

香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾 生殖行为的影响*

陆晨艳^{1,2**} 万 鹏² 尹海辰² 李文静²
王振营³ 陈利珍¹ 许 冬^{2***}

(1. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 2. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 农作物重大病虫害
害防控湖北省重点实验室, 农业农村部华中作物有害生物综合治理重点实验室, 武汉 430064;
3. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193)

摘 要 【目的】利用植物次生代谢物调控害虫行为是害虫绿色防控的重要措施。通过评估香加皮 *Periplocae cortex* 乙醇提取物对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 生殖行为的影响, 为下一步筛选干扰交配的活性成分和开发新型害虫嗅觉行为调控剂奠定基础。【方法】室内采用熏蒸法测定了香加皮乙醇提取物在 0.09–14.40 mg/mL 浓度下对草地贪夜蛾雌成虫求偶交配的时间节律、次数、持续时间、精包数量和单雌产卵量的影响, 利用罩笼选择法分析了喷施香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫寄主产卵选择的作用。【结果】香加皮乙醇提取物暴露处理对草地贪夜蛾雌成虫求偶行为无显著影响 ($P>0.05$), 但可抑制其交配行为, 其中, 7.2 mg/mL 浓度处理的交配次数、交配持续时间和精包数量分别为 (1.92 ± 0.35) 次、(152.50 ± 23.42) min 和 (1.44 ± 0.13) 个, 显著低于对照组雌成虫的 (3.67 ± 0.45) 次、(315.00 ± 70.60) min 和 (2.27 ± 0.11) 个 ($P<0.05$)。香加皮乙醇提取物处理, 可显著降低草地贪夜蛾雌成虫的平均单雌产卵量 ($P<0.05$), 其中 7.2 和 14.4 mg/mL 浓度处理的平均单雌产卵量分别为 (586.66 ± 50.32) 和 (503.63 ± 66.83) 粒, 分别是对照组的 58.19% 和 49.95%。罩笼试验结果显示, 喷施香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫产卵选择表现出高浓度驱避和低浓度引诱的生物活性, 其中 14.4 mg/mL 浓度处理雌成虫在玉米植株上的平均单雌落卵量占同一网笼玉米植株上总卵量的 $31.92\%\pm9.09\%$, 而 0.09 mg/mL 浓度处理的玉米植株的落卵量则占对应网笼卵量的 $64.95\%\pm4.47\%$ 。【结论】香加皮乙醇提取物可显著抑制草地贪夜蛾的交配行为, 减少有效交配次数, 并降低雌虫的产卵能力, 对草地贪夜蛾雌成虫产卵寄主选择具有明显的干扰作用。

关键词 草地贪夜蛾; 香加皮; 生殖行为; 驱避

The effect of ethanol extracts from *Periplocae cortex* on the reproductive behavior of *Spodoptera frugiperda*

LU Chen-Yan^{1,2**} WAN Peng² YIN Hai-Chen² LI Wen-Jing²
WANG Zhen-Ying³ CHEN Li-Zhen¹ XU Dong^{2***}

(1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Central China, Ministry of Agriculture, Hubei Key Laboratory of Crop Disease, Insect Pests and Weeds Control, Wuhan 430064, China;
3. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract [Aim] Utilizing plant secondary metabolites to regulate insect behavior is a crucial pest control strategy.

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2021YFD1400700); 湖北省农业科技攻关项目 (HBNYHXGG2023-3); 武汉市知识创新项目 (2022020801010346)

**第一作者 First author, E-mail: 2582393269@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: ztb799@163.com

收稿日期 Received: 2023-04-27; 接受日期 Accepted: 2023-10-25

Investigating the effects of ethanol extracts from *Periplocae cortex* on the reproductive behavior of *Spodoptera frugiperda* can offer a foundation for subsequent screening of active ingredients that interfere with mating and the development of innovative pest management based on olfactory behavior regulators. **[Methods]** Indoor fumigation was used to determine the effects of different concentrations (0.09-14.40 mg/mL) of *P. cortex* ethanol extract on the timing, frequency, duration of *S. frugiperda* courtship, as well as the number of spermatophores in copulatory pouch and eggs laid. Additionally, we investigated the effect of spraying *P. cortex* ethanol extract on the oviposition selectivity of *S. frugiperda* in an indoor cage. **[Results]** There was no significant effect of the different concentrations of *P. cortex* ethanol extracts exposed on *S. frugiperda* courtship behavior ($P>0.05$), while their mating behavior could be inhibited. Among them, the mating frequency, duration, and number of sperm packets treated with a concentration of 7.2 mg/mL were (1.92 ± 0.35) times, (152.50 ± 23.42) minutes, and (1.44 ± 0.13), respectively, which were significantly lower than those of female adults in the control group (3.67 ± 0.45) times, (315.00 ± 70.60) min, and (2.27 ± 0.11) times ($P<0.05$). The ethanol extracts of *P. cortex* significantly reduced the number of eggs laid of *S. frugiperda* ($P<0.05$). The average single female egg production of the 7.2 and 14.4 mg/mL concentration treatments were (586.66 ± 50.32) and (503.63 ± 66.83) eggs, respectively, which were 58.19% and 49.95% of the control group. The results of the cage test showed that spray application of the *P. cortex* ethanol extracts significantly influenced *S. frugiperda* oviposition selection behavior, with an attracting effect at low concentrations, but a repelling effect at high concentrations. The number of eggs laid on maize plants treated with 14.4 mg/mL accounted for $31.92\%\pm9.09\%$ of the total number of eggs counted in the treatment cage. while the egg laying amount of maize plants treated with 0.09 mg/mL concentration accounted for $64.95\%\pm4.47\%$ of the corresponding cage egg laying amount. **[Conclusion]** Ethanol extracts from *P. cortex* can significantly inhibit the mating behavior of *S. frugiperda*, reducing both the frequency of effective mating and the oviposition ability of female *S. frugiperda*. Simultaneously, these extracts have a significant repellent effect, interfering with the oviposition selection of female *S. frugiperda*.

