

植物源挥发物对玉米田天敌昆虫的诱集效果比较*

苏建伟^{1**} 蔡志平¹ 乔 飞¹ 苗 麟¹ 殷三强² 郑培清³

(1. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101;

2. 河北省阜城县阜星农业科技有限公司, 阜城 053700; 3. 河北省阜城县科学技术局, 阜城 053700)

摘 要 【目的】比较 7 种植物源挥发物反式- β -法尼烯、橙花叔醇、6-甲基-5-庚烯-2-酮、顺-3-己烯乙酸酯、丁香酚、芳樟醇、顺式茉莉酮在玉米田中对天敌昆虫的诱集效果, 为利用植物源挥发物对玉米田害虫进行生物防治提供参考。【方法】将 7 种植物源挥发物制作挥发物引诱球, 利用水盆诱捕器、粘虫板和五点取样法调查百株虫量, 比较 7 种植物源挥发物对捕食性和寄生性天敌昆虫的诱集效果。【结果】在 7 种植物源挥发物的筛选中, 橙花叔醇对黄缘蝶螈 *Anterhynchium flavomarginatum* 较其它 6 种化合物和对照的诱集效果有明显差异, 顺式茉莉酮对黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* 较其它 6 种化合物和对照的诱集效果有明显差异, 反式- β -法尼烯和顺式茉莉酮对龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* 较其它 5 种化合物和对照的诱集效果有明显差异; 在橙花叔醇和顺式茉莉酮的小区试验中, 2 种挥发物对龟纹瓢虫和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 的诱集效果明显优于对照, 橙花叔醇对黑带食蚜蝇和虎斑食虫虻 *Astochia virgatipes* 的诱集效果明显优于对照。【结论】在 7 种植物源挥发物中, 对玉米田天敌昆虫的诱集效果, 橙花叔醇较好, 顺式茉莉酮和反式- β -法尼烯次之。

关键词 植物挥发物; 玉米; 天敌; 引诱剂

Numbers of natural enemies of corn pests attracted by plant volatile lures

SU Jian-Wei^{1**} CAI Zhi-Ping¹ QIAO Fei¹ MIAO Lin¹ YIN San-Qiang² ZHENG Pei-Qing³

(1. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100101, China; 2. Fuxing Agricultural Science and Technology Co. Ltd., Fucheng County, Hebei Province.

Fucheng 053700, China; 3. Science and Technology Bureau, Fucheng County, Hebei Province, Fucheng 053700, China)

Abstract [Objectives] To compare the numbers of natural enemies of corn pests attracted by trans- β -farnesene, nerolidol, 6-methyl-5-heptene-2-one, cis-3-hexene acetate, eugenol, linalool and cis-jasmonanone in corn fields, and thereby inform the biological control of insect pests in corn fields. [Methods] Water basin traps, sticky plates and the five point sampling method were used to quantify the abundance of predators and parasites of corn pests on 100 corn plants, and thereby compare the attractiveness of the seven plant volatiles to these species. [Results] There were significant differences in the attractiveness of nerolidol to *Anterhynchium* (D.) *flavomarginatum*, of cis-jasmonanone to *Episyrphus balteatus*, and of trans- β -farnesene and cis-jasmonanone to *Propylaea japonica*, compared to the other five compounds and the control. In a plot experiment, nerolidol and cis-jasmonanone were more attractive to *E. balteatus* and *Harmonia axyridis*, and nerolidol more to *E. balteatus* and *Astochia virgatipes*, than the control. [Conclusion] Of the seven plant volatiles tested, nerolidol was the most attractive to the natural enemies of corn pests, followed by cis-jasmonanone and trans- β -farnesene.

Key words plant volatiles; corn; natural enemies; attractants

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2017YFD0201000)

**第一作者 First author, E-mail: sujw@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2019-12-20; 接受日期 Accepted: 2020-01-12

玉米是我国重要粮食作物之一。其种植面积大, 品种繁多且生长期较长, 所以玉米田中发生的害虫种类也很多, 包括玉米螟 *Ostrinia nubilalis*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis*、玉米叶螨 *Tetranychus truncatus* 以及桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* 等(王振营等, 2006), 同时尾随而发生的天敌昆虫种类同样众多, 如瓢虫类、食蚜蝇类、草蛉类、蜘蛛类、赤眼蜂类、食虫虻类等(徐洪福等, 1999)。由于害虫主要发生在中后期, 且玉米植株高大, 所以玉米害虫的生物防治主要借助于昆虫性诱剂和天敌昆虫的作用。天敌昆虫主要包括寄生性天敌和捕食性天敌两大类群, 前者目前主要是通过释放各种寄生蜂增殖田间种群来实施玉米害虫的防治过程(李和平等, 2017), 后者中针对于玉米田的相关工作很少, 但也有学者通过利用玉米诱集带来诱集、储存的天敌, 使其及时迁入棉田控制棉蚜的危害的报道(王林霞等, 2004), 显示玉米植株有引诱和保有天敌昆虫的功能。

玉米叶片和果穗的挥发性物质能够抵御昆虫取食、阻止病原菌的侵染、作为报警信号参与植物调控, 并为捕食性昆虫提供引导信号等。因此, 玉米叶片挥发物的研究对于深入了解玉米与其他有机体间的相互作用, 促进病虫害的生物防治具有重要意义。Flath 等(1978)在玉米须的提取物中检测到了 63 种化合物, 多为醇类和酯类。Turlings 和 Tumlinson(1992)进一步在虫害的苗期玉米叶片的挥发物鉴定中, 发现 8 种化合物(主要是萜烯类化合物)明显增加, 它们包括: 顺-3-己烯乙酸酯、芳樟醇、反-3-4,8-二甲基-1,3,7-壬三烯(DMNT)、吲哚、反- α -香柠檬烯、反- β -法尼烯、反-橙花叔醇和反-3, 反-7-4,8,12-三甲基-1,3,7,11-十三碳四烯(TMTT), 且虫害诱导的挥发物对一种盘绒茧蜂 *Cotesia marginiventris* 有明显的嗅觉引诱作用。谢兴伟等(2015)在玉米果穗中也检测到有反- α -香柠檬烯、DMNT、反- β -法尼烯、6-甲基-5-庚烯-2-酮等。Saraiva 等(2017)测定了草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 危害玉米后的诱导挥发物, 主要成分有 α -蒎烯、 β -月桂烯、顺-3-己烯乙酸酯、柠檬烯、反式罗勒烯、芳樟醇、DMNT、

