

入侵植物肿柄菊提取物对小菜蛾雌虫的行为调控*

王占娣^{1**} 贾琳^{1***} 赵静¹ 史云东¹ 师伟¹
文新宇² 蒋其军³ 李艳萍^{1***}

(1. 玉溪师范学院化学生物与环境学院, 玉溪 653100; 2. 玉溪师范学院地理与国土工程学院, 玉溪 653100;
3. 云南南宝生物科技有限责任公司, 玉溪 653100)

摘要 【目的】小菜蛾 *Plutella xylostella* 对多种化学农药产生了严重的抗药性, 本研究主要为寻找防治小菜蛾新的化合物。【方法】本研究采用 4 种不同极性溶剂 (石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯和无水乙醇) 提取肿柄菊 *Tithonia diversifolia*, 采用 GC-MS 鉴定提取物中的化合物, 并评价肿柄菊提取物及其萜类成分对未交配雌性小菜蛾成虫行为的调控作用。【结果】肿柄菊的二氯甲烷、乙酸乙酯和无水乙醇提取物对未交配雌虫具有明显的引诱作用, 其中乙酸乙酯的引诱效果最为明显。肿柄菊乙酸乙酯提取物中的化学成分分析结果发现其含有植醇、 α -蒎烯和角鲨烯 3 种萜类成分。行为实验表明, 角鲨烯对小菜蛾具有驱避效果, 植醇对小菜蛾具有引诱效果。田间实验结果显示, 用量为 $1 \times 10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 植醇对小菜蛾具有引诱效果, 而角鲨烯具有驱避效果。【结论】本研究首次证明植醇对小菜蛾行为的调节作用, 其与角鲨烯是肿柄菊调节小菜蛾行为的活性成分, 可以用于小菜蛾的防治。

关键词 小菜蛾; 肿柄菊; 入侵杂草; 行为反应

Volatiles from the invasive weed, *Tithonia diversifolia* (Asterceae), regulate the behavior of female *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)

WANG Zhan-Di^{1**} JIA Lin^{1***} ZHAO Jing¹ SHI Yun-Dong¹
SHI Wei¹ WEN Xin-Yu² JIANG Qi-Jun³ LI Yan-Ping^{1***}

(1. School of Chemistry, Biology and Environment of Yuxi Normal University, Yuxi 653100, China;
2. School of Geography and Engineering of Land Resources, Yuxi Normal University, Yuxi 653100, China;
3. Yunnan Nanbao Biotechnology Co., Ltd., Yuxi 653100, China)

Abstract [Aim] The diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) has developed high levels of resistance to several insecticides. The aim of this study was to identify a novel compound to control the diamondback moth. [Methods] We carried out a series of laboratory and field studies to investigate the behavioral effects of crude extract and three terpene compounds from the invasive weed *Tithonia diversifolia* on the diamondback moth. Crude extracts of *T. diversifolia* were processed in the laboratory using four different solvents, and the active compounds were identified through gas chromatography coupled with mass spectrometry. Y-tube olfactory assays were performed to evaluate the behavioral responses of unmated female diamondback moth to the crude extract and the three terpene compounds. [Results] The results showed that unmated adult female moths were significantly attracted to crude extracts obtained using dichloromethane, ethyl acetate,

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (32060036); 云南省地方本科高校 (部分) 基础研究联合专项资金项目面上项目 (202301BA070001-088; 2018FH001-020); 玉溪市烟草公司一般项目 (YXYC2022008)

**第一作者 First author, E-mail: zhdwang@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: jl@yxnu.edu.cn; lyphys@yxnu.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-04-18; 接受日期 Accepted: 2023-08-17

and absolute ethyl alcohol. Among these, the crude extract derived from the ethyl acetate fraction demonstrated the most potent effect. Three terpene compounds, phytol, squalene and α -pinene, were identified in the crude extract. Field studies showed that phytol attracted moths at high concentrations (1×10^{-2} mg·mL⁻¹), whereas squalene consistently repelled moths.

[Conclusion] This research identified three active terpene compounds in *T. diversifolia* and demonstrated the regulatory effect of phytol and squalene on diamondback moth behavior.

