马建国,王彩凤,赵劲宇,等.番茄潜叶蛾对3种植物精油的电生理和行为反应[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(6):109-116.
Ma J G, Wang C F, Zhao J Y, et al. Electroantennogram and behavioral responses of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) to three plant essential oils[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(6):109-116.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202506021

番茄潜叶蛾对3种植物精油的电生理和行为反应

马建国,王彩凤,赵劲宇,马力,郤杏桃,王美琴,郝赤*,闫喜中*

(山西农业大学 植物保护学院,山西 晋中 030801)

摘　要:[目的]探究薄荷(*Mentha canadensis*)、甜罗勒(*Ocimum basilicum*)、辣蓼(*Polygonum hydropiper*)3种非寄主植物精油对番茄潜叶蛾(*Tuta absoluta*)的驱避活性,为开发番茄潜叶蛾的绿色防控提供理论基础。[方法]本研究利用触角电位仪(EAG)和Y型嗅觉仪测定番茄潜叶蛾对3种非寄主植物精油的电生理和行为反应,通过室内笼罩和田间试验评估3种非寄主植物精油对番茄潜叶蛾的驱避效果。[结果]EAG试验结果表明雄性番茄潜叶蛾成虫对1 μg/μL浓度的甜罗勒精油反应值最大为(0.60±0.07) mV,雌性成虫对100 μg/μL浓度的辣蓼精油反应值最大,为(0.68±0.02) mV。行为反应测试表明,3种精油均对番茄潜叶蛾产生驱避效果。对雄性番茄潜叶蛾成虫驱避率最高的为100 μg/μL浓度的薄荷精油,驱避率为76.7%;对雌性成虫驱避率最高的为100 μg/μL浓度的甜罗勒、辣蓼精油,驱避率均为73.3%。笼罩试验结果表明,薄荷精油的产卵驱避效果最好,驱避率为83.0%,产卵忌避指数为66.0%,驱避范围为0.9 m左右。田间试验表明,薄荷精油的驱避效果最好,驱避率为75%。[结论]薄荷、甜罗勒、辣蓼3种非寄主植物精油均对番茄潜叶蛾具有驱避作用,其中薄荷精油的驱避效果最好。

关键词:番茄潜叶蛾;植物精油;EAG反应;嗅觉反应;田间试验
中图分类号:S433.4　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)06-0109-08

Electrophysiological and behavioral responses of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) to three plant essential oils

Ma Jianguo, Wang Caifeng, Zhao Jinyu, Ma Li, Qie Xingtao, Wang Meiqin, Hao Chi*, Yan Xizhong*

(*College of Plant Protection, Shanxi Agriculture University, Jinzhong 030801, China*)

Abstract: [Objective]: This study aimed to investigate the repellent activity of essential oils from three non-host plants, namely *Mentha canadensis*, *Ocimum basilicum*, and *Polygonum hydropiper*, against the *Tuta absoluta*, in order to provide a theoretical basis for developing green control strategies for this pest. [Methods] The electrophysiological and behavioral responses of *T. absoluta* to essential oils from three non-host plants were measured using electroantennography (EAG) and Y-tube olfactometer. The repellent effects of these essential oils on *T. absoluta* were evaluated through covert oviposition experiment and field experiments. [Results] EAG results showed that male adults of *T. absoluta* exhibited the strongest response (0.60±0.07 mV) to *O. basilicum* essential oil at a concentration of 1 μg/μL, while female adults showed the highest response (0.68±0.02 mV) to *P. hydropiper* essential oil at a concentration of 100 μg/μL. Behavioral response tests indicated that all three essential oils had repellent effects on *T. absoluta*. The highest repellent rate against male adults (76.7%) was observed for *M. canadensis* essential oil at a concentration of 100 μg/μL, while the highest repellent rate against female adults (73.3%) was achieved by *O. basilicum* and *P. hydropiper* essential oils at 100 μg/μL. The covert oviposition experiment results showed that *M. ca-*

收稿日期:2025-06-15　　**修回日期**:2025-07-21
基金项目:山西农业大学博士研究启动项目(2024BQ09);山西省现代农业产业技术体系建设项目(2025CYJSTX08-17)
作者简介:马建国(ORCID:0009-0005-4308-2979),硕士研究生,研究方向:植物病虫害综合防治
*通信作者:闫喜中(ORCID:0000-0002-0058-7978),教授,硕士生导师,E-mail: yanxizhong80@163.com;
郝赤(ORCID:0000-0002-5778-7348),教授,博士生导师,E-mail: sxauhc@163.com

nadensis essential oil had the best oviposition repellent effect, with a repellent rate of 83%, an oviposition deterrence index of 65.9%, and a repellent range of approximately 0.9 m. Field experiments confirmed that *M. canadensis* essential oil had the best repellent effect, with a repellent rate of 75%. [Conclusion] The essential oils from *M. canadensis*, *O. basilicum*, and *P. hydropiper* all exhibit repellent effects on *T. absoluta*, with *M. canadensis* essential oil showing the best repellent effect.

