 值均有所下降, 说明延长处理时间具有一定的增效作用。但相同处理时间条件下, 大蒜精油的 LC_{50} 值明显低于芥末精油, 其杀虫活性更强 (表 5、表 6)。

表 5 不同处理时间的芥末精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒力

Table 5 Fumigant toxicity activity of mustard oil against adult of *Cryptolestes ferrugineus* under different exposure times

处理时间 (h) Exposure time	回归方程 ($y =$) Regression equation	χ^2 值 Value of Chi square	P 值 P value	LC ₅₀ 值 Value of LC ₅₀	
				精油浓度 ($\mu\text{L/L}$) Concentration	95% 置信区间 95% confidence interval
24	$-3.6671 + 1.3296x$	2.0960	0.9107	2.7581	2.6617 – 2.8563
48	$-3.431 + 1.3157x$	2.0498	0.9151	2.6117	2.5148 – 2.7090
72	$-3.2990 + 1.3400x$	2.3391	0.8860	2.4619	2.3657 – 2.5576

表 6 不同处理时间的大蒜精油对锈赤扁谷盗成虫的熏蒸毒力

Table 6 Fumigant toxicity activity of garlic oil against adult of *Cryptolestes ferrugineus* under different exposure times

处理时间 (h) Exposure time	回归方程 ($y =$) Regression equation	χ^2 值 Value of Chi square	P 值 P value	LC ₅₀ 值 Value of LC ₅₀	
				精油浓度 ($\mu\text{L/L}$) Concentration	95% 置信区间 95% confidence interval
24	$-2.4447 + 3.1233x$	2.7256	0.6047	0.7827	0.7376 – 0.8327
48	$-2.2161 + 3.0688x$	3.2577	0.5157	0.7222	0.6772 – 0.7697
72	$-1.8967 + 2.9281x$	4.4963	0.3430	0.6478	0.6011 – 0.6949

3 结论与讨论

本试验结果表明, 大蒜精油与芥末精油对锈赤扁谷盗成虫具有明显的熏蒸毒杀作用, 且具有用量低、作用迅速等优点, 是防治锈赤扁谷盗适宜的植物源杀虫制剂。通过比对前人的研究发现, 芥末精油对锯谷盗成虫具有很强的熏蒸、驱避和毒杀活性 (李宁等, 2011); 大蒜素对米象、玉米象和谷蠹也具有明显的熏蒸作用 (仲建锋等, 2007), 但对赤拟谷盗成虫无明显熏蒸作用 (吕建华等, 2006)。另外, 本试验中对锈赤扁谷盗熏杀作用不明显的孜然、芸香、紫苏等精油, 却对杂拟谷盗 (杨德军等, 2002; 沈科萍等, 2015)、玉米象 (王宇新, 2009) 等害虫有明显的生物熏杀活性, 说明不同植物精油的杀虫谱范围并不相同, 在生产实践中可优先考虑杀虫谱广的植物精油种类, 以达到一药多治的目的。

相同处理时间条件下, 大蒜精油的 LC_{50} 值明

显低于芥末精油, 说明大蒜精油对锈赤扁谷盗成虫具更强的生物活性。但通过比较分析同一种植物精油对不同害虫熏杀效果时其用量存在较大的差异, 如本试验中, 在 24 h 时, 大蒜素对锈赤扁谷盗的 LC_{50} 值为 0.7827 $\mu\text{L/L}$ 。而仲建锋等 (2007) 研究报道, 在相同处理时间条件下, 大蒜素对米象、玉米象及谷蠹的 LC_{50} 值分别为 9.28、5.20、1.75 $\mu\text{L/L}$, 均高于本试验中对锈赤扁谷盗的用量。造成这种差异的原因可能有以下 2 种情况: ① 不同种类害虫对同一植物精油的敏感性不同, 即同一精油对不同害虫的生物活性存在差异, 导致达到相同死亡率时所用剂量不同; ② 试验测试方法不同, 本试验中采用的是拌粮熏蒸法, 而仲建锋等采用的是滤纸条吸附熏蒸法。通常在拌粮条件下, 由于害虫与植物精油直接接触, 害虫的死亡可能是熏蒸与触杀综合作用的结果, 而滤纸条吸附法则主要是熏蒸这单一作用, 这也可能是导致用药量差异的原因之一。建议在生产实践中可采用拌粮熏蒸法以减少精油制剂的用量。

