

绿盲蝽、Q 型烟粉虱、赤拟谷盗对云木香气味物质的嗅觉反应及其在防治中的应用

尹海辰¹, 许冬¹, 杨妮娜¹, 李栋², 丛胜波¹, 杨甜甜¹, 万鹏^{1*}

(1. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 农业农村部华中作物有害生物综合治理重点实验室, 农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室, 武汉 430064; 2. 中化现代农业(广西)有限公司, 南宁 530200)

摘要 选择 17 种云木香挥发物测定绿盲蝽对其电生理及行为学反应。结果表明, 芳樟醇和 5-羟甲基糠醛可引起绿盲蝽强烈的电生理反应, 且芳樟醇对绿盲蝽雌、雄虫均具有极显著的驱避作用, 选择反应率均低于 40%。而 5-羟甲基糠醛原液与 100 倍稀释液均能显著地引诱绿盲蝽, 选择反应率分别为 51.43% 和 70.59%。此外, 芳樟醇原液对 Q 型烟粉虱驱避与 5-羟甲基糠醛对其的引诱作用同样显著。将这两种化合物组合形成“推-拉”策略后, 寄主上绿盲蝽和 Q 型烟粉虱平均虫量分别为 (2.2 ± 0.6) 头和 (1.9 ± 1.0) 头, 粘虫板上虫量分别为 (7.7 ± 0.7) 头和 (21.9 ± 1.6) 头, 与对照组差异显著。5-羟甲基糠醛未对赤拟谷盗表现出引诱作用, 但芳樟醇驱避作用显著, 选择反应率为 25%。表明利用“推-拉”策略防治经济害虫具有良好应用前景。

关键词 “推-拉”策略; 绿盲蝽; 赤拟谷盗; Q 型烟粉虱; 挥发物

中图分类号: Q 968 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021634

Olfactory responses of *Apolygus lucorum*, *Bemisia tabaci* Q-biotype and *Tribolium castaneum* to odorants from *Aucklandia costus* and their application in pest control

YIN Haichen¹, XU Dong¹, YANG Nina¹, LI Dong², CONG Shengbo¹, YANG Tiantian¹, WAN Peng^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Soil and Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Pests in Central China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hubei Key Laboratory of Crop Diseases, Insect Pests and Weeds Control, Wuhan 430064, China; 2. Sinochem Modern Agriculture (Guangxi) Co., Ltd., Nanning 530200, China)

Abstract Seventeen volatiles from *Aucklandia costus* were selected and their electrophysiological and behavioral responses to *Apolygus lucorum* were tested. The results showed that linalool and 5-hydroxymethylfurfural induced strong electrophysiological response of *A. lucorum*; linalool had a significant repellent effect on both sexes of *A. lucorum*, and the selective response rates were both below 40%. 5-hydroxymethylfurfural and 100-fold dilution had a significant attractive effect on *A. lucorum*, with a selective response rate of 51.43% and 70.59%, respectively. In addition, the repellent (linalool) and attractive effects (5-hydroxymethylfurfural) of the two compounds on *Bemisia tabaci* Q-biotype were also significant. After combination of the two compounds in the “push-pull” strategy, the average numbers of *A. lucorum* and *B. tabaci* on host plants were (2.2 ± 0.6) and (1.9 ± 1.0) individuals, respectively, and the numbers of adults on the sticky boards were (7.7 ± 0.7) and (21.9 ± 1.6) individuals, respectively, which showed significant differences compared with those of the control groups. 5-hydroxymethylfurfural showed no attractive activity to *Tribolium castaneum*, whereas linalool had repellent effect with a selective response rate of 25%. It suggested that the “push-pull” strategy had a good application prospect for controlling economic pests.

收稿日期: 2021-11-13 修订日期: 2022-01-24

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(32001966)

* 通信作者 E-mail: wanpenghb@126.com

Key words “push-pull” strategy; *Apolygus lucorum*; *Tribolium castaneum*; *Bemisia tabaci* Q-biotype; volatiles

在昆虫对寄主植物的识别定位过程中,植物产生的各种挥发性次生代谢物质起着重要作用,通过模拟寄主植物产生的化学信号开发的各种食诱剂作为一种新兴的害虫防治方法,同化学农药相比较具有环境友好、毒性低等特点,应用前景广阔^[1-2]。然而昆虫对气味的识别过程十分复杂,田间背景气味等因素易影响引诱剂的引诱效果^[3]。因此如何提升引诱剂的引诱效果成为一项迫切需要解决的问题。

在自然界中,植物为了抵御有害生物的危害,会产生许多小分子挥发性次生代谢产物,如萜类、生物碱、黄酮、甾体、酚酸类,这些物质可对害虫产生驱避作用,是植物对昆虫进行防御的一种重要方式^[4]。我国在 11 世纪就已有使用麻叶、艾叶等来驱赶蚊虫的记录,目前此类物质在害虫的防治中已发挥了重要的作用^[5]。

研究表明,将具有驱避和引诱作用的化合物组合形成“推-拉”策略,可以达到增效目的。该策略目前已在实际生产中得以应用,对棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 等害虫起到了良好的防治效果^[6-7]。中草药云木香 *Aucklandia costus* 提取物可以引起昆虫强烈的电生理及行为学反应^[8],本文通过查阅相关资料,明确云木香提取物中主要含芳樟醇等物质,遂选择了芳樟醇、5-羟甲基糠醛、白桦脂酸等 17 种木香挥发物^[9-11],测定了绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 雌雄虫对其电生理及行为学反应,进而测定了赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*、Q 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* Q-biotype 等害虫对这些化合物的嗅觉反应,并选择了其中具有显著引诱和驱避作用的化合物组合形成“推-拉”策略,并进一步测定了这一策略的防治效果。本研究为经济害虫的绿色防控提供了理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试昆虫

本研究所用的绿盲蝽、Q 型烟粉虱、赤拟谷盗等采集自湖北省武汉市、鄂州市等地棉田及谷仓,在实验室内(26±1)℃,光周期 L//D=16 h//8 h,相对湿度 60%条件下饲养多代。绿盲蝽采用市场采买的四季豆饲养,Q 型烟粉虱采用盆栽棉花苗饲养,赤

