外源茉莉酸诱导菜豆对西花蓟马和南方小花蝽的行为反应*

李顺欣** 郅军锐*** 曾 广 温 娟 吕召云

（贵州大学昆虫研究所，贵州省山地农业病虫害重点实验室，贵阳 550025）

摘 要 **【目的】**为明确茉莉酸诱导的菜豆对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 和南方小花蝽 *Orius similis* 的行为反应。**【方法】** 采用四臂嗅觉仪测定了西花蓟马和南方小花蝽对不同浓度茉莉酸诱导菜豆后的行为反应，并用气相色谱-质谱联用仪测定了不同浓度茉莉酸处理后菜豆挥发物的成分。**【结果】** 不同浓度茉莉酸处理的菜豆植株对西花蓟马和南方小花蝽分别有不同程度的驱避和吸引作用，以 1 mmol/L 的茉莉酸处理植株对西花蓟马的驱避作用最强，0.1 mmol/L 的茉莉酸处理植株对南方小花蝽的吸引作用最强。不同处理菜豆的挥发物在含量和成分上存在显著差异，(Z)-3-己烯丙酸酯、2-异丙基-甲氧基毗嗪只有在茉莉酸处理植株中检测到。结合不同浓度茉莉酸处理植株对西花蓟马和南方小花蝽的行为反应及菜豆挥发物含量的变化趋势，推测(E)-2-己烯醛对西花蓟马有驱避作用，(E)-2-乙酸叶醇酯对南方小花蝽具有引诱作用。**【结论】** 茉莉酸处理菜豆后，植物挥发物种类和含量发生了变化，在增强菜豆植株抗虫性的同时，还可增强捕食性天敌南方小花蝽的搜索和捕食能力。

关键词 西花蓟马，南方小花蝽，行为反应，菜豆，挥发物

Behavioral responses of *Frankliniella occidentalis* and *Orius similis* to kidney bean volatiles induced by exogenous jasmonic acid

LI Shun-Xin** ZHI Jun-Rui*** ZENG Guang WEN Juan LÜ Zhao-Yun

(Institute of Entomology, Guizhou University, Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Guiyang 550025, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the effects of bean volatiles induced by jasmonic acid on the behavior of *Frankliniella occidentalis*, and its natural enemy, *Orius similis*. **[Methods]** The responses of *F. occidentalis* and *O. similis* to bean volatiles induced by different concentrations of exogenous jasmonic acid were tested in a four arm-olfactometer. Volatiles were identified by GC-MS and compared. **[Results]** The volatiles induced by exogenous jasmonic acid were all, to some degree, repellent to *F. occidentalis* and attractive to *O. similis*. The most repellant volatiles were produced by treatment with by 1 mmol/L of jasmonic acid, and the most attractive by treatment by 0.1 mmol/L of jasmonic acid. The composition of volatiles produced following different treatments were significantly different. (Z)-3-hexenyl propionate and 2-isopropyl-3-methoxypyrazine were only found in jasmonic acid induced bean volatiles. Analysis of the behavioral responses of the two insect species to different volatiles suggests that (E)-2-hexenal is repellent to *F. occidentalis* whereas (E)-2-hexenyl acetate is attractive to *O. similis*. **[Conclusion]** Application of exogenous jasmonic acid to bean plants can induce changes in volatiles composition that can repel *F. occidentalis* and attract *O. similis*.

Key words *Frankliniella occidentalis, Orius similis,* behavioral responses, bean, volatile

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金项目（31160367）；贵州省农业攻关项目（黔科合 NY[2015]3014-1 号）

**第一作者 First author，E-mail：lishunxin78@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：zhijunrui@126.com

收稿日期 Received：2016-01-25，接受日期 Accepted：2016-03-31

西花蓟马 *Frankliniella occidentails*（Pergande）已成为危害中国蔬菜生产的主要蓟马种类（张帆等，2015）。作为一种危害严重的入侵害虫，西花蓟马除直接取食造成危害外，还作为植物病毒的传毒媒介传播多种病毒（Reitz *et al.*，2011）。西花蓟马具有广泛的适应性，对多种作物和花卉造成严重损害，影响经济价值，造成人类经济损失。由于西花蓟马虫体微小、易于隐藏、土里化蛹，使得化学杀虫剂不易接触；并且世代周期短、繁殖力强，对化学杀虫剂易于产生抗性。因此，在西花蓟马的综合治理中生物防治占着越来越重要的位置（徐学农和王恩东，2010）。其中，天敌昆虫是影响外来入侵害虫种群动态的关键因子，同时也是对外来入侵害虫进行可持续控制的关键措施（吕要斌等，2011）。

小花蝽繁殖率高、捕食量大，捕食范围广。在食物缺乏时，可取食花粉和汁液，这种多食性有利于维持种群（Sengonca *et al.*，2008；Stepanycheva *et al.*，2014），因此是很有潜力的重要天敌昆虫（Blaeser *et al.*，2004；Bontea *et al.*，2015）。南方小花蝽 *Orius similis* Zheng 体型微小，是我国南部地区优势种，对西花蓟马具有很强的捕食能力（张昌容等，2013），取食西花蓟马时生长发育的时间短，繁殖率高，是一种防治西花蓟马的有效天敌（张士昶等，2008；蒋兴川等，2012；张昌容等，2012）。但南方小花蝽抗逆性差，有自相残杀的习性。

茉莉酸（Jasmonic acid，JA）及其同系化合物是植物体内诱导防御基因表达的重要信号分子，外源施用茉莉酸诱导植物产生的挥发性化学物质对害虫和天敌的行为产生明显的影响（徐伟和严善春，2005；林小姣和石绪根，2014）。前人研究发现，外源茉莉酸处理植株对植食性昆虫的生长发育、繁殖产卵等产生不利影响（宫玉艳等，2010；越慧芳等，2013；杜远鹏等，2014），且对植食性昆虫如枸杞木虱 *Paratrioza sinica*（张颖，2012）、橙足负泥虫 *Oulema melanopus*（Delaney *et al.*，2013）等有显著的驱避作用，但对天敌有显著的吸引作用，如可明显引诱菜蛾绒茧蜂 *Cotesia plutellae*（吕要斌和刘树生，2004）、管侧沟茧蜂 *Microplitis tuberculifer*（尹姣等，2005）、十一星瓢虫 *Coccinella undecimpanctata*（冯宏祖等，2012）、叶色草蛉 *Chrysopa phyllochroma*（冯宏祖等，2012）、红点唇瓢虫 *Chilocorus kuwanae*（张艳峰等，2012）。利用茉莉酸处理寄主植物既可以有效减少害虫的数量，又可以起到吸引天敌昆虫的作用。因此具有经济有效、不污染环境、保持农业优良生态系统的特点，是利用自然因子达到生态平衡的理想措施，也是害虫综合治理战略中的重要一环。