Keywords: *T. absoluta*, Plant essential oil, Electroantennographic response, Olfactory response, Field experiment

番茄潜叶蛾(*Tuta absoluta*)又称番茄麦蛾、番茄潜麦蛾,寄主范围比较广泛,主要为害番茄、马铃薯、茄子等茄科植物,特别是番茄作物。番茄潜叶蛾已是全球番茄产业的毁灭性入侵害虫。幼虫可为害番茄的叶片、茎、果实,且可在番茄生长的各个阶段为害,自2017年首次在新疆被发现传入我国以来,该害虫已扩散至多个地区[1-2],防控不及时可导致番茄大幅减产甚至绝产[3]。由于番茄潜叶蛾具有很强的繁殖能力,成虫通常在夜间活动,且幼虫会潜入叶片为害,使得防治工作非常困难[4]。当前,防治番茄潜叶蛾仍然以化学防治为主,这导致了诸多问题,其中"3R"问题尤为突出[5]。因此,迫切需要开发一种绿色环保的防治方法。

植物精油作为植物次生代谢产物,可通过干扰昆虫的化学感应系统,影响其寄主识别、求偶及产卵场所选择等嗅觉行为[6],因此,植物精油在调控昆虫行为及生物防治领域展现出显著的应用潜力。其作用机制多样、环境友好特性突出,已成为可持续农业研究的热点。"推-拉"绿色防控技术是一种基于生态调控原理的害虫综合治理策略,它通过协同运用驱避(推)和吸引(拉)机制,定向操纵害虫及其天敌的行为与分布,从而显著降低化学农药依赖,实现环境友好型害虫防控[7]。其中,利用具有驱避作用的植物精油来调控昆虫行为,是研究害虫绿色防控技术的关键途径之一。研究发现薄荷(*Mentha canadensis*)精油对黑腹果蝇(*Drosophila melanogaster*)具有明显的驱避效果[8];辣椒(*Capsicum annuum*)和苦楝(*Melia azedarach*)精油对草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)表现出较好产卵驱避活性[9];绿花白千层(*Melaleuca viridiflora*)精油对桔小实蝇(*Bactrocera dorsalis*)有较高的产卵驱避活性[10]。

目前,利用性信息素[11]和食物源引诱剂[12]防治番茄潜叶蛾已有报道,这可以作为"推-拉"策略中的"拉"因子,但是对于"推"因子(驱避化合物或驱避植物精油)研究较少。因此,本研究通过触角电位(EAG)、嗅觉行为及田间试验,评估薄荷、甜罗勒、辣蓼精油对番茄潜叶蛾成虫的驱避潜力,旨在探究非寄主植物精油对番茄潜叶蛾行为选择的调控机制,为开发基于行为干扰的绿色防控技术提供理论依据与候选资源。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫

试验所用番茄潜叶蛾幼虫均采集于山西省晋中市太谷区晋中国家农高区番茄种植设施农业示范基地,带回山西农业大学昆虫实验室内对其进行饲养。将幼虫放于直径20 cm、高2 cm的玻璃器皿中,皿中放1张滤纸以保持内部环境干燥,同时放置番茄叶片饲喂幼虫,用保鲜膜包裹湿润棉球以保持叶片水分;边缘撒有细土供老熟幼虫化蛹。将已化好的蛹装入指形管中,羽化成虫放入养虫笼中饲养(1 m×1 m×1 m),笼中放置浸有蜂蜜水的棉花。饲养条件为:温度(25±1) ℃,相对湿度(60±5)%,光周期16 L:8 D。根据笼中番茄苗情况,定期更换新鲜的番茄植株。

试验所用番茄植株均为山西农业大学内无农药栽培苗,所有试验均使用1~2日龄的健康未交配的番茄潜叶蛾成虫。

1.1.2 供试植物精油

使用的薄荷、甜罗勒、辣蓼3种植物精油均购自吉安市中香天然植物有限公司,用石蜡油分别配制浓度1、10和100 μg/μL精油溶液以供试验。

1.2 试验方法

1.2.1 番茄潜叶蛾成虫对3种植物精油的电生理反应

触角电位试验参考Wu等[13]的方法,采用荷兰Syntech公司的触角电位仪(EAG)与Spike软件进行采集与记录。试验选取羽化24 h、活跃且触角完整的成虫,从基部切下触角并在端部切除1 mm;在叉形电极上用Spectra 360导电胶固定触角,插入电极并调整触角与气味管的距离。测试过程

中,维持500 mL/min的恒定背景气流流速,施加400 mL/min的刺激气流,待检测信号基线趋于稳定后开始试验。测试时从低浓度试剂开始,依次向高浓度试剂进行试验,每次对昆虫进行连续0.5 s的刺激,每次刺激后,中间间隔30 s后再进行下一次刺激。每种精油测试前后各对石蜡油进行1次测试,作为对照组(CK)。每种精油试剂刺激雌雄成虫触角各设置6次重复。触角电位反应值(mV)计算公式为:

$$V = R - (C1 + C2)/2$$

其中R为精油试剂引起的触角电位反应值,$C1$、$C2$分别为每次试验前、后对照试剂引起的触角电位反应值。

1.2.2　番茄潜叶蛾成虫对3种植物精油的嗅觉行为反应

行为反应试验参考王志宇等[14]的方法,试验开始前,使用橡胶管将所有的仪器部件依次连接,将气味源经过活性炭过滤,去除杂质和异味,通过蒸馏水加湿,保证湿度适宜。处理后的气味源与QC-1B型大气采样仪连接,采样仪的流速设定为350 mL/min,试验开始前通入净化空气5 min,确保Y型管内无残留挥发性物质。将10 μL精油滴于矩形滤纸条(2 cm×1 cm),放入Y型管的一个侧臂中作为试验组气味源,另一个侧臂中放入滴有相同剂量的石蜡油滤纸条作为对照组气味源。试验开始后,在Y管的主臂口处释放一只番茄潜叶蛾成虫,待其爬行至臂中点处启动计时器,若成虫在一个臂处滞留30 s以上,则记为成虫选择该分臂气味源;若放入5 min后成虫仍停留在主臂,则视为无选择趋向。试验做满具有选择反应的雌、雄成虫各30头。每测试5头后,对Y型管两臂方向进行调换;每测试10头,替换干净的Y型管,保证试验的准确性。番茄潜叶蛾成虫对味源的引诱率或驱避率计算公式为:

$$\text{选择率}/\% = \frac{\text{选择试验(对照)味源虫数}}{\text{选择试验味源虫数} + \text{选择对照味源虫数}}$$