Key words *Spodoptera frugiperda*; *Periplocae cortex*; reproductive behavior; repellence

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*, 又称秋粘虫, 起源于美洲热带和亚热带地区, 是联合国粮农组织全球预警的一种重大迁飞性害虫。该虫于 2018 年底首次迁入我国云南省, 2019 年迅速扩散至全国 26 个省 (自治区、直辖市) 1 518 个县市, 在玉米田取食为害, 发生面积近 120 万 hm^2 , 严重威胁我国粮食生产安全 (姜玉英等, 2019)。玉米是我国种植面积最大、产量最高的粮食作物, 2020 年产量达 2.6 亿吨, 居世界第二。但研究显示, 在不防治场景下, 草地贪夜蛾入侵后对我国玉米产业的潜在经济损失总量可达 375.68-3 283.45 亿元 (90%置信区间) (秦誉嘉等, 2020)。因此, 有效防控草地贪夜蛾对保障我国玉米安全生产至关重要。

目前, 草地贪夜蛾的防治仍以化学药剂为主。但由于草地贪夜蛾具有较强的生殖潜能和世代重叠严重等生物学特性, 各地区的施药压力不断增大, 草地贪夜蛾农药代谢的相关基因扩张显著, 抗性风险显著提高 (Yu *et al.*, 2003; 颜珣

等, 2019; 石旺鹏, 2020)。研究表明, 草地贪夜蛾已对 41 种杀虫剂产生了不同程度抗性, 且其抗性仍在快速进化中 (杨斌等, 2020)。因此, 开发特异性强, 对环境友好且对人畜无害的绿色防控措施, 对草地贪夜蛾可持续治理具有重要意义。

近年来, 针对害虫灵敏嗅觉系统发展的害虫行为调控技术受到广泛关注, 被国际公认为是一种新型绿色防控技术。该技术主要通过利用植物释放的各种气味化合物特异性地调节靶标害虫行为、直接诱杀成虫或干扰交配, 从而减少后代种群数量, 达到害虫绿色防控的目的 (杨斌等, 2020)。害虫行为调控技术不仅可有效控制靶标害虫的种群增长, 针对昆虫生存或生殖等行为的调控, 抗性进化过程也较为缓慢 (Roitberg, 2007)。据不完全统计, 全球已报道有 280 余种植物对昆虫具有忌避作用, 28 种植物对昆虫具有引诱活性 (刘双清等, 2016)。基于这些植物化学信息, 诱集植物、引诱剂和食诱剂等新型调

控技术不断被开发。尤其是随着化学分析技术和昆虫嗅觉电生理技术的进步,人们对害虫食物气味的认识不断加深,研制出了实蝇和夜蛾类害虫的食诱剂,并在全球广泛应用。例如,对雌雄蛾均有效的棉铃虫食诱剂“Magnet®”已在澳大利亚和美国等多个国家,围绕棉花及玉米等作物,针对多种夜蛾科害虫大规模使用(Gregg *et al.*, 2016)。作为生物农药的一种,害虫行为调控剂在推动农业高质量发展和维护农业生态平衡等方面发挥着积极作用(周蒙, 2021)。

香加皮 *Periplocae cortex* 是一种重要的中草药,具有较强毒性。研究显示,香加皮含有大量的活性成分物质,对小菜蛾 *Plutella xylostella* 和菜青虫 *Pieris rapae* 等害虫有一定的拒食、毒杀活性(汪涛, 2017),对绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 和中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* 等刺吸式害虫还具有较好的驱避效果(尹海辰等, 2021)。因此,香加皮是一种天然农用活性化合物的重要生产者,是开发新型植物源天然产物杀虫剂或行为调节剂的重要来源。本研究以草地贪夜蛾为靶标害虫,评估香加皮乙醇提取物对其行为调控、生殖行为等影响,为进一步研制基于生殖行为特性的绿色防控技术提供了理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

于2019年7月20日在湖北省通山县大畈镇板桥村(29°3845" N, 114°3837" E)夏季玉米地采集草地贪夜蛾幼虫,带回室内用人工饲料继代饲养繁殖。人工饲料参照李传瑛等(2019),并做适当改良,成虫羽化后用10%蜂蜜水饲喂。饲养条件为温度(25±1)℃,相对湿度60%±10%,光周期14 L:10 D。

