

学习经验处理的绿盲蝽对抗感棉花品种选择研究*

曹 扬^{1,2**} 吴 敌¹ 耿 亭³ 栗爱丽¹ 张永军^{1***} 郭予元¹

(1. 中国农业科学研究院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 2. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海口 571101; 3. 中国农业科学院廊坊科研中试基地, 廊坊 065000)

摘 要 【目的】在室内研究绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) 分别对抗性和敏感棉花品种趋向选择性, 为棉花抗盲蝽品种选育和绿盲蝽的综合治理提供理论依据。【方法】以洁净空气为空白对照, 在室内采用“Y”型嗅觉仪观察记录不同学习经验处理的绿盲蝽对两对棉花品种: 灵-29(抗) vs. 科林08-23(感)、07 生试6号(抗) vs. 抗病单株-1(感)趋向选择性。【结果】有学习经验和无学习经验的绿盲蝽都趋向选择敏感棉花品种, 抗性棉花品种对供试昆虫有显著驱避性; 有/无学习经验的绿盲蝽都显著趋向选择绿盲蝽胁迫危害后代感性棉花品种。【结论】整体上, 健康棉花处理下, 绿盲蝽对抗性品种趋性选择明显低于敏感品种。但是对危害诱导的棉株处理, 并未表现出一致的趋性。

关键词 绿盲蝽, 棉花, 品种(系), 选择趋性

Preference of experienced and inexperienced *Apolygus lucorum* for resistant and susceptible varieties of cotton plants

CAO Yang^{1,2**} WU Di¹ GENG Ting³ LI Ai-Li¹ ZHANG Yong-Jun^{1***} GUO Yu-Yuan¹

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 3. Langfang Scientific Research Trial Station, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Langfang 065000, China)

Abstract [Objectives] To provide a theoretical basis for breeding cotton varieties resistant to *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) and improve the IPM of this pest. [Methods] With pure air as the blank control, we explored the relative preference of experienced or inexperienced *A. lucorum* for the odors of two cotton varieties (lines): Ling-29 (resistant) vs. Kelin08-23 (susceptible), 07 Shengshi6 (resistant) vs. Kangbingdanzhu-1 (susceptible) in a “Y” tube olfactometer. [Results] Both experienced and inexperienced *A. lucorum* significantly preferred the susceptible cotton varieties Kelin08-23 and Kangbingdanzhu-1 to the resistant varieties, Ling-29 and 07 Shengshi. Furthermore, *A. lucorum* significantly preferred susceptible cotton plants that had been previously damaged by *A. lucorum*. [Conclusion] Generally speaking, *A. lucorum* significantly preferred intact susceptible cotton varieties to intact resistant cotton varieties. But *A. lucorum* insignificantly preferred induced susceptible cotton varieties to induced resistant cotton varieties.

Key words *Apolygus lucorum*, cotton, varieties (lines), taxis selection

20 世纪 90 年代中期后, 随着转 Bt 基因抗虫棉的推广普及, 棉田害虫生态系统发生演替, 棉铃虫种群数量明显降低, 原先次要害虫盲蝽(半翅目: 盲蝽科)上升为主要害虫(Wu and Guo,

* 资助项目 Supported projects: 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2012CB114104); 国家自然科学基金项目(31272048, 31471778)

**第一作者 First author, E-mail: caoyang110119@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: yjzhang@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2015-03-19, 接受日期 Accepted: 2015-03-25

2005; Lu *et al.*, 2010)。我国棉田盲蝽主要种类属于后丽盲蝽属 *Apolygus*、草盲蝽属 *Lygus* 和苜蓿盲蝽属 *Adelphocoris* 等 19 个属。其中绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür)、中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* (Jakovlev)、三点盲蝽 *Adelphocoris fasciaticollis* (Reuter) 和苜蓿盲蝽 *Adelphocoris lineolatus* (Goeze) 等为我国黄河流域棉花产区主要为害种群。棉盲蝽以成、若虫口器刺吸棉株的幼嫩器官和生长点并损伤幼蕾/铃, 是造成我国黄河流域棉花产量损失的重要因素。棉盲蝽不仅危害棉花, 还危害苜蓿、枣、樱桃、葡萄、茶树等多种作物(陆宴辉, 2008)。绿盲蝽在黄河流域棉田中棉盲蝽种群中居于优势地位(Lu *et al.*, 2010), 对其进行有效控制是迫在眉睫的课题。在害虫各种防控手段中, 抗虫品种的选育与靶标害虫的行为调控是当前最经济、最有效的治理策略, 已在多种农业害虫的防控实践中发挥重要作用(Khan and Agarwal, 1984; Lu *et al.*, 2008)。本文以绿盲蝽为研究对象, 在室内采用“Y”型嗅觉仪系统研究了不同学习经验的绿盲蝽对两对棉花品种: 灵-29(抗) vs. 科林 08-23(感)、07 生试 6 号(抗) vs. 抗病单株-1(感)(曹扬等, 2012)趋向选择性, 以其为棉花抗盲蝽品种选育和绿盲蝽的综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫及棉花品种