拟谷盗采用市场采买的稻谷饲养。触角电位与嗅觉反应试验选用 1~3 日龄健康成虫,试验开始前将试虫饥饿 4 h。

1.1.2 供试药剂

本研究所用芳樟醇、紫罗兰酮(纯度均为 98%)购自罗恩试剂。5-羟甲基糠醛、白桦脂酸、喘诺木烯内酯、东莨菪内酯、白桦酯醇、乙酰丁香酮、裂叶苣荬菜内酯、木香烯内酯、去氢木香内酯、大黄酚、佛手柑内酯、对羟基苯甲醛、孕甾烯醇酮、丁香醛、丁香酯素等 15 种标准品购自格里斯(天津)医药化学技术有限公司,纯度均为 98%。

1.1.3 供试仪器

本研究所用触角电位仪采购自 Syntech 公司,信号控制器为 IDAC-2,气味源控制器为 CS-55。

1.2 方法

1.2.1 绿盲蝽触角电位(EAG)反应

试验参考董文霞等^[12]的方法,并有所改进。测定时无水乙醇将挥发物稀释为 1.5 g/L 的溶液,对照组为无水乙醇。取 15 μL 溶液滴于 30 mm×10 mm 滤纸上,将滤纸塞入 1 000 μL 移液枪枪头中,枪头尾部连接气体控制装置。送气管管口与触角纵向垂直,并与触角相距 10 mm 左右,将移液枪枪头前部插入送气管上部小孔内。用解剖刀从基部切下绿盲蝽雌、雄成虫的整个触角,并切除少量触角尖端部分,便于触角连接。将直径约 0.2 mm 的银丝电极插入到玻璃毛细管中,玻璃毛细管内注入适量浓度为 0.9 mol/L 的电生理盐水。将切下的触角连接于 2 个电极上,每次刺激时间为 0.5 s,2 次刺激之间间隔 30 s 以保证触角感觉器感觉功能的完全恢复。每个提取物与对照交替刺激触角,取前后两次测定的对照的平均值作为该提取物每次刺激值的对照值。雌性和雄性绿盲蝽各测试 8 根触角,每根触角用每种提取物刺激 3 次。EAG 反应的相对值=成虫对提取物触角电位反应值/前后对照的平均值。

1.2.2 绿盲蝽嗅觉反应

试验采用一根长 60 cm,直径 10 cm 的玻璃管,将其两端用透气纱布覆盖。玻璃管两端各放置 3~4 根四季豆,在四季豆旁分别放置一个直径 2 cm,高 1 cm 塑料瓶盖,处理组瓶盖内加入 1 mL 清水溶解的挥发物,对照组瓶盖内加入 1 mL 清水。每次试验将 10 头冷昏迷的绿盲蝽放置于玻璃管正中央处

(图 1)。试验过程中保持屋内黑暗,每日 17:00 开始,次日 8:00 观察记录处理组和对照组四季豆上取食的成虫数量。为防止气味源方向或试虫个体差异造成的影响,试验重复 8 次,共计测试 80 头雌虫和雄虫,每次重复均更换一批新试虫,并更换处理组气味源与对照组气味源方向,每次试验结束后将玻璃管用无水乙醇擦洗。

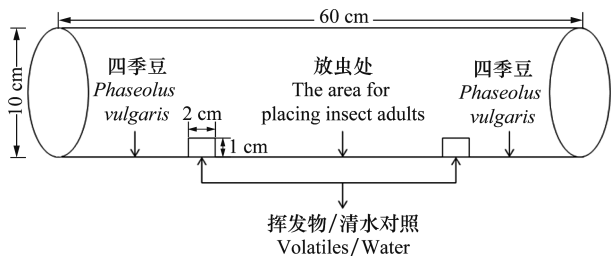


图 1 绿盲蝽嗅觉反应试验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the device for *Apolygus lucorum* olfactory response experiment

1. 2. 3 不同浓度引诱活性化合物对绿盲蝽引诱作用

测定 1. 2. 2 筛选出的具有引诱活性的化合物原液、10、100、1 000 倍稀释液对绿盲蝽的引诱作用,用清水作为空白对照。采用 1. 2. 2 所述装置,将 4~5 根四季豆放置于装置一端,另一端放置一块 8 cm×8 cm 白色粘虫板。粘虫板上放置直径 2 cm,高 1 cm 塑料瓶盖,加入 1 mL 不同浓度引诱剂或空白对照。其余方法同 1. 2. 2 所述。

1. 2. 4 驱避活性化合物对 Q 型烟粉虱、赤拟谷盗驱避作用

采用 1. 2. 2 所述玻璃管。Q 型烟粉虱的驱避试验方法为,在玻璃管两端各放置一片带梗棉叶,为防止棉叶枯萎将其插入装有清水的塑料盒中。在两端的棉叶旁分别放置一个直径 2 cm,高 1 cm 塑料瓶盖,

处理组瓶盖内加入 1 mL 驱避剂,对照组瓶盖内加入 1 mL 清水。在赤拟谷盗驱避试验中,将棉叶替换为 8 g 大米,其余方法相同。每次试验放入 50 头冷昏迷的烟粉虱或 10 头赤拟谷盗成虫,试验重复 8 次。其余试验方法同 1. 2. 2 所述。

1. 2. 5 具有引诱活性化合物对 Q 型烟粉虱、赤拟谷盗引诱作用

采用 1. 2. 2 所述玻璃管。将寄主植物放置于玻璃管一端,另一端放置带有引诱剂或空白对照的粘虫板,Q 型烟粉虱和赤拟谷盗对应的寄主植物如 1. 2. 4 所述。其余方法同 1. 2. 3 所述。

1. 2. 6 “推-拉”策略对绿盲蝽嗅觉选择的影响

选择前述试验中筛选出的具有驱避和引诱作用的挥发物组合使用。将两个金字塔形养虫笼(底面 25 cm×25 cm,高 40 cm)用玻璃管(长 20 cm,直径 10 cm)连接。处理组向其中 1 个养虫笼放入 7~8 根四季豆,并在四季豆旁放置一个直径 2 cm,高 1 cm 塑料瓶盖,瓶盖内加入 1 mL 驱避剂。另一养虫笼底部放置一张白色粘虫板(20 cm×15 cm),粘虫板正中央放置 1 个装有 1 mL 引诱剂的塑料瓶盖。试验设置 3 组对照,第一组对照为只在四季豆旁放置驱避剂,粘虫板上为清水。第二组对照为四季豆旁放置清水,粘虫板上放置引诱剂。第三组对照为四季豆旁和粘虫板上均为清水。试验时将 10 头冷昏迷的绿盲蝽放置于玻璃管正中央处(图 2)。试验过程中保持屋内黑暗,每日 17:00 开始,次日 8:00 观察记录处理组和 3 个对照组粘虫板和四季豆上的成虫数量。为防止气味源方向或试虫个体差异造成的影响,处理组和 3 个对照组均各重复 8 次,均共计测试 80 头成虫,每次重复均更换一批新试虫,并更换处理组气味源与对照组气味源方向,每次试验结

