

甘蔗、玉米气味对亚洲玉米螟成虫产卵和幼虫取食的影响*

蒋兴川** 谢兴伟** 李 祥 董文霞 肖 春 陈 斌 严乃胜 李正跃***

(云南农业大学植物保护学院 农业生物多样性与病害控制教育部重点实验室 云南省农业生物多样性利用与保护重点实验室昆明 650201)

摘 要 【目的】农作物间套作对害虫的影响很大程度上取决于害虫的行为反应,通过研究玉米/甘蔗套作系统中植物气味对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée)行为的影响,将为利用化学生态手段防治套作田中的害虫提供依据。【方法】通过昆虫触角电位实验、成虫产卵和幼虫取食实验,测定了甘蔗、玉米植株及二氯甲烷漂洗物对亚洲玉米螟成虫产卵、幼虫取食的影响。【结果】亚洲玉米螟成虫在甘蔗植株上的落卵量(卵粒数、卵块数)与玉米植株差异不显著,取食甘蔗植株的幼虫数量显著低于玉米植株。亚洲玉米螟对甘蔗、玉米叶片漂洗物均可产生 EAG 反应,且在同一浓度下的反应值之间无显著差异。成虫产卵量(卵粒数、卵块数)在 0.1 gE/mL 浓度的甘蔗和玉米漂洗物间差异不显著;幼虫对经甘蔗叶片漂洗物处理过的饲料的相对取食率均低于 65.00%,显著低于玉米漂洗物处理的饲料。【结论】甘蔗和玉米气味对亚洲玉米螟产卵的影响没有差异,但甘蔗气味会导致初孵幼虫表现出很强的逃逸行为。

关键词 甘蔗, 玉米, 亚洲玉米螟, 气味, 产卵, 取食

Effect of sugarcane and corn odors on adult oviposition and larval feeding behavior in the Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*)

JIANG Xing-Chuan** XIE Xing-Wei** LI Xiang DONG Wen-Xia XIAO Chun
CHEN Bin YAN Nai-Sheng LI Zheng-Yue***

(College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Agro-Biodiversity and Pest Management of Education Ministry of China, Yunnan Key Laboratory Agro-Biodiversity and Conservation, Kunming 650201, China)

Abstract [Objectives] How plant odors affect the behavior of the Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*) in a sugarcane and corn intercropping system was studied in order to provide information to help control this pest. [Methods] The effect of sugarcane (*Saccharum officinarum*) and corn (*Zea mays*), and a dichloromethane rinse of extracts of these plants, on adult oviposition and the larval feeding behavior in the Asian corn borer was investigated. [Results] There was no difference in the number of eggs (egg number and egg mass) laid on corn leaves and on sugarcane leaves, but significantly less larvae fed on sugarcane leaves than on corn leaves. Both sugarcane and corn extracts elicited EAG responses from adults, but these did not differ when the extracts were at the same concentration. There was no significant difference in the number of eggs (egg number and egg mass) laid by female moths exposed to leaf extract of sugarcane and corn at a concentration of 0.1 gE/mL. The relative feeding rates of larvae were less than 65.00% when fed on an artificial diet treated with sugarcane extract, significantly less than when the same diet was treated with corn extracts. [Conclusion] There was no difference in the oviposition behavior of the Asian corn borer in response to sugarcane and corn odors but first instar larvae showed aversion responses to

* 资助项目: 973 计划项目 (2011CB100404); 云南农业大学学生科技创新创业基金项目 (2013ZK031)

**同等贡献作者, 为并列第一作者, E-mail: jxc678@sina.cn; XXWYJH@163.com

***通讯作者, E-mail: lizhengyue@263.net

收稿日期: 2013-08-27, 接受日期: 2013-12-23

sugarcane odor.

Key words sugarcane (*Saccharum officinarum*), corn (*Zea mays*), Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*), odor, oviposition, feeding

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 属鳞翅目草螟科, 是我国玉米螟的优势种 (全国玉米螟综合防治研究协作组, 1988)。其大发生年可使玉米减产 30% 以上, 造成巨大损失 (中国农作物病虫害编辑委员会, 1979); 同时其食性杂, 寄主范围广, 还可危害棉花、甘蔗、水稻、小麦等多种作物 (王振营等, 2000); 幼虫具有很强的过冷却能力和耐结冰能力 (张洪刚等, 2010)。到目前为止, 在对亚洲玉米螟的防治中, 仍以化学防治为主要措施 (王振营等, 2000)。由于化学防治不仅增加投入, 而且污染环境, 因此, 寻找可持续防治的新途径至关重要 (张颖等, 2010)。

农作物合理间套作不但可以提高作物产量, 而且可以有效控制害虫种群, 从而减轻作物的受害程度 (Risch, 1983; Zhu *et al.*, 2000; 李正跃等, 2009)。近年来, 广西、云南、海南等省逐渐开展甘蔗【*Saccharum officinarum* (L.)】、玉米【*Zea mays* (L.)】间作套种示范试验, 并在广西省 (罗城县、上思县)、云南省 (弥勒县、新平县) 和海南省 (昌江县、白沙县) 等地获得成功 (侯本军等, 2012), 显著提高了经济效益 (李曲等, 2009)。有研究还发现, 甘蔗、玉米间作套种对玉米趾铁甲 *Dactylispa setifera* (Chapuis) (李品清, 2008)、甘蔗绵蚜 *Ceratovacuna lanigera* (Zehntne) (张红叶等, 2011) 均有一定的抑制作用, 然而该种植模式对玉米主要害虫亚洲玉米螟的影响未见报道。