1.2.3　不同精油对番茄潜叶蛾产卵驱避效果测试

参考Wu等[13]的方法,在养虫笼中测试3种精油对雌性番茄潜叶蛾的产卵驱避效果。选择4株长势健康的番茄植株分别置于养虫笼(80 cm×80 cm×80 cm)对角线,将100 μL精油放入橡胶塞中作为气味源,并置于一条对角线的番茄苗基部,作为试验组;同样方法以100 μL的石蜡油作为气味源,置于另一条对角线的番茄苗基部,作为对照组。试验开始前将3对1日龄雌雄番茄潜叶蛾成虫放入养虫笼,待72 h后对每株番茄植株上的卵量进行记录,并计算产卵忌避指数,每种精油进行3次重复。为防止互相影响,将2个笼子间隔1 m进行摆放。产卵忌避指数计算公式如下:

产卵趋避指数=(对照组落卵量-处理组落卵量)/(对照组落卵量+处理组落卵量)

1.2.4　不同精油对番茄潜叶蛾田间防效

将3种精油进行田间验证,试验于山西省晋中市太谷区晋中国家农高区番茄种植设施农业示范基地进行,选择生长状态相似的番茄植株大棚,将试剂装于1 mL的棕色玻璃缓释瓶(盖子中心有一个直径1 mm的小孔,用于释放气味)中,试验组为100 μL浓度为100 μg/μL的精油,对照组为石蜡油,用铁丝挂于蓝板中央,将其悬挂于番茄植株下底部,悬挂高度为0~25 cm,即蓝板下部边缘垂直放于地面,上部边缘距离地面25 cm。随机选取2个大棚,每个大棚里随机选择2个不同的位置进行悬挂,每个处理4组重复,每6 d统计1次番茄潜叶蛾成虫数量。

驱避率/%=对照板成虫数/(对照板成虫数+精油板成虫数)

1.2.5　薄荷精油对番茄潜叶蛾成虫的有效驱避范围测定

网室试验参考杜文晓[15]的方法,将生长状态相似的番茄植株均匀放置在边长为2 m,高为1 m的正六边形网室内。将番茄植株放置在网室的3条内角边上,每条边上摆放6盆,株间距为30 cm。将100 μL浓度为100 μg/μL的薄荷精油小瓶挂于网室的中点处作为试验组,将石蜡油小瓶挂于网室中点处作为对照组。试验开始后,每日更换15对2日龄的番茄潜叶蛾成虫在网室中央,将番茄替换为新鲜植株供其产卵交配,每日对各株卵量进行记录。试验开始后不间断,直到全部番茄植株上的卵量均不存在显著性差异结束。每个处理设置3次重复。

1.3　数据分析

使用SPSS 21.0软件进行数据统计分析。通

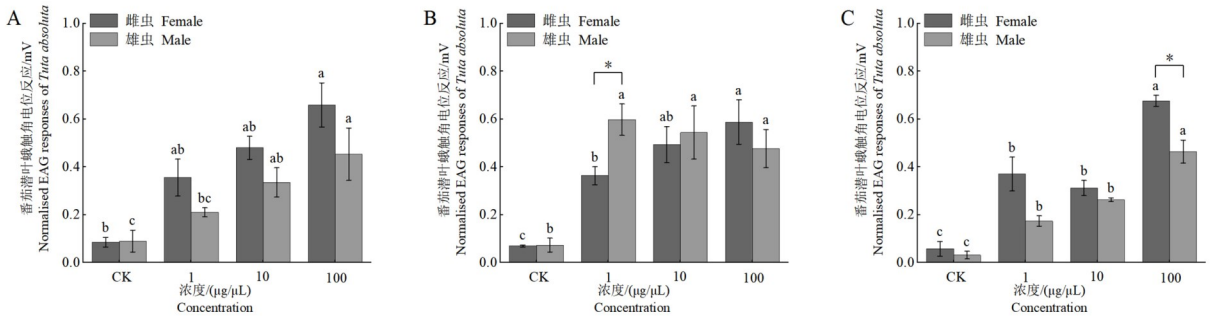
过单因素方差分析和Tukey的多范围检验分析同一性别昆虫对同种精油不同浓度的EAG反应数据,并通过独立样本t检验比较每种处理中雄性和雌性蛾的差异。通过卡方检验比较不同浓度每种精油对同一性别的嗅觉行为测定数据的差异。通过单因素方差分析和Tukey的多范围检验对不同精油的产卵试验数据进行分析,并通过独立样本t检验比较每个笼子中对照组和处理组的卵数差异。结果表示为平均值及其相应的标准差。