反- β -法尼烯、TMTT 和吲哚, 同时发现虫害植株能引起一种黄蜂 *Polybia fastidiosuscula* 的嗅觉反应。但是以上工作多局限于实验室内的鉴定和生理测定, 没有相关的植物源挥发物各成分对玉米田间的各种天敌昆虫的野外生测和引诱效果。

众所周知, 在我国华北地区的小麦收割前后, 麦田的各种天敌昆虫会陆续迁出并进入玉米田等其它作物田以及周围的树林草地(特别是开花植物)等。橙花叔醇、丁香酚和顺式茉莉酮这 3 种典型植物精油成分是多种花草的主要挥发物成分(Knudsen *et al.*, 2006; 李莹莹, 2012; Sivakumar and Bautista-Baños, 2014), 同时顺式茉莉酮作为一种植物激素成分, 是胁迫条件下茉莉酸的代谢物之一, 具有生理活性, 在植物防御中起重要作用(Birkett *et al.*, 2000)。由于早期玉米田中发生的害虫密度较低, 早期从麦田迁入的天敌昆虫还将陆续迁出而导致玉米田中天敌种群密度持续较低而影响其对玉米田中害虫的有效控制。本文拟通过对 7 种植物源挥发物在玉米田中的应用, 比较它们在玉米田间的吸引和诱集天敌昆虫的效果, 同时在小范围内密集布置其中 2 种挥发物的引诱剂, 探讨它们在吸引田外的昆虫天敌进入玉米田参与害虫控制的作用。

1 材料与方法

1.1 实验用地

本试验于 2019 年 7-8 月在河北省阜城县崔庙镇(东经 113°30', 北纬 34°67')进行。在该地区, 小麦和玉米是主要种植作物, 玉米(品种郑丹 958)主要春播。试验共选取 3 块连片的春玉米地, 玉米长势均匀(5 月底直播)。地块间隔大于 100 m, 且地块周边多为春播玉米地, 还有少量春播高粱地。

1.2 挥发物引诱剂制作与试验处理

在 2 块玉米地(地块 A 和地块 B, 面积各约 6.66 hm²)中进行测试, 选取的 7 种植物源挥发物分别为反式- β -法尼烯、橙花叔醇、6-甲基-5-庚烯-2-酮、顺-3-己烯乙酸酯、丁香酚、芳樟醇、顺式茉莉酮, 皆为色谱级试剂且分别购自 Sigma

公司和 Aldrich 公司。载体为大孔吸附树脂(AB-8 型, 天津浩聚树脂科技有限公司), 置于淀粉糊精制成的多孔球中(引诱球)。每个球含测试化合物成分 100 μL 加 1 000 μL 正己烷溶剂, 只含溶剂的空白引诱球为对照。诱捕器采用水盆诱捕器(KYB-1 型, 北京科云公司), 引诱球悬挂于水面上方 2-3 cm。诱捕器中加水至溢水孔, 在水中加少量洗洁精。

对 7 种植物源挥发物中的每个化合物处理及对照各 3 个重复, 各个重复在田间以网格状随机布置, 间距为 20 m。在每个诱捕器的周围 4 个方向, 距离 5 m 之处各设置 1 张白色粘虫板(20 cm $\times$ 26 cm, 北京科云公司), 诱捕器和粘虫板的设置高度在玉米初期为 1 m, 后期为 1.5 m。引诱球

每 15 d 更换 1 次, 每 3 d 所有水盆诱捕器顺次更换 1 次位置。

1.3 应用挥发物引诱剂效果比较

在第 3 块玉米地(地块 C, 面积约 13.33 hm^2) 中进行。地块分为 3 个间隔超过 50 m 的小区, 其中第一小区均匀布置 16 个含橙花叔醇引诱球的水盆诱捕器, 第二小区均匀布置 16 个含顺式茉莉酮引诱球的水盆诱捕器, 第三小区为对照(介于第一小区和第二小区之间), 布置含空白引诱球的水盆诱捕器 16 个(盆距为 20 m)。同时在每块地中布置 9 个白色粘虫板, 每个粘虫板处于相邻的 4 个水盆诱捕器的中心(图 1)。引诱球每 15 d 更换 1 次, 粘虫板每 3 d 更换一次。

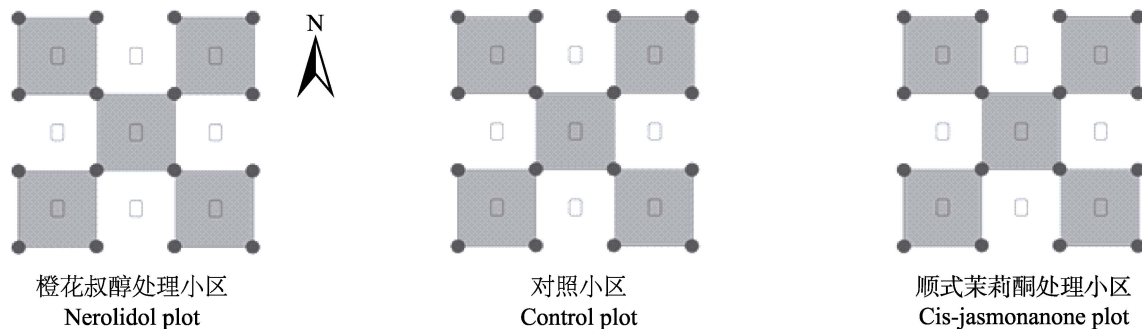


图 1 玉米地块 C 中的诱捕器、粘虫板和百株虫量调查区域示意图
Fig. 1 Schematic diagram of water basin trap, sticky board and sampling area of 100 plants for insect investigation in the plot C of corn field

图中圆点代表水盆诱捕器, 长方形代表白色粘虫板, 方形阴影区域为百株虫量调查区。

The dots are the trap, rectangles represent the sticky board, and the square shadow areas are the sampling area of 100 plant for insect investigation.