Key words *Plutella xylostella*; *Tithonia diversifolia*; invasive weed; behavior responses

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) 是一种严重危害十字花科蔬菜的世界性害虫, 全球每年因小菜蛾造成的经济损失高达 40 亿-50 亿美元 (Furlong *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2016)。当前普遍采用化学农药、微生物源农药和植物源农药防治小菜蛾。目前已证实小菜蛾对多种化学农药产生了严重的抗药性, 迫切需要开发新的防治策略 (Cerdeira *et al.*, 2019)。昆虫行为调节剂通过干扰昆虫种间性信息、通讯联系以及昆虫取食行为降低昆虫种群数量进而实现防治目的, 具有专一性强、反应灵敏、对天敌安全、不污染环境等特点, 成为当前农业害虫绿色防治研究的重点 (Callaway and Ridenour, 2004; Han *et al.*, 2020)。现代研究发现, 入侵植物释放的挥发性物质对本地昆虫具有行为调节作用。吕朝军等 (2015) 报道了飞机草 *Eupatorium odoratum* L. 提取物对红脉穗螟 *Tirathaba rufivena* Walker 具有产卵忌避作用; Sun 等 (2020) 报道, 入侵植物互米花 *Spartina alterniflora* 对本地昆虫舞毒蛾 *Laelia coenosa* 具有产卵引诱作用。由于入侵地昆虫对入侵植物抗性水平较低, 因此, 从入侵植物中筛选调控本地昆虫行为的活性成分有助于筛选对农业害虫抗性低的活性化合物。

肿柄菊 *Tithonia diversifolia* (Hemsl) 为菊科多年生灌木类植物, 原产墨西哥、中美洲地区, 是一种观赏植物, 因被亚洲、非洲、北美、澳洲等 70 多个国家和地区广泛引种而成为一种世界性入侵杂草 (Chukwuka *et al.*, 2007; Obiakara and Fourcade, 2018)。20 世纪初, 肿柄菊引入我国后大量扩散, 在云南、广东、福建、海南、香港、台湾等地分布和危害 (Yang *et al.*, 2017)。现已覆盖云南 12 个地州的 71 个县 (区), 扩散面积达 184.212 km², 占云南土地面积的 47% (朱枫

等, 2018; Dai *et al.*, 2020), 2019 年肿柄菊被列为云南省 I 级恶性入侵杂草。目前肿柄菊防治以人工铲除为主, 但由于肿柄菊为灌木类多年速生植物, 防治难度极大。挖掘肿柄菊对农业害虫绿色防控的资源价值, 将其进行资源化利用是目前控制肿柄菊的有效途径。在一些国家, 肿柄菊作为一种传统的杀虫植物用于大田农业害虫防治。现代研究发现, 肿柄菊提取液对棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、玉米象 *Sitophilus zeamais*、切叶蚁 *Atta cephalotes*、黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster*、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*、家蚕 *Philosamia ricini* Hutt、四纹豆象 *Callosobruchus maculatus*、茄二十八瓢虫 *Epilachna vigintioctopunctata*、银纹夜蛾 *Trichoplusia ni* Hübner、二斑叶螨 *Tetranychus urticae*、粉蚧 *Pseudococcus* sp. 和蚜虫 *Myzus persicae* 等具有明显的触杀、胃毒、熏蒸、抑制幼虫生长发育、产卵驱避和抑制成虫羽化作用 (Kerebba *et al.*, 2019; da Costa *et al.*, 2020; Pantoja-Pulido *et al.*, 2020; Gitahi *et al.*, 2021)。而关于肿柄菊对小菜蛾行为调节作用的研究鲜有文献报道。

本研究采用不同溶剂提取肿柄菊, 评价肿柄菊不同极性提取液对小菜蛾行为的调节作用, 并采用 GC-MS 鉴定肿柄菊提取液中的化学成分, 进一步评价鉴定到的萜类成分对小菜蛾行为的调节作用, 明确肿柄菊调节小菜蛾的活性成分, 为肿柄菊以用促防提供借鉴和参考, 同时为小菜蛾的防控奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 小菜蛾的饲养