2 结果与分析

2.1 番茄潜叶蛾成虫对3种植物精油的电生理反应

番茄潜叶蛾成虫对薄荷、甜罗勒和辣蓼这3种非寄主植物精油均产生不同程度的EAG反应,且EAG反应强度与精油浓度呈剂量依赖反应(图1)。薄荷精油浓度为100 μg/μL时,番茄潜叶蛾成虫对其EAG反应显著高于对照;对甜罗勒精油在所有测试浓度下的EAG反应均显著高于对照,番茄潜叶蛾雄性成虫对1 μg/μL的甜罗勒精油的EAG反应值最高,为(0.60±0.07) mV;对辣蓼精油在所有测试浓度下的EAG反应也均显著高于对照,浓度为100 μg/μL时,雌雄成虫的EAG反应值均达到最高,特别是雌虫的EAG反应值可达(0.68±0.02) mV。

另外,EAG反应值与性别也有关系,甜罗勒精油浓度为1 μg/μL时,雄性番茄潜叶蛾对该精油的EAG反应显著高于雌性的($P<0.05$)(图1B);辣蓼精油浓度为100 μg/μL时,雌性番茄潜叶蛾对该精油的EAG反应显著高于雄性的($P<0.05$)(图1C)。



A:薄荷精油;B:甜罗勒精油;C:辣蓼精油。相同颜色柱子上不同小写字母表示同性别处理间差异显着($P<0.05$),*表示同一浓度下不同性别间差异显着($P<0.05$)

A: *M. canadensis* essential oil; B: *O. basilicum* essential oil; C: *P. hydropiper* essential oil. Different lowercase letters in the same color bar indicated significant differences among treatments for the same gender ($P<0.05$), and * indicated a significant difference between male and female groups at the same concentration ($P<0.05$)

图1 雌、雄番茄潜叶蛾成虫对薄荷、甜罗勒和辣蓼3种精油的触角电位反应

Fig.1 Electroantennographic responses of adults of *Tuta absoluta* to three essential oils from *M. canadensis*, *O. basilicum* and *P. hydropiper* at different concentrations

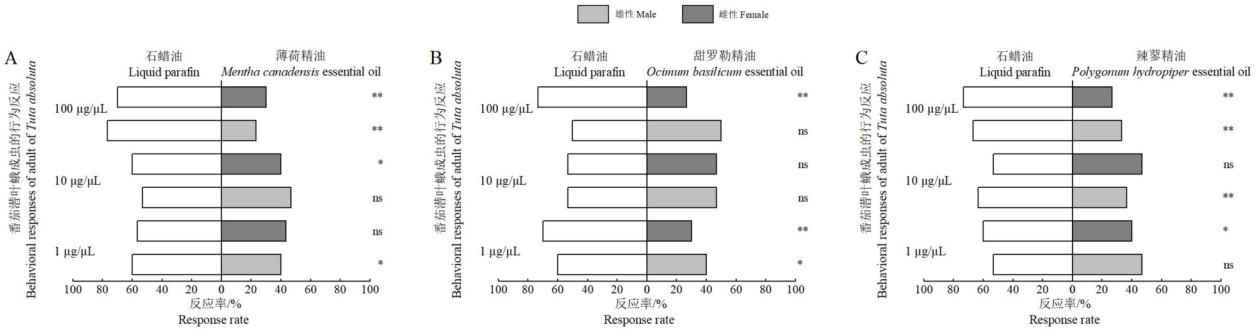
2.2 番茄潜叶蛾成虫对3种植物精油的嗅觉行为反应

薄荷、甜罗勒和辣蓼这3种植物精油对番茄潜叶蛾的雌性和雄性成虫都具有一定的驱避作用,驱避效果与精油浓度呈剂量依赖反应(图2)。不同浓度下3种植物精油对番茄潜叶蛾成虫驱避效果不同:1 μg/μL时,薄荷精油对雄虫、甜罗勒精油对雌雄虫、辣蓼精油对雌虫有显著驱避效果,驱避率为60%~70%;10 μg/μL时,薄荷精油对雌虫、辣蓼精油对雄虫有显著驱避效果,驱避率分别为60%和63.3%;100 μg/μL时驱避效果达最大,薄荷精油对雌雄虫的驱避率分别70%和76.7%,辣蓼精油为73.3%和66.7%,甜罗勒精油对雌虫驱避率为73.3%,对雄性无驱避效果。

2.3 精油对番茄潜叶蛾的产卵驱避效果测试及田间防效

与对照石蜡油相比,薄荷精油驱避效果极显著,驱避率为83.0%,产卵忌避率为66%;甜罗勒和辣蓼精油驱避效果显著,驱避率分别为70.2%和64.9%,产卵忌避率分别为40%、30%(图3B、图3D)。另外,薄荷、甜罗勒和辣蓼精油均显著抑制番茄潜叶蛾雌虫的总产卵量,薄荷精油的总卵量最少(53±6)粒;其次为甜罗勒(77±13)粒,最后辣蓼精油(83±7)粒(图3C)。

