

黄斑卷蛾雄蛾对性信息素的行为反应

刘玉秀, 孟宪佐*

(中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 分别在风洞中和田间观察了黄斑卷蛾 *Acleris fimbriana* Thunberg et Becklin 雄蛾对合成性信息素三种成分 ($E11$, 13-14:Ald, $E11$, 13-14:Ac 和 $E11$ -14:Ac) 及其不同组合的行为反应。在风洞中, 主要活性成分 $E11$, 13-14:Ald 能引起雄蛾完成从兴奋到搜索释放源的行为反应, 但雄蛾对单个组分 $E11$, 13-14:Ac 或 $E11$ -14:Ac 不呈现任何行为反应。当释放源为双组分 $E11$, 13-14:Ald + $E11$, 13-14:Ac (6:4) 或三组分 $E11$, 13-14:Ald + $E11$, 13-14:Ac + $E11$ -14:Ac (6:4:1) 时, 可以明显增加雄蛾定向飞行和到达释放源的数量。三组分 $E11$, 13-14:Ald + $E11$, 13-14:Ac + $E11$ -14:Ac 的比例为 6:4:1 时, 500 μg 剂量效果最好。田间试验结果表明, $E11$, 13-14:Ald 单独使用表现出良好的诱蛾活性, 其诱蛾量为活雌蛾的 1.9 倍, 而 $E11$, 13-14:Ac 和 $E11$ -14:Ac 则不具有诱蛾活性。 $E11$, 13-14:Ac 对 $E11$, 13-14:Ald 有明显的增效作用, 三组分 $E11$, 13-14:Ald + $E11$, 13-14:Ac + $E11$ -14:Ac (6:4:1) 诱芯的诱蛾效果最好。

关键词: 黄斑卷蛾; 性信息素; 风洞; 行为反应; 田间试验

中图分类号: Q965 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296 (2002) 04-0436-05

Behavioral response of male *Acleris fimbriana* Thunberg et Becklin (Lepidoptera: Tortricidae) to synthetic sex pheromones

LIU Yu-Xiu, MENG Xian-Zuo* (State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The behavioral responses of individual male *Acleris fimbriana* Thunberg et Becklin to synthetic sex pheromone components, $E11$, 13-14:Ald, $E11$, 13-14:Ac and $E11$ -14:Ac were observed in a wind tunnel. The results indicated that $E11$, 13-14:Ald alone could activate the male behaviors of walking and wing fanning, taking flight, upwind flight, touchdown and walking and wing fanning at source, but copulatory behavior was observed only when $E11$, 13-14:Ac was added. On the other hand, none of males showed any response to the other two components, $E11$, 13-14:Ac and $E11$ -14:Ac. Compared with $E11$, 13-14:Ald alone, a binary blend of $E11$, 13-14:Ald and $E11$, 13-14:Ac (6:4) increased the number of males exhibiting the behavior of upwind flight and touchdown at source. Furthermore, with 3-component baits, the percentage of walking and wing fanning at source and copulatory behavior showed a highly significant increase. The optimum ratios of 2-component and 3-component pheromone mixtures were 6:4 and 6:4:1 respectively. The optimum dose of synthetic pheromone was 500 μg . In field trapping tests, $E11$, 13-14:Ald was highly attractive to yellow tortrix males, attracting 1.9 times more males than virgin females, but the other 2 compounds were ineffective. Addition of $E11$, 13-14:Ac to $E11$, 13-14:Ald significantly enhanced attraction, while $E11$ -14:Ac had no effect. A tertiary blend of $E11$, 13-14:Ald, $E11$, 13-14:Ac and $E11$ -14:Ac at a ratio of 6:4:1 was the most attractive to males among all compounds testes.