小菜蛾成虫采集于玉溪市江川芥蓝田, 采集的小菜蛾采用 10% 蜂蜜水饲养, 待其产卵后, 收

集其卵块, 于室内温度 (27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 60%-70%, 光周期 12L: 12D, 待卵孵育出幼虫后, 将其转移到饲养笼 (35 cm×35 cm×40 cm) 饲养芥蓝苗。在小菜蛾幼虫末期区分出小菜蛾的性别后, 将雌、雄虫分别置于不同的笼子 (35 cm×35 cm×40 cm) 内进行饲养, 待其羽化后, 收集雌蛾进行实验。

1.2 肿柄菊的提取和鉴定

收集肿柄菊植株上处于生长旺盛的绿色叶片, 自然晾干后称取 100 g, 利用索氏提取器, 根据溶剂的极性由小到大 (石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯和无水乙醇) 分别加入 100 mL 进行提取, 提取时间以提取器内溶液颜色变淡为止, 收集提取液, 用旋转蒸发仪 (上海亚荣生化仪器厂, 型号 RE-52AA) 浓缩, 浓缩液采用 GC-MS (美国 perkinElmer 有限公司, 型号 SQ8T) 进行鉴定, 鉴定条件为 GC: 进样量 1.0 μL ; 分流比 20:1; 进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 程序升温: 初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min; 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 260 $^{\circ}\text{C}$, 保持 10 min。MS: 传输线温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度 250 $^{\circ}\text{C}$; TIC 全扫描; COL-Elite 柱: (130 mm×0.32 mm×0.25 μm); 离子源 70 eV; 扫描时间和 GC 时间一致, 扫描范围 m/z 33-550。利用标准品对鉴定到的萜类成分进一步确认。

1.3 测试液的配置

将不同极性肿柄菊提取液采用相应的溶剂 (石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯和无水乙醇) 稀释至最终浓度为 0.5、0.25 和 0.125 $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (干叶当量), 备用。植醇 (lot H1814056)、 α -蒎烯 (lot G1809164) 和角鲨烯 (lot S109119) 均购自阿拉丁有限公司, 其中, 角鲨烯采用石油醚进行溶解, α -蒎烯和角鲨烯采用无水乙醇进行溶解, 分别配置成浓度为 1×10^{-2} 、 1×10^{-3} 和 $1 \times 10^{-4} \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, 于 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存备用。

1.4 行为评价

取 2 个直径 0.8 cm 的滤纸片, 分别滴加 100 μL 浓度分别为 0.5、0.25 和 0.125 $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 肿柄菊提取液及 1×10^{-2} 、 1×10^{-3} 和 $1 \times 10^{-4} \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 萜类

成分 (植醇、 α -蒎烯和角鲨烯), 等量溶剂做对照, 自然晾干。将滤纸片分别置于 Y 型管的 2 个支管中, 主管引入 20 头未交配的雌虫, 风速控制在 3-5 cm/min , 设 4 次重复, 30 min 后记录各支管中小菜蛾的数量。

1.5 田间诱捕试验

试验安排在玉溪师范学院试验田, 试验田面积为 300 m^2 , 种植蔬菜为甘蓝, 试验田周边种有油菜和番茄。将 200 μL 1×10^{-2} 和 $1 \times 10^{-4} \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的植醇和角鲨烯分别滴加到绿色橡皮头漏斗型橡胶芯中作为处理。以等量石油醚和无水乙醇作为对照。将橡胶芯悬挂于自制的简易诱捕器中, 简易诱捕器为将高 22 cm 的矿泉水瓶四面各开一个 7 cm×4 cm 窗口, 窗口距离底部和顶部分别为 4 cm 和 8 cm。按照随机分组的方式, 小区面积为 22 m^2 , 将诱捕器放在甘蓝田的不同位置, 诱捕器悬挂于距离地面的高度为 20 cm 的支杆上, 5 d 后记录诱捕器内小菜蛾雌虫的数量。每处理 6 次重复。

1.6 数据处理

试验数据采用 SAS8.0 软件分析, 采用 χ^2 分析处理组与 CK 组之间的差异性 ($P < 0.05$); 采用非均衡资料 ANOVA 统计同一溶剂不同浓度提取液对小菜蛾雌虫行为调节作用 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 肿柄菊提取液对小菜蛾雌虫行为的调节作用