绿盲蝽成虫采自中国农业科学院廊坊科研中试基地(116.7°E, 39.52°N)内葎草、向日葵及绿豆田块, 挑选健康的成虫不分雌雄放置于预先布满滤纸条的 30 cm × 15 cm × 10 cm 大小的塑料盒内, 用 100 目尼龙布封口, 浸水脱脂棉花蘸水保湿。养虫间环境为温度 25~28℃, 相对湿度 60%~70%, 光周期 16L: 8D。参照陆宴辉(2008)选用新鲜四季豆继代饲养, 并定期补充新虫源。选取健康、有活力并且触角完整的 1 日龄绿盲蝽成虫作为供试昆虫。测定前分雌雄随机将单头成虫放入直径 1.5 cm、高 10.0 cm 的平底指形玻璃

管内用纱布封口, 浸水脱脂棉球保湿, 饥饿 10 h 后用于趋向行为测定。

供试的抗盲蝽棉花品种灵-29、07 生试 6 号与感盲蝽棉花品种科林 08-23、抗病单株-1(曹扬等, 2012)均由中国农业科学院新乡有害生物野外观测试验站提供。

1.2 试验条件

各棉花品种在温室内(30±5℃), 相对湿度 60%~70%, 光周期 16L: 8D 的条件下种植于直径 15.0 cm、高 15.0 cm 塑料花盆内, 并将花盆置于 80 目尼龙网笼内, 每盆定苗后保留健康棉株 3 株, 在第 2 片真叶完全展开时喷施缩节胺(0.5 mL×20 mg·kg⁻¹/株)控制株高, 到第 5 片真叶完全展开且未现蕾前用于试验。

1.3 试验方法

1.3.1 昆虫学习处理 供试绿盲蝽雌雄成虫处理设为有学习经验(Experienced)与无学习经验(Non-experienced)两个处理。提前用待测棉花品种叶片饲喂 48 h 设为有学习经验处理, 用新鲜四季豆饲喂 48 h 设为无学习经验处理。

1.3.2 棉株处理及组合 以洁净空气为空白对照(CK), 设健康未受害抗性植株处理; 设健康未受害敏感植株处理; 绿盲蝽取食危害抗性植株处理(每盆棉花接 5 头绿盲蝽成虫, 连续危害 48 h 后去除盲蝽放置 1 h 用于测定)和绿盲蝽取食危害敏感植株处理(同上)。试验处理组合为: 空白对照 vs. 抗性品种、空白对照 vs. 敏感品种、空白对照 vs. 绿盲蝽危害后抗性品种、空白对照 vs. 绿盲蝽危害后敏感品种、抗性品种 vs. 敏感品种、抗性品种 vs. 绿盲蝽危害后抗性品种、敏感品种 vs. 绿盲蝽危害后敏感品种、绿盲蝽危害后抗性品种 vs. 绿盲蝽危害后敏感品种。

1.3.3 “Y”型嗅觉仪测定 参考吴敌等(2010)方法。棉株与嗅觉仪置于 100 cm×100 cm×60 cm 的暗室内, 暗箱顶部 1 m 处平行安置 2 支 40 W(1 500 lx)日光灯管提供光照。室内温度保持在(25±1)℃。每天上午 7:30 去除危害处理棉株上的绿盲蝽成虫, 上午 8:30 将饥饿 10 h 的单

头盲蝽(分雌雄及有无学习经验)放入嗅觉仪基臂观察,当盲蝽处于C管长1/2处开始计时。按照下述标准进行评判:当盲蝽越过A或B臂1/2处且停留5s以上时,记为做出选择反应;当放入盲蝽5min后无明显选择趋向,则记为无反应。每头盲蝽只测试1次,每测试5头将A、B两臂互换位置。每组处理测试雌、雄虫各60头。每日测定完成后用丙酮清洗嗅觉仪及连接胶管,自然晾干过夜。

1.4 数据统计方法

用 χ^2 检验绿盲蝽成虫在两个味源间选择是否呈假设 H_0 为50:50的理论分布,计算 χ^2 值和相应的显著性水平 P 值。

2 结果与分析

从图1可以看出,与空白洁净空气与棉花各处理相比,无学习经验的雄性成虫趋向选择棉花各处理并且呈显著差异($P<0.05$)。抗性品种灵-29与敏感品种科林08-23相比,无学习经验的雄性成虫趋向选择敏感品种科林08-23并且呈极显著差异($P<0.01$)。无学习经验的雄性成虫对绿盲蝽危害后棉花品种趋向选择无明显差异($P>0.05$),无学习经验的雄性盲蝽趋向选择绿

盲蝽危害诱导抗性品种灵-29的数量显著多于未受绿盲蝽危害诱导敏感品种科林08-23($P<0.05$)。在敏感品种vs.绿盲蝽危害后敏感品种选择过程中,学习经验的雄性盲蝽趋向选择绿盲蝽危害诱导敏感品种科林08-23并呈显著差异($P<0.05$)。