有关茉莉酸类化合物处理的寄主植物对西花蓟马的影响也有较多的报道，如：杨帆（2009）研究发现茉莉酸甲酯处理的黄瓜 *Cucumis sativus* 对西花蓟马有显著的驱避效果。Abe 等（2009）研究发现茉莉酸能够诱导拟南芥 *Arabidopsis thaliana* 产生防御反应，在西花蓟马危害前施用茉莉酸，能够减少西花蓟马的种群数量，有明显的驱避作用。Egger 和 Koschier（2014）研究发现，相比对照植株，茉莉酸处理植株上的西花蓟马更多的选择提前转移到土壤里化蛹。西花蓟马在茉莉酸处理菜豆 *Phaseolus vulgaris* 上未成熟期发育延长（牟峰等，2014），并且对 0.1 mmol/L 的茉莉酸处理菜豆具有显著的负趋性（张骏等，2015）。同样，茉莉酸类化合物对小花蝽的影响也有报道，Stepanycheva 等（2014）通过嗅觉仪和圆盘生物法研究时发现茉莉酸甲酯对无毛小花蝽 *O. laevigatus* 有显著的吸引效果。但昆虫种类和茉莉酸浓度的不同会使得昆虫对茉莉酸处理植株有完全不同的反应（Arab *et al.*，2007）。

植物对茉莉酸诱导存在浓度依赖性、发育阶段特异性和物种专一性（杨世勇等，2013），所以，在利用茉莉酸进行抗性的诱导时，应选用合适的浓度（冯宏祖等，2012）。因此本文通过研究菜豆受不同浓度的茉莉酸诱导后释放的挥发物对西花蓟马和南方小花蝽选择行为的影响，为调控和增强天敌的控害效果提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

西花蓟马：采自贵州省贵阳市花溪区蔬菜基

地，在人工气候箱[L∶D=14∶10；温度（25±1）℃；湿度（70±5）%]中用菜豆豆荚饲养 3 代以上供试。选取羽化 1 d 的西花蓟马雌成虫作为供试虫源，试验前将西花蓟马雌成虫饥饿 12 h 后用于试验。

南方小花蝽：采自贵州省贵阳市花溪区蔬菜基地，经鉴定纯化后，在人工气候箱内用二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 和西花蓟马混合饲养。选取羽化 3 d 的南方小花蝽雌成虫作为供试虫源，试验前将南方小花蝽饥饿 2 h 后用于试验。

1.2　供试植物

菜豆：在人工气候箱内以营养钵单株培育，供试植株均选择长至 9 d 具有 2 片真叶的健康未受伤害的植株。人工气候箱的设置同西花蓟马饲养。

1.3　试剂

茉莉酸购买自 Sigma 公司。临用前将茉莉酸溶于乙醇中，然后加蒸馏水配制 1，0.1，0.01，0.001 mmol/L 4 种不同浓度的溶液供试。

1.4　试验处理

健康植株（CK）：没有受到任何病虫为害及损伤的植物为健康植株。

虫害植株：在健康植株每片叶片接 10 头西花蓟马 2 龄若虫，每株菜豆上共 20 头。任其自由取食，供试时清除叶片上的蓟马。

茉莉酸（JA）处理植株：在健康菜豆植株上，分别均匀喷施 1，0.1，0.01，0.001 mmol/L 4 种浓度的茉莉酸溶液，液滴下流为止。

以上处理均置于人工气候室中分别用透明罩遮罩培养 24 h 后待用。

1.4.1　西花蓟马对不同浓度茉莉酸诱导菜豆的选择性　四臂嗅觉仪（对角线为同一处理）由无色有机玻璃制成，昆虫活动室直径 15 cm，每臂依次连接味源瓶（或对照瓶）、加湿瓶、活性炭过滤瓶和流量计，各装置之间以硅胶管相连。试验时，在嗅觉仪的正上方放置一盏 15 W 的荧光灯平衡照明，减少自然光的变化对趋性试验的影响。每臂的气流量通过气体流量计控制在 300 mL/min，生测时间为 8:00—15:00，室内温度控制在（25±3）℃。抽气 10 min 使气味充满管道，以保证测试结果，之后将西花蓟马引入嗅觉仪的测试腔。每组味源测试 60 头西花蓟马，重复 4 次。测试 10 min，当雌成虫爬至梨形瓶处或梨形瓶口则视为选择，不作出选择则记为无反应。每测试一组后，用无水乙醇擦拭嗅觉仪内外并烘干。每次重复后都要转动嗅觉仪，与各味源瓶和对照瓶重新连接。

对 4 种不同浓度的茉莉酸诱导菜豆、健康菜豆、虫害菜豆共 6 个处理的菜豆两两进行比较。健康菜豆与虫害植株进行比较实验时，对照不进行任何处理。与茉莉酸处理植株进行比较实验时，喷施等量乙醇+蒸馏水作对照。共 15 种组合进行测定。

1.4.2　南方小花蝽对不同浓度茉莉酸诱导菜豆的选择性　南方小花蝽对不同处理菜豆的选择性实验方法同西花蓟马，选取羽化 3 d 的南方小花蝽雌成虫单头引入嗅觉仪的测试腔。

1.4.3　不同浓度外源茉莉酸处理菜豆挥发性物质的鉴定与分析　采用气相色谱-质谱联用仪（GC：HP6890，MS：5975C）测定挥发物成分。取植株剪碎，置于 25 mL 固相微萃取采样瓶中，插入装有 2 cm-50/30 μm DVB/CAR/PDMS Stable Flex 纤维头的手动进样器，100℃左右加热，顶空萃取 45 min 后取出，快速移出萃取头并立即插入气相色谱仪进样口（温度 250℃）中，热解析 3 min 进样。色谱柱为 ZB-5MSI 5% Phenyl-95% DiMethylpolysiloxane（30 m×0.25 mm× 0.25 μm）弹性石英毛细管柱，柱温 40℃（保留 2 min），以 5℃每分钟升温至 270℃，运行时间：48 min；汽化室温度 250℃；载气为高纯 He（99.999%）；柱前压 7.62 psi，载气流量 1.0 mL/min；不分流进样；溶剂延迟时间：1 min。离子源为 EI 源；离子源温度 230℃；四极杆温度 150℃；电子能量 70 eV；发射电流 34.6 μA；倍增器电压 1 247 V；接口温度 280℃；质量范围 29~450 amu。对总离子流图中的各峰经质谱计算机数据系统检索及核对 Nist 2005 和 Wiley 275 标准质谱图，确定挥发性化学成分，用峰面积归一化法测定了各化学成分的相对质量分数。试验重复 3 次。

1.5 数据分析

采用卡方检验分析西花蓟马和南方小花蝽对不同浓度茉莉酸处理的菜豆挥发物的嗅觉行为反应，无选择行为的昆虫不计入统计分析。用 SigmaPlot 10.0 作图。用 SPSS 17.0 软件对挥发物成分进行数据分析（One-way ANOVA），并用 Tukey 检验法比较不同处理间的差异显著性。选择率（%）=处理或对照诱集瓶中测试昆虫的数量/总的测试昆虫数量×100。