小菜蛾雌虫对肿柄菊石油醚提取液的反应率明显低于溶剂对照, 随着测试浓度增加, 小菜蛾对肿柄菊石油醚提取物的反应率降低 (图 1: A)。测试浓度为 0.25 $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 小菜蛾对肿柄菊二氯甲烷提取液的反应率明显高于 CK 组 (图 1: B)。随着肿柄菊乙酸乙酯提取物测试浓度的增加, 小菜蛾对肿柄菊乙酸乙酯提取液的反应率降低, 其测试浓度为 0.125 $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 小菜蛾对肿柄菊乙酸乙酯提取液的反应率明显高于 CK 组和其他测试浓度 (图 1: C)。测试浓度

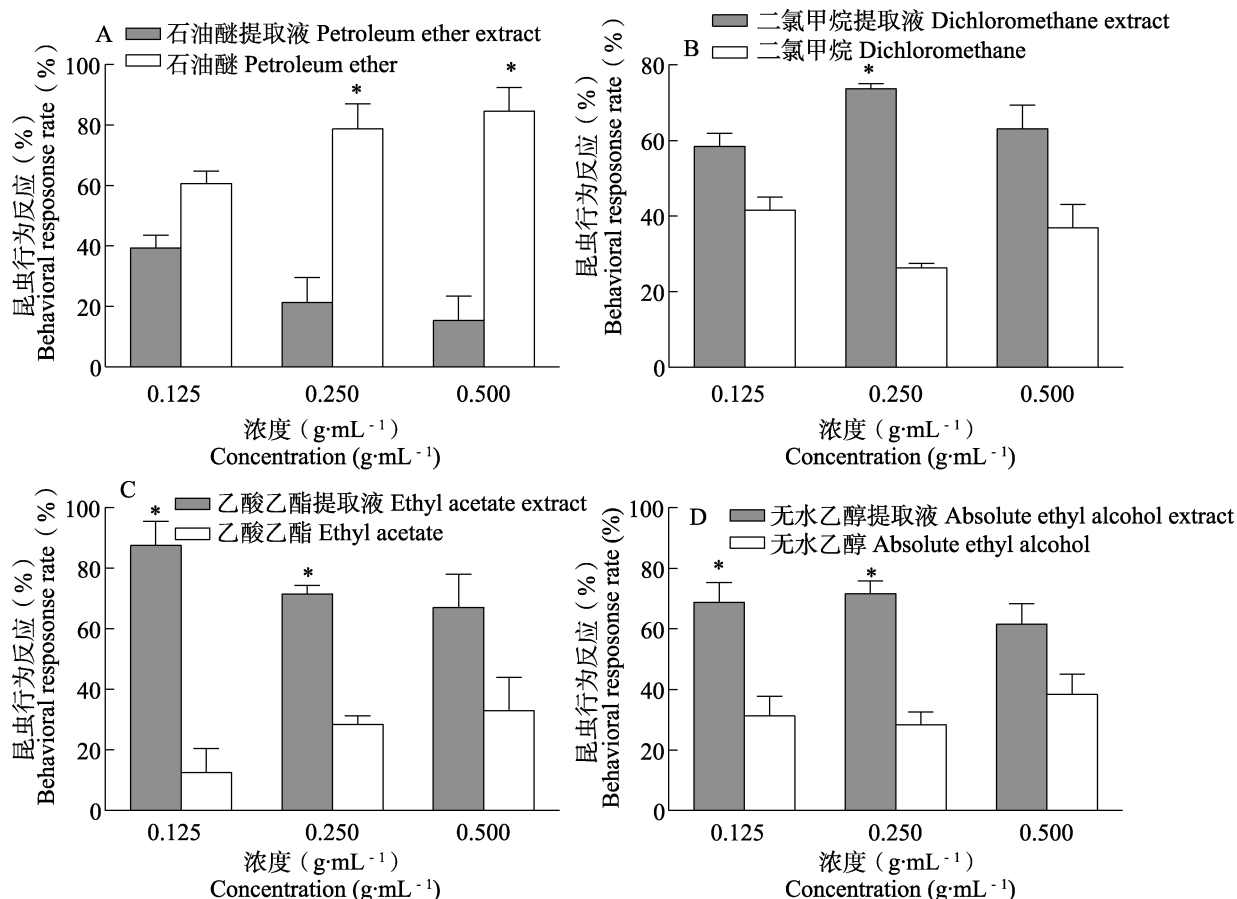


图 1 肿柄菊提取液对小菜蛾雌虫行为的调节作用

Fig. 1 Behavioral response of diamondback moths to the crude extract of *Tithonia diversifolia*

A. 肿柄菊石油醚提取液; B. 肿柄菊二氯甲烷提取液; C. 肿柄菊乙酸乙酯提取液; D. 肿柄菊无水乙醇提取液。

A. Petroleum ether extract; B. Dichloromethane extract; C. Ethyl acetate extract; D. Absolute ethyl alcohol extract.

柱高代表样品均值和标准误差, *表示通过卡方检验处理组与溶剂组之间差异显著 ($P < 0.05$)。图 2 同。