在空白洁净空气与棉花各处理相比,有学习经验的雄性成虫趋向选择棉花各处理并且呈显著差异($P<0.05$)。其中,绿盲蝽危害诱导后抗性品种灵-29与洁净空气呈极显著差异($P<0.01$);抗性品种灵-29与敏感品种科林08-23相比,趋向选择敏感品种科林08-23并且呈极显著差异($P<0.05$);受绿盲蝽危害诱导棉花品种,趋向选择危害后敏感品种科林08-23且呈明显差异($P<0.05$);未受绿盲蝽取食诱导品抗性品种灵-29与绿盲蝽危害诱导后抗性品种灵-29相比,趋向选择抗性品种灵-29并呈显著差异($P<0.05$);未受害敏感品种科林08-23与绿盲蝽危害诱导后敏感品种科林08-23相比,趋向选择无显著差异($P>0.05$)(图2)。

从图3可以看出,在空白洁净空气与棉花各处理相比,无学习经验的雌性成虫趋向选择棉花各个处理并且差异显著($P<0.05$);抗性品种灵-29与敏感品种科林08-23相比,无学习经验的

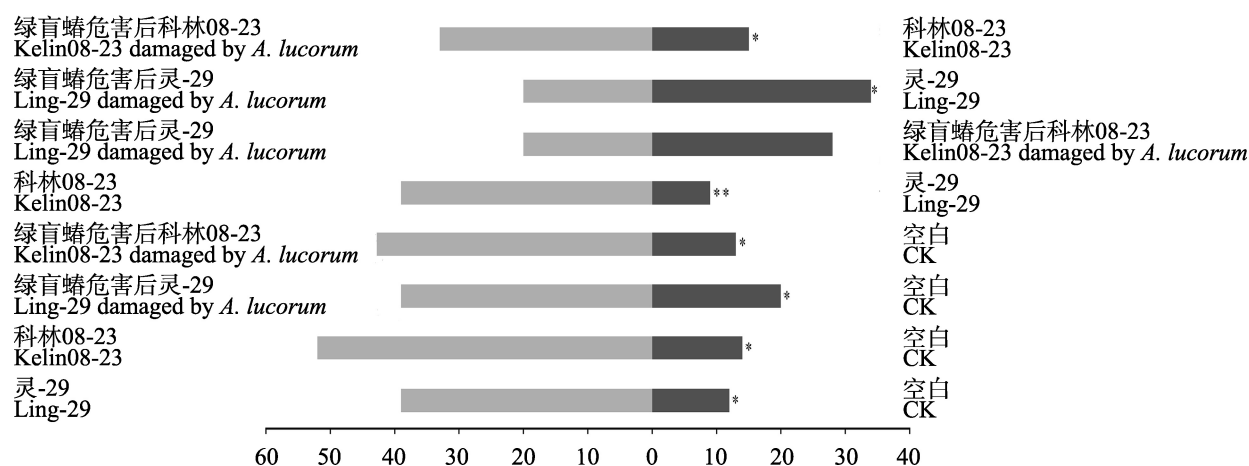


图1 无学习行为雄成虫对灵-29与科林08-23的趋性选择
Fig. 1 Taxis responses of non-experienced male adults to Ling-29 and Kelin 08-23

* $P<0.05$, ** $P<0.01$, 下图同。

* $P<0.05$, ** $P<0.01$. The same below.