本研究拟测定自然条件下甘蔗和玉米对亚洲玉米螟产卵行为、幼虫取食行为的影响, 通过触角电位仪 (Electroantennogram, EAG) 和自制行为测定装置研究亚洲玉米螟对甘蔗、玉米叶片粗提物的电生理和行为反应, 为从化学生态方面解释甘蔗、玉米套作对亚洲玉米螟行为的影响提供数据支持, 并为进一步研究这些物质对亚洲玉米螟行为的影响奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试植物 甘蔗 (新台糖 22 号) 和玉米 (会单 4 号) 均为云南常用的种植品种, 采用包家爱和林琳 (2011) 的种植方法, 并稍作改进: 甘蔗在光照培养箱中催芽 10 d 后, 选取长势一致的甘蔗芽隔行种植于温室内, 行距 1 m, 株距 25 cm, 种植后覆盖地膜; 30 d 后在光照培养箱中催芽玉米, 并于 5 d 后选取长势一致的玉米芽隔行与甘蔗间作, 行距 1 m, 株距 25 cm, 种植后覆盖地膜。实验期间不喷洒任何农药, 植物长势良好。

1.1.2 供试虫源 亚洲玉米螟采自云南农业大学后山农场玉米试验田, 室内采用宋彦英等 (1999) 的半人工饲料在温度 (26 ± 1) °C、相对湿度 (70 ± 10) %、光周期 14L: 10D 的人工气候箱内连续饲养多代, 成虫饲以 10% 蜂蜜水。产卵实验选取羽化正常、健康、能正常飞行的已交配雌蛾, 幼虫取食实验选择初孵幼虫, 触角电位实验均选取已经交配的雌、雄蛾。

1.2 方法

1.2.1 温室笼罩产卵实验 在甘蔗分蘖期和玉米拔节期, 用纱网笼 (60 目, 1.6 m × 1.6 m × 2.0 m) 罩上 6 株甘蔗和 6 株玉米 (甘蔗和玉米株高接近, 约为 50 cm), 然后接入已交配的亚洲玉米螟 3 日龄雌、雄成虫各 30 头, 次日调查甘蔗、玉米植株叶片上的落卵量 (卵粒数、卵块数), 重复 6 次。甘蔗 (或者玉米) 的落卵百分率 = 甘蔗 (或者玉米) 上落卵量 / (玉米上落卵量 + 甘蔗上落卵量) × 100%。

1.2.2 温室笼罩幼虫取食实验 在甘蔗分蘖期和玉米拔节期, 用上述纱网笼罩上 6 株甘蔗和 6 株玉米, 然后在每株甘蔗、每株玉米上各接入 15 头初孵幼虫, 单笼内共接入 180 头幼虫, 4 d

后调查笼内甘蔗和玉米植株上的幼虫数, 重复 6 次。

1.2.3 甘蔗、玉米叶片挥发物的收集 溶剂漂洗法参照 Udayagiri 和 Mason (1995) 的方法, 并稍作改进: 选取甘蔗分蘖期和玉米拔节期的第 2 至 4 片叶作为供试材料(从上向下编号叶片, 其中心叶记为第 1 片叶), 实验时剪取、称量 100 g 健康叶片带回实验室, 在 3 个存有二氯甲烷(色谱纯, 99.99%)的烧杯中依次漂洗叶片 5~10 s, 然后用滤纸过滤 2 遍。用氮吹法将叶片粗提物浓缩至 10 gE/mL (即 1 mL 浓缩液相当于 10 g 植物叶片)(薛伟伟等, 2009); 随后用二氯甲烷将粗提物依次稀释成 1 gE/mL、0.1 gE/mL, 在 -20℃ 冰箱中保存备用。上述所有实验操作均在存有冰块的冰盒中进行, 处理和对照各设 4 次重复。

1.2.4 成虫对甘蔗、玉米叶片粗提物的触角电位反应 触角电位反应参照张颖等(2010)的方法, 并稍作改进: 将亚洲玉米螟成虫的触角由基部剪下, 去除端部 2 个鞭节后与触角电位仪连接。测定时, 取 20 μ L 待测样品溶液, 均匀涂在滤纸条(6.0 cm×0.5 cm)上, 立即将滤纸条放入巴斯德管内, 然后将巴斯德管连接在刺激气流上。测量时, 刺激气流的流量 1 150 mL/min, 连续气流的流量为 850 mL/min; 待基线稳定后给予刺激, 用脚踏板人为控制刺激, 保持每次刺激时间为 0.2 s, 连续 2 次刺激的时间间隔为 30 s 以上。同一根触角中待测样品的顺序为二氯甲烷(1 次)、反-2-己烯-1-醛(1 次)、玉米(3 次)、反-2-己烯-1-醛(1 次)、甘蔗(3 次)、反-2-己烯-1-醛(1 次)、二氯甲烷(1 次), 其中二氯甲烷为对照, 反-2-己烯-1-醛(0.1 g/mL)为参照化合物, 玉米和甘蔗的浓度相同且每测 1 根触角后互换检测顺序。每头成虫取用 1 根触角, 至少重复 15 根触角。得到的 EAG 信号经放大器(Syntech CS-55)放大, 展示于示波器上, 并通过 Syntech 公司提供的软件对各样品的 EAG 反应值进行标准化校正, EAG 反应相对值=(样品的反应值-对照的反应值)/(参照物的反应值-对照的反应值)×100%(付晓伟等, 2008)。