1.2 香加皮乙醇提取物制备

将烘干的香加皮用粉碎机粉碎,过40目筛制成干粉。称取适量香加皮干粉,放入索式提取器内,按质体比1:5加入无水乙醇(分析纯),反复浸泡15 d。浸泡上清液用滤纸过滤后,转移

至旋转蒸发仪(BC-R501)中浓缩。水浴锅温度设置为35-40℃,冷凝装置温度-6℃,转速50 r/min。待旋转蒸发仪不再蒸出乙醇后,继续处理15 min。将浓缩的膏状提取液装入标记的棕色玻璃瓶中,4℃保存备用。

1.3 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫求偶行为的影响

称取香加皮乙醇提取物,加少量乙醇溶解,用含有0.5%吐温-20的清水稀释成0.8和7.2 mg/mL浓度的微乳剂。取10 mL处理液,分别倒入培养皿(d=4 cm, h=2 cm)中,并用封口膜密封。然后用大头针在封口膜上均匀扎30个小孔,转至玻璃杯中(d=8 cm, h=15 cm)。暗期(19:00-5:00)开始前,将1头未交配的1日龄雌成虫接入玻璃杯,内置10%蜂蜜棉球供其取食,最后用纱布封口。以加入0.5%吐温-20的清水作为对照。每组10头试虫,重复3次。每隔30 min观察并记录每头雌成虫的求偶次数和求偶持续时间,直至暗期结束,连续观察5 d。在观察时用纱布遮挡红光灯,避免强光干扰雌成虫的求偶行为。以雌成虫腹部末端的产卵器持续伸出或有规律地伸缩作为求偶标准。

1.4 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌雄成虫交配行为的影响

香加皮乙醇提取物处理同1.3节。取1对当日羽化且未交配的草地贪夜蛾雌雄成虫放入玻璃杯中。在暗期利用红光灯观察雌雄成虫的交配活动,每隔30 min观察1次,直至暗期结束,连续观察5 d,记录雌雄成虫交配的对数、交配起始时间和结束时间。试验结束后,在显微镜(奥林巴斯 SZX7-1093)下解剖雌成虫,统计交配囊内的精包数量。每个处理共观察20对雌、雄成虫。以加入0.5%吐温-20的清水作为对照。

1.5 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫产卵量的影响

参照1.3节,将香加皮乙醇提取物分别稀释至0.09、0.27、0.80、2.40、7.20和14.40 mg/mL 6个浓度。暗期开始前,将8对未交配的1日龄

草地贪夜蛾雌雄成虫放入玻璃杯中, 杯内放置一张折叠卡纸 (10 cm × 10 cm) 供其产卵, 用纱布封口。每 24 h 统计 1 次折叠卡纸上的卵量并更换新的卡纸, 连续观察 6 d。重复 4 次。以加入 0.5% 吐温 - 20 的清水作为对照。试验结束后, 在显微镜下解剖雌成虫, 统计卵巢中的残留卵量。

1.6 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫产卵寄主选择的影响

在室内用花盆 (内径 10 cm, 高 12 cm) 进行玉米育苗, 待其长至 3-4 叶时, 每盆保留 3 株, 选取长势一致且健壮的玉米植株进行试验。香加皮乙醇提取物的浓度设置同 1.5 节, 用手动喷壶对玉米植株整株喷施。每盆玉米喷施不同浓度的香加皮乙醇提取物 10 mL, 以含 0.5% 吐温 - 20 的清水为对照。待植株表面自然晾干后, 取处理组植株与对照组植株各 1 盆分别置于网笼对角处 (50 cm × 50 cm × 50 cm)。暗期开始前, 将 8 对当日羽化且未交配的雌雄成虫放入网笼内, 放置 10% 的蜂蜜水供成虫取食。玉米植株每天喷施 1 次香加皮乙醇提取物, 并调换放置位置。重复 4 次。试验条件为温度 (25±1) °C, 湿度 75%±5%, 光周期为 14 L : 10 D。每天统计 1 次植株上的落卵情况, 并清除卵块, 连续调查 6 d。

1.7 数据分析

采用 Excel office 2019、SPSS 24.0 和 Graphpad 9.0 软件对试验数据进行分析, 草地贪夜蛾雌成虫的求偶次数、求偶率、求偶持续时间、交配次数、交配持续时间、精包数量和产卵量等数据应用单因素方差分析 (One-way ANOVA, Duncan 氏新复极差法), 产卵寄主选择率等数据采用独立样本 *t* 检验。

2 结果与分析

2.1 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫求偶行为的影响

不同浓度香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫求偶行为见图 1。其中, 0.8 mg/mL 浓度

处理下, 雌成虫的求偶次数最多且求偶持续时间最长, 对照组次之, 7.2 mg/mL 处理最低。雌成虫在 0.8 和 7.2 mg/mL 香加皮乙醇提取物处理下的求偶次数 ($F = 1.307$, $df = 2, 6$, $P > 0.05$) 和求偶持续时间 ($F = 0.77$, $df = 2, 6$, $P > 0.05$) 与对照组差异均不显著。雌成虫求偶率随处理时间增加呈先上升后下降趋势, 0.8 mg/mL 处理下, 雌成虫第 1 天的求偶率为 68.06%±5.20%, 显著高于对照组 52.31%±7.55% 和 7.2 mg/mL 浓度处理 56.02%±5.11% ($F = 5.58$, $df = 2, 6$, $P < 0.05$)。