2 结果与分析

2.1 西花蓟马对不同浓度茉莉酸诱导菜豆的选择性

嗅觉仪测定表明西花蓟马对不同浓度茉莉酸诱导处理菜豆挥发物呈现不同趋性反应，其反应和茉莉酸的浓度有一定的关系（图 1）。西花蓟马在健康植株和 0.001 mmol/L、0.01 mmol/L 的茉莉酸诱导的植株之间的选择性没有明显的差异，但随着茉莉酸浓度的增加，西花蓟马对茉莉酸处理植株选择率逐渐降低，并显著低于健康植株，说明高浓度茉莉酸诱导的植株对西花蓟马有一定的驱避作用。西花蓟马在茉莉酸处理植株和虫害植株的选择上与对健康植株的选择不同，西花蓟马只有在 1 mmol/L 的茉莉酸处理植株的选择率显著低于虫害植株，在其它种茉莉酸浓度下，西花蓟马的选择率在虫害植株和茉莉酸诱导植株下之间没有显著差异。在各个不同浓度茉莉酸处理植株之间两两相互比较时发现，1 mmol/L 的茉莉酸诱导植株的选择率显著低于 0.01 mmol/L 和 0.001 mmol/L 的茉莉酸处理植株，总体趋势以高浓度茉莉酸处理植株的驱避率较高。

2.2 南方小花蝽对不同浓度茉莉酸诱导菜豆的选择性

南方小花蝽对不同浓度茉莉酸诱导处理的菜豆挥发物也呈现不同趋性反应（图 2）。南方小花蝽对低浓度茉莉酸诱导植株和健康植株间的选择性没有明显的差异，但随着茉莉酸浓度的增高，对茉莉酸处理植株的选择率增高，当茉莉

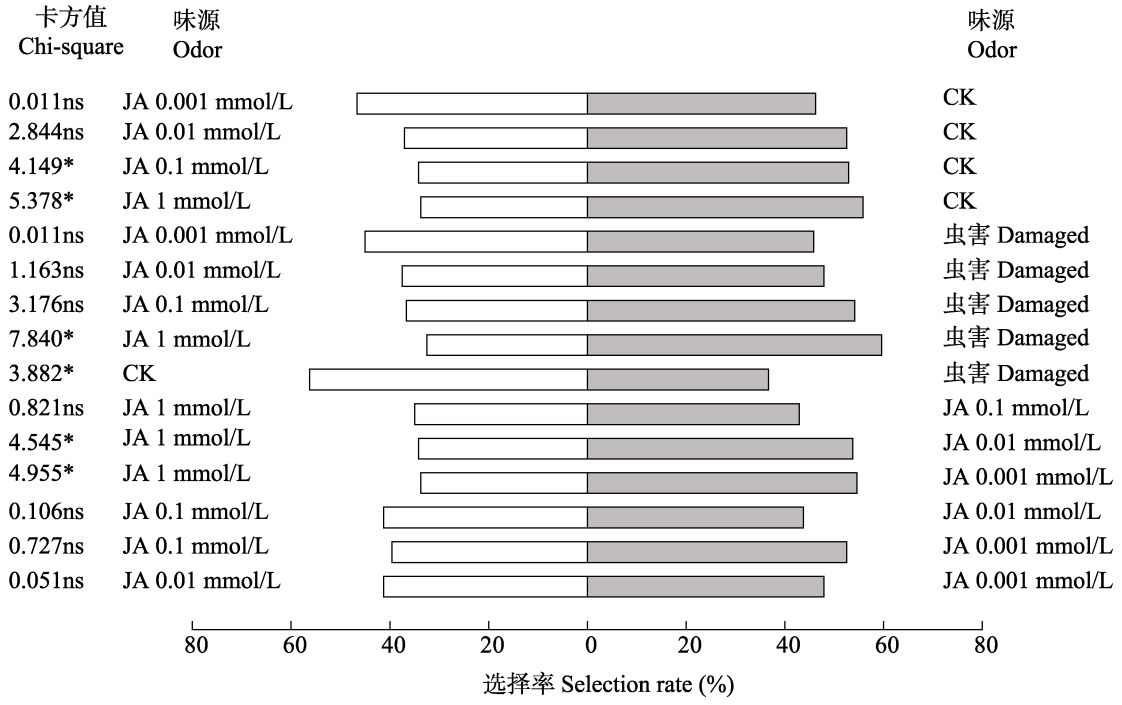

图 1 西花蓟马对不同浓度茉莉酸诱导菜豆的选择性

Fig. 1 Behavioral response of *Frankliniella occidentails* to different concentrate of JA

*和 ns 分别表示经卡方检验在 *P*=0.05 水平差异显著及不显著。下图同。The asterisk* represents significant difference and ns represents no significant difference at *P*=0.05 level by Chi-square test, respectively. The same below.

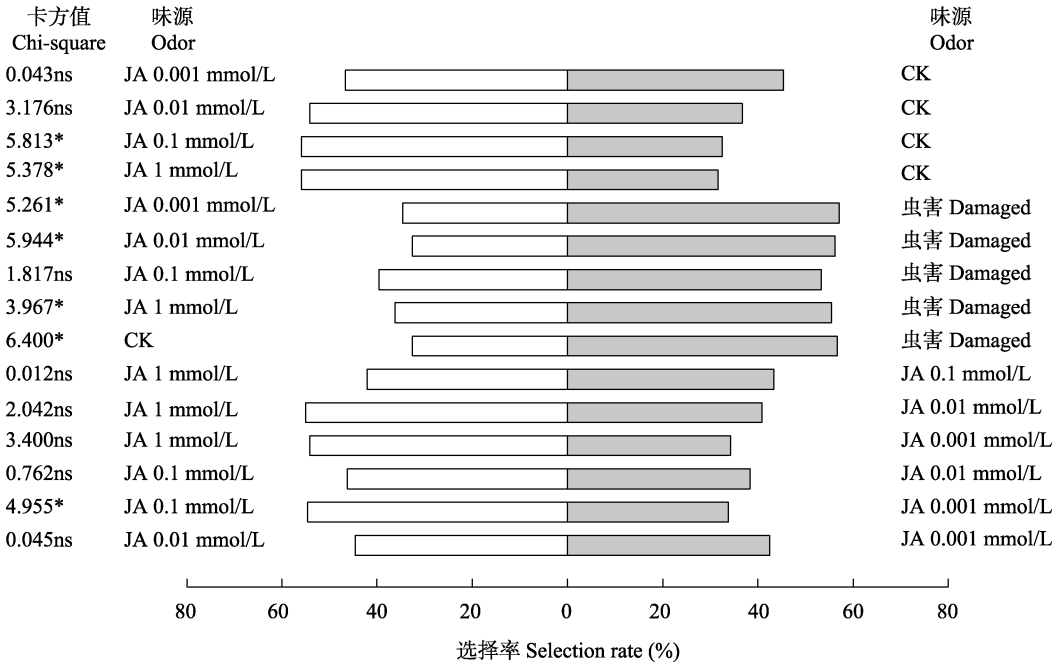

图 2　南方小花蝽雌虫对不同浓度茉莉酸诱导菜豆的行为反应

Fig. 2　Behavioral response of females *Orius similis* to different concentrate of JA