Bar heights represent sample means and error bars are the standard error of the mean. A sterisk is statistically difference between treatment group and solvent group by χ^2 test ($P < 0.05$). The same for Fig. 2.

0.125 g·mL⁻¹ 和 0.25 g·mL⁻¹ 时, 小菜蛾对肿柄菊无水乙醇提取液的反应率差异不显著, 但其值明显高于 CK 组 (图 1: D)。

2.2 肿柄菊乙酸乙酯化学成分鉴定

在肿柄菊乙酸乙酯提取液和石油醚提取液中鉴定到 18 种化合物, 主要为萜类、烷烃类、酯类和烯烃类化合物, 其中在肿柄菊乙酸乙酯提取液中鉴定到的萜类成分为植醇、角鲨烯和 α -蒎烯 3 种, 在肿柄菊石油醚提取液中鉴定到的萜类成分为角鲨烯, 在肿柄菊乙酸乙酯和石油醚提取液中鉴定到的共有化合物为角鲨烯 (表 1)。

2.3 萜类成分对小菜蛾行为调节作用

角鲨烯测试浓度为 1×10^{-2} 和 1×10^{-4} mg·mL⁻¹ 时, 处理组成虫的反应率明显低于 CK 组 (图 2: A)。随着浓度增加, 植醇处理组成虫的反应率增加, 测试浓度为 1×10^{-2} mg·mL⁻¹ 时, 植醇处理组成虫的反应率明显高于 CK 组 (图 2: B)。在所测试的浓度范围内, α -蒎烯处理组成虫的反应率与 CK 组差异不显著 (图 2: C)。

2.4 田间实验

测试浓度为 1×10^{-2} mg·mL⁻¹ 时, 植醇处理组诱捕到的成虫数量明显高于溶剂处理组

表 1 肿柄菊提取液化学成分鉴定
Table 1 The main chemical of extraction from *Tithonia diversifolia*