2.2 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌雄成虫交配行为的影响

香加皮乙醇提取物处理对草地贪夜蛾 1-5 日龄交配率的影响见图 2。在处理时间内, 不同处理的成虫交配率均随日龄的增加呈先增加后下降的趋势。其中, 0.8 mg/mL 浓度处理的草地贪夜蛾第 3-5 天的交配率分别为 60.00%±10.00%、33.33%±6.67% 和 13.33%±3.33%, 7.2 mg/mL 处理的为 46.67%±3.33%、23.33%±12.02% 和 3.33%±3.33%, 均显著低于对照处理的 86.67%±3.33% ($F = 10.01$, $df = 2, 6$, $P < 0.05$)、73.33%±8.82% ($F = 10.48$, $df = 2, 6$, $P = 0.01$) 和 26.67%±3.33% ($F = 12.33$, $df = 2, 6$, $P < 0.05$)。

香加皮乙醇提取物可抑制草地贪夜蛾的交配次数和交配持续时间 (表 1)。其中 7.2 mg/mL 浓度处理的交配次数和交配持续时间仅为 (1.92±0.35) 次和 (152.50±23.42) min, 显著低于对照的 (3.67±0.45) 次 ($F = 5.23$, $df = 2, 33$, $P < 0.05$) 和 (315.00±70.60) min ($F = 3.52$, $df = 2, 33$, $P < 0.05$); 0.8 mg/mL 浓度处理的为 (230.00±42.64) min ($F = 5.23$, $df = 2, 33$, $P > 0.05$) 和 (2.58±0.36) 次 ($F = 3.52$, $df = 2, 33$, $P > 0.05$), 与对照处理间差异不显著。从交配囊解剖结果来看, 香加皮乙醇提取物处理可降低草地贪夜蛾的精包数量 (表 1), 其中 7.2 mg/mL 处理的精包数量为 (1.44±0.13) 个, 显著低于对照的 (2.27±0.11) 个 ($F = 7.17$, $df = 2, 33$, $P < 0.05$), 0.8 mg/mL 处理的为 (1.88±0.13) 个, 与对照处理间差异不显著 ($F = 7.17$, $df = 2, 33$, $P > 0.05$)。

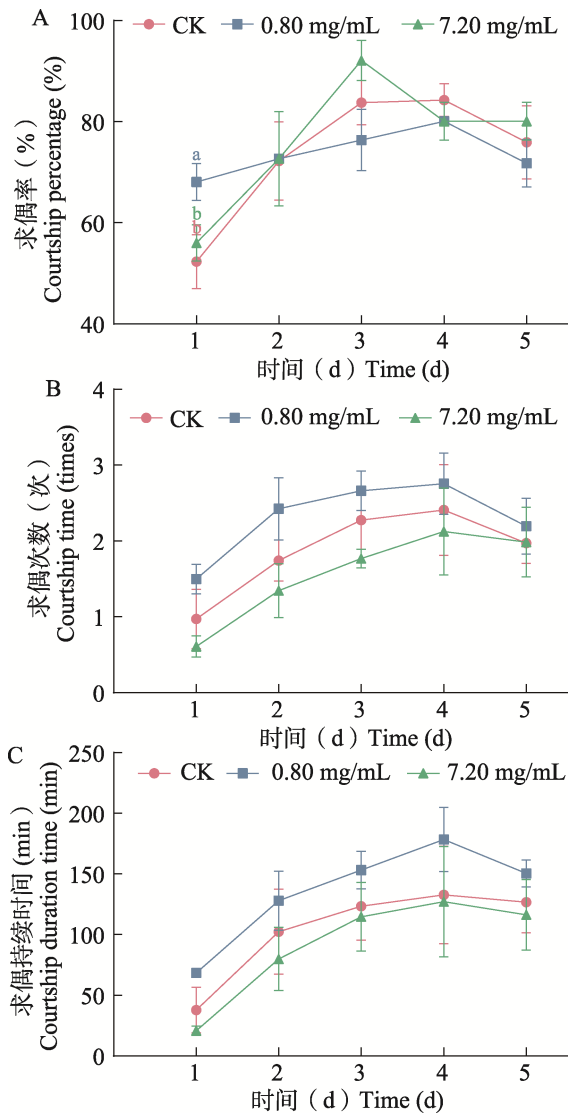


图1 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫求偶行为的影响

Fig. 1 Effects of ethanol extracts from *Periplocac cortex* on the courtship behavior of female adult *Spodoptera frugiperda*

A. 求偶率; B. 求偶次数; C. 求偶持续时间。

CK: 清水对照 (含 0.5%吐温 - 20)。下图同;

折线上不同字母表示同一时间不同处理差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法)。图 2 同。

A. Courtship rate; B. Courtship time; C. Courtship duration time. CK: Water control (including 0.5% Tween-20). The same below; Broken lines with different letters indicates significant difference between different treatments at the same time ($P < 0.05$, Duncan's new multiple range test). The same for Fig. 2.