田间防效结果表明,薄荷精油与蓝色粘虫板组合,诱捕的成虫数量均极显著少于石蜡油,薄



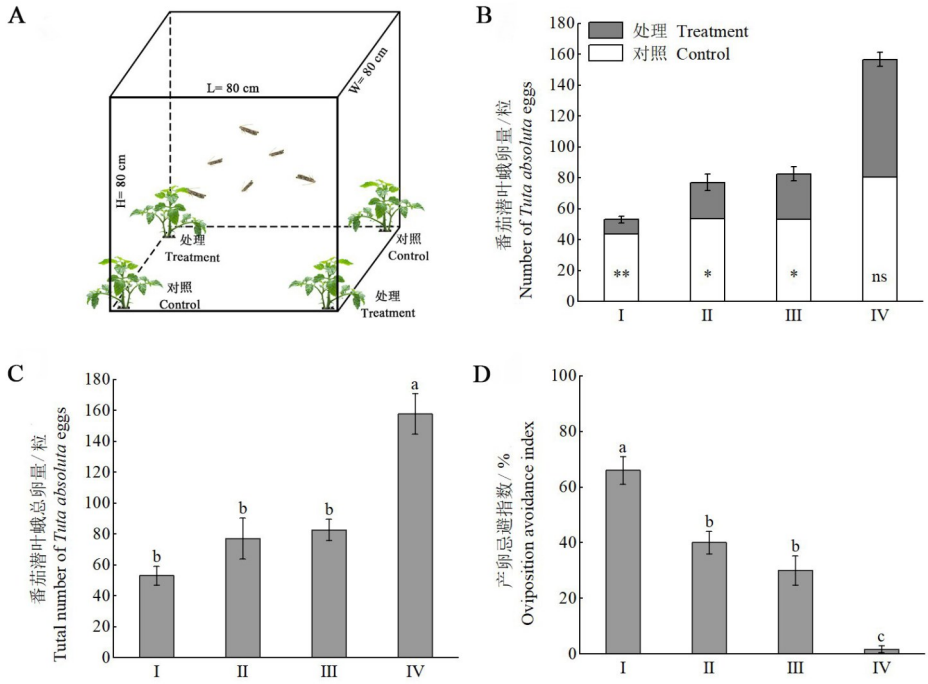
A:薄荷精油;B:甜罗勒精油;C:辣蓼精油。*、**和ns分别表示差异显著($P<0.05$)、差异极显著($P<0.01$)和差异不显著($P>0.05$)。图3和图4同

A: *M. canadensis* essential oil; B: *O. basilicum* essential oil; C: *P. hydropiper* essential oil. *, ** and ns indicated significant differences at $P<0.05$, $P<0.01$, and no significant difference ($P>0.05$), respectively. The same as shown in Fig. 3 and Fig. 4

图2　雌、雄番茄潜叶蛾成虫对薄荷、甜罗勒和辣蓼3种精油的行为反应

Fig.2　Behavioral responses of adults of *T.* ab*soluta* to essential oils from *M. canadensis*, *O. basilicum* and *P. hydropiper*

荷精油板上的成虫数量为(7±2)头,CK板为(21±2)头,驱避率为75%;甜罗勒和辣蓼精油加蓝板的数量与石蜡油差异不显著,驱避率分别为64.2%、63.2%(图4)。



A:产卵试验示意图;B:番茄潜叶蛾卵量;C:番茄潜叶蛾总卵量;D:产卵忌避指数。Ⅰ:薄荷精油;Ⅱ:甜罗勒精油;Ⅲ:辣蓼精油;Ⅳ:石蜡油。

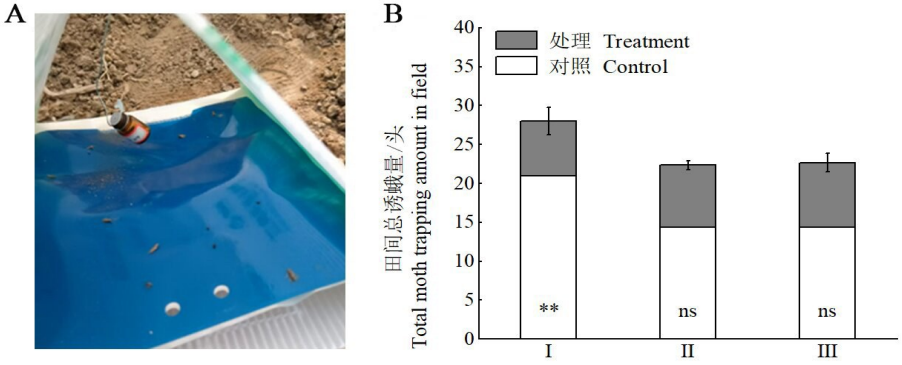
A: Schematic diagram of oviposition assays; B: Number of *T. absoluta* eggs; C: Total number of *T. absoluta* eggs; D: O. avoidance index. Ⅰ: *M. canadensis* essential oil; Ⅱ: *O. basilicum* essential oil; Ⅲ: *P. hydropiper* essential oil; Ⅳ: Liquid paraffin.

图3　三种精油对番茄潜叶蛾雌虫的产卵驱避作用

Fig.3　Mean oviposition repellency assays of *T. absoluta* females to the three plant essential oils

2.4　薄荷精油对番茄潜叶蛾成虫的有效驱避范围

笼罩产卵试验及田间验证表明薄荷精油的驱避率最好,选择薄荷精油进行网室驱避试验,悬挂薄荷精油研究其对番茄潜叶蛾的驱避范围及持效性。对照组内部不同株距的番茄植株上的虫卵数量均未呈现统计学差异($P>0.05$),而试验组中番茄植株上的虫卵数量显著少于对照组(图5)。试验组在悬挂驱避缓释小瓶后的第1~12 d,0.9 m区域内的番茄潜叶蛾卵量显著低