Key words: *Acleris fimbriana*; sex pheromone; wind tunnel; behavioral response; field tests

黄斑卷蛾 *Acleris fimbriana* Thunberg et Becklin, 也称黄斑长翅卷蛾, 是危害苹果、李、杏、桃、山

楂等果树的重要害虫。经作者鉴定, 黄斑卷蛾雌蛾性信息素腺体提取物中含有 (反)-11, 13-十四碳

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (20172052)

第一作者简介: 刘玉秀, 女, 1975年2月生, 博士, 从事昆虫信息化学研究, E-mail: yxliu@panda.ioz.ac.cn

* 联系作者 Author for correspondence

收稿日期 Received: 2001-11-21; 接受日期 Accepted: 2002-05-08

双烯醛 ($E11, 13-14:Ald$), (反)-11, 13-十四碳双烯醋酸酯 ($E11, 13-14:Ac$) 和 (反)-11-十四碳烯醋酸酯 ($E11-14:Ac$) 等化学成分。本文报道黄斑卷蛾雄蛾在风洞中分别对上述 3 种人工合成性信息素的单组分、双组分和三组分的不同比例的行为反应, 以及单组分、双组分和三组分性信息素在田间的诱蛾试验结果。

1 材料与方 法

1.1 风洞行为反应测试

1.1.1 实验昆虫: 黄斑卷蛾采自北京西山农场杏树和桃树上的第 1 代老熟幼虫, 置于室温条件下或 25℃ 恒温培养箱中饲养至化蛹, 成虫羽化以后置于 12℃ 恒温箱内, 每天饲以 5% ~ 10% 蔗糖水 2 次, 备用。

1.1.2 性信息素: 黄斑卷蛾性信息素合成样品 $E11, 13-14:Ald$, $E11, 13-14:Ac$ 和 $E11-14:Ac$ 由本实验室合成, 纯度均大于 95%。配制溶液时, 先以重蒸正己烷配成 1 mg/mL 的母液, 然后以同一溶剂稀释成所需的浓度和比例。性信息素腺体粗提物是取 2 ~ 3 日龄的处女雌蛾在其召唤高峰期, 用眼科剪从腹部末端 8 ~ 9 节节间膜处剪下, 置入二次重蒸正己烷中浸泡 30 min, 然后将提取物转移到微型管内, 保存在低温冰箱内备用。

1.1.3 诱芯: 诱芯载体为购自北京顺义橡胶厂的天然橡胶塞, 经浸泡清洗后备用。每次实验前将相应剂量及比例的溶液滴加在橡胶塞载体上, 干燥后密封于塑料袋内, 低温保存备用。

1.1.4 风洞: 行为观察实验所使用的风洞长 2 m, 宽 1 m、高 1 m。室内空气经预滤器初滤后由小型离心风机压入静压箱, 再经高效过滤器过滤后进入风洞。进入风洞的气流速度为 0.3 m/s。风洞下端装有排气扇将带有化合物的气流排出室外。风洞内调为弱白光, 室温为 22 ~ 24℃, 相对湿度为 80% ~ 90%。

1.1.5 行为测定: 将羽化 2 ~ 3 天的待试雄蛾单头置于直径 5 cm, 长 5 cm 的圆柱形不锈钢纱笼内, 进入光照期 1 ~ 2 h (此时为雄蛾求偶高峰) 后, 移入风洞条件下适应 40 min。每头雄蛾只使用一次。性信息素诱芯悬挂在上风口处, 在风洞的另一端 (下风口)、距底部约 40 cm 的置物架侧臂上夹有一不锈钢纱笼用于放置黄斑卷蛾雄蛾, 然后观察记录其飞行行为, 并根据其行为判断黄斑卷蛾对合成性

信息素的反应等级。实验时将诱芯封闭在小瓶内带入风洞, 至上风端侧门处取出置于诱芯支架上。随即引入单头雄蛾到释放点支架上, 任其反应 2 min, 如无反应则换下一头雄蛾实验, 如雄蛾起飞但反向飞出风洞或触及风洞任何一壁停留时间超过 5 s 均视为结束实验而换下一头雄蛾实验。每个处理重复 5 次, 每次重复 10 ~ 20 头雄蛾。

1.1.6 判断雄蛾对刺激物反应的行为标准是①兴奋: 雄蛾触角竖起、摆动, 振翅, 前足不断地梳理触角, 爬行; ②起飞: 沿性信息素气迹做锯齿形逆风飞行; ③定向飞行: 沿性信息素气迹定向飞行; ④到达性信息素源: 在释放源或雌蛾附近降落; ⑤搜索释放源或雌蛾; ⑥预交尾: 雄蛾振翅、追逐雌蛾, 雄蛾展翅、抬起腹部, 雄蛾撒开味刷; ⑦交尾 (杜家纬, 1988; El-Sayed *et al.*, 1998)。

