

草地贪夜蛾对氧化芳樟醇的趋性

钟永志^{1#}, 谢明惠^{1#}, 林璐璐¹, 张光玲¹, 徐丽娜¹, 王振营²,
张金平³, 张 峰³, 苏卫华¹, 陈浩梁^{1*}

(1. 安徽省农业科学院植物保护与农产品质量安全研究所, 合肥 230031;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193; 3. 农业农村部-CABI 生物安全联合实验室, 北京 100193)

摘要 利用植物挥发物作为增效剂增加昆虫性信息素的诱捕效果, 提高生物防治效率已成为研究趋势。本研究利用触角电位仪以及 Y 形嗅觉仪研究草地贪夜蛾对 3 个浓度梯度氧化芳樟醇的电生理及行为反应。结果表明: 草地贪夜蛾雌、雄蛾对各浓度氧化芳樟醇都具有较强的电生理反应, 且雌蛾对 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇电生理反应值最高, 为 $(0.40 \pm 0.051)\text{mV}$, 显著高于雄蛾; 行为研究结果则表明, 草地贪夜蛾雌虫对 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇具有明显的选择偏好性, 而雄蛾则对浓度为 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇表现出明显的排斥性。本研究为开发有效的植物源草地贪夜蛾引诱剂提供了基础。

关键词 草地贪夜蛾; 氧化芳樟醇; 植物挥发物; 增效剂

中图分类号: S 435.132 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020065

Orientational response of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) to linalool oxide

ZHONG Yongzhi^{1#}, XIE Minghui^{1#}, LIN Lulu¹, ZHANG Guangling¹, XU Lina¹, WANG Zhenying²,
ZHANG Jinping³, ZHANG Feng³, SU Weihua¹, CHEN Haoliang^{1*}

(1. Institute of Plant Protection and Agro-products Safety, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;
3. MARA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety, Beijing 100193, China)

Abstract It has become a trend to improve the efficiency of insect sex pheromone trapping by searching for related plant volatiles. In this study, we use the electroantennography (EAG) and Y-tube to study the orientational responses of *Spodoptera frugiperda* to linalool oxide. The result showed that both male and female moths had an electrophysiological response to linalool oxide. The female moth showed the highest electrophysiology response value $(0.40 \pm 0.051)\text{mV}$ to 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ linalool oxide, which was significantly higher than that of male moth. The behavioral test showed the female moths had a significant orientation to 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ linalool oxide, while male moths had a significant repellency to 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ linalool oxide. This study provides a basis for the development of effective plant attractants of *S. frugiperda*.

Key words *Spodoptera frugiperda*; linalool oxide; plant volatile; synergist

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 又称秋黏虫 (fall armyworm), 属鳞翅目 Lepidoptera, 夜蛾科 Noctuidae, 起源于美洲热带和亚热带地区, 具有食性杂、暴食性以及迁飞能力和繁殖能力强等特点^[1-2]。其寄主有玉米、高粱、甘蔗、小麦等 76 属 353 种植物^[3]。该虫于 2016 年 1 月入侵到非洲尼日利亚

和加纳^[4], 2018 年 5 月入侵到印度^[5], 2018 年 12 月入侵到缅甸^[6], 2019 年 1 月在我国云南首次发现^[7], 入侵中国后, 迅速向北扩散蔓延, 现已在全国 26 个省 1 538 个县(区、市)发现该虫为害^[8]。

植物挥发物在昆虫与其寄主之间起到化学通讯作用, 其中醇类和脂类在昆虫寄主定位过程中具有十分重要的作用, 大部分昆虫都会对植物挥发物表

收稿日期: 2020-02-07

修订日期: 2020-03-16

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0300105); 安徽省重大科技项目(201903a06020027); 安徽小麦产业技术体系(AHCYTX-02-G11); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2019YJ06)

* 通信作者 E-mail: chenhaoliang@aaas.org.cn

为并列第一作者

现出不同的行为反应^[9-10]。氧化芳樟醇(linalool oxide)是薰衣草、龙眼花等植物中挥发物的主要成分^[11-12],前期的研究表明,草地贪夜蛾 6 龄幼虫对芳樟醇具有显著的趋性^[13],但对其成虫则并没有相关研究报道,而氧化芳樟醇是芳樟醇的氧化产物,可能同样能影响草地贪夜蛾的行为趋性。