酸浓度达到 0.1 mmol/L 和 1 mmol/L 时，南方小花蝽对茉莉酸处理植株的选择率显著高于健康植株。与虫害植株相比，南方小花蝽对虫害植株与茉莉酸处理的植株的选择率和健康植株正好相反，对西花蓟马为害植株的选择率明显高于茉莉酸诱导植株，仅对 0.1 mmol/L 茉莉酸处理的植株与虫害植株的选择率差异不显著。不同浓度茉莉酸处理植株之间进行比较时，南方小花蝽对 0.1 mmol/L 茉莉酸处理的植株明显高于 0.001mmol/ L 茉莉酸处理的植株，在其它茉莉酸浓度处理之间的选择性差异不明显。说明 0.1 mmol/L 茉莉酸处理的植株对南方小花蝽吸引作用最强。

2.3　不同浓度外源茉莉酸处理菜豆挥发性物质的鉴定与分析

健康、虫害及 4 种不同浓度茉莉酸诱导处理下菜豆的挥发物既有共同点又有各自的特点（表 1）。不同处理菜豆下的挥发物，均以醇类和醛类为主，其次为酯类和烃类。但不同处理下挥发物的种类不同。

除健康植株外，均以(Z)-3-己烯醇、1-辛烯-3-醇、(E)-2-己烯醛含量最高，这 3 种化合物的累计含量高达 69.29%~82.50%，在健康植株上，也是(Z)-3-己烯醇和 1-辛烯-3-醇的含量最最高，但(E)-2-己烯醇的含量略高于(E)-2-己烯醛。除以上几种化合物以及正己醇外，其余单种化合物的含量均低于 5%。

不同处理菜豆释放的挥发物，除了相对百分含量发生显著变化外，还检测到特异性挥发物组分。(Z)-3-己烯丙酸酯、2-异丙基-甲氧基毗嗦只有在茉莉酸处理植株中检测到；(E)-2-壬烯醛、2-己基呋喃、十三烷、十四烷和十五烷只有在虫害植株中检测到；(Z)-3-己烯丁酸酯和(Z)-3-己烯基-2-甲基丙酸在虫害和茉莉酸处理植株中都被检测到，但在健康植株中没有检测到；2,2,6-三甲基环己酮仅在健康植株中检测到。

3　讨论

研究发现随着茉莉酸浓度的增加，西花蓟马对茉莉酸处理植株的选择率逐渐低于健康植株。低浓度茉莉酸处理植株对西花蓟马的行为反应无显著影响，但高浓度 1 mmol/L 和 0.1 mmol/L 的茉莉酸处理植株对西花蓟马的行为有显著的抑制作用。这与田旭涛等（2013）研究发现

表 1　不同处理菜豆主要挥发性物质的成分与含量（%）

Table 1　Components and relative contents (%) of the volatiles from various treated bean plants

化合物 Compound	挥发量 Emission					
	1 mmol/L JA	0.1 mmol/L JA	0.01 mmol/L JA	0.001 mmol/L JA	虫害 Damaged	CK
醇类 Alcohols						
正丁醇 1-butanol	0.118±0.001d	ND	0.199±0.001a	0.194±0.001b	ND	0.181±0.001c
1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	1.751±0.015a	0.965±0.003c	0.964±0.001c	0.842±0.004d	1.007±0.013c	1.162±0.021b
异戊醇 3-methyl-1-butanol	0.408±0.011d	1.234±0.010a	0.790±0.009b	0.746±0.012b	0.654±0.009c	0.664±0.015c
1-戊醇 1-pentanol	0.159±0.021c	0.290±0.017b	0.176±0.012c	0.526±0.003a	0.557±0.016a	0.580±0.009a
(z)-2-戊烯-1-醇 (z)-2-penten-1-ol	0.380±0.001e	0.539±0.007d	0.711±0.006a	0.592±0.013c	0.628±0.006b	0.602±0.006bc
(z)-3-己烯醇 (z)-3-hexenol	23.053±0.049d	21.125±0.072e	17.470±0.039f	30.360±0.056a	24.645±0.051c	25.607±0.044b
(e)-2-己烯醇 (e)-2-hexenol	5.601±0.042e	9.978±0.068b	7.913±0.055d	11.554±0.042a	8.689±0.159c	9.603±0.057b
正己醇 N-hexanol	4.032±0.066c	3.708±0.123c	5.238±0.082b	5.826±0.152a	5.359±0.098ab	5.386±0.082ab
庚醇 Heptanol	0.196±0.003d	ND	0.514±0.006b	0.411±0.003c	1.327±0.005a	0.051±0.002e
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	26.544±0.242e	34.760±0.325b	40.695±0.208a	28.655±0.227d	29.656±0.431d	32.768±0.048c
3-辛醇 3-octanol	ND	2.275±0.025a	2.020±0.020b	1.856±0.008c	1.933±0.051bc	1.544±0.017d
4-甲基-1-庚醇 4-methyl-1-heptanol	ND	ND	0.054±0.001	ND	0.066±0.003	ND
辛醇 Octanol	ND	0.263±0.023a	ND	0.130±0.017b	ND	0.222±0.008a
壬醇 Nonanol	0.235±0.020a	0.024±0.002d	0.052±0.007cd	0.103±0.003bc	0.229±0.016a	0.117±0.006b
里那醇 Linalool	1.784±0.060b	1.365±0.062c	1.149±0.058c	1.022±0.053c	1.376±0.044c	4.316±0.160a
1-癸醇 1-decanol	0.085±0.004	ND	ND	ND	ND	ND
异辛醇 2-ethylhexanol	ND	ND	0.136±0.014c	0.288±0.041b	0.633±0.003a	ND
醛类 Aldehydes						
异丁醛 Isobutanal	0.270±0.002a	0.044±0.010de	0.042±0.001e	0.049±0.001d	0.057±0.000c	0.083±0.001b
正丁醛 Butanal	0.035±0.001b	0.025±0.002bc	0.027±0.001bc	0.022±0.001c	0.033±0.003bc	0.067±0.006a
3-甲基丁醛 3-methylbutanal	0.209±0.017c	0.212±0.022c	0.263±0.009bc	0.288±0.008bc	0.322±0.021ab	0.369±0.019a
2-甲基丁醛 2-methylbutanal	0.478±0.044a	0.272±0.028bc	0.213±0.002c	0.224±0.006bc	0.330±0.034bc	0.348±0.020b
(E)-2-戊烯醛 (E)-2-pentenal	1.442±0.008a	0.807±0.003b	0.340±0.008d	0.339±0.003d	0.820±0.003b	0.383±0.005c
己醛 Hexanal	1.014±0.007a	0.511±0.004c	0.465±0.007d	0.466±0.007d	0.708±0.008b	0.177±0.003e
(E)-2-己烯醛 (e)-2-hexenal	32.187±0.011a	26.614±0.013b	14.563±0.029e	19.031±0.030c	14.992±0.044d	8.142±0.015f