参考文献 (References)

- Cao Y. Survey of the resistance of stored - grain pests to phosphine in China [J]. *Journal of Henan University of Technology* (Natural Science Edition), 2006 , 27 (1) : 1 - 6. [曹阳. 我国谷蠹、赤拟谷盗、锈赤扁谷盗和土耳其扁谷盗磷化氢抗药性调查 [J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2006 , 27 (1) : 1 - 6]
- Collins DA. A review of alternatives to organophosphorus compounds for the control of storage mites [J]. *Journal of Stored Products Research* , 2006 , 42 (4) : 395 - 426.
- Deng YX , Wang JJ , Jv YM , *et al.* Comparison of fumigation activities of 9 kinds of essential oils against the adults of maize weevil , *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science* , 2004 , 6 (3) : 85 - 88. [邓永学, 王进军, 鞠云美, 等. 九种植物精油对玉米象成虫的熏蒸作用比较 [J]. 农药学报, 2004 , 6 (3) : 85 - 88]
- Ei - Aziz SEA. Control strategies of stored product pests [J]. *Journal of Entomology* , 2011 , 8 (2) : 101 - 122.
- Jian F , Jayas DS , White ND. Movement and distribution of adult rusty grain beetle , *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Laemophloeidae) , in stored wheat in response to different temperature gradients and insect density [J]. *Journal of Economic Entomology* , 2004 , 97 (3) : 1148 - 1158.
- Li N , Hu Q , Cui XY. Bioactivity of lemon oil against *Rhizopertha dominica* Fabricius [J]. *Agrochemicals* , 2013 , 52 (3) : 222 - 224. [李宁, 胡奇, 崔新仪. 柠檬精油对谷蠹的生物活性 [J]. 农药, 2013 , 52 (3) : 222 - 224]
- Li N , Yan RX , Guan WQ. Bioactivity of mustard oil against the adults of *Oryzaephilus surinamensis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control* , 2011 , 27 (1) : 132 - 135. [李宁, 阎瑞香, 关文强. 芥末精油对锯谷盗成虫的生物活性 [J]. 中国生物防治学报, 2011 , 27 (1) : 132 - 135]
- Lu CB , Liu YQ , Xue M , *et al.* Extraction of *Vitex negundo* essential oil and the intoxicating action of extracts to five main stored - product insect pests [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association* , 2011 , 26 (3) : 75 - 80. [卢传兵, 刘雨晴, 薛明, 等. 黄荆精油的提取和对 5 种储粮害虫的致毒作用 [J]. 中国粮油学报, 2011 , 26 (3) : 75 - 80]
- Lu CB , Xue M , Liu YQ , *et al.* Insecticidal components and toxicity of *Vitex negundo* (Lamiales: Verbenaceae) essential oil to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and their action mechanisms [J]. *Acta Entomologica Sinica* , 2009 , 52 (2) : 159 - 167. [卢传兵, 薛明, 刘雨晴, 等. 黄荆精油对玉米象的杀虫活性成分、毒力及作用机制 [J]. 昆虫学报, 2009 , 52 (2) : 159 - 167]
- Lv JH , Ren XS , Xv JS , *et al.* Controlling effects of essential oils on *Sitophilus oryzae* [J]. *Hubei Agricultural Science* , 2006 , 45 (4) : 470 - 472 , 480. [吕建华, 任信升, 许建双, 等. 三种植物精油对米象的控制作用 [J]. 湖北农业科学, 2006 , 45 (4) : 470 - 472 , 480]
- Lv JH , Wang XM , Bai XG , *et al.* Studies on the repellent activity of plant essential oils against *Tribolium castaneum* (Herbst) [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences* , 2006 , 9 : 68 - 71. [吕建华, 王新民, 白旭光, 等. 4 种植物精油对赤拟谷盗的控制作用研究 [J]. 河南农业科学, 2006 , 9 : 68 - 71]