取液试剂 Solvents	序号 No.	保留时间 (min) Retention time (min)	反向匹配 R-match	质量分数 (%) Relative percentage (%)	化合物 Compound	分子式 Formula
乙酸乙酯 Ethylene acetate	1	6.384	915	1.581	α -蒎烯 α -Pinene	C ₁₀ H ₁₆
	2	12.036	891	2.564	1,2,3-Propanetriol, 1-Acetate	C ₅ H ₁₀ O ₄
	3	15.898	801	1.013	甲缩醛 Methylal	C ₃ H ₈ O ₂
	4	21.040	921	1.120	十四烯 Tetradecene	C ₁₄ H ₂₈
	5	28.303	904	14.680	植醇 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	C ₂₀ H ₄₀ O
	6	28.778	865	2.816	植醇乙酯 Phytol acetate	C ₂₂ H ₄₂ O ₂
	7	29.108	806	4.603	十六酸乙酯 Hexadecanoic acid, ethyl ester	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
	8	43.584	909	1.697	角鲨烯 Squalene	C ₃₀ H ₅₀
	9	47.905	894	1.364	二十六烷 Hexacosane	C ₂₆ H ₅₄
石油醚 Petroleum ether	10	40.147	860	2.054	豚草素 Ambrosin	C ₁₅ H ₁₈ O ₃
	11	41.873	922	0.874	二十六烷 Hexacosane	C ₂₆ H ₅₄
	12	42.498	843	1.959	二十一烷酸甲酯 Eicosanoic acid, methyl ester	C ₂₂ H ₄₄ O ₂
	13	43.594	916	1.241	角鲨烯 Squalene	C ₃₀ H ₅₀
	14	44.424	908	6.588	正二十八烷 Octacosane	C ₂₈ H ₅₈
	15	45.029	843	2.403	蜡酸甲酯 Hexacosanoic acid, methyl ester	C ₂₇ H ₅₄ O ₂
	16	46.855	906	15.806	三十烷 Triacontane	C ₃₀ H ₆₂
	17	47.930	810	0.941	维生素 E Vitamin E	C ₂₉ H ₅₀ O ₂
	18	49.991	897	2.961	正三十一烷 Hentriacontane	C ₃₁ H ₆₄

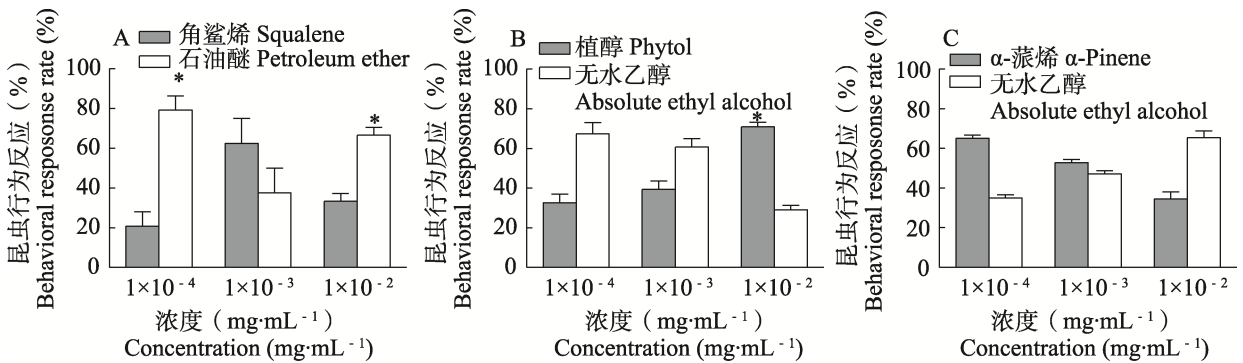


图 2 角鲨烯 (A)、植醇 (B) 及 α -蒎烯 (C) 对小菜蛾行为调节作用
Fig. 2 Behavioral response of *Plutella xylostella* to squalene(A), phytol (B) and α -Pinene (C)

理组,而角鲨烯处理组诱捕到的成虫数量明显低于溶剂处理组。测试浓度为 1×10^{-4} mg·mL⁻¹时植醇处理组和角鲨烯处理组与溶剂处理组差异不显著(图3)。

3 讨论

肿柄菊是一种在农业害虫防治领域具有较高应用价值的植物资源,研究发现肿柄菊提取液

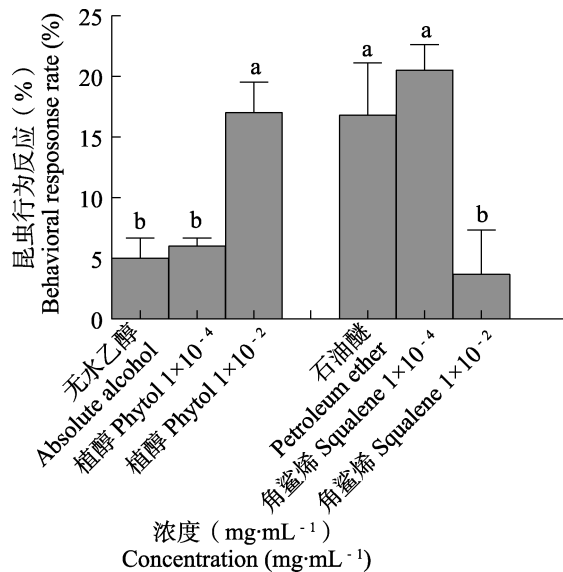


图3 角鲨烯和植醇田间诱捕效果

Fig. 3 Field trapping effect of squalene and phytol on diamondback moth

柱上标有不同字母表示差异显著
($P < 0.05$, One-way ANOVA)。

Histograms with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$, One-way ANOVA).