1.4 调查和统计方法

在所有植物源挥发物引诱剂效果比较试验中, 每 3 d 调查 1 次水盆诱捕器和白色粘虫板上的天敌昆虫数量, 包括成虫和幼虫; 同时应用五点取样法调查百株天敌虫量(在每块地中选取 5 个点, 每个点随机调查 20 株玉米上的天敌昆虫数量)。

试验数据采用 Excel 和 SPSS17.0 软件进行分析, 利用 Duncan 氏新复极差法进行显著性检验, 显著水平设为 $P < 0.05$, 用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 玉米田主要害虫天敌类群

于 2019 年整个诱捕时间段内, 在诱捕器、粘虫板和百株调查中发现并鉴定到的害虫天敌主要包括脉翅目的草蛉科、膜翅目的赤眼蜂科、黑卵蜂科、胡蜂科、茧蜂科、蚁科、鞘翅目的瓢虫科、郭公虫科、双翅目的食蚜蝇科、食虫虻科、半翅目的花蝽科等, 名录列表如下(表 1)。

除此以外, 还有一些天敌由于在水盆中被长时间浸泡或在粘虫板上被粘连而无法分辨, 不能列出。

表 1 河北省阜城县崔庙镇玉米田主要害虫天敌名录 (2019 年 7 月初-8 月底)
Table 1 The list of main natural enemies in corn field of Cuimiao Town, Fucheng County, Hebei Province (from the beginning of July to the end of August in 2019)

目名 Order	科名 Family	种名 Species	备注 Notes
脉翅目 Neyroptera	草蛉科 Chrysopidae	大草蛉 <i>Chrysopa septempunctata</i>	鳞翅目昆虫幼虫、卵及蚜虫
		丽草蛉 <i>C. formosa</i>	蚜虫、鳞翅目昆虫的卵和幼虫
		中华草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i>	多种蚜虫、蚧、红蜘蛛
膜翅目 Hymenoptera	赤眼蜂科 Trichogrammatidae	松毛虫赤眼蜂 <i>Trichogramma dendrolimi</i>	鳞翅目昆虫的卵
		舟蛾赤眼蜂 <i>T. closterae</i>	鳞翅目昆虫的卵
		玉米螟赤眼蜂 <i>T. ostrinia</i>	松毛虫、玉米螟等的卵
		黑卵蜂科 Scelionidae	松毛虫黑卵蜂 <i>Telenomus dendrolimusi</i>
	胡蜂科 Vespidae	黄缘蜾蠃 <i>Anterhynchium flavomarginatum</i>	鳞翅目昆虫的幼虫
		北方蜾蠃 <i>Eumenes coarctatus</i>	鳞翅目昆虫的幼虫和蜘蛛等
		金环胡蜂 <i>Vespa mandarinia</i>	多种鳞翅目昆虫的幼虫
	茧蜂科 Braconidae	毒蛾绒茧蜂 <i>Glyptapanteles liparidis</i>	舞毒蛾卵
		松毛虫绒茧蜂 <i>Apanteles ordinarius</i>	松毛虫幼虫
		蚁科 Formicidae	日本弓背蚁 <i>Camponotus japonicus</i>
鞘翅目 Coleoptera	瓢虫科 Coccinellidae	七星瓢虫 <i>Coccinula septempunctata</i>	蚜虫
		龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	蚜虫
		异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	各种蚜虫、木虱、粉蚧
	郭公虫科 Cleridae	绣纹郭公虫 <i>Enoclerus omatus</i>	蛀干害虫
	食蚜蝇科 Syrphidae	斜斑鼓额食蚜蝇 <i>Lasipticus pyrastris</i>	蚜虫
		大灰食蚜蝇 <i>Eupeodes corollae</i>	蚜虫、蚧等
黑带食蚜蝇 <i>Episyrphus balteatus</i>		蚜虫	
	食虫虻科 Asilidae	虎斑食虫虻 <i>Astochia virgatipes</i>	蚜虫、鳞翅目幼虫
	半翅目 Hemiptera	花蝽科 Anthocoridae	小花蝽 <i>Orius minutus</i>

2.2 植物源挥发物引诱剂作用

2.2.1 水盆诱捕器的诱集效果 在地块 A 和 B 的水盆诱捕器中, 7 种植物源挥发物单体和对照的引诱球对 6 种常见天敌昆虫的诱集结果如图 2 所示。

在地块 A 中, 对黄缘蜾蠃的诱集, 橙花叔醇的效果明显比其它 6 种化合物好, 并达到显著水平 ($F_{(7,16)}=2.015$, $P=0.036$)。对其它 5 种天敌昆虫的诱集, 7 种化合物的诱集效果与对照无明显差异。在地块 B 中, 对黄缘蜾蠃的诱集, 芳樟醇、顺式茉莉酮和橙花叔醇 ($F_{(7,16)}=3.523$,

$P=0.018$) 效果比其它 4 种化合物和对照好, 并达到显著水平; 对黑带食蚜蝇的诱集效果, 顺式茉莉酮明显好于其它 6 种化合物, 达到及显著水平 ($F_{(7,16)}=7.132$, $P=0.001$)。对其它 4 种天敌昆虫的诱集, 7 种化合物与对照无明显差异。

2.2.2 粘虫板上的天敌昆虫比较 在地块 A 和地块 B 中的粘虫板上的天敌昆虫数量调查结果如图 3 所示。

在地块 A 中, 对于龟纹瓢虫, 在反式- β -法尼烯和顺式茉莉酮 ($F_{(7,24)}=5.636$, $P=0.001$) 这 2 种化合物的引诱球周围的粘虫板较其它 5 种化合物和对照有明显差异; 对于其它 5 种天敌昆