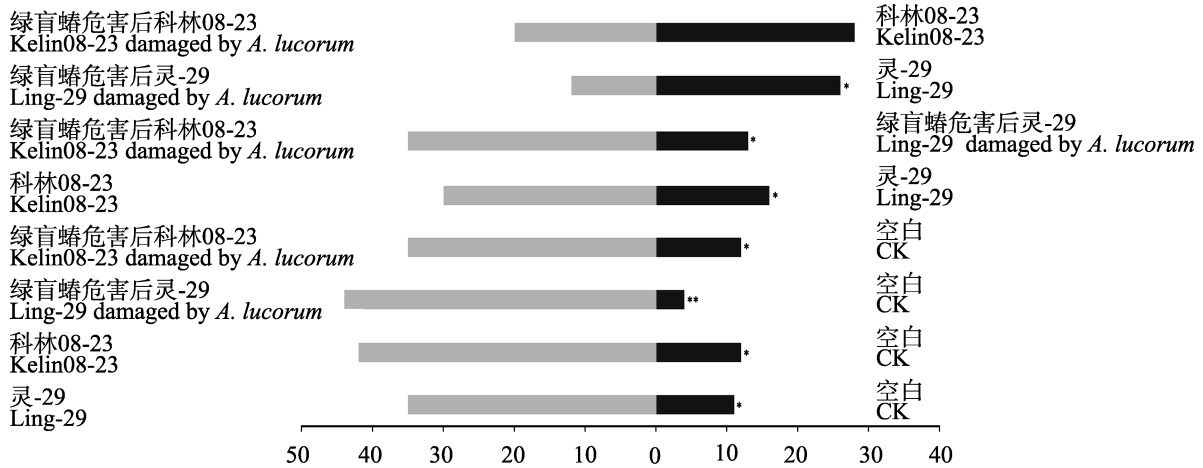


图2 有学习行为雄性成虫对灵-29与科林08-23的趋向选择

Fig. 2 Taxis selection of experienced male adults to Ling-29 and Kelin08-23

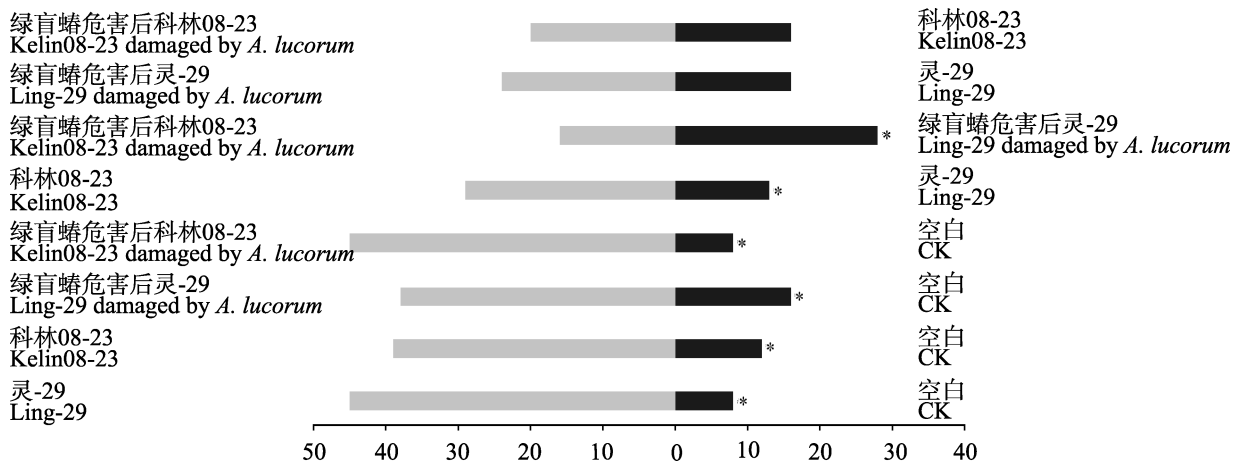


图3 无有学习行为雌性成虫对灵-29与科林08-23的选择结果

Fig. 3 Taxis responses of non-experienced female adults to Ling-29 and Kelin08-23

雌性成虫趋向选择敏感品种科林08-23且差异极显著 ($P < 0.05$); 在受绿盲蝽危害诱导后棉花品种之间, 无学习经验的雌性成虫趋向选择危害后敏感品种科林08-23且呈明显差异 ($P < 0.05$)。

在空白洁净空气与棉花各处理相比, 有学习经验的雌性成虫趋向选择棉花各个处理, 呈现显著 ($P < 0.05$) 至极显著差异 ($P < 0.01$); 抗性品种灵-29与敏感品种科林08-23相比, 有学习经验的雌性成虫趋向选择科林08-23并且呈显著差异 ($P < 0.05$); 与绿盲蝽危害诱导后棉花品种之间相比, 有学习经验的雌性成虫显著趋向选择危害后科林08-23 ($P < 0.05$) 健康抗性品种灵-29与绿

盲蝽危害诱导抗性品种灵-29相比, 有学习经验的雌性成虫显著趋向选择健康的灵-29 ($P > 0.05$); 有学习经验的雌性成虫在健康和的绿盲蝽诱导的科林08-23之间趋向选择差异不显著 (图4)。

从图5可以看出, 在空白洁净空气与棉花各处理相比, 无学习经验的雌性成虫显著至极显著的趋向选择棉花各个处理; 抗性品种07生试6号与敏感品种抗病单株-1相比, 无学习经验的雌性成虫趋向选择抗病单株-1且差异极显著 ($P < 0.01$); 无学习经验的雌性成虫在绿盲蝽危害诱导棉花品种之间无趋向选择 ($P > 0.05$); 健康