1.2.5 叶片粗提物的诱蛾产卵活性实验 产卵实验参照 Udayagiri 和 Mason (1997) 的方法, 并稍作改进: 用铁丝、圆形塑料板和纱网制作成圆柱状产卵笼(10 cm×20 cm, 图 1), 并在产卵笼两端塑料板内侧贴上保鲜膜; 21:00 进行实验, 先在笼子两端的保鲜膜上各均匀涂抹 200 μ L 待测粗提物和二氯甲烷(对照), 然后接入羽化 2 d 且已交配的亚洲玉米螟雌蛾 5 头, 并在笼子中间放 1 块浸有蜂蜜水的脱脂棉以供雌蛾补充营养; 最后将产卵笼置于黑暗的产卵室内, 产卵室内放置加湿器以保持合适的湿度。次日上午 7:00 取下笼中保鲜膜统计处理和对照端的落卵量(卵粒数、卵块数), 计算平均落卵量。实验前以空气为空白对照, 检测二氯甲烷对成虫产卵的影响。每个浓度至少重复 6 组。以产卵刺激指数(Oviposition index, OSI)来衡量待测粗提物对雌蛾产卵选择反应的刺激或抑制作用(Udayagiri and Mason, 1997), 其计算公式为: $OSI = (\text{处理端落卵量} - \text{对照端落卵量}) / (\text{处理端落卵量} + \text{对照端落卵量}) \times 100$ 。(产卵反应指数值为: $-100 \leq OSI \leq +100$ 。当 $OSI=0$ 时, 表明待测粗提物对雌蛾的产卵选择行为没有影响; 当 $OSI<0$ 时, 表明待测粗提物对雌蛾的产卵选择行为具有抑制作用; 相反, 当 $OSI>0$ 时, 表明待测粗提物对雌蛾的产卵选择行为具有刺激作用。)

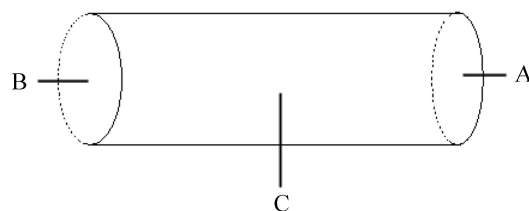


图 1 产卵笼示意图

Fig. 1 Diagram of oviposition cage

注: A, B: 涂有待测物质的保鲜膜; C: 成虫活动区。

A, B: The plastic wrap treated with test material;
C: Female active region.

1.2.6 叶片粗提物的幼虫取食实验 选择 0.1、1 和 10 gE/mL 浓度的甘蔗、玉米粗提物进行实验,

将同一浓度甘蔗、玉米粗提物进行比较,选取等量二氯甲烷为对照;实验时抽取 200 μL 待测物均匀涂抹在 1 条长方体状人工饲料 (0.8 cm $\times$ 0.8 cm $\times$ 3.0 cm) 表面,每种物质涂抹 2 条饲料;并将这 6 条人工饲料等距离随机放入同一个圆柱状玻璃瓶 (d $\times$ h=6 cm $\times$ 8 cm) 中,然后接入 100 头初孵幼虫,盖上瓶盖,4 d 后统计饲料上幼虫数量。实验重复 6 组。数据计算方法参照周弘春等 (2003) 的公式,相对取食率 (y) = 处理 (甘蔗或者玉米) 端幼虫数/对照 (二氯甲烷) 端幼虫数 $\times$ 100%。

1.3 数据处理

实验数据采用 Excel 和 SPSS 17.0 软件进行分析,利用 t -检验和 Duncan's 新复极差法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 亚洲玉米螟在甘蔗、玉米植株上的产卵行为

亚洲玉米螟在玉米植株叶片上卵块数和卵粒数所占比例分别为 53.97% 和 55.80%,稍高于在甘蔗植株叶片上的产卵对应比例,但方差分析表明亚洲玉米螟在两种植物上的产卵比例差异

不显著 ($P > 0.05$, 图 2)。

2.2 亚洲玉米螟的幼虫在甘蔗、玉米植株上的取食行为

甘蔗植株上的幼虫数较少,仅为 (27.66 $\pm$ 2.68) 头/6 株,显著低于玉米上的幼虫数 ($P < 0.05$, 图 3)。可能是由于甘蔗不利于初孵幼虫取食,从而导致幼虫出现逃逸行为。

2.3 亚洲玉米螟成虫对甘蔗、玉米叶片粗提物的 EAG 反应

亚洲玉米螟雌、雄成虫对不同浓度的甘蔗、玉米叶片粗提物均能产生 EAG 反应;其反应值为 0.3 ~ 0.7 mV,且均高于对照二氯甲烷的反应值,说明亚洲玉米螟雌、雄成虫触角均能感受到不同浓度的甘蔗、玉米叶片粗提物的刺激。