续表 1（Table 1 continued）

化合物 Compound	挥发量 Emission					
	1 mmol/L JA	0.1 mmol/L JA	0.01 mmol/L JA	0.001 mmol/L JA	虫害 Damaged	CK
庚醛 Heptanal	0.019±0.001e	0.029±0.001d	0.034±0.001c	0.059±0.001b	0.554±0.001a	0.034±0.001c
叶醛 (e)-2-heptenal	0.026±0.002b	0.028±0.001b	0.011±0.001c	0.013±0.002c	0.097±0.002a	0.028±0.001b
苯甲醛 Benzaldehyde	0.093±0.001c	0.103±0.004c	0.018±0.002d	0.017±0.001d	0.169±0.003a	0.135±0.004b
苯乙醛 Hyacinthin	0.033±0.003c	0.040±0.005c	0.030±0.003c	0.096±0.004b	0.133±0.006a	0.050±0.003c
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	ND	ND	ND	ND	0.549±0.018	ND
癸醛 Decanal	0.057±0.006cd	0.038±0.003d	0.050±0.008d	0.103±0.008b	0.275±0.004a	0.083±0.001bc
β-环状柠檬醛 .beta.-cyclocitral	0.433±0.005b	0.392±0.021b	0.232±0.018c	0.260±0.027c	0.452±0.024ab	0.526±0.005a
β-环高柠檬醛 .beta.-cyclohomocitral	0.129±0.011b	0.114±0.007bc	0.268±0.006a	0.063±0.004d	0.107±0.003bc	0.096±0.003c
酮类 Ketones						
3-戊酮 3-pentanone	0.457±0.052a	0.467±0.010a	0.266±0.005b	0.302±0.006b	0.453±0.017a	0.320±0.012b
6-甲基-2-庚酮 6-methyl-2-heptanone	0.131±0.003a	0.015±0.001b	0.008±0.001b	0.011±0.001b	0.010±0.001b	0.014±0.001b
2,2,6-三甲基环己酮 2,2,6-trimethylcyclohexanone	ND	ND	ND	ND	ND	0.184±0.003
α-紫罗兰酮 .alpha.-ionone	0.096±0.003b	0.061±0.001c	0.046±0.002c	0.055±0.005c	0.051±0.003c	0.165±0.004a
2,6-二(叔丁基)-4-羟基-4-甲基-2,5-环己二烯-1-酮 2,6-di(t-butyl)-4-hydroxy-4-methyl-2,5-cyclohexadien-1-one	0.074±0.004a	0.074±0.002a	0.052±0.003b	ND	0.047±0.003b	0.047±0.004b
β-紫罗兰酮 .beta.-ionone	0.687±0.017b	0.634±0.016b	0.371±0.042c	0.449±0.018c	0.601±0.017b	1.567±0.019a
酯类 Esters						
(z)-3-乙酸叶醇酯 (z)-3-hexenyl acetate	1.991±0.046b	0.688±0.022d	0.958±0.054c	1.917±0.105b	4.380±0.034a	1.037±0019c
乙酸正己酯 acetic acid hexyl ester	0.036±0.001e	0.121±0.002a	0.024±0.002f	0.046±0.002d	0.063±0.003c	0.102±0.001b
(e)-2-乙酸叶醇酯 (e)-2-hexenyl acetate	0.240±0.013c	0.340±0.007b	0.055±0.002e	0.122±0.005d	0.493±0.012a	0.158±0.004d
(z)-3-己烯丙酸酯 (z)-3-hexenyl propionate	0.027±0.000b	0.060±0.003a	0.024±0.002b	0.052±0.004a	ND	ND
(z)-3-己烯丁酸酯 (z)-3-hexenyl butanoate	0.146±0.028a	0.048±0.003a	0.118±0.011a	0.139±0.023a	0.165±0.042a	ND
(e)-2-己烯丁酸酯(e)-2-hexenyl butanoate	0.015±0.001b	ND	ND	0.037±0.008a	0.047±0.001a	ND
(z)-3-己烯醇-2-甲基丁酸酯 (z)-3-hexenyl-2-methyl butanoate	0.039±0.009b	0.055±0.005b	0.527±0.001b	0.134±0.098a	0.065±0.005b	0.048±0.004b
(z)-3-己烯酯 (z)-3-hexenyl tiglate	0.151±0.008b	0.069±0.006c	0.174±0.013b	0.143±0.023b	0.443±0.011a	0.061±0.002c

续表 1（Table 1 continued）

化合物 Compound	挥发量 Emission					
	1 mmol/L JA	0.1 mmol/L JA	0.01 mmol/L JA	0.001 mmol/L JA	虫害 Damaged	CK
烯烃类 Alkenes						
3-乙基-1,5-二辛烯 3-ethyl-1,5-octadiene	0.047±0.003a	0.022±0.002b	0.019±0.001b	0.017±0.002b	0.038±0.001a	0.026±0.001b
柠檬烯 Limonene	0.050±0.001	ND	ND	ND	ND	ND
1-十四烯 1-tetradecene	0.022±0.002	ND	ND	ND	ND	ND
呋喃类 Furans						
2-甲基呋喃 2-methylfuran	0.051±0.002a	0.009±0.001d	0.013±0.002cd	0.007±0.001d	0.016±0.001b	0.016±0.001b
3-甲基呋喃 3-methylfuran	0.015±0.001b	0.010±0.000cd	0.005±0.001e	0.007±0.000d	0.019±0.000a	0.010±0.001c
2-乙基呋喃 2-ethylfuran	1.267±0.020a	0.718±0.017b	0.539±0.016c	0.713±0.036b	0.778±0.026b	0.758±0.021b
2-戊基呋喃 2-amylfuran	0.444±0.006a	0.089±0.005b	ND	ND	ND	ND
2-己基呋喃 2-hexyl-furan	ND	ND	ND	ND	0.056±0.002	ND
烷烃 Alkanes						
丙烷 Propane	0.495±0.004c	1.000±0.004b	1.621±0.006a	0.054±0.002e	1.022±0.004b	0.427±0.010d
2,2,6-三甲基环庚烷 Cyclohexanone ,2,2,6-trimethyl-	0.313±0.009	ND	ND	ND	ND	ND
十三烷 Tridecane	ND	ND	ND	ND	0.027±0.004	ND
十四烷 Tetradecane	ND	ND	ND	ND	0.038±0.002	ND
十五烷 Pentadecane	ND	ND	ND	ND	0.185±0.003	ND
其它化合物 Other compounds						
二甲基硫醚 Dimethyl sulfide	0.353±0.007b	0.138±0.001e	0.233±0.012d	0.301±0.003c	0.489±0.009a	0.526±0.012a
2-异丙基-甲氧基毗嗦 2-isopropyl-3-methoxypyrazine	0.017±0.001b	0.057±0.001a	0.014±0.002b	0.015±0.001b	ND	ND
(z)-3-己烯基-2-甲基丙酸 (z)-3-hexenyl-2-methylpropanoate	0.015±0.002b	0.039±0.002a	0.008±0.001b	0.042±0.005a	0.043±0.006a	ND
2,6-二叔丁醌 2,6-di-tert-butylquinone	0.003±0.000c	0.004±0.001c	0.005±0.001c	0.063±0.002a	0.021±0.001b	0.008±0.001c
二丁基羟基甲苯 BHT	0.188±0.001ab	0.045±0.001d	0.166±0.006b	0.206±0.008a	0.042±0.004d	0.106±0.004c

ND 表示未检测到。同一行数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

ND indicates not detected. Data followed by different small letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level.