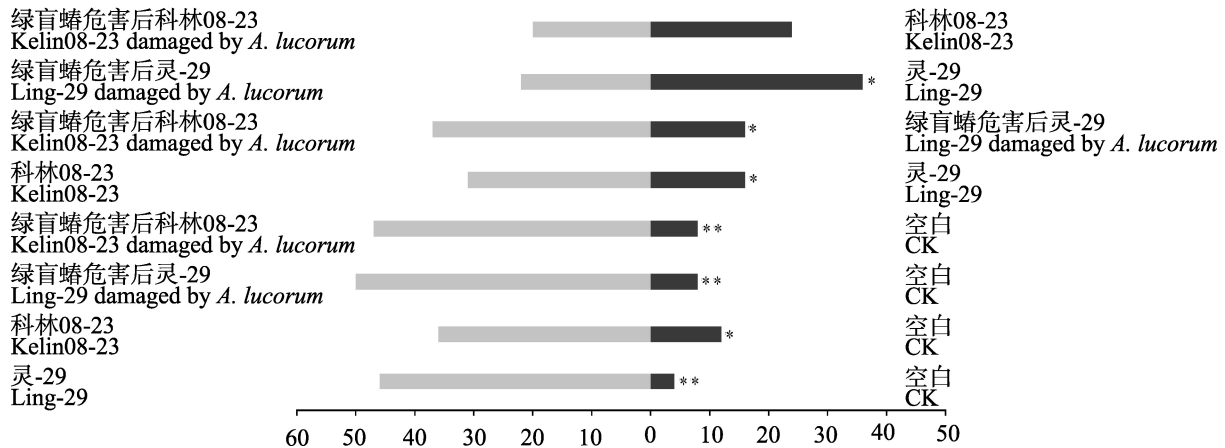


图 4 有学习行为雌性成虫对灵-29 与科林 08-23 的选择性
Fig. 4 Taxis selection of experienced female adults to Ling-29 and Kelin08-23

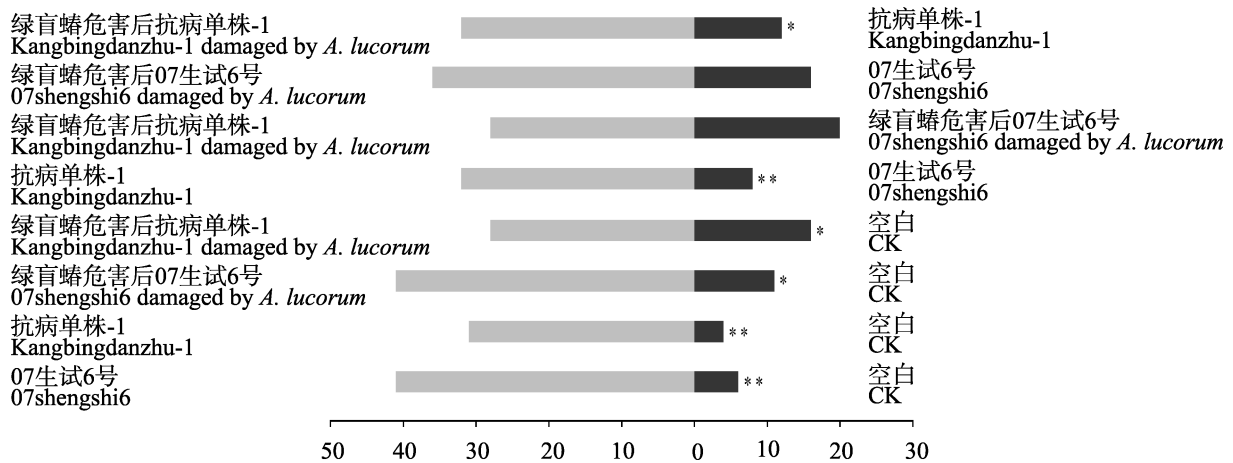


图 5 无学习行为雌性成虫对 07 生试 6 号与抗病单株-1 选择结果
Fig. 5 Taxis responses of non-experienced female adults to 07shengshi6 and Kangbingdanzhu-1

与绿盲蝽危害诱导抗性品种相比,无学习经验的雌性趋向选择没有明显差异 ($P>0.05$); 健康与绿盲蝽危害诱导的抗病单株-1 相比,无学习经验的雌性成虫趋向选择危害的抗病单株-1 且差异显著 ($P<0.05$)。

在空白洁净空气与棉花各处理之间,无学习经验的雄性成虫趋向选择棉花各个处理且呈显著差异 ($P<0.05$); 抗性品种 07 生试 6 号与敏感品种抗病单株-1 相比,无学习经验的雄性成虫趋向选择抗病单株-1 并且呈显著差异 ($P<0.05$); 绿盲蝽危害诱后棉花品种之间相比,无学习经验的雄性成虫趋向选择危害的抗病单株-1 且差异显著 ($P<0.05$); 健康的与绿盲蝽危害诱导的 07

生试 6 号相比,无学习经验的雄性成虫的趋向选择没有显著差异 ($P>0.05$); 健康与绿盲蝽危害诱导的抗病单株-1 相比,无学习经验的雄性成虫的趋向选择无显著差异 ($P>0.5$) (图 6)。

从图 7 可以看出,在空白洁净空气与棉花各个处理间相比,除洁净空气与抗性品种 07 生试 6 号间无显著差异外 ($P>0.05$),学习经验的雌性成虫均趋向选择棉花各处理且呈显著差异 ($P<0.05$); 07 生试 6 号与抗病单株-1 相比,学习经验的雌性成虫趋向选择抗病单株-1 且差异显著 ($P<0.05$); 绿盲蝽危害诱棉花品种之间相比,学习经验的雌性成虫趋向选择无显著差异 ($P>0.05$); 健康与绿盲蝽危害诱导的抗性品种