1.2 田间诱蛾活性试验

1.2.1 诱捕器: 诱捕器由诱芯和捕虫器两部分组成。诱芯载体及清洗准备同上, 配制时把黄斑卷蛾性信息素用正己烷稀释到所需浓度, 用注射器将所需剂量的性信息素溶液滴入橡胶塞的凹处, 溶剂挥发后即成诱芯。用作对照的橡胶塞只滴加正己烷, 不含性信息素。捕虫器是用塑料瓦棱板围成的, 两端呈三角形, 三个边长分别是 19 cm, 19 cm, 21 cm, 棱长 25 cm, 捕虫器下底钉一块涂有粘虫胶的蜡纸板, 将诱芯穿在铁丝上, 从上棱中间垂下, 距胶面约 2 cm。

1.2.2 田间试验: 田间试验分别于 2000 年 7 月及 2001 年 5 月在北京西山农场杏树园进行。将诱捕器挂在果树侧枝上, 离地面约 1.5 m, 两个诱捕器之间相距 10 m 以上。第 1 组试验用 3 种单组分的性信息素 $E11, 13-14:Ald$ 、 $E11, 13-14:Ac$ 和 $E11-14:Ac$, 剂量均为 1.0 mg, 各设 3 个重复, 并有一组活雌蛾诱捕器和空白诱捕器作对照。第 2 组试验将主要活性成分 $E11, 13-14:Ald$ 分别与其余 2 种成分配成二组分、三组分诱芯, 进行对比试验, 各种配方均设 3 个重复。上述试验每隔 3 天检查并记录每个诱捕器中捕获的黄斑卷蛾头数。

2 结果与分析

2.1 风洞实验结果

2.1.1 雄蛾对性信息素单组分的行为反应: 实验结果 (表 1) 表明合成性信息素的单一组分中, $E11, 13-14:Ald$ 在风洞中能引起雄蛾产生兴奋、起

飞、定向飞行等行为反应, 只有个别雄蛾到达释放源并搜索释放源, 但没有雄蛾产生预交尾行为。雄蛾对单个组分 *E11*, 13-14:Ac 或 *E11*-14:Ac 不呈现任何行为反应。

2.1.2 雄蛾分别对性信息素二组分、三组分不同比例组合物及活雌蛾和性信息素粗提物的行为反应: 以活雌蛾、性信息素粗提物以及二组分 (*E11*, 13-14: Ald + *E11*, 13-14: Ac) 和三组分 (*E11*, 13-14: Ald + *E11*, 13-14: Ac + *E11*-14: Ac) 不同比例组合物配制的诱芯进行实验 (剂量均为

500 μg), 雄蛾的行为反应如表 2。供测试的活雌蛾、雌蛾腺体粗提物、性信息素二组分的 4 种比例和三组分的 5 种比例均能引起全部雄蛾起飞。从定向飞行到呈现预交尾系列行为的百分率来看, 雄蛾对二组分和三组分比例的反应是不同的。二组分 *E11*, 13-14: Ald: *E11*, 13-14: Ac 为 6:4 时引起的雄蛾行为反应的百分率最高, 而三组分 *E11*, 13-14: Ald: *E11*, 13-14: Ac: *E11*-14: Ac 为 6:4:0.5 ~ 6:4:2, 均有较高的行为反应, 三者比例为 6:4:1 时, 雄蛾行为反应百分率最高。

表 1 在风洞中雄蛾对合成性信息素单组分的行为反应 (%)

Table 1 Behavioral responses of male *A. fimbriana* to single components of synthetic pheromone in a wind tunnel

组分 Component	兴奋 AT	起飞 TF	定向飞行 UF	到达释放源 TD	搜索释放源 WW	预交尾 CB
<i>E11</i> , 13-14:Ald	85.6	84.7	45.2	30.8	11.5	0
<i>E11</i> , 13-14:Ac	-	-	-	-	-	-
<i>E11</i> -14:Ac	-	-	-	-	-	-

各处理所用剂量均为 500 μg (The pheromone dose in each treatment was 500 μg); “-” 表示无反应 (indicates no responses)

AT = walking and wing fanning during the activation phase in the release tube or cage; TF = taking flight; UF = oriented upwind flight and arrival in the middle of the tunnel; TD = touchdown at source; WW = walking and wing fanning at source; CB = copulatory behavior. The same for Table 2 and Table 3

表 2 雄蛾对性信息素二组分、三组分不同比例组合物及性信息素粗提物和活雌蛾的行为反应 (%)