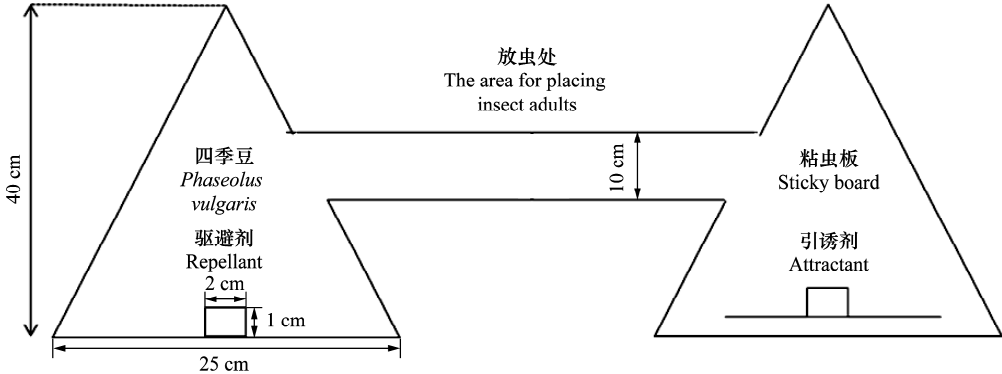


图 2 “推-拉”策略处理试验装置简图

Fig. 2 Schematic diagram of the set-up for the “push-pull” experiment

束后将养虫笼和玻璃管用无水乙醇擦洗。

1.2.7 “推-拉”策略对 Q 型烟粉虱嗅觉选择的影响

采用 1.2.2 所述玻璃管。将一片带梗棉叶插入装有清水的塑料盒中,放置于在玻璃管一端,另一端放置一片 8 cm×8 cm 白色粘虫板。每次处理组和各对照组分别放入 50 头烟粉虱成虫,处理组和对照组重复 8 次。其余方法同 1.2.6 所述。

1.3 数据处理

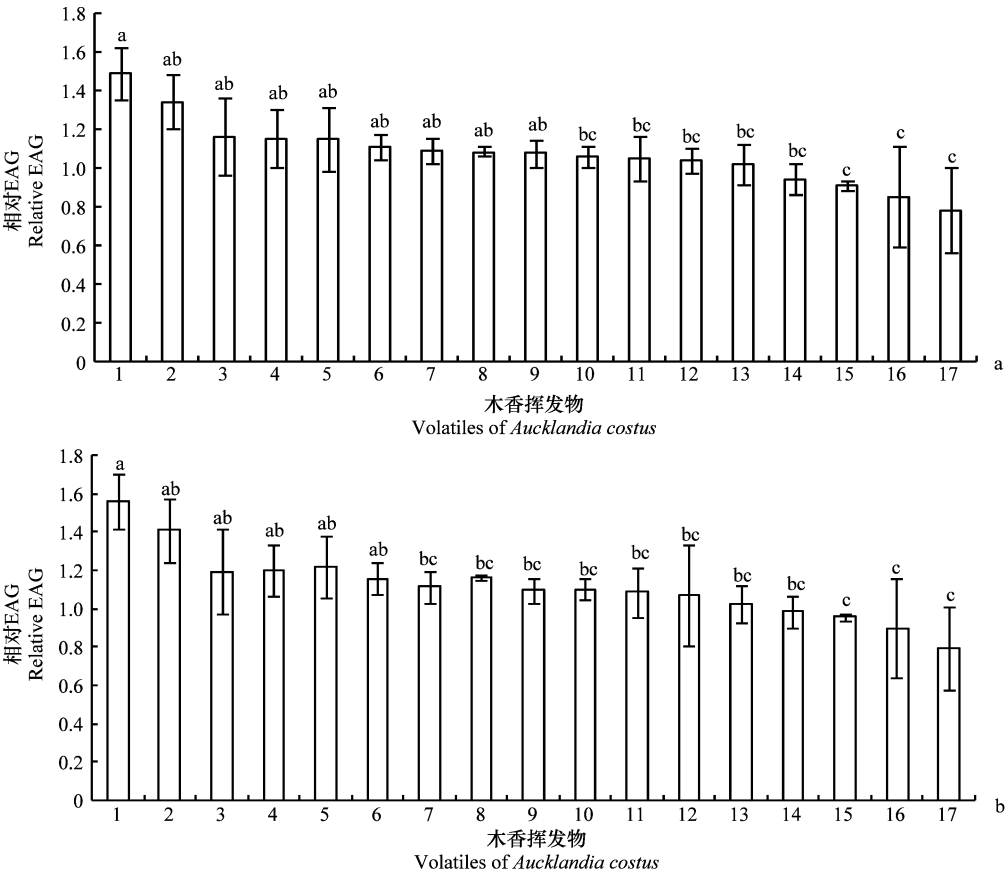
参照 Zhou 等^[13]的方法计算选择反应率。选择反应率=处理组虫数/(处理组虫数+对照组虫数)×100%。绿盲蝽对 17 种挥发物的 EAG 反应相对值,以及“推-拉”策略中平均每块诱虫板上绿盲蝽、烟粉虱成虫被诱捕量,选择寄主植物的平均虫量采

用单因素方差分析和最小显著差法比较。绿盲蝽、烟粉虱、赤拟谷盗成虫驱避及引诱作用采用卡方检验进行分析。所有数据处理利用 SPSS Statistics 17.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 绿盲蝽触角电位(EAG)反应