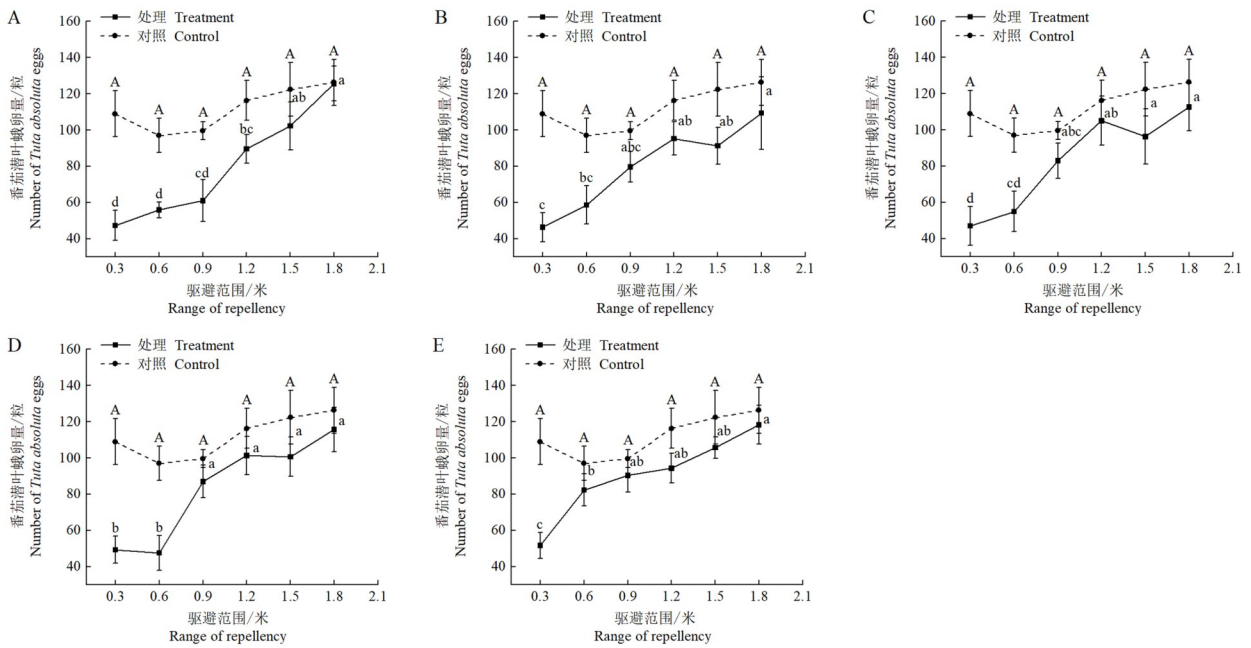
A:田间诱捕试验照;B:田间诱捕量。Ⅰ:薄荷精油;Ⅱ:甜罗勒精油;Ⅲ:辣蓼精油

A: Photos of field trapping; B: Trapping amount in field. Ⅰ: *M. canadensis* essential oil; Ⅱ: *O. basilicum* essential oil; Ⅲ: *P. hydropiper* essential oil

图4 三种精油对番茄潜叶蛾的田间防治效果

Fig.4 Field control effects of three essential oils on *Tuta absoluta*

于0.9 m区域外的(图5A-图5B);第13~23 d,0.6 m区域内的番茄潜叶蛾卵量显著低于0.6 m区域外的(图5C-图5D);第24 d,0.3 m区域内的番茄潜叶蛾卵量显著低于0.3 m区域外的(图5E)。由此可见,薄荷精油的驱避作用的持效性至少在24 d以上。



图中A~E表示试验天数;A:第1 d;B:第7 d;C:第13 d;D:第19 d;E:第24 d。不同的大写字母表示对照组不同天数差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示处理组不同天数的显著差异($P<0.05$)

A~E in the figure represents the test days; A: Day 1; B: Day 7; C: Day 13; D: Day 19; E: Day 24. Different uppercase letters indicated significant differences in control group at different time ($P<0.05$); while different lowercase letters indicated significant differences in treatment group at different time ($P<0.05$)

图5 不同时间段和不同驱避范围内薄荷精油对番茄潜叶蛾成虫产卵驱避效果

Fig.5 Oviposition repellent effects of *M.canadensis* essential oil on adult *T.absoluta* adults in different time periods and different repellent ranges

3 讨论

植物挥发性次生代谢物作为环境友好型生物活性化合物,因其生态安全性、靶向行为调控特性及低抗药性风险,已成为害虫综合治理(Integrated Pest Management, IPM)体系中的重要组成部分,利用植物次生代谢物质对农业害虫进行绿色防控已成为研究热点。本研究发现,薄荷、甜罗勒和辣蓼3

种非寄主植物精油可以引起番茄潜叶蛾的EAG反应,总体而言,EAG反应强度与精油浓度呈剂量依赖反应,但也有例外,如雄性番茄潜叶蛾成虫对浓度1 μg/μL甜罗勒精油的EAG反应值高于其它浓度下的反应值;这在对其它昆虫的研究中也有类似报道,红缘天牛(*Asias halodendri*)成虫对罗勒烯的触角电位反应随质量浓度的升高呈先增强后减弱的趋势[16]。EAG反应值与昆虫性别也有关系,雄性番茄潜叶蛾对浓度为1 μg/μL甜罗勒精油的EAG反应显著高于雌性的;雌性番茄潜叶蛾对100 μg/μL辣蓼精油的EAG反应显著高于雄性的。类似研究结果也有报道,如雄性绿盲蝽(*Lygus lucorum*)对性信息素类似物的EAG反应比雌虫更敏感,雌虫对丁酸酯类化合物和绿叶气味物质更敏感[17]。