2.3 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾平均单雌产卵量和卵巢残留卵量的影响

从图 3 可以得出,随着香加皮乙醇提取物浓

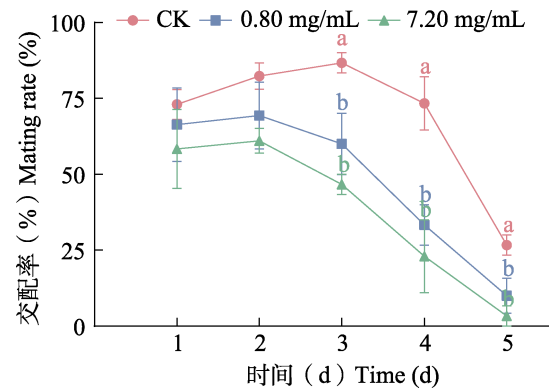


图2 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾交配率的影响

Fig. 2 The effects of ethanol extracts of *Periplocac cortex* on mating rate of *Spodoptera frugiperda*

度的增加,草地贪夜蛾平均单雌产卵量呈下降趋势。其中 7.20 和 14.40 mg/mL 处理,平均单雌产卵量分别为 (586.60 ± 50.32) 和 (503.63 ± 66.83) 粒,显著低于对照组 [1008.25 ± 132.93] 粒 ($F = 3.60$, $df = 6,21$, $P < 0.05$); 0.09、0.27、0.80 和 2.40 mg/mL 处理,平均单雌产卵量与对照组差异不显著 ($F = 3.60$, $df = 6,21$, $P > 0.05$)。香加皮乙醇提取物各浓度处理对雌成虫卵巢残留卵量影响不显著 ($F = 0.14$, $df = 6,21$, $P > 0.05$),平均每头雌成虫卵巢残留卵量为 26.28-46.47 粒。

2.4 香加皮对草地贪夜蛾雌成虫产卵选择的影响

玉米植株喷施香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫的产卵选择具有干扰作用 (图 4)。结果显示,草地贪夜蛾雌成虫倾向选择香加皮乙醇提取物 0.09 mg/mL 浓度处理的玉米植株上产卵,其落卵量显著高于同网笼对照组植株处理 ($P < 0.05$),对雌成虫表现出一定的引诱生物活性;而香加皮乙醇提取物 14.40 mg/mL 浓度处理玉米植株上的落卵量较少,显著低于同网笼的对照组植株处理 ($P < 0.05$),表现出一定的忌避作用。从香加皮乙醇提取物不同浓度处理结果来看,雌成虫在 14.40 mg/mL 浓度处理的玉米上的落卵量仅占网笼内玉米上总卵量的 $31.92\% \pm 9.09\%$,显著低于 0.09 mg/mL 处理的 $64.95\% \pm 4.47\%$ ($F = 3.00$, $df = 5,18$, $P < 0.05$),与 0.27、0.80、2.40 和 7.20 mg/mL 其他 4 个浓度处理差异不显著 ($F = 3.00$, $df = 5,18$, $P > 0.05$)。

表 1 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌雄成虫交配行为的影响

Table 1 The effects of ethanol extract from *Periplocac cortex* on the mating bahavior of *Spodoptera frugiperda*

处理 Treatment	交配次数 (次) Mating frequency (times)	交配持续时间 (min) Mating duration time (min)	精包数量 (个) Number of spermatophores (counts)
清水对照 (含 0.5%吐温 - 20) Water control (including 0.5% Tween-20)	3.67±0.45 a	315.00±70.60 a	2.27±0.11 a
0.8 mg/mL	2.58±0.36 ab	230.00±42.64 ab	1.88±0.13 ab
7.2 mg/mL	1.92±0.35 b	152.50±23.42 b	1.44±0.13 b

表中数据为平均值±标准误, 同一列后不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法)。Data in the table are mean±SE, and followed by different lowercase letters within the same column indicate significant difference with different treatments ($P < 0.05$, Duncan’s new multiple range test).