由图 3 可知,绿盲蝽雌虫对芳樟醇、5-羟甲基糠醛的相对 EAG 值最高,分别可达(1.490 1±0.136 7)($P=0.029\ 0$, $F_{16,119}=7.532\ 0$)和(1.344 6±0.142 2)($P=0.040\ 4$, $F_{16,119}=4.626\ 0$)显著高于对丁香酯素触角电位反应(0.780 0±0.219 7)。绿盲蝽雄虫触角电位反应与雌虫相似,对芳樟醇、5-羟甲基糠醛的相对 EAG 值分别为(1.562 8±0.142 2)



a: 雌虫; b: 雄虫。数据为平均值±标准误。柱上不同小写字母表示成虫对不同挥发物的相对EAG值差异显著($P<0.05$, LSD)。1: 芳樟醇; 2: 5-羟甲基糠醛; 3: 白桦脂酸; 4: 喘诺木烯内酯; 5: 东莪苣内酯; 6: 白桦酯醇; 7: 乙酰丁香酮; 8: 裂叶莪萜内酯; 9: 紫罗兰酮; 10: 木香烯内酯; 11: 去氢木香内酯; 12: 大萹酚; 13: 佛手柑内酯; 14: 对羟基苯甲醛; 15: 羟基孕甾烯醇酮; 16: 丁香醛; 17: 丁香酯素

a: Female; b: Male. Data in the bar chart are mean ± standard error. The different lowercase letters indicate significant differences in the relative EAG values to different volatiles ($P<0.05$, LSD). 1: Linalool; 2: 5-hydroxymethylfurfural; 3: Betulonic acid; 4: Reynosin; 5: Scopoletin; 6: Beta-amyrin; 7: Acetosyringone; 8: Santamarine; 9: Ionone; 10: Costunolide; 11: Dehydrocostus lactone; 12: Chrysophanic acid; 13: Bergapten; 14: p-Hydroxybenzaldehyde; 15: Hydroxypregnenolone; 16: 3,5-dimethoxy-4-hydroxybenzaldehyde; 17: Syringaresinol

图 3 绿盲蝽雌雄成虫对木香不同挥发物的相对 EAG 值

Fig. 3 Relative EAG values of female and male *Apolygus lucorum* to volatiles from *Aucklandia costus*

($P=0.010\ 3, F_{16,119}=8.632\ 0$), ($1.409\ 3\pm0.162\ 0$) ($P=0.030\ 3, F_{16,119}=5.077\ 0$), 同样显著高于对丁香酯素的 EAG 值($0.795\ 5\pm0.219\ 1$)。

2.2 绿盲蝽嗅觉反应

根据电生理反应, 选择芳樟醇和 5-羟甲基糠醛测定绿盲蝽对其嗅觉反应, 结果表明芳樟醇对绿盲蝽雌虫($P=0.006\ 8, df=2, \chi^2=7.314\ 3$)和雄虫

($P=0.003\ 8, df=2, \chi^2=8.376\ 8$)均具有极显著的驱避作用, 供试的 80 头雌虫对芳樟醇处理后四季豆的选择反应率为 38.57%, 雄虫为 37.68%; 而 5-羟甲基糠醛则对雌虫($P<0.001, df=2, \chi^2=45.230\ 8$)和雄虫($P<0.001, df=2, \chi^2=31.243\ 2$)均表现出极显著的引诱作用, 选择反应率分别为 76.92%和 72.97%。

表 1 绿盲蝽成虫对木香挥发物嗅觉反应¹⁾

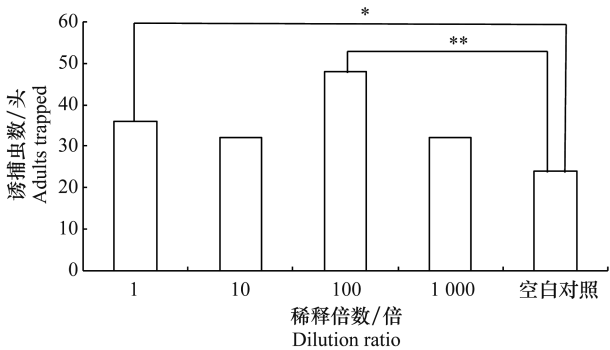
Table 1 Olfactory response of *Apolygus lucorum* adults to volatiles of *Aucklandia costus*

挥发性化合物 Volatile compounds	试虫性别 Insect sex	处理组虫数/头 Number of adults in treatment group	对照组虫数/头 Adults in the control group	无反应虫数/头 Number of adults with no response	<i>P</i>	χ^2
芳樟醇 Linalool	雌虫	27	43	10	0.006 8**	7.314 3
	雄虫	26	43	11	0.003 8**	8.376 8
5-羟甲基糠醛 5-hydroxymethylfurfural	雌虫	60	18	2	<0.001**	45.230 8
	雄虫	54	20	6	<0.001**	31.243 2

1) ** 代表某一性别成虫对某一挥发物嗅觉反应与对照组差异极显著($P<0.01$) (卡方检验)。表 2 同。
** indicates extremely significant difference ($P<0.01$) in the olfactory responses of the same sex to volatiles between the treatment and the control group (*Chi-square test*). The same applies in Table 2.

2.3 不同浓度引诱活性化合物对绿盲蝽的引诱作用

由于绿盲蝽雌雄虫间对于挥发物的电生理、行为学反应相似, 因此后续试验不区分成虫性别。根据 2.2 试验结果, 测定了 5-羟甲基糠醛不同稀释倍数对绿盲蝽的引诱活性。由图 4 可知, 5-羟甲基糠醛对绿盲蝽引诱作用与浓度间并非线性关系, 相比于对照组, 其原液($P=0.028\ 5, df=2, \chi^2=4.800\ 0$)与 100 倍稀释液($P<0.001, df=2, \chi^2=16.000\ 0$)均表现出显著或极显著引诱作用, 选择反应率分别为 51.43%和 70.59%。



*和**分别代表某一稀释倍数下挥发物对成虫引诱作用与对照组相比差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$) (卡方检验)。下同
* and ** represent significant difference ($P<0.05$) and extremely significant difference ($P<0.01$) in the attractive effect of volatiles on adults between the treatment and the control group (*Chi-square test*). The same applies below

图 4 不同稀释倍数 5-羟甲基糠醛诱捕绿盲蝽成虫数量
Fig. 4 The numbers of adults trapped by 5-hydroxymethylfurfural under different dilution ratios

2.4 具有驱避活性的化合物对 Q 型烟粉虱、赤拟谷盗的驱避作用

根据 2.2 试验结果, 选择对绿盲蝽具有驱避作用的芳樟醇, 测定了其对两种常见害虫的驱避作用。如表 2 所示, 芳樟醇对 Q 型烟粉虱、赤拟谷盗均表现出极显著的驱避作用, 处理组选择反应率分别为 32.31%和 25.00%。