雌虫、雄虫对叶片粗提物的反应相对值均随其浓度的升高而增高,其中雌蛾对 10 gE/mL 的甘蔗叶片粗提物的反应相对值最高,达到 69.92% $\pm$ 11.29%;在同一叶片粗提物中,雌虫对其的反应相对值稍高于雄蛾;而在同一浓度下,成虫对甘蔗的反应相对值稍高于其对玉米,但方差分析结果显示,上述差异均未达到显著水平 ($P > 0.05$, 表 1)。

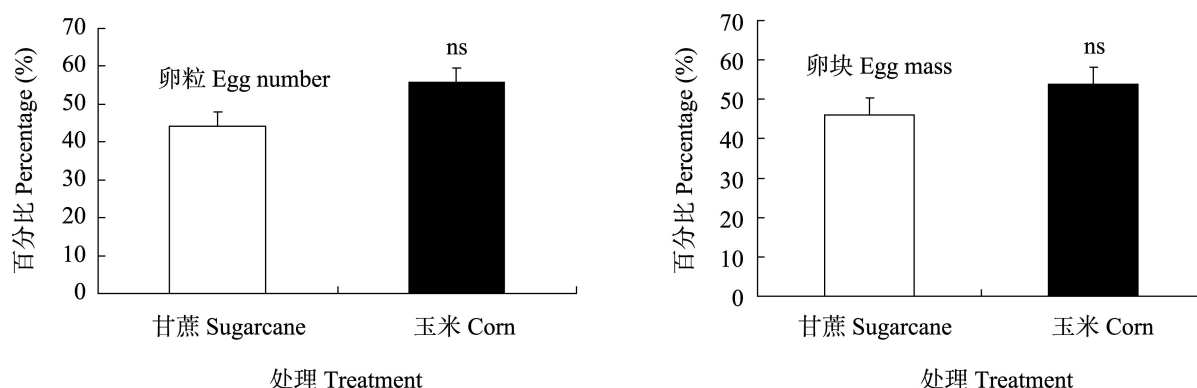


图 2 亚洲玉米螟在甘蔗和玉米叶片上的产卵比例

Fig. 2 Oviposition percentage of female *Ostrinia furnacalis* on the leaves of sugarcane and corn

图中数据为平均数 $\pm$ 标准误,下同。“ns”表示产卵比例在甘蔗和玉米间经 t -检验差异不显著 ($P > 0.05$)。

The data in the figure are mean $\pm$ SE. The same below. “ns” shows no significant difference between the oviposition percentage of the moths on the sugarcane and those on the corn by t -test ($P > 0.05$).

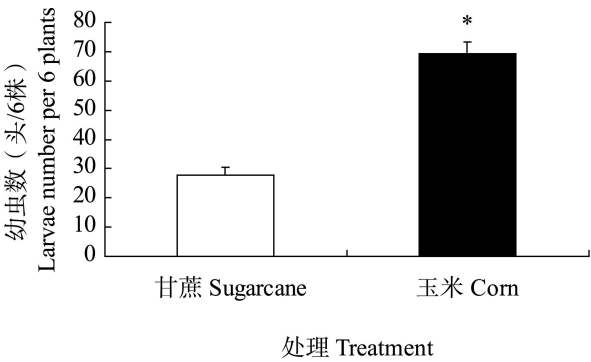


图3 甘蔗和玉米植株上的亚洲玉米螟幼虫数
Fig. 3 The number of *Ostrinia furnacalis* larvae in the plant of sugarcane and corn

“*”表示亚洲玉米螟幼虫数量在甘蔗和玉米间经 *t*-检验差异显著 ($P < 0.05$)。
“*” shows significant difference between the number of larvae in sugarcane and that in corn by *t*-test ($P < 0.05$).

2.4 甘蔗、玉米叶片粗提物对亚洲玉米螟的产卵影响

亚洲玉米螟雌虫在二氯甲烷处理端的卵块数、卵粒数所占比例依次为 45.32%和 45.41%，稍低于空气对照端；但无论是卵块数还是卵粒数，处理与对照差异均不显著 ($P > 0.05$)。本研究通过卵块数、卵粒数分别计算了产卵刺激指数，所得结果的规律基本一致(图 4)。在 1.0、10.0 gE/mL 的甘蔗叶片粗提物上，雌虫的产卵刺

激指数均小于 0，而在 0.1 gE/mL 粗提物上的产卵刺激指数大于 0；其中雌虫在 0.1、10.0 gE/mL 甘蔗叶片粗提物上的产卵量（卵块数、卵粒数）与二氯甲烷间均存在显著差异 ($P < 0.05$ ，图 4)，说明 0.1 gE/mL 的甘蔗粗提物能明显引诱雌虫落卵，而 10.0 gE/mL 的甘蔗粗提物却显著驱避其产卵。在不同浓度的玉米叶片粗提物上，亚洲玉米螟雌虫的产卵刺激指数均大于 0，其中雌虫在 0.1、1.0 gE/mL 的叶片粗提物上的产卵量均与二氯甲烷间存在显著差异 ($P < 0.05$ ，图 4)，说明 0.1、1.0 gE/mL 浓度的玉米粗提物能显著引诱亚洲玉米螟雌虫产卵。