相比, 学习经验的雌性成虫趋向选择抗性品种 07 生试 6 号且极显著差异 ($P<0.01$); 健康与绿盲蝽危害诱导抗病单株-1 相比, 学习经验的雌性成虫趋向选择无显著差异 ($P>0.5$)。

在洁净空气与棉花抗感品种各个处理间相比, 除洁净空气与抗性品种 07 生试 6 号相比无显著差异外 ($P>0.05$), 有学习经验的雄性成虫, 均趋向选择棉花品种且各处理且差异显著 ($P<0.05$); 07 生试 6 号与抗病单株-1 相比, 有学习经验的雄性成虫趋向选择抗病单株-1 并且呈显著差异 ($P<0.05$); 绿盲蝽危害诱到后棉花品种之间相比, 有学习经验的雄性成虫趋向选择

危害诱导的抗病单株-1 且呈显著差异 ($P<0.05$); 健康与绿盲蝽危害诱导的 07 生试 6 号相比, 有学习经验的雄性成虫趋向选择健康抗性品种 07 生试 6 号且呈极显著差异 ($P<0.01$); 未健康与绿盲蝽危害诱导的抗病单株-1 相比, 有学习经验的雄性成虫趋向选择危害诱导的抗病单株-1 且差异显著 ($P<0.05$) (图 8)。

3 讨论

绿盲蝽嗅觉趋性选择试验主要在中国农业科学院廊坊科研中试基地并贯穿于绿盲蝽发生最频繁的 5 月末—8 月末, 尽量保证室内进行的

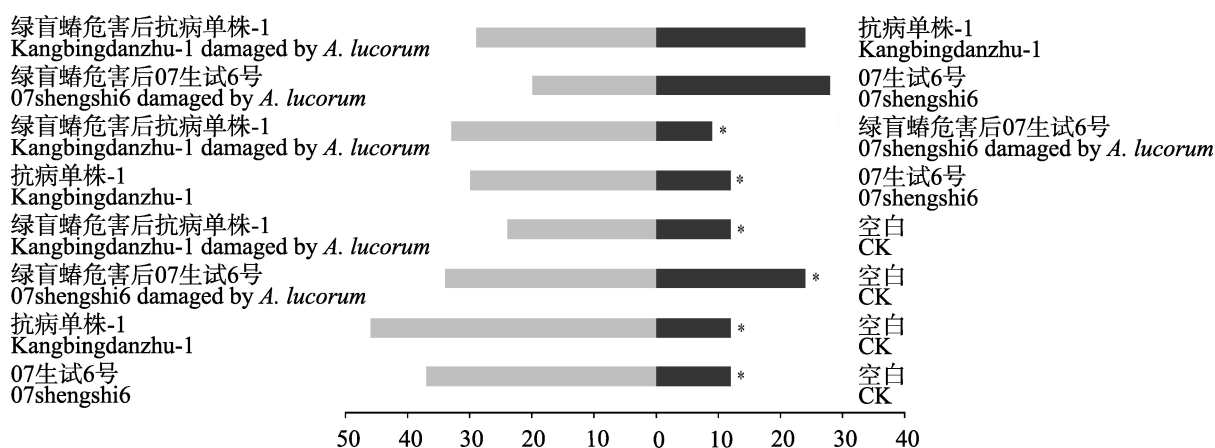


图 6 无有学习行为雄性成虫对 07 生试 6 号与抗病单株-1 选择趋向

Fig. 6 Taxis selection of non-experienced male adults to 07shengshi6 and Kangbingdanzhu-1

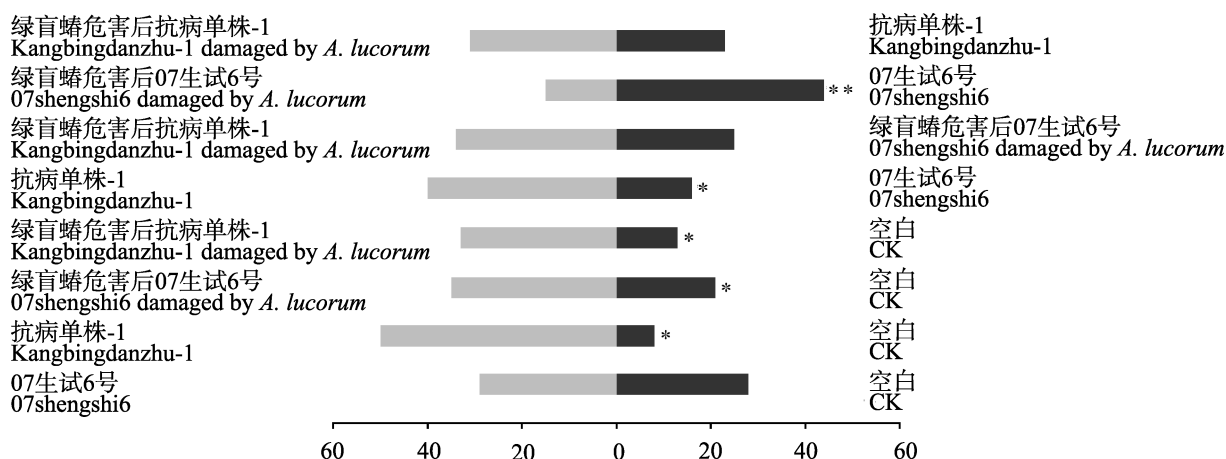


图 7 有学习行为雌性成虫对 07 生试 6 号和抗病单株-1 的选择性

Fig. 7 Taxis responses of experienced female adults to 07shengshi6 and Kangbingdanzhu-1