表 2 芳樟醇对 Q 型烟粉虱、赤拟谷盗的驱避作用

Table 2 Repellent effect of linalool on *Bemisia tabaci*

Q-biotype and *Tribolium castaneum*

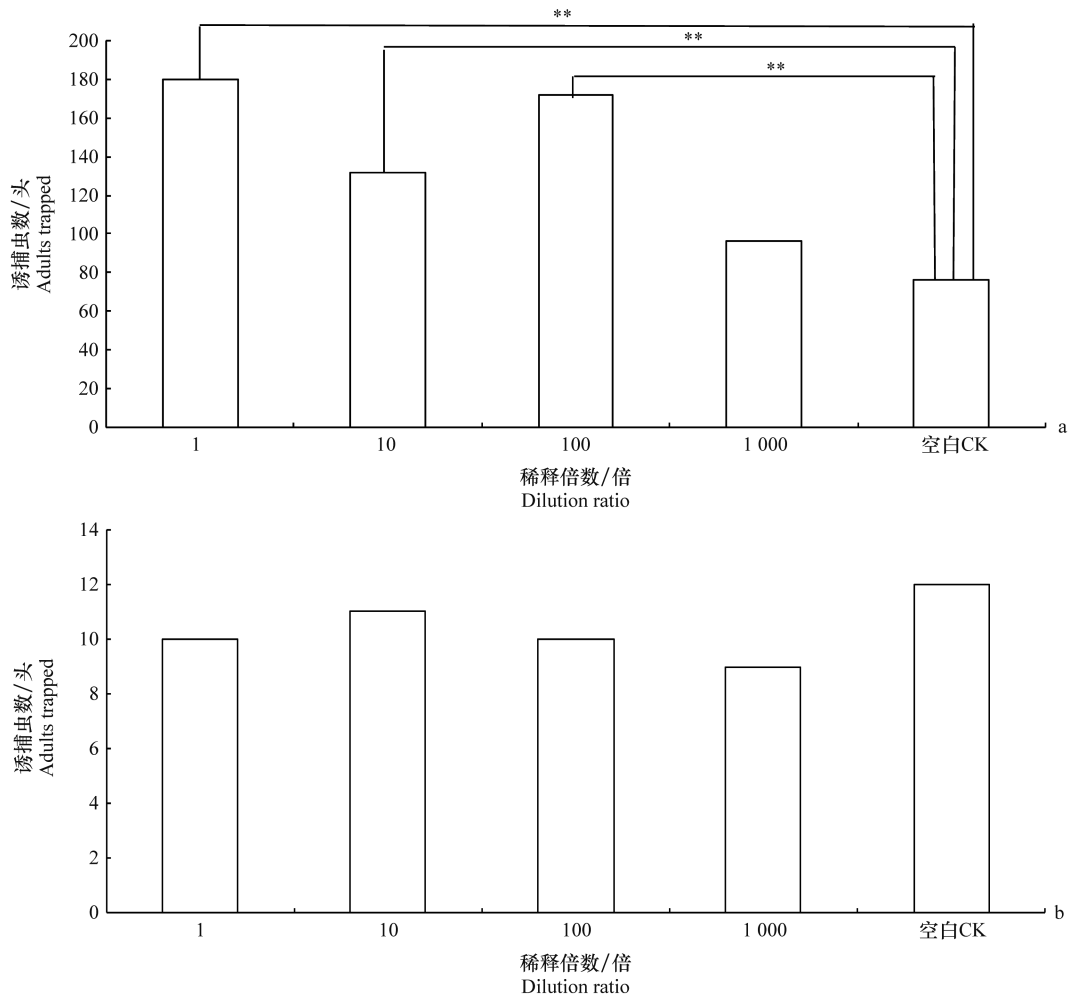
分组 Group	虫数/头 Number of adults	
	赤拟谷盗 <i>T. castaneum</i>	Q 型烟粉虱 <i>B. tabaci</i> Q-biotype
处理 Treatment	21	24
对照组 Control group	44	132
<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<0.001**	<0.001**
卡方值 <i>Chi-square</i> value	16.276 9	149.538 5

2.5 具有引诱活性的化合物对 Q 型烟粉虱、赤拟谷盗的引诱作用

根据 2.2 和 2.3 的结果, 选择对绿盲蝽具有引诱作用的 5-羟甲基糠醛测定其对两种常见害虫的引诱作用。如图 5 所示, 5-羟甲基糠醛原液($P<0.001, df=2, \chi^2=84.500\ 0$), 10 倍稀释液($P<0.001, df=2, \chi^2=30.153\ 8$), 100 倍稀释液($P<0.001, df=2, \chi^2=74.322\ 6$)对 Q 型烟粉虱诱捕量均极显著高于对照

组,选择反应率分别为 70.31%,63.46%和 69.35%。
1 000 倍稀释液诱捕数量与对照相比差异不显著($P=$

0.544 9, $df=2,\chi^2=0.366\ 5$)。然而该化合物对赤拟
谷盗未产生显著引诱作用($P>0.05$)。



a: Q型烟粉虱; b: 赤拟谷盗。 **代表某一稀释倍数挥发物对成虫引诱作用与对照组相比差异极显著($P<0.01$) (卡方检验)
a: *Bemisia tabaci* Q-biotype; b: *Tribolium castaneum*. ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$) in the attractive effect of volatiles on adults between the treatment and the control group (Chi-square test)

图5 不同稀释倍数 5-羟甲基糠醛诱捕 Q 型烟粉虱、赤拟谷盗成虫数量

Fig. 5 The number of *Bemisia tabaci* Q-biotype and *Tribolium castaneum* adults trapped by 5-hydroxymethylfurfural under different dilution ratio

2.6 “推-拉”策略对绿盲蝽嗅觉选择的影响

根据上述结果,选择芳樟醇原液和 5-羟甲基糠醛 100 倍稀释液组合成“推-拉”策略,测定其对绿盲蝽嗅觉选择的影响。由表 3 可知,“推-拉”策略处理组四季豆上取食的虫量极显著低于空白对照($P<0.001,F_{3,28}=52.941\ 0$)和芳樟醇对照($P=0.001\ 3,F_{3,28}=18.286\ 0$),但与 5-羟甲基糠醛对照组无显著差异($P=0.067\ 8,F_{3,28}=2.882\ 0$)。处理组粘虫板上虫量显著高于芳樟醇对照($P=0.011\ 1,F_{3,28}=20.00$),极显著高于空白对照($P=0.002\ 6,F_{3,28}=45.00$),但与 5-羟甲基糠醛对照($P=0.247\ 7,F_{3,28}$