虫, 7 种化合物引诱球和对照周围的粘虫板上诱集到的天敌昆虫数量没有显著差异。在地块 B

中, 所有的 7 种化合物引诱球周围的粘虫板上的天敌昆虫数量较对照的都没有显著差异。

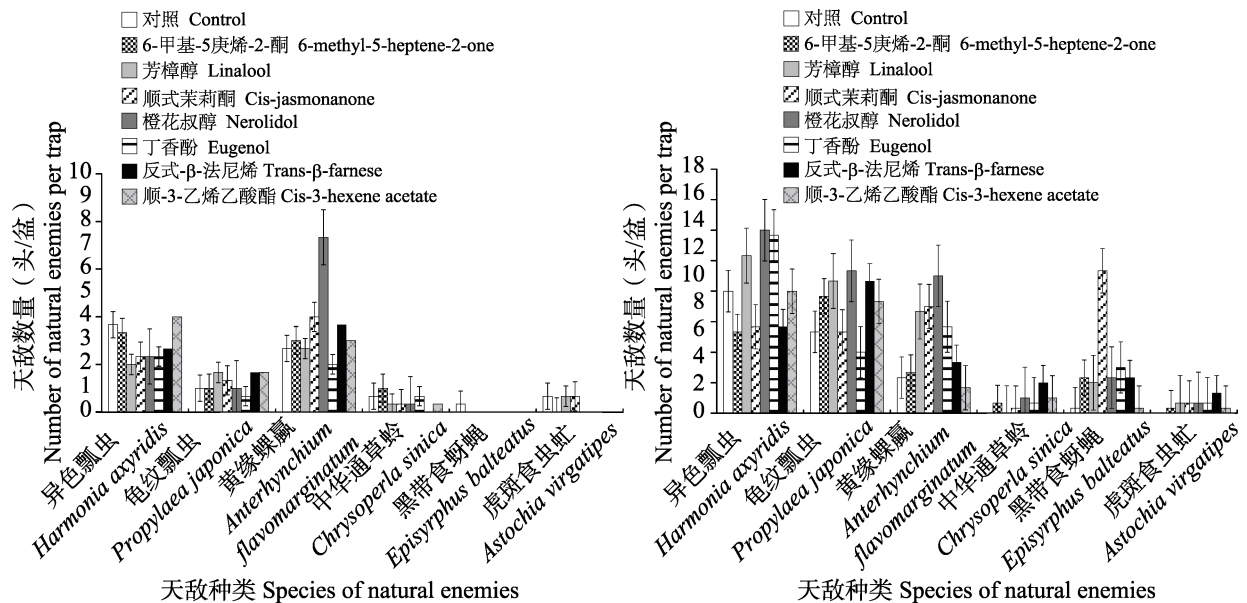


图 2 植物源挥发物在水盆诱捕器中诱集的天敌昆虫比较 (左为地块 A, 右为地块 B)

Fig. 2 Comparison of natural enemy insects trapped by water basin traps baited with plant volatiles (plot A left, plot B right)

图中数据为平均值±标准误, 经 Duncan's 新复极差法检验,

柱上标有不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下图同。

Data in the figure are mean ± SE. Histograms with the different letters indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

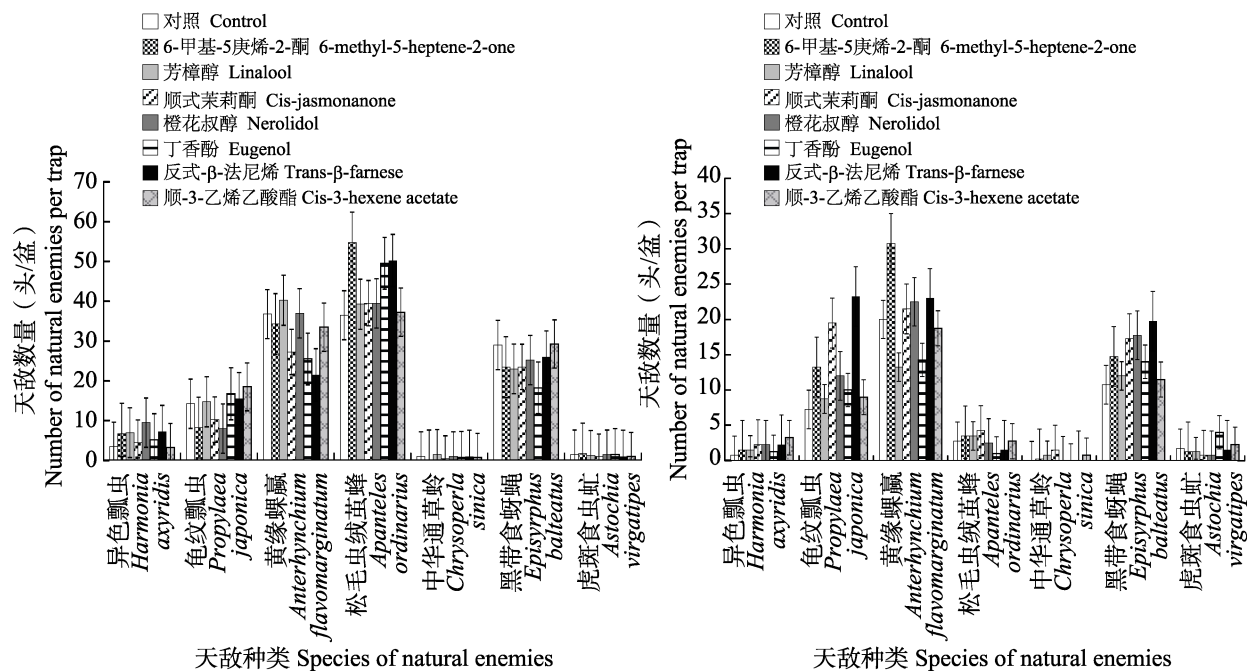


图 3 玉米植株上的百株天敌昆虫数量 (左为地块 A, 右为地块 B)

Fig. 3 The number of natural enemy insects on 100 corn plants (plot A left, plot B right)