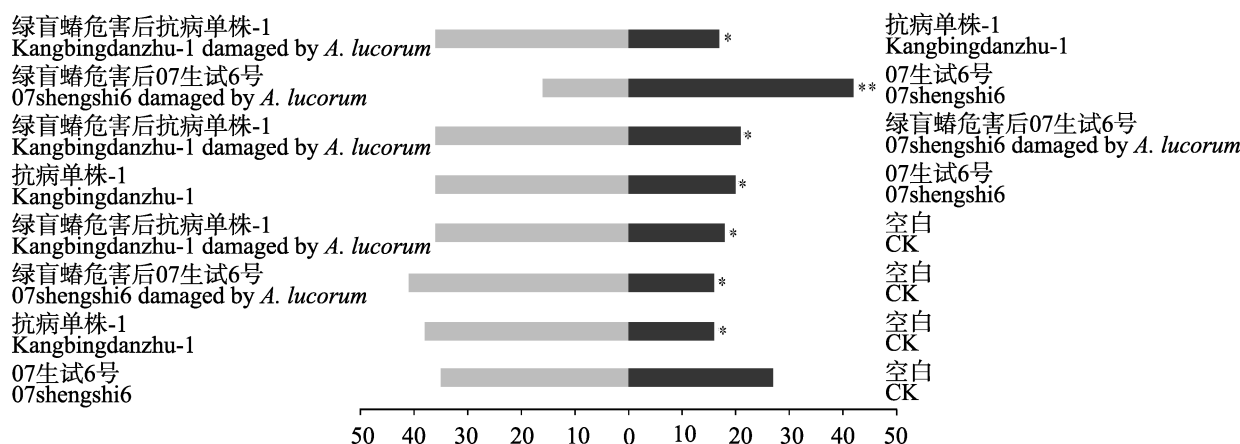


图8 有学习行为雄性成虫对07生试6号和抗病单株-1的趋向选择

Fig. 8 Taxis selection of experienced male adults to 07shengshi6 and Kangbingdanzhu-1

试验能够真实的反映田间的实际情况。绿盲蝽各处理对两对棉花品种趋性选择,对棉花品种的趋性选择明显大于空白对照;对敏感品种选择明显高于抗性品种。绿盲蝽有学习经验对棉花品种的趋性选择高于无学习经验;雌虫对棉花品种趋性选择高于雄虫。从整体结果来看,绿盲蝽对抗性品种趋性选择明显低于敏感品种。但是对危害诱导的棉株处理,并未表现出一致的趋性,这有待于对其挥发物成分进行比较分析,我们初步推断寄主植物的挥发性气味对绿盲蝽的选择行为产生了调控作用。在绿盲蝽有/无学习行为的处理中,有学习行为的供试昆虫对寄主的趋性更强,可以推断出绿盲蝽有/无学习可能也是寄主选择的调控方式之一,其机理仍需要通过其它行为试验验证。雌雄趋性比较中,雌虫选择趋性高于雄虫,这可能是由于雌性绿盲蝽除了寻找寄主进行取食之外还担负着可以推产卵行为所导致。

从化学通讯的角度来看,嗅觉选择行为试验只能简单推断出,在昆虫识别取食寄主与产卵寄主扮演嗅觉信号作用的是寄主植物的挥发性化学物质(Harborne, 2001)。昆虫的寄主植物定向行为是植物与昆虫相互依存关系中最重要行为之一。几乎所有种类的昆虫都利用寄主散发的化学暗示来发现适合自己的寄主。植物挥发性化学物质在也呈气味物质,其特定寄主植物对特定昆虫的吸引力,是影响昆虫对寄主植物趋性

选择的重要因素(杜家纬, 2001)。昆虫对寄主选择过程模式为:随机运动即迁移,定向运动即寻找,接触植物后通过各种感官评价后决定接受与否。植物挥发物是引导植食性昆虫寄主定位的利它素,为植物-植食性昆虫二级营养关系建立过程中的信息化合物(李月红和刘树生, 2004)。信息化合物在昆虫接触植物前的寄主搜寻阶段可以作为定向信息,其在空气中形成的股流作为昆虫定向运动的向导。也有研究指出,植食性昆虫寄主发现的中心环节是视觉作用,而先前认为的化学物质作用为中心环节的证据不足。对作为一种日出性昆虫而言,绿盲蝽的寄主定位过程受到视觉与嗅觉综合影响,但其运动轨迹受寄主植物气影响较大呈“Z”字型。在本文室内行为选择试验中,也能明显观察到该现象的存在。嗅觉与视觉两种因素的主导性可能还是与昆虫与寄主植物间距离所决定。在室内选择行为试验中,绿盲蝽与寄主植物的距离较短,信息化合物所起到的调控作用可能是影响绿盲蝽寄主定位的主要因素。寄主植物挥发物对盲蝽趋向行为肯定有一定的调控作用。