$=1.829\ 0$)无显著差异。

2.7 “推-拉”策略对 Q 型烟粉虱嗅觉选择的影响

根据 2.4 和 2.5 的结果,防治 Q 型烟粉虱的“推-拉”策略组合为芳樟醇与 5-羟甲基糠醛原液。由表 4 可知,处理组棉叶上烟粉虱数量显著低于空白对照组($P=0.030\ 4,F_{3,28}=5.061$),只有芳樟醇和只有 5-羟甲基糠醛与对照组无显著差异($P=0.649\ 0,F_{3,28}=0.351$)。处理组($P=0.011\ 1,F_{3,28}=47.035$)和只有 5-羟甲基糠醛对照组($P=0.003\ 8,F_{3,28}=10.443$)白板诱捕虫量显著高于空白对照。

表 3 “推-拉”策略对绿盲蝽寄主选择和诱捕效果的影响¹⁾

Table 3 Effects of “push-pull” strategy on host selection of *Apolygus lucorum* and trapping effect

处理 Treatment		四季豆平均虫量/头 Mean number of insect adults on <i>Phaseolus vulgaris</i>	白板平均诱捕虫量/头 Mean number of insect adults trapped on whiteboard
芳樟醇+5-羟甲基糠醛	Linalool+5-hydroxymethylfurfural	(2.2±0.6)cC	(7.7±0.7)aA
芳樟醇	Linalool	(4.8±0.2)bB	(4.3±0.2)bAB
5-羟甲基糠醛	5-hydroxymethylfurfural	(3.3±0.3)cBC	(6.3±0.7)aA
空白对照	Blank control	(7.2±0.3)aA	(2.7±0.2)cB

1) 表中数据为平均值±标准误; 同列不同小写和大写字母分别表示处理间差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$) (LSD)。表 4 同。
Data in the table are mean±standard error, and the different lowercase and capital letters in the same column indicate significant difference and extremely significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively (LSD). The same applies in Table 4.

表 4 “推-拉”策略对 Q 型烟粉虱寄主选择和诱捕效果的影响

Table 4 Effects of “push-pull” strategy on host selection of *Bemisia tabaci* Q-biotype and trapping effect

处理 Treatment		棉叶平均虫量/头 Mean number of insect adults on cotton leaves	白板平均诱捕虫量/头 Mean number of insect adults trapped on whiteboard
芳樟醇+5-羟甲基糠醛	Linalool+5-hydroxymethylfurfural	(1.9±1.0)bA	(21.9±1.6)abAB
芳樟醇	Linalool	(3.7±0.8)abA	(14.7±1.8)bcAB
5-羟甲基糠醛	5-hydroxymethylfurfural	(3.2±0.3)abA	(24.5±4.4)aA
空白对照	Blank control	(4.7±0.7)aA	(10.4±0.6)cB

3 结论与讨论

本文测定了 17 种中草药植物挥发物对绿盲蝽的行为学及电生理反应的影响,并筛选出一组驱避剂和引诱剂,由于该引诱剂对赤拟谷盗无活性,因此建立了一套“推-拉”策略防治绿盲蝽、Q 型烟粉虱的技术。结果表明,相比于芳樟醇的驱避作用,5-羟甲基糠醛对绿盲蝽的引诱作用更为显著。而对于赤拟谷盗,5-羟甲基糠醛无显著的引诱作用。“推-拉”策略对烟粉虱效果显著,相比于 3 组对照,“推-拉”策略显著降低了烟粉虱对于棉花叶片的选择性。

芳樟醇在自然界植物挥发物中广泛存在,关于其对害虫引诱作用的文献报道较多,例如吴国火等^[14]的研究表明,芳樟醇存在于茶树花挥发物中,10⁻³ g/L 和 10 g/L 时,可以显著吸引中华蜜蜂 *Apis cerana cerana*。龚碧涯等^[15]发现 10% 芳樟醇精油也可以对柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 成虫产生强烈的引诱作用。但也存在该化合物具有驱避作用的报道,如林永丽等^[16]在室内测定了香叶醇、芳樟醇、柠檬醛和茴香醛等 4 种植物精油对德国小蠊 *Blattella germanica* 雄性成虫的驱避性,结果表明当滤纸上芳樟醇剂量为 100 μg/cm² 和 1 000 μg/cm² 时可对该虫产生强烈的驱避作用。昆虫对芳樟醇嗅觉反应的变化与其剂量等密切相关,例如 1 μL 芳樟醇对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 具有显著引诱作用,但是当用量达到 10 μL 以上时则表现为驱避作用,15 μL

以上均具有极显著的驱避作用^[17]。本试验采用的是芳樟醇原液,这可能也是其表现出驱避作用的原因。此外,芳樟醇的驱避作用也与作用对象有关,本研究表明芳樟醇对于赤拟谷盗驱避效果明显,而在“推-拉”策略体系中,干扰绿盲蝽寄主选择主要是 5-羟甲基糠醛的引诱作用。在干扰烟粉虱选择棉花叶片这一过程中,芳樟醇与引诱剂的作用相当,起到了协同增效作用。

目前关于 5-羟甲基糠醛的引诱作用鲜有报道。该化合物能对 Q 型烟粉虱和绿盲蝽表现出引诱作用,表明该化合物具有此类昆虫寄主的部分气味特征。目前检测表明,5-羟甲基糠醛是蜂蜜中的重要成分^[18]。而蜂蜜水则往往是室内饲养昆虫时的重要食物来源^[19-20]。这可能也是导致烟粉虱和绿盲蝽对该化合物产生趋性的原因。本文发现 5-羟甲基糠醛对 Q 型烟粉虱和绿盲蝽的引诱作用均在原液和 100 倍稀释液处出现两个峰,这表明植物挥发物的作用效果并非线性变化的,例如庄敏^[21]研究表明,枫香植物叶片粗提物在浓度为 100% 和 75% 时对悬铃木方翅网蝽成虫 *Corythucha ciliata* 表现出显著的忌避作用,当浓度下降到 50% 时忌避作用不显著,但当浓度为 25% 后忌避作用又有所回升,而白蜡植物叶片粗提物忌避作用则是在浓度 75% 时显著下降,但浓度为 50% 后有所回升。这一现象背后的机理仍有待研究。