对昆虫具有行为调节作用, Pavela 等 (2018) 的研究发现肿柄菊甲醇提取液对二斑叶螨具有产卵驱避作用。Gabriel (2020) 研究发现, 肿柄菊的二氯甲烷提取液对棉铃虫幼虫有拒食活性。Gitahi 等 (2021) 研究发现肿柄菊乙酸乙酯和二氯甲烷提取液对玉米象有驱避作用。本研究发现, 肿柄菊乙酸乙酯、二氯甲烷和无水乙醇提取液对小菜蛾雌虫具有明显的引诱效果, 而肿柄菊石油醚提取液对小菜蛾雌虫具有明显的驱避效果, 植物调节昆虫行为的挥发性成分主要有萜类、精油、酚类和酯类等。其中, 萜类成分是肿柄菊调节昆虫行为的主要活性成分。Gitahi 等 (2021) 推测肿柄菊乙酸乙酯提取液中的单萜类成分 (丁香酚、柠檬烯、樟脑和百里香酚) 可能是肿柄菊对玉米象产生驱避作用的活性物质。马晓乾等 (2021) 发现 α -蒎烯对鞘翅目昆虫中的天牛科和头蝗科昆虫具有引诱效果, 而本研究发现 α -蒎烯对小菜蛾行为调节不明显。研究过程中本研究首次发现, 植醇对小菜蛾成虫具有引诱效果。田间模拟实验也证实植醇对小菜蛾具有引

诱效果。

本研究从行为学角度探讨肿柄菊不同溶剂提取液对小菜蛾行为的调节活性, 并采用 GC-MS 鉴定化学成分, 进一步评价鉴定到的萜类成分对小菜蛾雌虫的行为调节作用, 首次发现, 植醇对小菜蛾雌虫行为具有调节作用, 可用于小菜蛾绿色防控产品的开发。

参考文献 (References)

- Callaway RM, Ridenour WM, 2004. Novel weapons: A biochemically based hypothesis for invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2(8): 433–436.
- Cerda H, Carpio C, Ledezma-Carrizalez AC, Sánchez J, Ramos L, Muñoz-Shugulí C, Andino M, Chiurato M, 2019. Effects of aqueous extracts from Amazon plants on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) in laboratory, semifield, and field trials. *Journal of Insect Science*, 19(5): 8.
- Chukwuka KS, Ogunyemi S, Fawole I, 2007. Ecological distribution of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.). A. gray-a new exotic weed in Nigeria. *Journal of Biological Science*, 7(5): 709–719.
- da Costa Inácio G, Alves JVB, Santos MFC, Vacari AM, Figueiredo GP, Bernardes WA, Veneziani RCS, Ambrósio SR, 2020. Feeding deterrence towards *Helicoverpa armigera* by *Tithonia diversifolia* tagitinin C-enriched extract. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(5): 5292–5298.
- Dai GH, Wang S, Geng YP, Dawazhaxi, Ou XK, Zhang ZM, 2020. Potential risks of *Tithonia diversifolia* in Yunnan Province under climate change. *Ecological Research*, 36(1): 129–144.
- Fan LQ, Yan SC, Sun ZH, Meng ZJ, 2013. EAG and behavioral responses of Asian longhorn beetle *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) to plant volatiles. *Chinese Journal of Ecology*, 32(1): 142–148. [范丽清, 严善春, 孙宗华, 孟昭君, 2013. 光肩星天牛对植物源挥发物的触角电位和行为反应. 生态学杂志, 32 (1): 142–148.]
- Furlong MJ, Wright D, Dosdall LM, 2013. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annual Review of Entomology*, 58: 517–541.
- Gitahi SM, Piero MN, Mburu DN, Machochi AK, 2021. Repellent effects of selected organic leaf extracts of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray and *Vernonia lasiopus* (O. Hoffman) against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae).