2.3 顺式茉莉酮和橙花叔醇的诱集效果

2.3.1 水盆诱捕器中的天敌诱集量比较 相比于对照区, 顺式茉莉酮和橙花叔醇处理区中, 水盆诱捕器诱集到了更多的异色瓢虫 ($F_{(2,45)}=11.287$, $P=0.000$) 和龟纹瓢虫 ($F_{(2,45)}=7.384$, $P=0.002$); 对于黄缘蝶翼, 2 个处理区和对照区之间没有明显差异; 对于黑带食蚜蝇, 橙花叔醇处理区中水盆诱捕器较顺式茉莉酮和对照诱集更多 ($F_{(2,45)}=2.875$, $P=0.048$); 对于虎斑食虫虻, 橙花叔醇比顺式茉莉酮和对照的诱集效果更好, 有明显差异 ($F_{(2,45)}=7.615$, $P=0.001$)。

2.3.2 粘虫板上的天敌诱集量比较 在顺式茉莉酮处理区和对照区, 粘虫板上有大量的松毛虫赤眼蜂, 但橙花叔醇处理区中则明显较少, 存在明显差异 ($F_{(2,45)}=13.904$, $P=0.000$)。对于 2 种瓢虫和黑带食蚜蝇、虎斑食虫虻, 2 个处理区和对照区之间都没有明显差异。

2.3.3 玉米植株上的天敌调查结果 在地块 C 中持续调查了百株玉米的天敌数量, 在 3 个小区中, 无论是异色瓢虫还是龟纹瓢以及虎斑食虫虻, 顺式茉莉酮和橙花叔醇 2 个处理区与对照都没有明显差异。

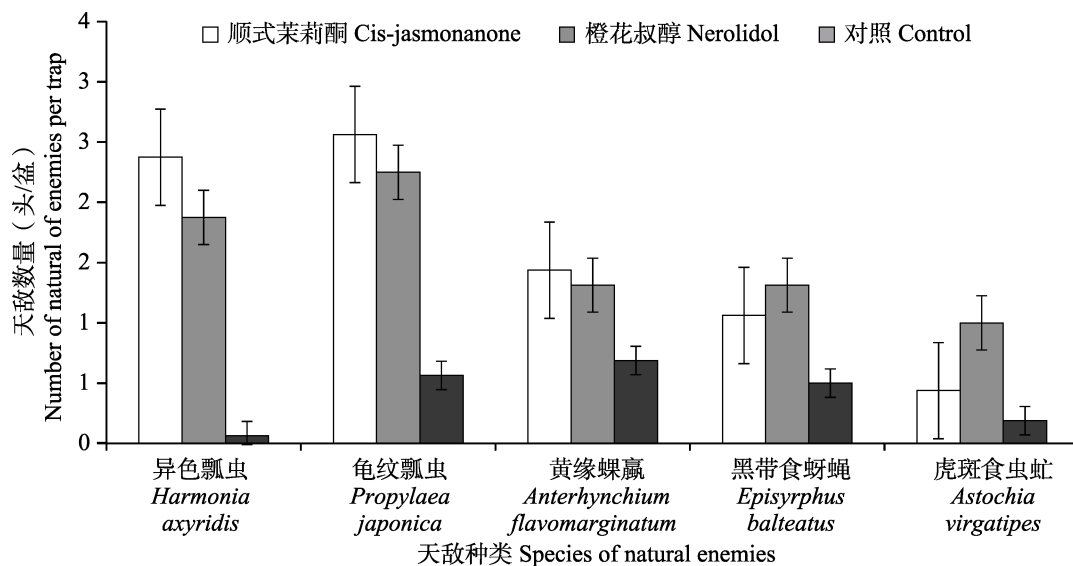


图 4 顺式茉莉酮和橙花叔醇在水盆诱捕器中的诱集效果

Fig. 4 The trapping effect of water basin trap baited with cis-jasmonanone and nerolidol, respectively

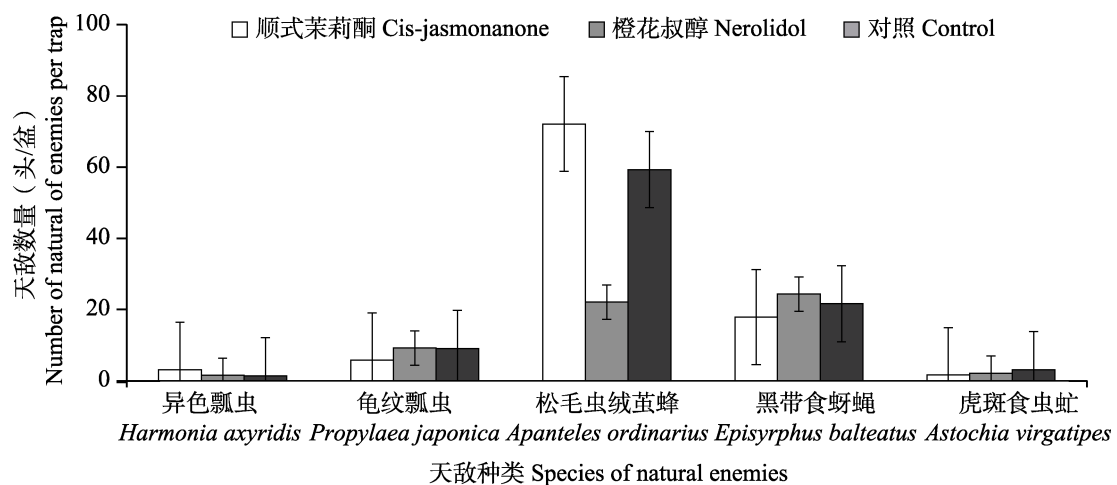


图 5 3 个小区中粘虫板上天敌昆虫数量的比较

Fig. 5 Comparison of the number of natural enemies on the sticky board in three plots