本研究选取的 3 种试验对象均是当前农业生产

中的重要害虫。绿盲蝽寄主广泛,可寄生 50 余种 200 多种经济作物^[22],烟粉虱取食植物汁液,分泌蜜露造成煤污病,传播植物病毒,近 30 年来已在世界各地造成了严重的经济损失^[23],而赤拟谷盗则是一种重要的仓储害虫,该虫成虫具有臭腺,可污染粮食影响品质^[24]。本文未筛选到赤拟谷盗引诱剂,但芳樟醇对其表现出显著的驱避作用,因此可考虑利用其他赤拟谷盗引诱剂与芳樟醇配合使用。近年来上述这些害虫均有抗药性报道^[25-27],因此本文为此类害虫绿色防控及抗药性治理提供了理论基础。

综上所述,本文从中草药挥发物中筛选出了一种驱避剂和引诱剂,并将两者搭配使用,建立了一套利用“推-拉”策略的防治手段。未来还可对本文筛选的驱避剂和引诱剂进行复配剂筛选,进一步提高其作用效果^[28-29]。此外由于田间环境的复杂性,这一防治策略仍需进一步田间试验,以确定其在田间的用法和用量^[3]。

参考文献

- [1] DEFAGÓ M T, VIDE LA M, VALLADARES G. To smell you better: prior food deprivation increases herbivore insect responsiveness to host plant odor cues [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2016, 29(5): 527–534.
- [2] YANG Yuting, SU Qi, SHI Linin, et al. Electrophysiological and behavioral responses of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) to volatiles from its host plant, Chinese chives (*Al-lium tuberosum* Rottler ex Spreng) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 112(4): 1638–1644.
- [3] CAI Xiaoming, BIAN Lei, XU Xiuxiu, et al. Field background odour should be taken into account when formulating a pest attractant based on plant volatiles [J/OL]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 41818. DOI: 10.1038/srep41818.
- [4] 杜俊灵. 桔小实蝇雌虫引诱物筛选及其在“推-拉”技术中的作用[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [5] 李慧, 刘辉, 张兴. 植物源蚊虫驱避剂的研究与应用[J]. *中华卫生杀虫药械*, 2018, 24(2): 199–202.
- [6] PYKE B, RICE M, SABINE B, et al. The push-pull strategy-behavioural control of *Heliothis* [J]. *Australian Cotton Grower*, 1987, 9: 7–9.
- [7] 陈杰华, 吴荣昌, 向亚林, 等. 水稻害虫生态调控系统中推-拉策略的初步应用[J]. *环境昆虫学报*, 2018, 40(3): 514–522.
- [8] 尹海辰, 李文静, 许敏, 等. 绿盲蝽和中黑盲蝽对 5 种植物提取物的触角电位和嗅觉反应[J]. *植物保护*, 2021, 47(6): 134–140.
- [9] 易海燕, 何桂霞, 郭建生, 等. 超临界 CO₂ 萃取和水蒸气蒸馏法提取木香挥发油的比较研究[J]. *湖南中医药大学学报*, 2010, 30(1): 34–36.
- [10] 陈飞龙, 谭晓梅, 汤庆发, 等. 不同产地木香挥发油成分的

- GC-MS 分析比较[J]. *中国药房*, 2011, 22(23): 2187–2188.
- [11] 徐珍珍, 樊旭蕾, 王淑美. 木香化学成分及挥发油提取的研究进展[J]. *广东化工*, 2017, 44(3): 77–78.
- [12] 董文霞, 胡保文, 张钟宁, 等. 中红侧沟茧蜂对烟草挥发物的触角电生理及行为反应[J]. *生态学报*, 2004, 24(10): 2252–2256.
- [13] ZHOU Limei, JU Qian, QU Mingjing, et al. EAG and behavioral responses of the large black chafer, *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeidae) to its sex pheromone [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(2): 121–125.
- [14] 吴国火, 崔林, 王梦馨, 等. 茶树花香气及茶叶气味对中华蜜蜂的引诱效应[J]. *生态学报*, 2020, 40(12): 4024–4031.
- [15] 龚碧涯, 刘慧, 向敏, 等. 柑橘大实蝇成虫对 9 种植物提取物的嗅觉反应[J]. *植物保护*, 2020, 46(4): 149–154.
- [16] 林永丽, 郝蕙玲, 孙锦程. 四种植物精油对德国小蠊的驱避效果[J]. *昆虫知识*, 2008(3): 477–479.
- [17] 张献英, 霍治国, 犹昌艳, 等. 20 种非寄主植物挥发物对褐飞虱拒避与引诱行为的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2014, 35(3): 63–68.
- [18] 黄丽芳, 刘斯萍, 杨丽娜, 等. 提高蜂蜜中羟甲基糠醛检测精度的方法[J]. *蜜蜂杂志*, 2021, 41(6): 13–14.
- [19] 鲁冲, 赵博, 朱芬, 等. 3 种营养条件对中黑盲蝽生长发育的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2010, 29(5): 557–559.
- [20] HE Limei, JIANG Shan, CHEN Yuchao, et al. Adult nutrition affects reproduction and flight performance of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, 20(3): 715–726.
- [21] 庄敏. 非寄主植物挥发物及粗提物对悬铃木方翅网蝽成虫的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [22] LU Yanhui, WU Kongming, JIANG Yuying, et al. Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China [J]. *Science*, 2010, 328 (5982): 1151–1154.
- [23] DE BARRO P J, LIU S, BOYKIN L M, et al. *Bemisia tabaci*: a statement of species status [J]. *Annual Review of Entomology*, 2011, 56: 1–19.
- [24] TREBELS B, DIPPEL S, GOETZ B, et al. Metamorphic development of the olfactory system in the red flour beetle (*Tribolium castaneum*, Herbst) [J/OL]. *BMC Biology*, 2021, 19(1): 155. DOI: 10.1186/s12915-021-01055-8.
- [25] ZHEN Congai, MIAO Ling, LIANG Pei, et al. Survey of organophosphate resistance and an Ala216Ser substitution of acetylcholinesterase-1 gene associated with chlorpyrifos resistance in *Apolysus lucorum* (Meyer-Dür) collected from the transgenic Bt cotton fields in China [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2016, 132: 29–37.
- [26] GAUTAM S G, OPIT G P, HOSODA E. Phosphine resistance in adult and immature life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) populations in California [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 109(6): 2525–2533.