- Scientific World Journal*, 2021(1): 2718629.
- Han SJ, Wang MX, Wang YS, Wang YG, Han BY, 2020. Exploiting push-pull strategy to combat the tea green leafhopper based on volatiles of *Lavandula angustifolia* and *Flemingia macrophylla*. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(1): 193–203.
- Huang B, Shi ZH, Hou YM, 2014. Host selection behavior and the fecundity of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on multiple host plants. *Journal of Insect Science*, 14(1): 251.
- Kerebba N, Oyediji AO, Byamukama R, Kuria SK, Oyediji OO, 2019. Pesticidal activity of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray and *Tephrosia vogelii* (Hook f.); phytochemical isolation and characterization: A review. *South African Journal of Botany*, 121: 366–376.
- Li ZY, Feng X, Liu SS, You MS, Furlong MJ, 2016. Biology, ecology, and management of the diamondback moth in China. *Annual Review of Entomology*, 61: 277–296.
- Lv CJ, Zhong BZ, Qian J, Qin WQ, Gou ZH, 2015. Oviposition deterrence and ovicidal activity of *Eupatorium odoratum* extracts of *Tirathaba rufivena* Walker. *Journal of Environmental Entomology*, 37(3): 604–609. [吕朝军, 钟宝珠, 钱军, 覃伟权, 苟志辉, 2015. 飞机草提取物对红脉穗螟的产卵忌避及杀卵活性. 环境昆虫学报, 37(3): 604–609.]
- Ma XQ, Ge J, Wang Q, Zhao HY, Sun Y, Gao Y, Shen GT, Yu WX, 2021. EAG and olfactory behavioral responses of *Anoplophora glabripennis* (Cerambycidae) to volatiles of *Acer saccharum*. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 45(1): 123–130. [马晓乾, 葛君, 王琪, 赵红盈, 孙妍, 高宇, 申国涛, 于文喜, 2021. 光肩星天牛对糖槭挥发物的 EAG 及嗅觉行为反应. 南京林业大学学报(自然科学版), 45 (1): 123–130.]
- Obiakara MC, Fourcade Y, 2018. Climatic niche and potential distribution of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray in Africa. *PLoS ONE*, 13(9): 1–18.
- Pantoja-Pulido KD, Rodríguez J, Isaza-Martínez JH, Gutiérrez-Cabrera M, Colmenares-Dulce AJ, Montoya-Lerma J, 2020. Insecticidal and cholinesterase activity of dichloromethane extracts of *Tithonia diversifolia* on *atta cephalotes* worker ants (Formicidae: Myrmicinae). *Insects*, 11(3): 180–193.
- Pavela R, Dall'Acqua S, Sut S, Baldan V, Ngahang Kamte SL, Biapa Nya PC, Cappellacci L, Petrelli R, Nicoletti M, Canale A, Maggi F, Benelli G, 2018. Oviposition inhibitory activity of the Mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) polar extracts against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Tetranychidae). *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 101: 85–92.
- Sun KK, Yu WS, Jiang JJ, Richards, C, Siemann E, Ma J, Ju RT, 2020. Mismatches between the resources for adult herbivores and their offspring suggest invasive *Spartina alterniflora* is an ecological trap. *Journal of Ecology*, 108(2): 719–732.
- Yang J, Tang L, Guan YL, Sun WB, 2017. Genetic diversity of an alien invasive plant Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*) in China. *Weed Science*, 60(4): 552–557.
- Zhu F, Wang SH, Chen J, Li NY, Wu C, 2018. Distribution characteristics and influencing factors of *Tithonia diversifolia*, an alien invasive plant species, in Yunnan Province, China. *Chinese Journal of Ecology*, 37(9): 2573–2580. [朱枫, 王四海, 陈剑, 李宁云, 吴超, 2018. 外来入侵植物肿柄菊在云南的分布特征及其影响因素. 生态学杂志, 37(9): 2573–2580.]