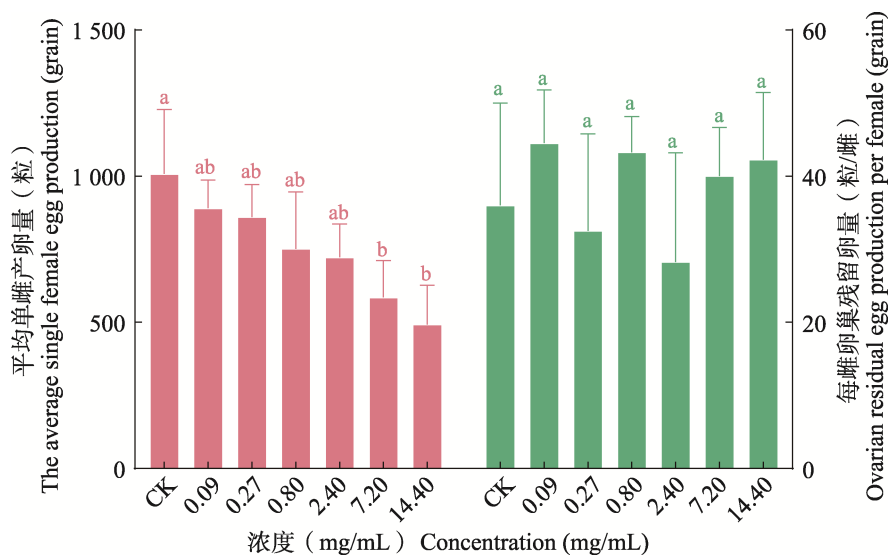


图 3 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾平均单雌产卵量和卵巢残留卵量的影响

Fig. 3 The effects of ethanol extract from *Periplocac cortex* on the average single female egg production and ovarian residual egg production of *Spodoptera frugiperda*

柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法)。Different lowercase letters above the bars indicate significant difference with different treatments ($P < 0.05$, Duncan’s new multiple range test).

3 讨论

求偶交配是昆虫整个生活史中的重要环节, 是两性生殖昆虫种群繁衍的关键点。在长期协同进化过程中, 昆虫的求偶交配行为不仅与其内部生理因素相关, 还受寄主植物和温度等外界因素的影响 (Rafaeli, 2009)。研究显示, 一些非寄主植物的次生代谢物可有效推迟昆虫的求偶行为, 缩短求偶时间 (Sadek and Andersn, 2007, 李晓颖等, 2011), 如粉纹夜蛾 *Trichoplusia ni* 在非寄主植物上的求偶开始时间晚于在寄主植

物上 (Landolt *et al.*, 1994)。此外, 这些物质还能够显著抑制昆虫的交配行为或使昆虫不育, 导致昆虫产卵量显著下降 (Steffens, 1982; 雍小菊等, 2012), 如大蒜精油活性物质二烯丙基三硫醚和二烯丙基二硫醚可显著干扰麦蛾 *Sitotroga cerealella* 的交配节律, 对麦蛾的交配次数、求偶率和交配时间产生抑制作用(常蒙蒙, 2016)。本研究中, 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫的求偶行为未产生显著影响, 但可显著减少其交配持续时间和有效交配次数, 降低交配率, 导致产卵量下降。这表明香加皮乙醇

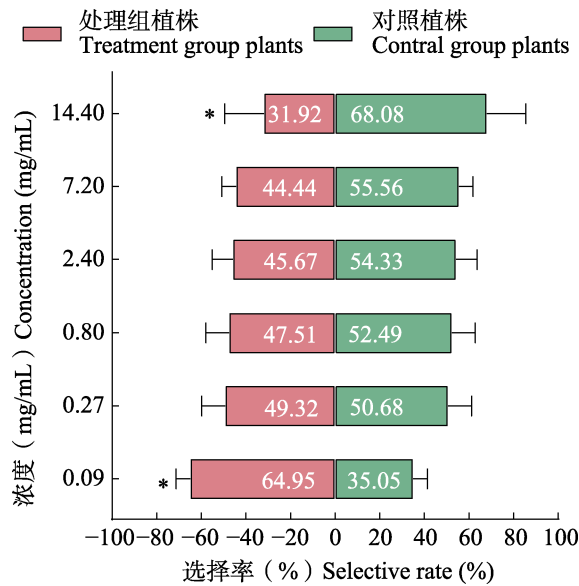


图 4 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾雌成虫产卵选择的影响

Fig. 4 Repellent effect of ethanol extracts from *Periplocacortex* on oviposition selection of *Spodoptera frugiperda*

*代表同一网笼内处理植株和对照植株

落卵率差异显著 ($P < 0.05$, t 检验)。

* indicates the eggs laid rate between the treated plants and the control plants in the same net cage have significant differences ($P < 0.05$, t -test).

提取物中可能含有对草地贪夜蛾雌成虫的生殖行为具有显著抑制作用的指纹化合物,并可能通过雌雄成虫之间的性通讯系统参与害虫的嗅觉行为调控。研究发现,昆虫持续暴露在高浓度的非寄主植物次生代谢物环境中,对周围某些化合物的反应可能会比对性信息素的反应强烈得多,影响交配状态和行为,导致雌成虫生育能力降低(华容胜等, 2010)。非寄主植物活性物质可能具备类似雄性昆虫“交配因子”的功能,从而降低雌虫对其他雄虫的接受意愿(刘金林, 2019),甚至会竞争性地结合雄虫体内的性信息素结合蛋白,使处于性兴奋阶段的雄虫被迷惑,影响雌虫卵黄蛋白合成、交配次数和卵的受精率,降低其产卵数量(常蒙蒙, 2016; Ma *et al.*, 2016)。

昆虫可通过嗅觉神经元感受植物挥发物,从而调控昆虫的多种行为,如对寄主信号的识别和产卵位置选择等,但这一过程受植物次生代谢物浓度反应阈值的限制(Santos *et al.*, 2014)。