植食性昆虫的食性有关,东亚飞蝗主要利用植物中的糖类和蛋白质,对脂肪的利用较少^[26]。茶皂素导致东亚飞蝗取食量下降,消化酶活性受抑制,降低了食物转化率和食物利用率,必然影响生长发育速率。

研究结果为茶皂素对蝗虫取食生理及生长发育的作用补充了基础数据,为合理利用茶皂素防治蝗虫提供了参考。

参考文献

- [1] LECOQ M, CEASE A. What have we learned after millennia of locust invasions? [J/OL]. *Agronomy*, 2022, 12(2): 472. DOI: 10.3390/agronomy12020472.
- [2] 徐超民,王加亭,李爽,等. 蝗虫综合防控技术研究进展[J]. *植物保护学报*, 2021, 48(1): 73–83.
- [3] 李霜,王加亭,潘凡,等. 沙漠蝗防控技术的综述[J]. *植物保护学报*, 2021, 48(1): 37–45.
- [4] 谭海军. 中国生物农药的概述与展望[J]. *世界农药*, 2022, 44(4): 16–27.
- [5] 董妍玲,潘学武. 植物次生代谢产物简介[J]. *生物学通报*, 2002(11): 17–19.
- [6] 石旺鹏,谭树乾. 蝗虫生物防治发展现状及趋势[J]. *中国生物防治学报*, 2019, 35(3): 307–324.
- [7] RANI P U, JYOTHSNA Y. Biochemical and enzymatic changes in rice plants as a mechanism of defense [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2010, 32(4): 695–701.
- [8] GONG Bin, ZHANG Guangfu. Interactions between plants and herbivores; a review of plant defense [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(6): 325–336.
- [9] 朱玉坤. 昆虫拒食剂研究进展[J]. *世界农药*, 2012, 34(3): 28–30.
- [10] 陈澄宇,康志娇,史雪岩,等. 昆虫对植物次生物质的代谢适应机制及其对昆虫抗药性的意义[J]. *昆虫学报*, 2015, 58(10): 1126–1139.
- [11] KESSLER A, BALDWIN I T. Plant responses to insect herbivory; the emerging molecular analysis [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2002, 53(1): 299–328.
- [12] WANG Yueyue, HUANG Xunbing, CHANG B H, et al. The survival, growth, and detoxifying enzyme activities of grasshoppers *Oedaleus asiaticus* (Orthoptera: Acrididae) exposed to toxic rutin [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2020, 55

(4): 385–393.

- [13] HILDER V A, GATEHOUSE A M R, SHEERMAN S E, et al. A novel mechanism of insect resistance engineered into tobacco [J]. *Nature*, 1987, 330(6144): 160–163.
- [14] 王沫,姜敬,孟昭军,等. 美国白蛾生长发育对寄主植物不同次生代谢物质的适应性[J]. *东北林业大学学报*, 2020, 48(3): 100–104.
- [15] BENINGER C W, ABOU-ZAID M M, KISTNER A L E, et al. A flavanone and two phenolic acids from *Chrysanthemum morifolium* with phytotoxic and insect growth regulating activity [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30(3): 589–606.
- [16] BASHIR E M, EI SHAFIE H A F. Toxicity, antifeedant and growth regulating potential of three plant extracts against the desert locust *Schistocerca gregaria* Forskal (Orthoptera: Acrididae) [J]. *American Journal of Experimental Agriculture*, 2014, 4(8): 959–970.
- [17] 麻程军,王瑞,刘彬,等. 茶皂素杀螺活性及对3种水生生物的安全性[J]. *农药学报*, 2021, 23(1): 139–145.
- [18] LIN Shuo, CHEN Yixin, BAI Yan, et al. Effect of tea saponin-treated host plants on activities of antioxidant enzymes in larvae of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2018, 47(3): 749–754.
- [19] QASIM M, ISLAM W, ASHRAF H J, et al. Saponins in insect pest control [M]//MERILLON J M, RAMAWAT K G. Co-evolution of secondary metabolites. Springer, Cham, 2020: 897–924.
- [20] 吴建国,郭宏. 30%茶皂素对草地蝗虫的防控效果试验[J]. *青海草业*, 2020, 29(4): 15–17.
- [21] 王小艺,黄炳球. 茶皂素对菜青虫的拒食作用方式及机制[J]. *昆虫知识*, 1999(5): 277–281.
- [22] 王小艺,黄炳球. 茶皂素对菜青虫幼虫的拒食活性[J]. *中国蔬菜*, 1999(1): 26–28.
- [23] 潘如军,唐秀桦,何龙飞,等. 茶皂素对甘薯小象甲的行为及生长发育的影响[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(7): 1566–1571.
- [24] YU Xiaolan, HE Yong. Tea saponins; effective natural surfactants beneficial for soil remediation, from preparation to application [J]. *RSC Advances*, 2018, 8(43): 24312–24321.
- [25] 涂雄兵,李志红,牙森·沙力,等. 绿僵菌侵染后东亚飞蝗营养生理参数变化研究[J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48(4): 896–901.
- [26] 吴昊. 蝗虫口器结构、消化酶及食性选择[D]. 太原:山西大学, 2010.

(责任编辑:杨明丽)

(上接 136 页)

- [27] ZHENG Huixin, XIE Wen, FU Buli, et al. Annual analysis of field-evolved insecticide resistance in *Bemisia tabaci* across China [J]. *Pest Management Science*, 2021, 77(6): 2990–3001.
- [28] KENDRA P E, OWENS D, MONTGOMERY W S, et al. α -Copaene is an attractant, synergistic with quercivorol, for improved detection of *Euxwallacea* nr. *forficatus* (Coleoptera;

Curculionidae; Scolytinae) [J/OL]. *PLoS ONE*, 2017, 12(6): e0179416. DOI: 10.1371/journal.pone.0179416.

- [29] TASIN M, HERRERA S L, KNIGHT A L, et al. Volatiles of grape inoculated with microorganisms; modulation of grapevine moth oviposition and field attraction [J]. *Microbial Ecology*, 2018, 76(3): 751–761.

(责任编辑:杨明丽)