在"Y"型嗅觉仪行为反应测定中,番茄潜叶蛾雌、雄虫对这3种非寄主植物精油表现出驱避行为反应。薄荷精油中可能含有对昆虫有驱避活性的成分,Yan等[18]通过GC-MS和行为反应发现,薄荷次生代谢物中的2,4-二甲基庚烷、4-甲基辛烷、2-甲基壬烷和月桂烯这4种挥发物对小菜蛾(*Plutella xylostella*)均有较强的驱避效果;也有报道薄荷精油的主要活性成分为薄荷醇[19],薄荷醇作为天然杀幼虫剂,具有极大潜质,亦可作为针对埃及伊蚊(*Aedes aegypti*)的驱虫剂[20]。张正群等[21]研究发现丁香罗勒植株挥发物及甲醇提取液对茶尺蠖(*Ectropis obliqua*)雌、雄成虫有显著的驱避效果。亦有研究表明甜罗勒精油对长林小蠹(*Hylurgus ligniperda*)有驱避效果[22];辣蓼精油对小菜蛾有较强的驱避效果[23],对小菜蛾2龄幼虫具有毒杀作用[24];在10 ppm浓度下,辣蓼精油对白纹伊蚊0～6 h卵的杀卵活性为100%,阻卵活性为98.5%[25]。甜罗勒和辣蓼驱避活性成分尚未被鉴定,下一步我们将利用GC-MS、GC-EAD、电生理和行为学测定等试验,从这2种植物精油次生代谢物中筛选和鉴定对番茄潜叶蛾有驱避活性的化合物。

通过笼罩产卵和田间防效试验发现,浓度为100 μg/μL的薄荷精油对番茄潜叶蛾驱避率最高,驱避范围可达0.9 m左右,驱避时长为24 d。本研究结果为后续大规模的利用薄荷精油对番茄潜叶蛾进行生态调控提供了参考依据。明确植物次生代谢物对害虫的作用范围和时长对生产具有重要意义,很多学者也做了许多相关研究。例如,悬挂烟粉虱(*Bemisia tabaci*)驱避剂(D-柠檬烯:柠檬醛:橄榄油=63:7:30)的缓释小瓶作用时长为29 d左右,作用范围为1.2 m左右[15]。薇甘菊(*Mikania micrantha*)乙醇提取物中的活性成分可显著干扰桔全爪螨(*Panonychus citri*)产卵行为,持续时间可到达9 d[26]。涂抹或直接喷洒于植物叶片,挥发面积较大,因此在田间利用植物提取物防治害虫时可利用缓释小瓶有效延长驱避效果时长。

4　结论

本研究表明,薄荷、甜罗勒和辣蓼3种非寄主植物精油均对番茄潜叶蛾具有驱避作用,具有行为调控功能,可为进一步开发商业化的番茄潜叶蛾行为调控剂奠定基础。

参 考 文 献

[1]Zhang G F, Ma D Y, Wang Y S, et al. First report of the South American tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), in China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(7): 1912-1917.

[2]Zhao J Y, Ma L, Song C F, et al. Modelling potential distribution of *Tuta absoluta* in China under climate change using CLIMEX and MaxEnt [J]. Journal of Applied Entomology, 2023, 147(10): 895-907.

[3]Guedes R N C, Roditakis E, Campos M R, et al. Insecticide resistance in the tomato pinworm *Tuta absoluta*: Patterns, spread, mechanisms, management and outlook [J]. Journal of Pest Science, 2019, 92(4): 1329-1342.

[4]Desneux N, Han P, Mansour R, et al. Integrated pest management of *Tuta absoluta*: practical implementations across different world regions [J]. Journal of Pest Science, 2022, 95(1): 17-39.

[5]Roditakis E, Steinbach D, Moritz G, et al. Ryanodine receptor point mutations confer diamide insecticide resistance in tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2017, 80: 11-20.

[6]Wei H, Liu J, Li B, et al. The toxicity and physiological effect of essential oil from *Chenopodium ambrosioides* against the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. Crop protection, 2015, 76: 68-74.

[7]Lehmann A T, Brewer G J, Boxler D J, et al. A push-pull strategy to suppress stable fly (Diptera: Muscidae) attacks on pasture cattle via a coconut oil fatty acid repellent formulation and traps with m-cresol lures [J]. Pest Management Science. 2023, 79(9): 3050-3057.

[8]王照国, 杨雪, 余帅, 等. 6种植物精油对黑腹果蝇行为影响及活性成分研究[J]. 植物保护, 2021, 47(5): 204-209.
Wang Z G, Yang X, Yu S, et al. Behavioral effects of six plant essential oils on *Drosophila melanogaster* Meigen and their active compounds[J]. Plant Protection, 2021, 47(5): 204-209.

[9]郭一博，李嘉艺，杨炳南，等.二十一种植物精油对草地贪夜蛾的产卵驱避和拒食活性评价[J].昆虫学报，2024，67(12)：1617-1623.
Guo Y B，Li J Y，Yang B N，et al. Evaluation of oviposition deterrent and antifeedant activities of 21 plant essential oils against *Spodoptera frugiperda*（Lepidoptera：Noctuidae）[J]. Acta Entomologica Sinica，2024，67(12)：1617-1623.

[10]杨洁，尹伊秀娟，王丽娟，等.非寄主植物精油对桔小实蝇的驱避效果研究[J].环境昆虫学报，2024，46(5)：1213-1223.
Yang J，Yin Y X J，Wang L J，et al. Repellent effect of essential oil from non-host plants against *Bactrocera dorsalis* [J]. Journal of Environmental Entomology，2024，46(5)：1213-1223.

[11]张红岩，帕提玛·乌木尔汗，马召，等.新疆伊犁地区不同性诱芯和性迷向剂防控番茄潜叶蛾效果评价[J].环境昆虫学报，2025，47(1)：97-107.
Zhang H Y，Wu Mu Er Han P T M，Ma Z，et al. Evaluation of the efficacy of sex pheromone lures and pheromone diffusers for the control of *Tuta absoluta* in Yili of Xinjiang uygur autonomous region [J]. Journal of Environmental Entomology，2025，47(1)：97-107.