为了探明亚洲玉米螟雌虫对 0.1 g E/mL 甘蔗和 0.1 gE/mL 玉米叶片漂洗物的产卵选择情况，作者继续进行了行为测定实验，结果发现：雌虫在甘蔗端的卵块数、卵粒数所占比例依次为 56.71%和 50.14%，与其在玉米端对应的产卵比例间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.5 甘蔗、玉米叶片粗提物对亚洲玉米螟幼虫的取食影响

在同一浓度下，幼虫对甘蔗叶片粗提物的相对取食率均低于对玉米叶片粗提物的相对取食率，且两者存在显著性差异 ($P < 0.05$ ，图 5)。幼虫在甘蔗不同浓度叶片粗提物上的相对取食率均低于 65.00%，其中 1.0 gE/mL 甘蔗叶片粗提

表1 亚洲玉米螟对甘蔗及玉米叶片粗提物的 EAG 反应相对值 (%)
Table 1 The EAG relative potential of *Ostrinia urnacalis* to leaves extracts of sugarcane and corn (%)

浓度 (gE/mL) Concentrations	样品 Samples	交配雌蛾 Mated female moths	交配雄蛾 Mated male moths
0.1	甘蔗 Sugarcane	45.49±5.36 ab	42.17±6.18 b
	玉米 Corn	41.24±6.19 b	39.03±4.97 b
1.0	甘蔗 Sugarcane	60.82±8.83 a	55.67±9.46 a
	玉米 Corn	56.73±10.15 a	53.07±8.16 a
10.0	甘蔗 Sugarcane	69.92±11.29 a	65.45±10.93 a
	玉米 Corn	64.47±10.85 a	60.43±11.89 a

数据后标有不同小写字母表示 EAG 反应相对值在不同处理间经邓肯氏新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。
Data followed by different lowercase letters indicate significant difference among the EAG relative potentials of different treatments by Duncan’s new multiple range test ($P < 0.05$).

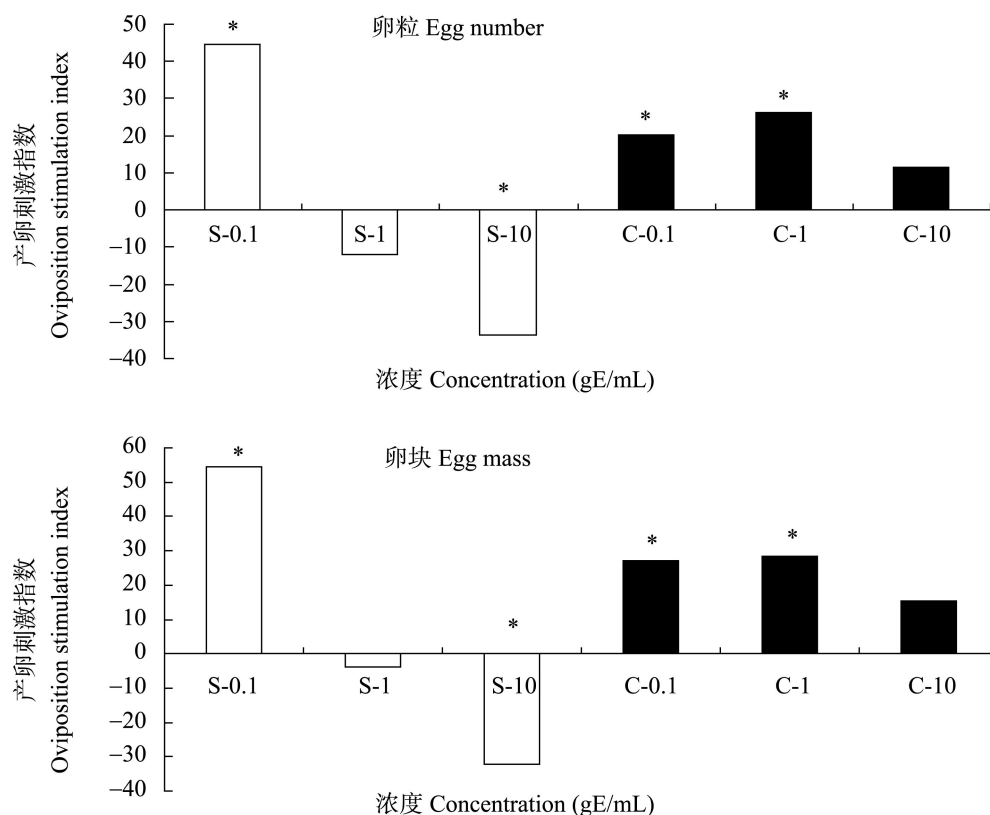


图 4 亚洲玉米螟雌虫对甘蔗、玉米不同浓度叶片粗提物的产卵反应

Fig. 4 Oviposition responses of *Ostrinia furnacalis* females to leaves extracts from sugarcane and corn at different concentrations

S: 甘蔗分蘖期; C: 玉米拔节期; 0.1、1、10: 叶片粗提物的不同浓度; 下同。“*”表示亚洲玉米螟雌虫的产卵量在处理端和对照端经 t -检验差异显著 ($P < 0.05$)。

S: Sugarcane tillering stage; C: Corn elongation stage; 0.1, 1, 10: Different concentrations of leaves extract. The same below.

* shows significant difference between the number of eggs on the treatment and that on the control by t -test ($P < 0.05$).