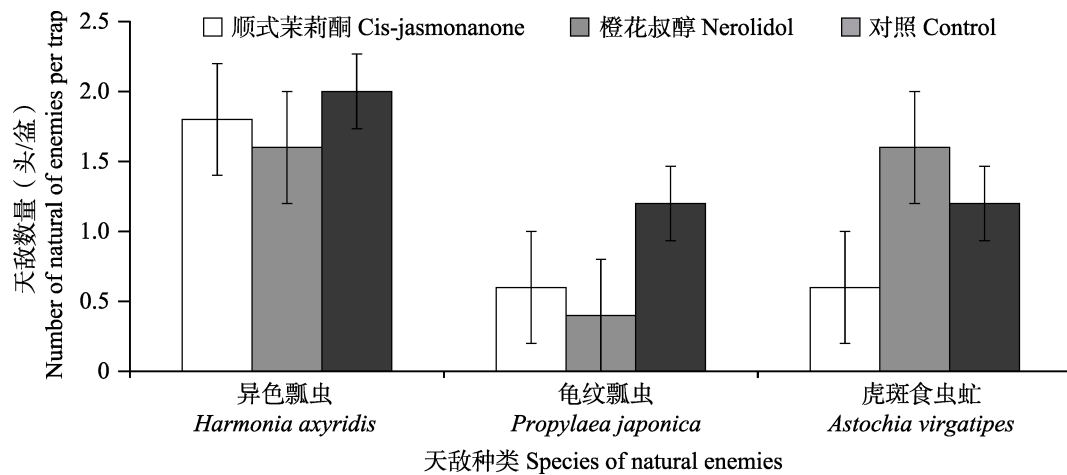


图 6 3 个小区中玉米百株天敌昆虫数量的比较

Fig. 6 Comparison of the number of natural enemy insects on 100 corn plants in three plots

3 结论与讨论

植物在生长发育的不同时期,都会在体内产生并释放到体外一些具有种或品系特性的气味物质,这些气味物质对产生它们的植物的生长发育似乎没有什么作用,但却是昆虫与植物之间联系的信息物质(钦俊德和王琛柱,2001)。因为植食性昆虫在一定距离外对植物的定向或趋性是通过视觉、嗅觉和湿度的感觉来完成的,在嗅觉定向中,植物挥发性物质不仅能引导植食性昆虫选择寄主和取食、产卵场所,而且植物具有明显的间接防御能力,也能为害虫天敌提供食物(如食物体或蜜)和释放挥发性物质吸引天敌以及作为天敌搜寻行为的信息物质等(刘芳等,2003;王国昌等,2010)。所以如何利用植物挥发性物质直接或间接地诱杀害虫,或创造有利于天敌寻找猎物以提高天敌的控制作用的问题受到人们的日益重视。目前的研究普遍认为,与害虫及其天敌有关的植物信息物质(如害虫诱导的植物挥发物、植物利它素)对天敌的寄主寻找和定位行为起着非常重要的引诱和导向作用。植物信息物质可以提高害虫天敌的搜寻成功率,使天敌成功控制植食者的种群以降低害虫对植物的取食危害(Heil, 2008)。

天敌的搜寻行为依赖于来自不同营养阶层上的信息,而且化学信息起重要的作用(Vet and Dicke, 1992),因此,昆虫取食诱导植物产生引

诱天敌的化学信息素具有普遍性(Dicke *et al.*, 1990; Whitman and Eller, 1990; Turlings *et al.*, 1993)。如反式- β -法尼烯,对抱卵的欧洲玉米螟有较强的吸引作用(Binder *et al.*, 1995),对七星瓢虫都具有吸引作用(Abassi *et al.*, 2000),再适量加入 α -蒎烯后共同对巢菜修尾蚜 *Megoura viciae* 的吸引作用明显增强(Pickett and Griffiths, 1980)。Zhu 等(1999)报道了十二斑瓢虫 *Coleomegilla maculata* 对报警信息素以及部分玉米挥发物具有较强的 EAG 反应。在本试验中,反式- β -法尼烯对龟纹瓢虫的引诱表现较对照有明显差异,其对虎斑食虫虻也有较好的引诱性,因此,某些植物挥发物不仅作用于第二营养级,而且作用于第三营养级。

在本实验中,橙花叔醇表现出明显的对黄缘蝶蛹和两种瓢虫的引诱性。Sun 等(2014)发现稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 雄蛾表现出明显的对橙花叔醇的 EAG 反应。Xu 等(2015)测定叶色草蛉 *Chrysopa phyllochroma* 的 EAG 反应时对橙花叔醇不明显,但对顺-3-己烯乙酸酯、芳樟醇、DMNT 的反应明显且还能增加叶色草蛉的产卵量。同时,橙花叔醇也能引起甲虫 *Dryocoetes confusus* 的嗅觉反应(Huber *et al.*, 2000),而对一种美国房屋尘螨成虫 *Dermatophagoides farinae* Hughes 有一定的毒杀作用(Perumalsamy *et al.*, 2014),这同样显示出橙花叔醇作用的多面性,总体说来对天敌昆虫是有利或无害的。

在本研究中, 顺式茉莉酮表现出明显的对黑带食蚜蝇和两种瓢虫的引诱效果。通常顺式茉莉酮被认为是一种植物信号通路的激活剂, 能诱导植物的次生代谢从而激发植物产生防御反应机制, 如 Moraes 等 (2008) 用顺式茉莉处理小麦, 与未处理的植株相比, 地上部分和根系中发现明显较高的 2,4-二羟基-7-甲氧基-2H-1,4-苯并恶嗪-3(4H)-酮含量。Matthes 等 (2011) 发现拟南芥可以感知到顺式茉莉酮并诱导了次生代谢和防御反应, 使得暴露于含顺式茉莉酮的环境下的拟南芥不再对蚜虫寄生有吸引力。而 Bingham 等 (2014) 的实验室生物测定表明, 用顺式茉莉酮处理作物, 棉花上的棉蚜减少了 80%, 甜椒上的桃蚜减少了 90%。