1 mmol/L 和 0.1 mmol/L 的茉莉酸使南美斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 的取食孔数和虫道数显著减少的研究结果一致。在本研究中，西花蓟马对虫害植株的趋性显著高于 1 mmol/L 的茉莉酸处理植株，可能是植食性昆虫取食诱导寄主植物后，会有利于同种昆虫的寄主识别和定位（向玉勇等，2015），导致驱避效果减弱。而茉莉酸处理植株由于茉莉酸自身效果的叠加会增强驱避效果（冯宏祖等，2012）。所以虫害植株的驱避作用弱于高浓度的茉莉酸处理植株。本研究发现 4 种不同浓度的茉莉酸处理寄主植物 24 h 后，西花蓟马对 1 mmol/L 的茉莉酸处理植株的选择性最低，说明高浓度茉莉酸能诱导植株产生较强的化学防御能力（王杰等，2015），这与受虫害程度高的番茄植株会释放出更多驱避西花蓟马的挥发物的结论类似（温娟等，2015）。与健康植株进行比较时，在本研究中 0.1 mmol/L 茉莉酸处理寄主植物对西花蓟马也具有显著驱避性。张骏等（2015）用 0.1 mmol/L 浓度的茉莉酸处理寄主植物 48 h 后，西花蓟马也具有显著驱避性。符合西花蓟马不会因为持续暴露在茉莉酸类物质中而导致驱避作用减弱（Egger *et al.*，2016）。

在实验中发现南方小花蝽对茉莉酸处理植株的反应与西花蓟马不同，茉莉酸处理植株对南方小花蝽有显著引诱作用。0.1 mmol/L 茉莉酸处理植株对南方小花蝽的吸引作用最强，1 mmol/L 茉莉酸处理植株对南方小花蝽的引诱率降低，说明高浓度的茉莉酸对南方小花蝽的引诱作用会减弱。外源茉莉酸类化合物对其它种类的小花蝽的引诱作用也存在相似的浓度依赖性。Arab 等（2007）研究发现在 0.01~0.05 ng/g 之间的茉莉酸甲酯对狡小花蝽 *O. insidosus* 有较高的吸引作用，高于这个浓度范围的吸引作用开始降低。Stepanycheva 等（2014）发现在容器中放 0.1 μg 的茉莉酸甲酯对无毛小花蝽有显著的吸引作用，但高浓度的茉莉酸甲酯有驱避作用。以上结果都证明小花蝽对化合物的浓度变化很敏感，适宜浓度的茉莉酸类物质对小花蝽有引诱作用。

在本研究中发现菜豆主要以醇类和醛类的挥发物为主，其次为酯类和烃类。醇和醛中的 C_6 类是主要的绿叶挥发物，可能参与植物的直接防御（秦秋菊和高希武，2005），醇类、酯类一般被认为是吸引天敌昆虫的相关组分（巩莎等，2012）。植株受到外源茉莉酸诱导后，菜豆挥发物释放的种类总体上增多，但不同挥发性化学信息物质的含量变化不一，某些化学信息物质释放，而另一则被抑制，类似于虫害产生各种诱导防御（冯宏祖等，2013）。说明昆虫对寄主的选择趋势可能与寄主释放的挥发物含量的高低变化趋势有关。在本实验中，(E)-2-己烯醛的含量随着茉莉酸浓度的增加呈现增加的趋势，1 mmol/L 的茉莉酸处理植株对西花蓟马有显著的驱避作用，此时(E)-2-己烯醛的含量最高，因此推测(E)-2-己烯醛对西花蓟马有驱避作用。其他学者研究发现(E)-2-己烯醛具有生物杀伤性能（秦秋菊和高希武，2005），当和(E)-2-己烯-1醇与矿物油混合后处理松树后，暗梗天牛 *Arhopalus tristis* 对其选择性降低（Suckling *et al.*，2001），与本研究驱避结果相似。(E)-2-己烯醛对绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 有一定的引诱作用（张尚卿等，2011），但对褐梗天牛 *Arhopalus rusticus* 却无引诱和趋避的功能（泽桑梓等，2013）。推测原因可能是由于挥发物单体浓度不同，或与其它不同的挥发物单体组合产生不同的效果。

植物挥发物的种类特异性，是第二营养阶层-植食性昆虫定位过程中的主要线索，也是第三营养阶层-天敌昆虫寻找猎物的依据（林海清和陈少波，2009）。1 mmol/L、0.1 mmol/L 茉莉酸处理菜豆都对南方小花蝽有显著的吸引作用。0.1 mmol/L 茉莉酸处理与虫害植株相似，在这 3 种处理中(E)-2-戊烯醛的含量显著高于其它处理，并且在 0.1 mmol/L 茉莉酸处理植株与虫害植株之间的含量差异不显著。因此，(E)-2-乙酸叶醇酯的含量变化与南方小花蝽行为反应变化趋势一致，推测(E)-2-乙酸叶醇酯对南方小花蝽具有引诱作用。

利用植物挥发物对植食性昆虫和天敌的行为作用，制造不利于害虫且有利于天敌的环境。在害虫集中的地方释放对天敌具有吸引作用的物质，不仅可以减少天敌寻找猎物的时间，同时可

以避免天敌因害虫密度减少而迁走（Stepanycheva *et al.*，2014）。但这些物质在 3 个营养层的作用是一个复杂的生物反应过程，挥发性物质可能是单个组分起作用，也可能是按一定比例混合后起作用，还有可能仅具有增效作用（戴建青等，2010）。昆虫对植物挥发物的识别主要根据一定比例组成的挥发物化学指纹图谱来进行定向，如何利用这些有效的信息化合物来实现害虫的可持续控制有待深入研究（曹凤勤等，2008；林海清和陈少波，2009；张艳峰等，2012）。

参考文献 (References)

Abe H, Takeshi S, Jun O, Soichi K, Mari N, Shigemi S, Yoshihiro N, Shinya T, Masatomo K, 2009. Jasmonate-dependent plant defense restricts thrips performance and preference. *BMC Plant Biology*, 9(3): 97.

Arab A, Trigo JR, Lourencão AL, Peixoto AM, Ramos F, Bento JMS, 2007. Differential attractiveness of potato tuber volatiles to *phthorimaea operculella* (Gelechiidae) and the predator *Orius insidiosus* (Anthocoridae). *Journal of Chemical Ecology*, 33(10): 1845–1855.

Blaeser P, Sengonca C, Zegula T, 2004. The potential use of different predatory bug species in the biological control of *Frankliniella occidentails* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Pest Science*, 77(4): 211–219.

Bontea J, Hauwere LD, Des C, Patrick DC, 2015. Predation capacity, development and reproduction of the southern African flower bugs *Orius thripoborus* and *Orius naivashae* (Hemiptera: Anthocoridae) on various prey. *Biological Control*, (86): 52–59.

Cao FQ, Liu WX, Fan ZN, Wan FH, Cheng LS, 2008. Behavioural responses of *Bemisia tabaci* B-biotype to three host plants and their volatiles. *Acta Entomologica Sinica*, 51(8): 830–838. [曹凤勤, 刘万学, 范中南, 万方浩, 程立生, 2008. B 型烟粉虱对三种寄主植物及其挥发物的行为反应. 昆虫学报, 51(8): 830–838.]