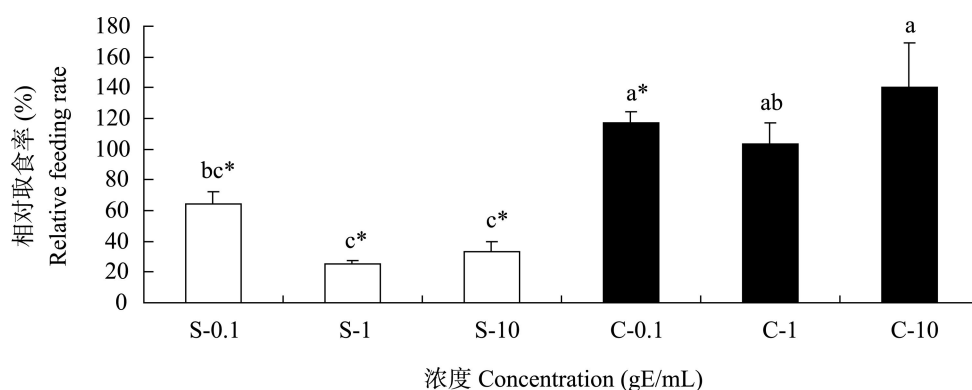


图 5 亚洲玉米螟幼虫对甘蔗、玉米不同浓度叶片粗提物的相对取食率

Fig. 5 Relative feeding rate of *Ostrinia furnacalis* larvae to the leaves extract from sugarcane and corn at different concentrations

“*”表示取食量在处理端和对照端经 t -检验差异显著; 不同小写字母表示相对取食率在不同处理间经邓肯氏新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。

“*” shows significant difference between the feeding amount of the treatment and that of the control by t -test, and histograms with different lowercase letters show significant difference among the relative feeding rate of different treatments by Duncan's new multiple range test ($P < 0.05$).

物的相对取食率最小 ($25.24\% \pm 2.46\%$) ; 同时在涂有甘蔗叶片粗提物的饲料上的幼虫数量显著低于在二氯甲烷上的数量 ($P < 0.05$, 图 5), 说明不同浓度的甘蔗叶片粗提物对亚洲玉米螟幼虫取食均具有驱避作用。

而幼虫对玉米不同浓度叶片粗提物的相对取食率均高于 100.00%, 其中 10.0 gE/mL 玉米叶片粗提物的相对取食率为最大值 ($140.18\% \pm 29.31\%$) ; 研究结果表明, 幼虫在涂有 0.1 gE/mL 玉米叶片粗提物的饲料上的数量显著高于其在二氯甲烷上的数量 ($P < 0.05$, 图 5), 说明此浓度的玉米叶片粗提物能吸引幼虫取食。

3 讨 论

多样性种植模式下植物释放的挥发物等次生性化学物质可以对昆虫的定向、交配、产卵、迁移等行为产生影响, 从而影响昆虫对作物的危害程度 (董文霞等, 2013)。影响昆虫选择产卵场所的因素很多, 其中化学刺激在调节昆虫的产卵行为过程中起着重要的作用 (张庆贺和姬兰柱, 1994); 抱卵雌虫对植物的着落行为上很大程度受到植物释放的挥发物等因素的影响 (Dethier, 1982)。本研究结果表明, 在自然和室内 (0.1 gE/mL 浓度) 条件下, 亚洲玉米螟均能在甘蔗和玉米上产卵, 且产卵量在两者间差异不显著, 可能是由于亚洲玉米螟的触角、产卵器等接触化感器对两种植物及其粗提物均有反应, 且很难区分两种植物间的差异。研究发现: 甘蔗粗提物对亚洲玉米螟的产卵诱集作用在 0.1 gE/mL 至 10 gE/mL 浓度范围内呈现出随叶片粗提物浓度升高而降低的趋势, 这与张颖等 (2010) 关于蕉藕对亚洲玉米螟的产卵诱集作用结果一致。在本研究中还发现, 玉米粗提物对亚洲玉米螟的产卵诱集作用在 0.1 gE/mL 至 10 gE/mL 浓度范围内表现出先增加后减小的趋势, 这可能是由于昆虫对寄主植物挥发性物质的反应都有一个最佳剂量范围, 低于该范围时, 反应率会随剂量的增加而逐渐升高, 高于此范围时, 反应率又

会随剂量的增加而下降 (Fan *et al.*, 2003)。

昆虫的取食行为是昆虫生理代谢中的第一个环节, 与各种生理代谢活动组成了一个反馈链, 故取食不仅是一个行为过程, 同时也是一个生理过程 (李云寿和胡萃, 1990)。本研究发现, 相对玉米而言, 含有甘蔗叶片粗提物的饲料及甘蔗植株上的亚洲玉米螟初孵幼虫活虫数量均较少; 同时, 幼虫的死亡率却相对较高; 说明甘蔗不利于其取食, 可能是由于甘蔗里存在某种对初孵幼虫有毒害作用的物质, 从而影响初孵幼虫的取食。