昆虫的学习行为是指由于昆虫个体的经历而导致的可循环发生或可逆的行为改变。在寄主搜索过程中,植食性昆虫对各种刺激的反应可依其原有经历不同而有所不同,即表现出所谓的学习行,从而有助于其在复杂多变的环境中迅速有

效地寻找到适宜的寄主(吕建华和刘树生, 2008)。在昆虫学习行为中的嗜好性诱导是指更喜好在已经历过的植物上取食或产卵的现象。取食嗜好性的诱导具体是指经历了对一种食物的接触和取食, 随后增加了对这种食物的嗜好性和取食量。本研究中, 对绿盲蝽进行了有/无学习行为处理。经过嗜好性诱导的绿盲蝽对寄主的选择趋性更强。利用昆虫学习行为策略在防治甘蓝型油菜露尾甲 *Meligethes aeneus* 和地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 等害虫过程中得到很好的实践(Cook *et al.*, 2006, 2007; Cook, 2007)。利用昆虫学习行为调控昆虫在不同寄主间进行选择, 诱导其趋向诱杀植物, 远离或者尽可能不选择受保护的目标作物, 从而设计盲蝽田间趋向为害行为调控策略, 在未来棉田防治绿盲蝽具有极大的潜力。

参考文献 (References)

- Cao Y, Wu D, Zhao QJ, Zhang YJ, Guo YY, 2012. Field evaluation of the resistance of different cotton varieties to mirid bugs. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 917–922. [曹扬, 吴敌, 赵秋剑, 张永军, 郭予元, 2012. 不同棉花品种(系)抗盲蝽田间鉴定与评价. 应用昆虫学报, 49(4): 917–922.]
- Cook SM, 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annu. Rev. Entomol.*, 52: 375–400.
- Cook SM, Birkett HB, Rasmussen MA, Murray DA, Pye BJ, Watts NP, Williams IH, 2007. Behavioural and chemical ecology underlying the success of turnip rape (*Brassica rapa*) trap crops in protecting oilseed rape (*Brassica napus*) from the pollen beetle (*Meligethes aeneus*). *Arthropod-Plant Interactions*, 1(1): 57–67.
- Cook SM, Smart LE, Martin JL, Murray DA, Watts NP, Williams IH, 2006. Exploitation of host plant preferences in pest management strategies for oilseed rape (*Brassic napus*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 119(3): 221–229.
- Du JW, 2001. Chemical communication and behavior control between plants and insects. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 27(3): 193–195. [杜家纬, 2001. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制. 植物生理学报, 27(3): 193–195.]
- Harborne JB, 2001. Twenty-five years of chemical ecology. *Nat. Prod. Rep.*, 18: 361–379.
- Khan ZR, Agarwal RA, 1984. Ovipositional preference of jassid, *Amrasca biguttula biguttula* Ishida on cotton. *Journal of Entomological Research*, 8(1): 78–80.
- Li YH, Liu SS, 2004. Learning in phytophagous insects. *Acta Entomologica Sinica*, 47(1): 106–116. [李月红, 刘树生, 2004. 植食性昆虫的学习行为. 昆虫学报, 47(1): 106–116.]
- Lu YH, 2008. Studies on ecological adaptability of the mirids. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [陆宴辉, 2008. 盲蝽生态适应性研究. 博士论文, 北京: 中国农业科学院.]
- Lu YH, Qiu F, Feng HQ, Li HB, Yang ZC, Wyckhuys KAG, Wu KM, 2008. Species composition and seasonal abundance of pestiferous plant bugs (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton in China. *Crop Protection*, 27(3/5): 465–472.
- Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Xia B Li P, Feng HQ, Wyckhuys KAG, Guo YY, 2010. Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, 328(5982): 1151–1154.
- Wu D, Lin FM, Lu YH, Liu Y, Zhang YJ, Wu KM, Guo YY, 2010. Selective preferences of *Apolygus lucorum* and *Adelphocoris suturalis* (Hemiptera: Miridae) to cotton plants with different resistance levels and damaging treatments. *Acta Entomologica Sinica*, 53(6): 696–701. [吴敌, 林凤敏, 陆宴辉, 刘勇, 张永军, 吴孔明, 郭予元, 2010. 绿盲蝽和中黑盲蝽对不同抗性和虫害处理棉花的选择趋性. 昆虫学报, 53(6): 696–701.]
- Wu KM, Guo YY, 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annu. Rev. Entomol.*, 50: 31–52.