[12]易松望，李晓维，陈利民，等.番茄潜叶蛾食物源引诱剂筛选及引诱效果评估[J].昆虫学报，2024，67(12)：1671-1683.
Yi S W，Li X W，Chen L M，et al. Screening and attractive effectiveness evaluation of food-derived attractants for *Tuta absoluta*（Lepidoptera：Gelechiidae）[J]. Acta Entomologica Sinica，2024，67(12)：1671-1683.

[13]Wu H，Li R T，Dong J F，et al. An odorant receptor and glomerulus responding to farnesene in *Helicoverpa assulta*（Lepidoptera：Noctuidae）[J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology，2019，115：103106.

[14]王志宇，郝赤，王琛柱，等.小菜蛾成虫对健康和机械损伤薄荷的嗅觉反应[J].应用昆虫学报，2020，57(2)：371-378.
Wang Z Y，Hao C，Wang C Z，et al. Olfactory responses of *Plutella xylostella* adults to intact and mechanically damaged *Mentha spicata* plants [J]. Chinese Journal of Applied Entomology，2020，57(2)：371-378.

[15]杜文晓.日光温室内烟粉虱驱避气味物质筛选和应用[D].北京：中国农业大学，2015.
Du W X. Screening and application of odor repellent substances from *Bemisia tabaci* in solar greenhouse [D]. Beijing：China Agricultural University，2015.

[16]张嫣，王星霁，张玲玲，等.红缘天牛成虫对葡萄挥发物的EAG和行为反应[J].天津师范大学学报(自然科学版)，2017，37(2)：30-35.
Zhang Y，Wang X J，Zhang L L，et al. EAG and behavioral responses of *Asias halodendri* to the volatiles of *Vitis vinifera* [J]. Journal of Tianjin Normal University（Natural Science Edition），2017，37(2)：30-35.

[17]陈展册，苏丽，戈峰，等.绿盲蝽对性信息素类似物和植物挥发物的触角电位反应[J].昆虫学报，2010，53(1)：47-54.
Chen Z C，Su L，Ge F，et al. Electroantennogram responses of the green leaf bug，*Lygus lucorum* Meyer Dür（Hemiptera：Miridae）to sex pheromone analogs and plant volatiles [J]. Acta Entomologica Sinica，2010，53(1)：47-54.

[18]Yan X Z，Wang Z Y，Ma L，et al. Electroantennogram and behavioural responses of *Plutella xylostella* to volatiles from the non-host plant *Mentha spicata* [J]. Journal of Applied Entomology，2023，147(7)：511-519.

[19]张坤，王凯乐，张鹏九，等.七种植物精油对苹果全爪螨的生物活性及薄荷精油的GC-MS成分分析[J].中国生物防治学报，2023，39(05)：1133-1142.
Zhang K，Wang K L，Zhang P J，et al. Biological activities of seven plant essential oils against *Panonychus ulmi* and GC-MS analysis of peppermint essential oil components [J]. Chinese Journal of Biological Control，2023，39(05)：1133-1142.

[20]Manh H D，Tuyet O T. Larvicidal and repellent activity of *Mentha arvensis* L. essential oil against *Aedes aegypti* [J]. Insects，2020，11(3)：198.

[21]张正群，孙晓玲，罗宗秀，等.芳香植物气味及提取液对茶尺蠖行为的影响[J].植物保护学报，2012，39(6)：541-548.
Zhang Z Q，Sun X L，Luo Z X，et al. Effect of odors from different aromatic plants and extracts on the behavior of the tea geometrid，*Ectropis obliqua*（Prout）[J]. Journal of Plant Protection，2012，39(6)：541-548.

[22]王雅静，陈焕文，解丹，等.长林小蠹对非寄主植物精油的电生理和行为反应[J].东北林业大学学报，2024，52(10)：131-136.
Wang Y J，Chen H W，Xie D，et al. Electrophysiological and behavioral responses of *Hylurgus ligniperda* to non-host plant essential oils [J]. Journal of Northeast Forestry University，2024，52(10)：131-136.

[23]Song C F，Ma X Y，Liu J，et al. Electrophysiological and behavioural responses of *Plutella xylostella* L.（Lepidoptera：Plutellidae）to thirteen non-host plant essential oils [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology，2024，27(1)：102180.

[24]宋程飞，冯雪梦，王志宇，等.四种非寄主植物精油对小菜蛾的生物活性[J].植物保护学报，2022，49(2)：671-682.
Song C F，Feng X M，Wang Z Y，et al. Bioactivities of the essential oils derived from four species of non-host plants against diamondback moth *Plutella xylostella* [J]. Journal of Plant Protection，2022，49(2)：671-682.

[25]Maheswaran R，Ignacimuthu S. Effect of *Polygonum hydropiper* L. against dengue vector mosquito *Aedes albopictus* L.[J]. Parasitology research，2014，113(9)：3143-3150.

[26]岑伊静，庞雄飞，周琼，等.非嗜食植物提取物对桔全爪螨产卵的驱避性测定[J].应用生态学报，2004，15(9)：1687-1690.
Cen Y J，Pang X F，Zhou Q，et al. Bioassay on oviposition repellency of non-preferable plant extracts against citrus red mite *Panonychus citri* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2004，15(9)：1687-1690.

（编辑：吕俊俐）