Dai JQ, Han SC, Du JW, 2010. Progress in studies on behavioural effect of semiochemicals of host plant to insects. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 407–414. [戴建青, 韩诗畴, 杜家纬, 2010. 植物挥发性信息化学物质在昆虫寄主选择行为中的作用. 环境昆虫学报, 32(3): 407–414.]

Delaney KJ, Wawrzyniak M, Lemańczyk G, Wrzesińska D, Piesik D, 2013. Synthetic cis-jasmone exposure induces wheat and barley volatiles that repel the pest cereal leaf Beetle, *Oulema melanopus* L. *Journal of Chemical Ecology*, 39(5): 620–629.

Du YP, Ji XL, Jiang ES, Cui LJ, Zhai H, 2014. Phylloxera resistance induced by salicylic and jasmonic acids in kyoho grapevine. *Acta Entomologica Sinic*, 57(4): 443–448. [杜远鹏, 季兴龙, 蒋恩顺, 崔丽静, 翟衡, 2014. 外源水杨酸和茉莉酸诱导巨峰葡萄抗根瘤蚜. 昆虫学报, 57(4): 443–448.]

Egger B, Koschier EH, 2014. Behavioural responses of *Frankliniella occidentails* Pergande larvae to methyl jasmonate and cis-jasmone. *Journal of Pest Science*, 87(1): 53–59.

Egger B, Spangl B, Koschier EH, 2016. Continuous exposure to the deterrents cis-jasmone and methyl jasmonate does not alter the behavioural responses of *Frankliniella occidentalis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 158(1): 78–86.

Feng HZ, Yao YS, Wang L, 2012. Effects of exogenous methyl jasmonate and insect injury-induced cotton plants on selection behaviors of *Aphis gossypii* and its natural enemies. *Chinese Journal of Ecology*, 31(10): 2555–2560. [冯宏祖, 姚永生, 王兰, 2012. 茉莉酸甲酯和虫害诱导棉花对棉蚜及其天敌选择行为的影响. 生态学杂志, 31(10): 2555–2560.]

Feng HZ, Wang L, YAO YS, Xiong RC, 2013. Analysis of volatile compounds released from cotton, induced by *Aphis gossypii* and methyl jasmonate. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 742–748. [冯宏祖, 王兰, 姚永生, 熊仁次, 2013. 棉蚜和茉莉酸甲酯诱导棉花挥发物组分分析. 应用昆虫学报, 50(3): 742–748.]

Gong S, Zhang YF, Xue JL, Du XD, Xie YP, 2012. The effect of the MeJA treatment and the scale insect attack on the volatile of the jujube trees. *Journal of Biology*, 29(5): 43–48. [巩莎, 张艳峰, 薛皎亮, 杜仙当, 谢映平, 2012. MeJA 处理和蚧虫危害对枣树挥发物的影响. 生物学杂志, 29(5): 43–48.]

Gong YY, Duan LQ, Wang AQ, Cui RJ, Qian YS, 2010. Effects of exogenous jasmonic acid-induced resistance of wolfberry on the development and fecundity of the wolfberry aphid *Aphis* sp. *Acta Entomologica Sinica*, 53(6): 670–674. [宫玉艳, 段立清, 王爱清, 崔瑞娟, 钱远松, 2010. 外源茉莉酸诱导枸杞对枸杞蚜生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 53(6): 670–674.]

Jiang XC, Gui FR, Chen B, Li ZH, Mu JJ, Li ZY, 2012. Prey preference and searching efficiency of *Orius similis* on *Frankliniella occidentalis* in different experimental space. *Journal of Biosafety*, 21(1): 20–26. [蒋兴川, 桂富荣, 陈斌, 李志华, 穆静娟, 李正跃, 2012. 南方小花蝽在不同试验空间对西花蓟马的捕食及搜寻效应. 生物安全学报, 21(1): 20–26.]

Lin HQ, Chen SB, 2009. Advance in research on the orientation mechanism of herbivorous insects and natural enemies. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 24(2): 191–196. [林海清, 陈少波, 2009. 植食性害虫及其天敌的定向行为研究. 福建农业学报, 24(2): 191–196.]

Lin XJ, Shi XG, 2014. Advantage in effect of jasmonic acid on the

control of pests. *Biological Disaster Science*, 37(2): 155–158. [林小姣, 石绪根, 2014. 茉莉酸对害虫的控制作用研究进展. 生物灾害科学, 37(2): 155–158.]

Lu YB, Liu SS, 2004. Effects of plant responses induced by exogenous jasmonic acid on host selection behavior of *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae). *Acta Entomologica Sinica*, 47(2): 206–212. [吕要斌, 刘树生, 2004. 外源茉莉酸诱导植物反应对菜蛾绒茧蜂寄生选择行为的影响. 昆虫学报, 47(2): 206–212.]

Lv YB, Zhang ZJ, Wu QJ, Du YZ, Zhang HR, Yu Y, Wang ED, Wang MH, Wang MQ, Tong XL, Lv LH, Tan XQ, Fu WD, 2011. Research progress of the monitoring forecast and sustainable management of invasive alien pest *Frankliniella occidentalis* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 488–496. [吕要斌, 张治军, 吴青君, 杜予州, 张宏瑞, 于毅, 王恩东, 王鸣华, 王满囷, 童晓立, 吕利华, 谭新球, 付卫东, 2011. 外来入侵害虫西花蓟马防控技术研究与示范. 应用昆虫学报, 48(3): 488–496.]

Mou F, Zhi JR, Cong CL, Liao QR, Tian T, 2014. Effects of exogenous jasmonic acid and methyl salicylate on developmental duration and population dynamics of *Frankliniella occidentalis*. *Plant Protection*, 40(6): 70–74. [牟峰, 郅军锐, 从春蕾, 廖启荣, 田甜, 2014. 外源茉莉酸和水杨酸甲酯对西花蓟马生长发育和种群动态的影响. 植物保护, 40(6): 70–74.]

Qin QJ, Gao XW, 2005. Plant defense responses induced by insect herbivory. *Acta Entomologica Sinica*, 48(1): 125–134. [秦秋菊, 高希武, 2005. 昆虫取食诱导的植物防御反应. 昆虫学报, 48(1): 125–134.]

Reitz SR, Gao YL, Lei ZR, 2011. Thrips: pest of concern to China and the United States. *Agricultural Sciences in China*, 10(6): 867–892.

Sengonca C, Ahmadi K, Blaeser P, 2008. Biological characteristics of *Orius similis* Zheng (Heteroptera, Anthocoridae) by feeding on different aphid species as prey. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 115(1): 32–38.

Stepanycheva EA, Petrova MO, Chermenskaya TD, Shamshev IV, Pazyuk IM, 2014. The behavioral response of the predatory bug *Orius laevigatus* Fieber (Heteroptera, Anthocoridae) to synthetic volatiles. *Entomological Review*, 94(8): 1053–1058.

Suckling DM, Gibb AR, Daly JM, Chen X, Brockerhoff EG, 2001. Behavioral and electrophysiological responses of *Arhopalus tristis* to burnt pine and other stimuli. *Journal of Chemical Ecology*, 27(6): 1091–1104.