触角电位(electroantennogram, EAG)技术是检测昆虫对化学信号是否有电生理反应的方法。EAG 具有试验时间短,操作简单等优点。Y 形管是用于测定昆虫趋性行为的一种玻璃三叉管,具有成本低,操作简单等优点。本研究在前期挥发物筛选的基础上,通过触角电位和行为分析研究草地贪夜蛾对氧化芳樟醇的趋性,为开发植物源引诱剂和增效剂提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

草地贪夜蛾于 2019 年 7 月 23 日在安徽省池州市东至县胜利镇阜康村玉米田(116.92°E, 30.35°N)采集,在室内饲养建立试验种群。饲养条件为温度(25±1)℃,相对湿度(70±5)%,光周期 L//D=16 h//8 h。1 龄和 2 龄幼虫用玉米叶片饲养,3~5 龄用饲料喂养。饲料配方主要以玉米粉为主。幼虫饲养于 6 孔板中($d=4$ cm),成虫喂养在帐篷式养虫笼中(40 cm×40 cm×40 cm),每日供给 20%蜂蜜水。选羽化 1 日内的成虫用于试验。

1.2 草地贪夜蛾成虫对不同浓度氧化芳樟醇的触角电位反应

利用 EAG(Syntech, 德国)测定草地贪夜蛾雌雄成虫对不同浓度氧化芳樟醇的电生理反应。将草地贪夜蛾成虫的触角从基部切下,并将触角端部一小部分(约 1 mm)切除,触角两端分别使用导电胶粘到叉式电极上。用 Syntech 软件记录产生的电生理信号。将氧化芳樟醇用正己烷配制成 0.1、1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 和 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 3 个浓度梯度,以正己烷为对照,每次取 10 μL 样品滴在滤纸上,放入样品管中。调节连续气流量为 5 mL/s;刺激气体流量为 1 mL/s;刺激时间为 0.5 s。同一剂量的氧化芳樟醇在一根触角上刺激 1 次,每个浓度重复 10 次。

1.3 草地贪夜蛾成虫对不同浓度氧化芳樟醇的行为反应

试验在室温(24±1)℃,相对湿度(40±5)%,自

然光环境下进行。Y 形管为玻璃材质,两侧臂夹角 60°,分别长 20 cm,直臂长 25 cm,三条臂直径均为 4 cm。两侧臂的开口处分别用中间插有胶管的橡胶塞塞住。试验前先将 Y 形管的玻璃器件用丙酮和正己烷清洗。氧化芳樟醇用正己烷配制成 0.1、1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 和 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 3 个浓度梯度,以正己烷为对照。分别取 10 μL 样品和正己烷滴在滤纸上,将滤纸分别放入 Y 形管两侧臂的气味源装置瓶中,打开大气采样仪并将流速调整为 0.5 L/min。将羽化 1 d 内的草地贪夜蛾成虫放入释放管中,观察 5 min,草地贪夜蛾首次选择一臂超过 5 cm 且持续时间超过 30 s 则认为对该气味源做出了选择。每头试虫只用 1 次,每处理至少 30 头,每测 5 头进行清洗和换臂(气味源和对照的两臂进行调换),以消除 Y 形管两臂不对称或方位产生的误差。

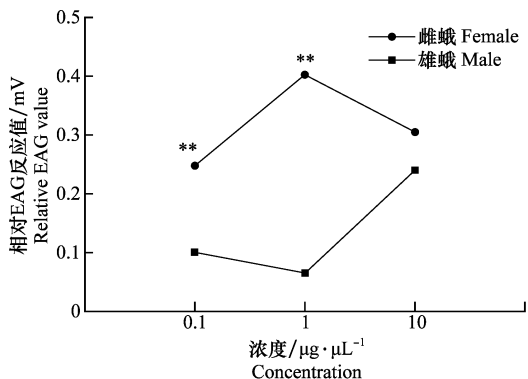
1.4 数据统计与分析

触角电位相对值=待测样品的反应值-对照反应值。运用 SPSS 16.0 统计软件对数据进行统计分析。草地贪夜蛾成虫对不同浓度的氧化芳樟醇电生理反应差异显著性采用 t -test 比较法,草地贪夜蛾成虫对不同浓度的氧化芳樟醇 Y 形嗅觉仪反应差异显著性采用二项式检验,* 为 $P<0.05$,** 为 $P<0.01$ 。