因此, 我们认为虫害诱导的植物挥发物具有“狼烟效应”: 即当害虫在危害植物时就如点燃了“烽火”, 从而激发植物的次生代谢、激活植物的防御反应机制、释放出复杂的诱导挥发物指纹谱, 就像释放出大量的“狼烟”。被害植物的其它未被害部分以及周围的植物也被诱导而释放挥发物就如“狼烟”的传递并达到远处。同时, 具有信号作用的诱导挥发物是个复杂的挥发物谱系, 对远处的害虫和天敌具有普遍的且不同的含义。因此, 绝大多数多食性天敌皆可利用信号化合物作为寄主搜寻的线索, 而不管其捕食或寄生的特异性如何; 其起初对信号化合物的反应频率与其取食范围的广、狭无关 (Kessler and Baldwin, 2001; Steidle and van Loon, 2003)。如捕食性天敌昆虫草蛉, *Chrysopa cognata* 对反- β -法尼烯无反应 (Boo et al., 1998), 但 *Chrysoperla carnea* 对反- β -法尼烯具有较强的 EAG 反应 (Zhu et al., 1999), 中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* 和大草蛉 *Chrysopa septempunctata*、龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* 对反式- β -法尼烯的 EAG 反应明显 (Liu et al., 2005)。Takabayashi 等 (1991) 曾报道寄生蜂对不同虫态寄主为害的植物选择性不同, 玉米植株被 1-4 龄鳞翅目幼虫 (适宜寄主) 为害后可吸引没有产卵经历寄生蜂, 而植株被 5-6 龄幼虫 (不适宜寄主) 为害后却不能吸引寄生蜂; 3 龄幼虫口腔分泌物处理的植株可吸引寄生蜂, 但经 6 龄幼虫口腔分泌物处理的植株不

具引诱作用。

多食性捕食者利用信号化合物的原因之一可能是大多数寄主 (猎物) 以聚集分布代替了随机分布或均匀分布, 因为通常情况下对所有生物体来讲, 斑块 (Patchiness) 是生物分布的最一般模式 (Begon et al., 1996)。因而, 由于“狼烟效应”的作用, 利用信号化合物作为搜寻寄主 (猎物) 的线索适应性高。如果天敌是随机搜寻, 其适应性必然降低, 而直接搜寻策略最为有利。而且“狼烟效应”也能使天敌在某种特定的生境中滞留, 使天敌获得最大的回报和最高的生殖潜能 (Verkerk et al., 1998)。因而对于多食性的天敌昆虫, 利用寄主 (猎物) 取食诱导的挥发物作为其寄主搜寻与定位的线索的策略, 在进化过程中最有益。

致谢: 湖南人文科技学院的肖晓辉和唐令同学参与调查, 特此感谢。

参考文献 (References)

- Abassi SAL, Birkett MA, Pettersson J, Pickett JA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2000. Response of the seven-spot ladybird to an aphid alarm pheromone and an alarm pheromone inhibitor is mediated by pair olfactory cells. *J. Chem. Ecol.*, 26(7): 1765-1770.
- Begon M, Harper JL, Townsend CR, 1996. *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. 3rd ed. Oxford, UK: Blackwell Science. 1068.
- Binder BF, Robbins JC, Wilson RL, 1995. Chemically mediated ovipositional behaviour of the European corn borer *Ostrinia nubilalis*. *J. Chem. Ecol.*, 21(9): 1351-1327.
- Bingham G, Alptekin S, Delogu G, Gurkan O, Moores G, 2014. Synergistic manipulations of plant and insect defences. *Pest Management Science*, 70(4): 566-571.
- Birkett MA, Campbell AM, Chamberlain K, 2000. New roles for *cis*-jasmonate as all insect semiochemical and in plant defense. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(16): 9329-9334.
- Boo KS, Chung IB, Han KS, Pickett JA, Wadhams LJ, 1998. Response of the lacewing *Chrysopa cognata* to pheromones of aphid prey. *J. Chem. Ecol.*, 24(4): 631-634.
- Dicke M, Sabelis MW, Takabayashi J, Bruin J, Posthumus MA,