研究表明,非寄主植物在不同的时空条件下会释放不同的化学指纹图谱,增加昆虫寄主搜寻时的空间阻隔效果,导致昆虫在寻找和定位寄主时消耗更多的能量(Pickett and Khan, 2016)。一些非寄主植物的次生代谢物质在低浓度时对昆虫产卵表现出引诱作用,高浓度时则会导致雌雄成虫生理不适,影响雌虫对产卵场所的有效评估,降低交配质量和产卵能力,表现出抑制和忌避等干扰作用(Villella and Hall, 2008; Minoli *et al.*, 2012; 何超等 2018; 孙小旭等, 2018; 杨雪等, 2021)。本研究表明,香加皮乙醇提取物不仅显著降低了草地贪夜蛾雌成虫的产卵量,而且对其产卵选择也具有显著干扰作用。其中, 0.09 mg/mL 浓度处理表现出一定的引诱生物活性, 14.4 mg/mL 浓度表现出显著的忌避作用,是一种常见的低浓度引诱和高浓度驱避的调控现象。未来还需进一步围绕香加皮乙醇提取物活性成分开展草地贪夜蛾生殖行为调控机制的研究,以更精确地评估香加皮乙醇提取物在防治草地贪夜蛾方面的应用前景,并开发创制成新型害虫嗅觉行为调控剂。

参考文献 (References)

- Chang MM, 2016. Study on ovipositional inhibition by active substances from garlic essential oil against *Sitotroga cerealella*. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [常蒙蒙, 2016. 大蒜精油活性物质抑制麦蛾产卵作用的研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Gregg PC, Del Socorro AP, Hawes AJ, Binns MR, 2016. Developing bisexual attract-and-kill for polyphagous insects: Ecological rationale versus pragmatics. *Journal of Chemical Ecology*, 42(7): 666–675.
- He C, Shen DR, Yin LH, Yuan SY, Tian XJ, 2018. Effects of non-host plant volatiles on longevity and fecundity of *Assara inouei* Yamanaka. *Journal of Southern Agriculture*, 49(2): 295–300. [何超, 沈登荣, 尹立红, 袁盛勇, 田学军, 2018. 非寄主植物挥发物对井上蛀果斑螟成虫寿命和繁殖力的影响. 南方农业学报, 49(2): 295–300.]
- Hua RS, Qi ZL, Shi LG, 2010. Advance of insect mating factor. *Bulletin of Science and Technology*, 26(4): 556–559. [华荣胜, 戚志良, 时连根, 2010. 昆虫交配因子的研究进展. 科技通报, 26(4): 556–559.]
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JJ, Zhang ML, Qiu K, 2019. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Protection*, 45(6): 10–19. [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 李亚红, 杨俊杰, 张曼丽, 邱坤, 2019. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测. 植物保护, 45(6): 10–19.]
- Landolt PJ, Heath RR, Millar JG, Davis-Hernandez KM, Dueben BD,