2 结果与分析

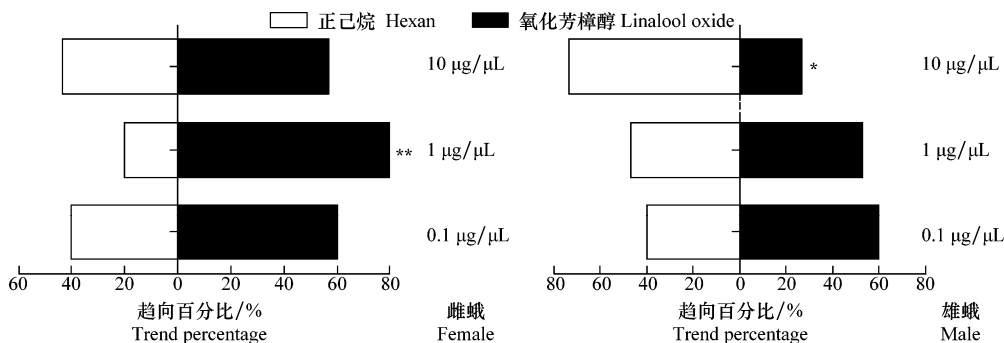
2.1 草地贪夜蛾雌雄成虫对不同浓度氧化芳樟醇的触角电位

草地贪夜蛾成虫对不同浓度氧化芳樟醇的触角电位反应如图 1。结果表明,不同浓度的氧化芳樟醇均能引起草地贪夜蛾雌雄蛾的电生理反应,且具有不同的电生理反应值。雌蛾在 0.1、1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 和 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 3 种浓度下的电生理反应值(0.24 mV±0.029 mV、0.40 mV±0.051 mV、0.31 mV±0.057 mV)分别高于雄蛾(0.096 mV±0.022 mV、0.064 mV±0.016 mV、0.24 mV±0.029 mV),其中在浓度为 0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 和 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时,雌蛾的电生理反应值显著高于雄蛾(浓度为 0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时 $P=0.004$ 1;浓度为 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时 $P=0.002$ 4),而在 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时雌雄蛾的电生理反应值差异不显著($P=0.52$)。在浓度为 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时雌蛾对氧化芳樟醇的电生理反应值最高,雄蛾则对浓度为 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇电生理反应值最高。



图中**表示经 t 检验雌、雄蛾触角电位反应差异极显著, $P < 0.01$
** represents significant difference by t test at 0.01 level

图1 草地贪夜蛾雌、雄蛾对不同浓度氧化芳樟醇的触角电位反应
Fig.1 Relative EAG values of male and female *Spodoptera frugiperda* to different concentrations of linalool oxide



图中数据采用二项式检验进行差异显著性分析, 其中*代表 $P < 0.05$, **代表 $P < 0.01$
* and ** represents significant difference at 0.05 and 0.01 levels by binomial test, respectively

图2 草地贪夜蛾雌、雄蛾对不同浓度氧化芳樟醇的行为反应

Fig.2 Behavioral responses of female and male *Spodoptera frugiperda* to different concentrations of linalool oxide

3 结论与讨论

EAG研究结果表明,草地贪夜蛾雌虫对 $1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 氧化芳樟醇的电生理反应值最高,且在3种浓度的氧化芳樟醇刺激下雌虫的电生理反应值均高于雄虫,雄虫对 $10 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 氧化芳樟醇的电生理反应值高于其他两种浓度。此外,Y形嗅觉仪结果也表明 $1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇对雌虫具有显著的吸引作用,其他两种浓度的吸引作用均不显著, $10 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 氧化芳樟醇对雄虫则具有显著的驱避作用。以上结果表明氧化芳樟醇在 $1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 浓度下对草地贪夜蛾雌虫有显著的吸引作用,而当浓度升高至 $10 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时对雌虫的吸引作用不显著,却对雄虫表现出显著的驱避作用,这其中的原因还需要后期更深层次的研究。

植物源挥发物和昆虫信息素都是昆虫的重要信息物质,二者协同作用调节昆虫的行为。蒋世雄等对黏虫性引诱剂增效剂的研究结果表明,植物挥发物苯乙醛、 β -石竹烯、Z-3-己烯乙酸酯和性引诱剂组合能够显著提高性信息素诱捕器效率^[14]。因而,探寻草地贪夜蛾的性信息素诱捕器的植物源增效剂以