Tian XT, Zhang J, Li D, Cheng WN, 2013. Effects of exogenous jasmonic acid on resistance of kidney bean to *Liriomyza sativae*. *Acta phytophylacica Sinica*, 40(4): 346–349. [田旭涛, 张箭, 李丹成, 卫宁, 2013. 茉莉酸处理菜豆对美洲斑潜蝇抗性的影响. 植物保护学报, 40(4): 346–349.]

Wang J, Meng ZJ, Wang Q, Yan SC, Zhang XJ, 2015. Effects of exogenous jasmonic acid-based applications on defense protein activity in the needles of *Larix olgensis*. *Journal of Northeast Forestry University*, 43(5): 84–89. [王杰, 孟昭军, 王琪, 严善春, 张晓娇, 2015. 外源茉莉酸诱导方式对长白落叶松针叶内防御蛋白活力的影响. 东北林业大学学报, 43(5): 84–89.]

Wen J, Zhi JR, L ü ZY, Li SX, 2015. Behavioral responses of *Frankliniella occidentalis* to tomato plants infested with *Tetranychus urticae* and analysis of the volatile compounds of tomato plants. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(4): 968–976. [温娟, 郅军锐, 吕召云, 李顺欣, 2015. 西花蓟马对二斑叶螨为害后番茄的行为反应及挥发物成分分析. 应用昆虫学报, 52(4): 968–976.]

Xiang YY, Liu TX, Zhang SZ, 2015. Effect of plant volatiles on host selecting behavior of phytophagous insects and their application. *Journal of Yuxi Normal University*, 8(31): 1–7. [向玉勇, 刘同先, 张世泽, 2015. 植物挥发物在植食性昆虫寄主选择行为中的作用及应用. 玉溪师范学院学报, 8(31): 1–7.]

Xu XN, Wang ED, 2010. Ponderation on and management of western flower thrips based on biological control. *Journal of Environmental Entomology*, 32(1): 96–105. [徐学农, 王恩东, 2010. 基于生物防治的西花蓟马治理及思考. 环境昆虫学报, 32(1): 96–105.]

Xu W, Yan SC, 2005. The function of jasmonic acid in induced plant defence. *Acta Ecologica Sinica*, 25(8): 2075–2082. [徐伟, 严善春, 2005, 茉莉酸在植物诱导防御中的作用. 生态学报, 25(8): 2075–2082.]

Yang F, 2009. The resistance of cucumber induced by exogenous salicylicacid and methyl jasmonate respectively to *Frankliniella occidentalis*. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [杨帆, 2009. 水杨酸、茉莉酸甲酯诱导黄瓜对西花蓟马的抗性. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]

Yang SY, Wang MM, Xie JC, 2013. Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants. *Acta Ecologica Sinica*, 33(5): 1615–1625. [杨世勇, 王蒙蒙, 谢建春, 2013. 茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应. 生态学报, 33(5): 1615–1625.]

Yin J, Chen JL, Cao YZ, Li KB, Hu Y, Sun JR, 2005. Wheat resistance induced by exogenous chemicals to the wheat aphid, *Sitobion avenae* (F.) and the oriental armyworm, *Mythimna separata*(Walker). *Acta Entomologica Sinica*, 48(5): 718–724. [尹姣, 陈巨莲, 曹雅忠, 李克斌, 胡毅, 孙京瑞, 2005. 外源

化合物诱导后小麦对麦长管蚜和粘虫的抗虫性研究. 昆虫学报, 48(5): 718−724.]

Yue HF, Duan LQ, Li HP, Zang LN, Wang XL, Zhang ZL, 2013. Changes in activities of protective enzymes in green poplar induced by exogenous jasmonic acid and the effects on larval development of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(3): 270−275. [越慧芳, 段立清, 李海平, 张丽娜, 王晓丽, 张志林, 2013. 外源茉莉酸诱导的青杨叶片保护性酶活性变化及其对舞毒蛾幼虫生长发育的影响. 昆虫学报, 56(3): 270−275.]

Ze SX, Zhao N, Wang DW, Ji M, Yang B, 2013. The effect of trans-2-hexenal against attractant of *Arhopalus rusticus* Linnaeus. *Forest Pest and Disease*, (3): 46. [泽桑梓, 赵宁, 王大纬, 季梅, 杨斌, 2013. 反-2-己烯醛对褐梗天牛成虫引诱剂的作用效率. 中国森林病虫, (3): 46.]

Zhang CR, Zhi JR, Mo LF, 2012. The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of *Orius similis* Zheng. *Acta Ecologica Sinica*, 32(18): 5646−5652. [张昌容, 郅军锐, 莫利锋, 2012. 四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响. 生态学报, 32(18): 5646−5652.]

Zhang CR, Zhi JR, Mo LF, 2013. Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis*. *Acta Ecologica Sinica*, 33(9): 2728−2733. [张昌容, 郅军锐, 莫利锋, 2013. 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响. 生态学报, 33(9): 2728−2733.]

Zhang F, Li S, Xiao D, Zhao J, Wang R, Guo XJ, Wang S, 2015. Progress in pest management by natural enemies in greenhouse vegetables in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 48(17): 3463−3476. [张帆, 李姝, 肖达, 赵静, 王然, 郭晓军, 王甦, 2015. 中国设施蔬菜害虫天敌昆虫应用研究进展. 中国农业科学, 48(17): 3463−3476.]

Zhang J, Zhi JR, Yang GM, 2015. Behavioral responses of *Frankliniella occidentalis* to kidney bean plants and their volatiles under different treatments. *Chinese Journal of Ecology*, 34(2): 425−430. [张骏, 郅军锐, 杨广明, 2015. 西花蓟马对不同处理菜豆及其挥发物的行为反应. 生态学杂志, 34(2): 425−430.]

Zhang SC, Zhou XM, Wang XP, Lei CL, 2008. Oviposition on preference of *Orius similis* and preservation condition of eggs. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(4): 600−603. [张士昶, 周兴苗, 王小平, 雷朝亮, 2008. 南方小花蝽对寄主植物的产卵选择性及其卵的保存条件. 昆虫知识, 45(4): 600−603.]

Zhang SQ, Gao ZL, Dang ZH, Li YF, Pan WL, 2011. Electroantennogram and behavioral responses of the green leaf Bug, *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae), to four plant volatiles. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 26(3): 189−194. [张尚卿, 高占林, 党志红, 李耀发, 潘文亮, 2011. 绿盲蝽对四种挥发性物质的触角电位和行为反应. 华北农学报, 26(3): 189−194.]

Zhang Y, 2012. Effects of exogenous jasmonic acid-induced rislstaoce on *Aceria palida* Keifer and natural enemies. Master dissertation. Huhehot: Inner Mongolia Agricuitural University. [张颖, 2012. 外源茉莉酸诱导对枸杞瘿螨及其天敌的影响. 硕士学位论文. 内蒙古: 内蒙古农业大学.]

Zhang YF, Xue JL, Gong S, Wang X, Xie YP, 2012. The successive attraction to the ladybeetle of persimmon trees volatiles induced by methyl jasmonate. *Plant Protection*, 38(6): 40−44. [张艳峰, 薛皎亮, 巩莎, 王旭, 谢映平, 2012. 茉莉酸甲酯诱导柿树挥发物对红点唇瓢虫吸引力的持续效应. 植物保护, 38(6): 40−44.]