- Ward KE, 1994. Effects of host plant, *Gossypium hirsutum* L., on sexual attraction of cabbage looper moths, *Trichoplusia ni* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Chemical Ecology*, 20(11): 2959–2974.
- Li CY, Zhang YP, Huang SH, Liu WL, Su XN, Pan ZP, 2019. A study on artificial rearing technique of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in the laboratory. *Journal of Environmental Entomology*, 41(5): 986–991. [李传瑛, 章玉萍, 黄少华, 刘伟玲, 苏湘宁, 潘志萍, 2019. 草地贪夜蛾室内人工饲养技术的研究. 环境昆虫学报, 41(5): 986–991.]
- Li XY, Wang ZG, Bi YG, Yan AH, 2011. Inhibition of growth and fecundity by seven non-host plant volatiles against peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura. *Journal of Hebei Agricultural University*, 34(5): 73–77. [李晓颖, 王志刚, 毕拥国, 阎爱华, 2011. 7 种非寄主植物挥发物对桃小食心虫繁殖与发育的影响. 河北农业大学学报, 34(5): 73–77.]
- Liu JL, 2019. Effects and evaluation of plant volatiles of *alnus ferdinandi-coburgii* on ovary and post-embryonic development of *Tomicus yunnanensis* (Coleoptera: Scolytidae). Master dissertation. Yunnan: Southwest Forestry University. [刘金林, 2019. 川滇桤木气味活性物质对云南切梢小蠹卵巢及胚后发育的影响与评价. 硕士学位论文. 云南: 西南林业大学.]
- Liu SQ, Zhang Y, Liao XL, Bo LY, 2016. Research status and application prospects of botanical pesticides in China. *Hunan Agricultural Sciences*, 2016(2): 115–119. [刘双清, 张亚, 廖晓兰, 柏连阳, 2016. 我国植物源农药的研究现状与应用前景. 湖南农业科学, 2016(2): 115–119.]
- Ma M, Chang MM, Lei CL, Yang FL, 2016. A garlic substance disrupts odorant-binding protein recognition of insect pheromones released from adults of the Angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Insect Molecular Biology*, 25(5): 530–540.
- Minoli S, Kauer I, Colson V, Party V, Renou M, Anderson P, Gadenne C, Marion-Poll F, Anton S, 2012. Brief exposure to sensory cues elicits stimulus-nonspecific general sensitization in an insect. *PLoS ONE*, 7(3): e34141.
- Pickett JA, Khan ZR, 2016. Plant volatile-mediated signalling and its application in agriculture: Successes and challenges. *New Phytologist*, 212(4): 856–870.
- Qin YJ, Yang DC, Kang DL, Zhao ZH, Zhao ZH, Yang PY, Li ZH, 2020. Potential economic loss assessment of maize industry caused by fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(1): 69–73. [秦誉嘉, 杨冬才, 康德琳, 赵紫华, 赵中华, 杨普云, 李志红, 2020. 草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失评估. 植物保护, 46(1): 69–73.]
- Rafaeli A, 2009. Pheromone biosynthesis activating neuropeptide (PBAN): Regulatory role and mode of action. *General and Comparative Endocrinology*, 162(1): 69–78.
- Roitberg BD, 2007. Why pest management needs behavioral ecology and vice versa. *Entomological Research*, 37(1): 14–18.
- Sadek MM, Anderson P, 2007. Modulation of reproductive behaviour of *Spodoptera littoralis* by host and non-host plant leaves. *Basic and Applied Ecology*, 8(5): 444–452.
- Santos GKN, Dutra KA, Lira CS, Lima BN, Napoleão TH, Paiva PMG, Maranhão CA, Brandão SSF, Navarro DMAF, 2014. Effects of *Croton rhamnifolioides* essential oil on *Aedes aegypti* oviposition, larval toxicity and trypsin activity. *Molecules*, 19(10): 16573–16587.
- Shi WP, 2020. How greedy are the fall armyworm? *Journal of Plant Protection*, 47(4): 687–691. [石旺鹏, 2020. 草地贪夜蛾到底有多“贪”? 植物保护学报, 47(4): 687–691.]
- Steffens H, 1982. Electron microscope investigation of synapses, synapse-like structures, and possible sites of release of neurosecretory material in the buccal Ganglia of *Helix pomatia* (Mollusca). *Zoomorphology*, 99(2): 145–153.
- Sun XX, Zhang XG, Li X, Dou YC, Dong WX, 2018. Effects of leaf volatiles from blue gum *Eucalyptus globulus* on oviposition choices of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera*. *Journal of Plant Protection*, 45(3): 576–584. [孙小旭, 张秀歌, 李祥, 窦元春, 董文霞, 2018. 蓝桉叶片挥发物对棉铃虫产卵选择行为的影响. 植物保护学报, 45(3): 576–584.]
- Villella A, Hall JC, 2008. Neurogenetics of courtship and mating in *Drosophila*. *Advances in Genetics*, 62: 67–184.
- Wang T, 2017. Study on insecticidal toxicity preparation of two new pesticides and periplocoside active ingredients with *Plutella xylostella*. Master dissertation. Yangling: Northwest A&F University. [汪涛, 2017. 两种新型杀虫剂与杠柳活性成分混用对小菜蛾的配方筛选研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Yan X, Gu XH, Han RC, 2019. Research in using entomopathogenic nematodes to control the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Environmental Entomology*, 41(4): 695–700. [颜珣, 谷星慧, 韩日畴, 2019. 昆虫病原线虫防治草地贪夜蛾的研究进展. 环境昆虫学报, 41(4): 695–700.]
- Yang B, Liu Y, Wang B, Wang GR, 2020. Olfaction-based behaviorally manipulated technology of pest insects: Research progress, opportunities and challenges. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 34(4): 441–446. [杨斌, 刘杨, 王冰, 王桂荣, 2020. 害虫嗅觉行为调控技术的研究现状、机遇与挑战. 中国科学基金, 34(4): 441–446.]
- Yang X, Wang ZG, Yu S, Zhao JL, Pan WD, Li G, 2021. Bioactivity of seven plant essential oils against *Drosophila melanogaster* and analysis of their chemical constituents. *Plant Protection*, 47(6): 190–195, 212. [杨雪, 王照国, 余帅, 赵江林, 潘卫东, 李龚, 2021. 7 种植物精油对黑腹果蝇驱避/引诱活性及其化学成分分析. 植物保护, 47(6): 190–195, 212.]
- Yin HC, Li WJ, Xu M, Xu D, Wan P, 2021. Electroantennogram and olfactory response of *Apolygus lucorum* and *Adelphocoris suturalis* to extracts of five plants. *Plant Protection*, 47(6): 134–140. [尹海辰, 李文静, 许敏, 许冬, 万鹏, 2021. 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. 植物保护, 47(6): 134–140.]
- Yong XJ, Zhang YQ, Ding W, 2012. Repellent and oviposition deterrent properties of scopolin to *Tetranychus cinnabarinus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(2): 422–427. [雍小菊, 张永强, 丁伟, 2012. 东莨菪内酯对朱砂叶螨的驱避和产卵抑制活性. 应用昆虫学报, 49(2): 422–427.]
- Yu SJ, Nguyen SN, Abo-Elghar GE, 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 77(1): 1–11.
- Zhou M, 2021. The realistic challenge and countermeasure analysis of the development of biological pesticide in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(1): 184–192. [周蒙, 2021. 中国生物农药发展的现实挑战与对策分析. 中国生物防治学报, 37(1): 184–192.]