昆虫的触角在其寄主定位、取食、求偶及产卵场所的选择等方面具有重要意义, 而触角电位技术是直接检测昆虫对挥发物化学信号反应的电生理方法 (田厚军等, 2011)。本研究的电生理反应结果显示, 亚洲玉米螟对甘蔗、玉米不同浓度的叶片粗提物均能产生 EAG 反应, 在同一浓度下其交配雌蛾、交配雄蛾对甘蔗、玉米叶片粗提物的 EAG 反应之间均无显著性差异, 这可能是由于供试刺激物均来自于亚洲玉米螟的寄主植物, 所以对亚洲玉米螟的雌雄蛾都有一定作用。从剂量反应上来看, 对亚洲玉米螟行为测试起较高反应的粗提物浓度并不是引起最高 EAG 反应的浓度, 这可能是由于行为测试是中枢神经系统协调整个有机体而进行的综合反应, 而 EAG 反应仅仅是触角上的感觉器官参与的反应, 两者参与反应的系统不同, 从而导致结果不完全吻合 (郭线茹等, 2003)。

本研究结果表明, 亚洲玉米螟在甘蔗、玉米上均能产卵, 但初孵幼虫对甘蔗表现出很强的逃逸行为, 这可能是由于非适宜寄主甘蔗的叶片粗提物中含有对亚洲玉米螟初孵幼虫具有驱避作用的挥发物组分。作者对甘蔗、玉米叶片粗提物组分的研究表明, 甘蔗叶片与玉米叶片挥发物组分存在差异 (蒋兴川等, 待发表), 但是甘蔗叶片中哪几个组分对亚洲玉米螟幼虫具有驱避作用, 还有待于进一步研究。当鳞翅目昆虫将卵产在非适宜寄主植物上时, 初孵幼虫会通过吐丝下坠的方式离开非适宜寄主, 寻找适宜寄主, 在此

过程中死亡率显著增加 (Zalucki *et al.*, 2002)。在田间甘蔗、玉米套作模式下, 甘蔗叶片上玉米螟初孵幼虫的逃逸行为对其种群数量的影响, 有待于进一步研究。

本研究明确了叶片粗提物对亚洲玉米螟行为的影响, 下一步的工作将分析鉴定叶片漂洗物的化学组成与含量, 并测定玉米螟对各个化学成分的行为反应, 筛选活性组分。在此基础上, 研制出亚洲玉米螟的成虫产卵引诱剂和幼虫取食驱避剂, 对其进行生态治理。

参考文献 (References)

- Dethier VG, 1982. Mechanism of host-plant recognition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 31(1): 49–56.
- Fan H, Li JQ, Jin YJ, 2003. Electrophysiological and behavioral responses of adult *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) to volatile components of host-plant. *Forestry Studies in China*, 5(1): 25–29.
- Risch SJ, 1983. Intercropping as cultural pest control: prospects and limitations. *Environmental Management*, 7(1): 9–14.
- Udayagiri S, Mason CE, 1995. Host plant constituents as oviposition stimulants for a generalist herbivore: European corn borer. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 76(1): 59–65.
- Udayagiri S, Mason CE, 1997. Epicuticular wax chemicals in *Zea mays* influence oviposition in *Ostrinia nubilalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 23(7): 1675–1687.
- Zalucki MP, Clarke AR, Malcolm SB, 2002. Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 47: 361–393.
- Zhu YY, Chen HR, Fan JH, Wang YY, Li Y, Chen JB, Fan JX, Yang SS, Hu LP, Leung H, Mew TW, Teng PS, Wang ZH, Mundt CC, 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406(6797): 718–722.
- 包家爱, 林琳, 2011. 甘蔗间套种鲜食玉米的可行性及关键技术. 广西农学报, 26(3): 29–31, 35. [Bao JA, Lin L, 2011. Feasibility and key technologies of intercropping sugarcane with fresh corn. *Journal of Guangxi Agriculture*, 26(3): 29–31, 35.]
- 董文霞, 徐宁, 肖春, 2013. 作物多样性种植对植食性昆虫行为的影响. 应用昆虫学报, 50(4): 1133–1140. [Dong WX, Xu N, Xiao C, 2013. The effect of diversified cropping on phytophagous insect behavior. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 1133–1140.]
- 付晓伟, 郭线茹, 罗梅浩, 原国辉, 李为争, 吴少英, 2008. 烟夜蛾和棉铃虫对高浓度烟草挥发物的电生理和行为反应. 昆虫学报, 51(9): 902–909. [Fu XW, Guo XR, Luo MH, Yuan GH, Li WZ, Wu SY, 2008. Electrophysiological and behavioral responses of *Helicoverpa assulta* (Guenée) and *H. armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to tobacco volatile compounds of high concentration. *Acta Entomologica Sinica*, 51(9): 902–909.]
- 郭线茹, 原国辉, 蒋金炜, 马继盛, 2003. 植物挥发性次生物质对昆虫触角电位反应的影响. 河南农业大学学报, 37(1): 18–22. [Guo XR, Yuan GH, Jiang JW, Ma JS, 2003. Electroantennogram responses of insects to volatile secondary compounds from plants. *Journal of Henan Agricultural University*, 37(1): 18–22.]
- 侯本军, 林力, 王敏芬, 白翠云, 2012. 套种玉米对甘蔗的影响及经济效益分析. 广东农业科学, (15): 9–10, 13. [Hou BJ, Lin L, Wang MF, Bai CY, 2012. Economic benefits analysis and the influence for sugarcane of intercropping with maize. *Guangdong Agricultural Sciences*, (15): 9–10, 13.]
- 李正跃, M.A. 阿尔蒂尔瑞, 朱有勇, 2009. 生物多样性与害虫综合治理. 北京: 科学出版社. 1–17. [Li ZY, M. A. Altieri, Zhu YY, 2009. Biodiversity and integrated pest management. Beijing: Science Press. 1–17]
- 李曲, 钟东凯, 林家贵, 2009. 甘蔗套种玉米高产栽培技术. 农技服务, 26(9): 4, 6. [Li Q, Zhong DK, Lin JG, 2009. High yield cultivation techniques of Sugarcane intercropping with maize. *Agricultural Technology Service*, 26(9): 4, 6.]
- 李品清, 2008. 扩种甘蔗是控制玉米趾铁甲发生的重要农业防治措施. 广西植保, 21(3): 22–24. [Li PQ, 2008. Expand the planting sugarcane is an important agricultural control measures of maize toe armor. *Guangxi Plant Protection*, 21(3): 22–24.]
- 李云寿, 胡萃, 1990. 茶尺蠖幼虫在茶叶和人工饲料上的取食行为. 云南农业大学学报, 5(2): 89–96. [Li YS, Hu C, 1990. Feeding behavior of tea geometrid larvae in tea and artificial feed. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 5(2): 89–96.]
- 全国玉米螟综合防治研究协作组, 1988. 我国玉米螟优势种的研究. 植物保护学报, 15(3): 145–152. [National integrated control and research collaboration group of corn borer. *Acta Phytophylacica Sinica*, 15(3): 145–152.]
- 宋彦英, 周大荣, 何康来, 1999. 亚洲玉米螟无琼脂半人工饲料的研究与应用. 植物保护学报, 26(4): 324–328. [Song YY, Zhou DR, He KL, 1999. Study and application of semi artificial feed without agar of Asian corn borer. *Acta Phytophylacica Sinica*, 26(4): 324–328.]
- 田厚军, 陈艺欣, 黄玉清, 2011. 昆虫触角电位技术的研究进展. 福建农业学报, 26(5): 907–910. [Tian HJ, Chen YX, Huang YQ, 2011. Advances in electroantennogram (EAG) technique of insect. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 26(5): 907–910.]