2.2 草地贪夜蛾雌雄成虫对不同浓度氧化芳樟醇的行为反应

Y形嗅觉仪试验结果表明,雌蛾对浓度为 $1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇较对照正己烷具有显著的趋性($P = 0.001$),但对浓度为 $0.1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ ($P = 0.273$)和 $10 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ ($P = 0.465$)的氧化芳樟醇与对照相比则不具有显著的趋避性(图2)。雄蛾对浓度为 $10 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇较对照正己烷具有显著的排斥性($P = 0.011$),而对浓度为 $1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ ($P = 0.715$)和 $0.1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ ($P = 0.273$)的氧化芳樟醇较对照则没有显著的趋避性(图2)。结果表明一定浓度的氧化芳樟醇能够吸引草地贪夜蛾雌成虫,而当浓度过高时则对草地贪夜蛾雄成虫具有排斥作用。

及田间实际应用将会作为我们后期研究的重要目标,从而为草地贪夜蛾的生物防治提供基础。

植物气味在昆虫寄主定位、取食以及交配过程中都起着重要的作用^[12,15]。而触角电位反应和嗅觉行为测定是筛选信息化合物对昆虫活性的主要方法和手段^[16-17]。前人对草地贪夜蛾幼虫与植物挥发物芳樟醇做出了相关研究,结果表明草地贪夜蛾6龄幼虫对芳樟醇具有显著趋性^[13]。目前关于草地贪夜蛾成虫对于植物挥发物反应的研究甚少,本研究对氧化芳樟醇的研究结果为草地贪夜蛾的生物防治提供一定的理论基础。

参考文献

- [1] 郭井非, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 1-10.
- [2] 葛世帅, 何莉梅, 和伟, 等. 草地贪夜蛾的飞行能力测定[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 28-33.
- [3] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286-301.