- Lv JH , Zhao YJ , Lu YJ. The bioactivities of three kinds of essential oils on four species of important stored - grain insects [J]. *Journal of the Chinese Cereals and oils Association* , 2006 , 21 (3) : 325 - 329. [吕建华, 赵英杰, 鲁玉杰. 三种植物精油对四种主要储粮害虫的生物活性研究 [J]. 中国粮油学报, 2006 , 21 (3) : 325 - 329]
- Ma XH , Wang DX , Li KQ , *et al.* Investigation on stored grain insect species and resistance to phosphine in state grain reserves of China [J]. *Grain Storage* , 2008 , 37 (1) : 7 - 10. [马晓辉, 王殿轩, 李克强, 等. 中央储备粮中主要害虫种类及抗性状况调查 [J]. 粮食储藏, 2008 , 37 (1) : 7 - 10]
- Rilett RO. The biology of *Laemophloeus ferrugineus* (Steph.) [J]. *Canadian Journal of Research* , 1949 , 27 (3) : 112 - 148.
- Shaaya E , Ravid U , Paster N , *et al.* Fumigant toxicity of essential oils against four major stored-product insects [J]. *Journal of Chemical Ecology* , 1991 , 17 (3) : 499 - 504.
- Shen KP , Li GL , Bi Y , *et al.* Control with essential oils of cumin (*Cuminum cyminum*) against *Tribolium confusum* and influence of metabolic enzyme activity [J]. *Science and Technology of Food Industry* , 2015 , 36 (18) : 320 - 325. [沈科萍, 李国林, 毕阳, 等. 孜然精油对杂拟谷盗的熏蒸效果及代谢酶活的影响 [J]. 食品工业科技, 2015 , 36 (18) : 320 - 325]
- Wang YX. The Biological Activity and Enzyme Activity of *Perilla frutescens* Essential Oil Against *Sitophilus zeamais* [D]. Changchun: Northeast Normal University , 2009. [王宇新. 紫苏精油对玉米象成虫的生物活性及酶活力的影响 [D]. 长春市: 东北师范大学, 2009]
- Xv HH , Zhao SH. Recent advances in the application of essential oils for the control of insect pests [J]. *Journal of South China Agricultural University* , 1993 , 14 (4) : 145 - 154. [徐汉虹, 赵善欢. 利用植物精油防治害虫的研究进展 [J]. 华南农业大学学报, 1993 , 14 (4) : 145 - 154]
- Yan XP , Li WW , Liu ZW , *et al.* Investigation of phosphine - resistance in major stored grain insects in China [J]. *Grain Storage* , 2004 , 32 (4) : 17 - 19 , 25. [严晓平, 黎万武, 刘作伟, 等. 我国主要储粮害虫抗性调查研究 [J]. 粮食储藏, 2004 , 32 (4) : 17 - 19 , 25]
- Yang DJ , Wang C , Hu RL , *et al.* Determination of toxicity of plant essential oils to *Tribolium confusum* Jacquelin du Val [J]. *Journal of Southwest Agricultural University* , 2002 , 24 (4) : 296 - 298. [杨德军, 王春, 胡仁林, 等. 芸香科植物精油对杂拟谷盗害虫的毒力测定 [J]. 西南农业大学学报, 2002 , 24 (4) : 296 - 298]
- Zeng L. The advance of phosphine resistance in stored grain insects [J]. *Natural Enemies of Insects* , 1996 , 18 (4) : 37 - 41. [曾伶. 储粮害虫对磷化氢抗性的研究进展 [J]. 昆虫天敌, 1996 , 18 (4) : 37 - 41]
- Zhong JF , Lu YJ , Li XK , *et al.* Studies on fumigation toxicity of allicin against different stored grain pests [J]. *Journal of Henan Agricultural University* , 2007 , 41 (4) : 442 - 446. [仲建锋, 鲁玉杰, 李奎奎, 等. 大蒜素对储粮害虫熏蒸作用的研究 [J]. 河南农业大学学报, 2007 , 41 (4) : 442 - 446]