- 王振营, 鲁新, 何康来, 周大荣, 2000. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望. 沈阳农业大学学报, 31(5): 402-412. [Wang ZY, Lu X, He KL, Zhou DR, 2000. Review of history, present situation and prospect of the Asian maize borer research in China. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 31(5): 402-412.]
- 薛伟伟, 付晓伟, 罗梅浩, 郭线茹, 原国辉, 2009. 烟草挥发物对 2 近缘种夜蛾产卵行为的影响及其成分分析. 生态学报, 29(11): 5783-5790. [Xue WW, Fu XW, Luo MH, Guo XR, Yuan GH, 2009. Effects of tobacco volatiles on ovipositing behaviors of two sibling *Helicoverpa* species and volatile chemical analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 29(11): 5783-5790.]
- 中国农作物病虫害编辑委员会, 1979. 中国农作物病虫害(上册). 北京: 农业出版社. 492-502. [Editorial Committee of crop pests and diseases in China, 1979. China crop pests and diseases(Volume 1). Beijing: *Agricultural Press*. 492-502.]
- 张洪刚, 鲁新, 何康来, 王振营, 2010. 亚洲玉米螟抗寒及低温生存对策. 植物保护学报, 37(5): 398-402. [Zhang HG, Lu X, He KL, Wang ZY, 2010. Cold hardiness and the strategies of *Ostrinia furnacalis* survival at supercooled temperature. *Acta Phytophylacica Sinica*, 37(5): 398-402.]
- 张颖, 付晓伟, 赵国强, 罗梅浩, 郭线茹, 原国辉, 2010. 蕉藕与几个玉米品种对亚洲玉米螟产卵的诱集作用. 生态学报, 30(2): 408-415. [Zhang Y, Fu XW, Zhao GQ, Luo MH, Guo XR, Yuan GH, 2010. Investigation of the ovipositional attraction of *canna edulis* ker and several maizes to *Ostrinia furnacalis* (Guenée) moths. *Acta Ecologica Sinica*, 30(2): 408-415.]
- 张红叶, 陈斌, 李正跃, 杨进成, 杨坚, 单洪芳, 阮映伟, 郑国良, 2011. 甘蔗玉米间作对甘蔗绵蚜及瓢虫种群的影响作用. 西南农业学报, 24(1): 124-127. [Zhang HY, Chen B, Li ZY, Yang JC, Yang J, Shan HF, Ruan YW, Zheng GL, 2011. Effect of sugarcane plants intercropped with maize on population of *ceratovacuna lanigera* zehntner and *coccinellidae*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 24(1): 124-127.]
- 张庆贺, 姬兰柱, 1994. 植食性昆虫产卵的化学生态学. 生态学杂志, 13(6): 39-43. [Zhang QH, Ji LZ, 1994. Chemical ecology of oviposition of herbivorous insects. *Chinese Journal of Ecology*, 13(6): 39-43.]
- 周弘春, 杜家纬, 黄勇平, 2003. 溴氰菊酯对亚洲玉米螟雄蛾感受雌性信息素的影响. 应用生态学报, 14(5): 725-729. [Zhou HC, Du JW, Huang YP, 2003. Effects of deltamethrin on pheromone perception in male Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(5): 725-729.]