1990. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: Prospects for application in pest control. *J. Chem. Ecol.*, 16(11): 3091–3118.
- Flath RA, Forrey RR, John JO, Chan BG, 1978. Volatile components of corn silk (*Zea mays* L.): Possible *Heliothis zea* (Boddie) attractants, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(6): 1290–1293.
- Heil M, 2008. Indirect defence via tritrophic interactions. *New Phytologist*, 178(1): 41–61.
- Huber DPW, Gries R, Borden JH, Pierce HD, 2000. A survey of antennal responses by five species of coniferophagous bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) to bark volatiles of six species of angiosperm trees. *Chemoecology*, 10(3): 103–113.
- Kessler A, Baldwin IT, 2001. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science*, 291(5511): 2141–2144.
- Knudsen JT, Eriksson R, Gershenzon J, Ståhl B, 2006. Diversity and distribution of floral scent. *The Botanical Review*, 72(1): 1–120.
- Li HP, Li JM, Zhao XY, 2017. Control of corn borer by *Trichogramma* in north China plain. *Modern Agricultural Science and Technology*, (9): 31. [李和平, 李积铭, 赵轩宇, 2017. 华北平原赤眼蜂防治玉米螟技术, 现代农村科技, (9): 31.]
- Li YY, 2012. The main composition and affecting factors of aroma volatiles in flowers. 2012. *Northern Horticulture*, (6): 184–187. [李莹莹, 2012, 花香挥发物的主要成分及其影响因素, 北方园艺, (6): 184–187.]
- Liu F, Lou YG, Chen JA, 2003. Herbivory insect induced plant volatiles: Evolutionary products of plant-herbivore-natural enemy interactions. *Chinese Bulletin of Entomology*, 40(6): 481–486. [刘芳, 娄永根, 程家安, 2003. 虫害诱导的植物挥发物: 植物与植食性昆虫及其天敌相互作用的进化产物. 昆虫知识, 40(6): 481–486.]
- Liu Y, Guo GX, Chen JL, Ni HX, 2005. Behavioral and electrophysiological responses of four predatory insect species to semiochemicals of wheat. *Acta Entomologica Sinica*, 48(2): 161–165. [刘勇, 郭光喜, 陈巨莲, 倪汉祥, 2005. 瓢虫和草蛉对小麦挥发物组分的行为及电生理反应. 昆虫学报, 48(2): 161–165.]
- Matthes MC, Bruce TJA, Chamberlain K, Pickett JA, Napier JA, 2011. Emerging roles in plant defense for *cis*-jasmone-induced cytochrome P450 CYP81D11. *Plant Signaling Behavior*, 6(4): 563–565.
- Moraes MC, Birkett MA, Gordon-Weeks R, Smart LE, Martin JL, Pye BJ, Bromilow R, Pickett JA, 2008. *cis*-Jasmone induces accumulation of defence compounds in wheat, *Triticum aestivum*. *Phytochem* 69(1): 9–17.
- Pickett JA, Giriffst DC, 1980. Composition of aphid alarm pheromones. *J. Chem. Ecol.*, 6(2): 349–360.
- Perumalsamy H, Kim JY, Kim JR, Hwang KNR, Ahn YJ, 2014. Toxicity of basil oil constituents and related compounds and the efficacy of spray formulations to *Dermatophagoides farina* (Acari: Pyroglyphidae). *J. Med. Entomol.*, 51(3): 650–657.
- Qin JD, Wang CZ, 2001. The relation of interaction between insects and plants to evolution. *Acta Entomologica Sinica*, 44(3): 360–365. [钦俊德, 王琛柱, 2001. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系. 昆虫学报, 44(3): 360–365.]
- Saraiva NB, Prezoto F, Fonseca MG, Blassioli-Moraes MC, Borges M, Laumann RA, Auad AM, 2017. The social wasp *Polybia fastidiosuscula* Saussure (Hymenoptera: Vespidae) uses herbivore-induced maize plant volatiles to locate its prey. *Journal of Applied Entomology*, 141(8): 620–629.
- Sivakumar D, Bautista-Baños S, 2014. A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Protection*, 64: 27–37.
- Steidle JLM, van Loon JJA, 2003. Dietary specialization and infochemical use in carnivorous arthropods: Testing a concept. *Entomol. Exp. Appl.*, 108(3): 133–148.
- Sun X, Liu Z, Zhang A, Dong HB, Zeng FF, Pan XY, Wang Y, Wang MQ, 2014. Electrophysiological responses of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis*, to rice plant volatiles. *Journal of Insect Science*, 14(70): 1–14.
- Takabayashi J, Dicke M, Posthumus MA, 1991. Variation in composition of predator-attracting allelochemicals emitted by herbivore-infected plants: Relative influence of plant and herbivore. *Chemoecology*, 2(1): 1–6.
- Turlings TCJ, Tumlinson JH, 1992. Systemic release of chemical signals by herbivore-injured corn. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 89(17): 8399–8402.
- Turlings TCJ, McCall PJ, Albom HT, Tumlinson JH, 1993. An elicitor in caterpillar oral secretions that induces corn seedlings to emit chemical signals attractive to parasitic wasps. *J. Chem. Ecol.*, 19(3): 411–425.
- Verkerk RHJ, Leather SR, Wright DJ, 1998. The potential for manipulating crop-pest-natural enemy interactions for improved insect pest management. *Bulletin of Entomological Research*, 88(5): 493–501.
- Vet LEM, Dicke M, 1992. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. *Annu. Rev. Entomol.*, 37: 141–172.
- Wang GC, Sun XL, Dong WX, Cai XM, Chen ZM, 2010. Ecologically

- regulating functions of herbivore-induced plant volatiles. *Acta Ecologica Sinica*, 30(24): 7016–7028. [王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 蔡晓明, 陈宗懋, 2010. 虫害诱导挥发物的生态调控功能. *生态学报*, 30(24): 7016–7028.]
- Wang LX, Tian CY, Ma YJ, Hu MF, 2004. Effect of maize trapping on population dynamics of natural enemies in cotton field. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 22(1): 86–89. [王林霞, 田长彦, 马英杰, 胡敏芳, 2004. 玉米诱集带对棉田天敌种群动态的影响, *干旱地区农业研究*, 22(1): 86–89.]
- Wang ZY, He KL, Shi J, Ma SY, 2006. The reason and control strategy of the aggravation of *Dichocrocis punctiferalis* on corn. *Plant Protection*, 32(2): 67–69. [王振营, 何康来, 石洁, 马嵩岳, 2006. 桃蛀螟在玉米上危害加重原因与控制对策, *植物保护*, 32(2): 67–69.]
- Whitman DW, Eller FJ, 1990. Parasitic wasps orient to green leaf volatiles. *Chemecology*, 1(2): 69–75.
- Xie XW, Jiang XC, Chen B, Dong WX, Zhang XG, Xiao C, Yan NS, Li ZY, 2015. The electroantennogram response of Asian corn borer (*Ostrinii furnacalis*) to the volatiles from corn ear. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 28(3): 1088–1096. [谢兴伟, 蒋兴川, 陈斌, 董文霞, 张秀歌, 肖春, 严乃胜, 李正跃, 2015. 玉米果穗挥发物组成及其对亚洲玉米螟的电生理活性. *西南农业学报*, 28(3): 1088–1096.]
- Xu HF, Mu JY, Mu SM, Yang QM, Dong CX, Liu WT, 1999. Studies on the community of major arthropods in summer maize fields of cotton district. *Entomological Journal of East China*, 8(1): 76–80. [徐洪富, 牟吉元, 牟少敏, 杨勤民, 董慈祥, 刘维同, 1999. 棉区夏玉米田节肢动物群落的研究. *华东昆虫学报*, 8(1): 76–80.]
- Xu XX, Cai XM, Bian L, Luo ZX, Xin ZJ, Chen ZM, 2015. Electrophysiological and behavioral responses of *Chrysopa phyllochroma* (Neuroptera: Chrysopidae) to plant volatiles. *Environ. Entomol.*, 44(5): 1425–1433.
- Zhu JW, Cosse AA, Obyreki JJ, Boo KS, Baker TC, 1999. Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* and the green lacewing *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plant: Electroantennogram and behavioral responses. *J. Chem. Ecol.*, 25(5): 1163–1177.