参考文献

- [1] 吴景芝,魏永田,李自萍,等. 玉米丝黑穗病菌冬孢子萌发湿度及云南玉米新品种抗性鉴定研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 186-189.
- [2] 国家统计局. 2017年玉米种植面积下降3.6%(附各省粮食产量)[EB/OL]. [2017-12-12]. <http://www.sohu.com/a/21012230-668371>.
- [3] 王晓鸣,晋齐鸣,石洁,等. 玉米病虫害田间手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010.
- [4] 甘肃日报. 玉米已成为甘肃第一大粮食作物[EB/OL]. [2018-4-8]. <https://www.tech-food.com/news/detail/n1386711.htm>.
- [5] SANCHEZ-PALE J R, RAMIREZ-DAVILA J F, GONZALEZ-HUERTA A, et al. Modelization of the spatial distribution of corn head smut (*Sporisorium reilianum* Langdon and Fullerton) in Mexico [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2011, 9(3): 882-893.
- [6] 高树仁,李新海,王振华,等. 玉米抗丝黑穗病的基因效应[J]. 作物学报, 2006, 32(10): 1453-1457.
- [7] 高洁,祁新,蔚荣海,等. 玉米种质资源对丝黑穗病的抗性鉴定[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(2): 142-151.
- [8] 杨芳兰,甘国福. 玉米丝黑穗病在凉州区重发原因调查及防治建议[J]. 甘肃农业科技, 2006(9): 36-37.
- [9] 李铭东,刘永刚. 玉米抗丝黑穗病鉴定与评价[J]. 甘肃科技, 2013, 29(8): 138-140.
- [10] 李桂琴,荆子元. 金塔县玉米丝黑穗病的发生原因及防治措施[J]. 农业科技与信息, 2014(8): 60-61.
- [11] 雷玉明,郑天翔,王玉萍,等. 几种杀菌剂对玉米瘤黑粉病和丝黑穗病药效试验[J]. 农药, 2018, 57(6): 457-460.
- [12] 郭成,赵瑞丽,王春明,等. 玉米种质对丝黑穗病的抗性分析及发病条件研究[J]. 草地学报, 2018, 26(5): 1198-1207.
- [13] 李莉,贾立辉,朴红梅,等. 玉米抗丝黑穗病的研究进展[J]. 玉米科学, 2008, 19(6): 136-138.
- [14] 张葳葳,王玺,于明艳. EM包衣对玉米苗期防治丝黑穗病效果研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(3): 83-86.
- [15] 郭成,郭满库,徐生军,等. 农家种玉米资源抗丝黑穗病鉴定与评价[J]. 玉米科学, 2016, 24(1): 156-159.
- [16] 中华人民共和国农业部. NY 1248. 3-2006-T 玉米抗病虫性鉴定技术规范第3部分: 玉米抗丝黑穗病鉴定技术规范[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 3.
- [17] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其DPS数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 332-356.
- [18] 李志明. 玉米丝黑穗病新抗病品种选育及防治探讨[J]. 甘肃科技, 2010, 26(8): 153-155.
- [19] 梁素明,王爱萍,董琦,等. 长根茎玉米自交系及群体材料抗丝黑穗病鉴定与评价[J]. 山西农业科学, 2009, 37(10): 55-57.
- [20] 郭满库,刘永刚,王晓鸣. 玉米自交系及群体材料抗丝黑穗病鉴定与评价[J]. 玉米科学, 2007, 15(5): 30-33.
- [21] 谢志军,郭满库,刘永刚,等. 玉米种质资源抗丝黑穗病鉴定与评价[J]. 植物保护, 2008, 34(6): 92-95.
- [22] 宋淑云,孙秀华,郭文广,等. 玉米种质资源抗丝黑穗病鉴定[J]. 吉林农业科学, 2000, 25(3): 32-33.
- [23] 郭成,郭满库,魏宏玉,等. 玉米种质资源对丝轴团散黑粉菌的抗性筛选[J]. 植物保护学报, 2016, 43(2): 343-344.
- [24] 陈红梅,李金花,柴兆祥,等. 32个马铃薯品种对镰刀菌干腐病优势病原的抗病性评价[J]. 植物保护学报, 2012, 39(4): 308-313.
- (责任编辑: 杨明丽)
- (上接 180 页)
- [4] GOERGEN G, KUMAR P L, ASNKUNG S B, et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa [J/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(10): e0165632. DOI: 1371/journal.pone.0165632.
- [5] NAKWETA G. Global actions needed to combat fall armyworm [EB/OL]. (2018-09-28) [2018-10-05]. <https://www.scidev.net/sub-saharan-africa/farming/news/global-cations-combat-fall-armyworm.html>.
- [6] 缅甸农业部种植司. 缅甸部分地区冬玉米首次记录草地贪夜蛾的入侵[EB/OL]. (2018-12-9) [2019-01-05]. <http://ppdmyanmar.org/.j>.
- [7] 姜玉英,刘杰,朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2): 35-37.
- [8] 姜玉英,刘杰,谢茂昌,等. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10-19.
- [9] VISSER J H. Host odour perception in phytophagous insects [J]. Annual Review of Entomology, 1986, 31: 121-124.
- [10] BRUCE T J A, WADHAMS L J, WOODCOCK C M. Insect host location: a volatile situation [J]. Trends in Plant Science, 2005, 10(6): 269-274.
- [11] CHANG C H, YU T H, CHANG C Y, et al. Impacts of extraction methods on volatile constituents of longan flower [J]. Journal of Food & Drug Analysis, 2008, 16(3): 46-52.
- [12] 杜永均,严福顺. 植物挥发性次生物质在植食性昆虫-寄生植物和昆虫天敌关系中的作用机理[J]. 昆虫学报, 1994(2): 233-250.
- [13] CARROLL M J, SCHMELZ E A, MEAGHER R L, et al. Attraction of *Spodoptera frugiperda* larvae volatiles from herbivore-damaged maize seedlings [J]. Journal of Chemical Ecology, 2006, 32: 1911-1924.
- [14] 蒋世雄,张蕾,程云霞,等. 植物挥发物对黏虫性诱剂引诱效果的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 138-144.
- [15] RINDER J, CASAZZA A P, HOEFGEN R, et al. Regulation of aspartate-derived amino acid homeostasis in potato plants (*Solanum tuberosum* L.) by expression of *E. coli* homoserine kinase [J]. Amino Acids, 2008, 34(2): 441-446.
- [16] 闫凤鸣. 化学生态学[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2011: 44-85.
- [17] 李为争,胡晶晶,陈汉杰,等. 挥发性植物源害虫引诱剂筛选与混配方法的新视角[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(4): 1094-1106.
- (责任编辑: 王 音)