Table 2 Behavioral responses of male *A. fimbriana* to different ratios of binary or ternary blends of sex pheromone, to extract from female glands and to virgin females

处理 Treatments	兴奋 AT	起飞 TF	定向飞行 UF	到达释放源 TD	搜索释放源 WW	预交尾 CB
<i>E11</i> , 13-14: Ald + <i>E11</i> , 13-14: Ac						
8:2	100 a	89.3 c	61.2 d	49.5 ab	24.1 b	4.0 d
7:3	100 a	92.7 b	63.3 d	51.4 d	21.5 ab	3.8 d
6:4	100 a	93.5 b	80.2 c	69.5 b	35.0 d	6.8 c
4:6	100 a	73.5 d	68.2 d	54.0 d	23.7 ab	3.1 d
<i>E11</i> , 13-14: Ald + <i>E11</i> , 13-14: Ac + <i>E11</i> -14: Ac						
6:4:0.1	100 a	94.5 b	85.2 c	67.3 c	48.2 c	8.4 c
6:4:0.5	100 a	96.2 a	89.2 b	71.4 b	53.0 b	13.7 b
6:4:1	100 a	98.4 a	91.2 b	83.7 a	64.5 a	19.6 a
6:4:2	100 a	93.0 b	83.2 c	64.5 c	51.8 b	10.1 b
6:4:5	100 a	92.3 b	82.1 c	65.6 c	50.2 b	9.8 b
粗提物 extract from female glands(10FE)	100 a	100 a	90.2 b	75.3 b	55.6 b	11.7 b
活雌蛾 virgin female (1 头)	100 a	100 a	95.3 a	80.6 a	62.7 a	21.3 a

有不同字母的表示经 Duncan 新复极差检验相互间差异显著 ($P \leq 0.05$), 下同。各处理所用剂量均为 500 μg ; 10FE 为 10 个雌性性信息素腺体提取物 Means in the same column followed by different letters are significantly different; ANOVA was followed by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$). The same below. The pheromone dose in each treatment was 500 μg . 10FE = extract from 10 female glands

2.1.3 合成性信息素剂量对雄蛾行为反应的影响: 据上述实验结果, 选取 6:4:1 制成合成性信息素不同剂量的诱芯, 剂量从 50 ~ 10 000 μg , 结果见表

3。雄蛾对 50 ~ 10 000 μg 的性信息素均有反应。剂量为 500 μg 时反应最强烈, 100 μg 和 1 000 μg 次之, 三者间差异不显著 ($P \geq 0.05$)。以到达释放源

表3 黄斑卷蛾雄蛾对合成全组分性信息素不同剂量的行为反应

Table 3 Behavioural response of male *A. fimbriana* to different dosages of sex pheromone

剂量 Dosages (μg)	兴奋 AT	起飞 TF	定向飞行 UF	到达释放源 TD	搜索释放源 WW	预交尾 CB
50	81.2 b	73.5 c	71.0 c	64.3 c	45.1 b	3.0 c
100	98.2 a	96.3 a	90.1 a	81.7 a	63.2 a	16.6 a
500	100 a	98.4 a	91.2 a	83.7 a	64.5 a	19.6 a
1 000	96.2 a	98.7 a	89.5 a	78.3 a	66.4 a	21.2 a
5 000	88.1 b	87.4 b	81.2 b	72.0 b	59.6 c	13.0 b
10 000	77.6 c	74.0 c	61.4 c	53.2 d	39.6 d	5.0 c

及呈现预交尾行为的雄蛾百分率作为指标，它们对上述三剂量的反应百分率均显著高于其它剂量 ($P \leq 0.05$)。

2.2 田间试验结果

2.2.1 合成性信息素单一组分的田间诱蛾活性：用 1.0 mg 的 3 种标准化合物单独配制成诱芯，E11, 13-14:Ald 表现出良好的诱蛾活性，共诱得 97 头黄斑卷蛾，是活雌蛾诱蛾数量的 1.9 倍。而其余 2 种化合物及空白对照的捕诱蛾数均为 0 (表 4)。单组分 E11, 13-14:Ald 在风洞中能引起雄蛾产生兴奋、起飞、定向飞行等行为反应，但只有个

别雄蛾到达释放源并搜索释放源。而田间试验中，E11, 13-14:Ald 表现出高于活雌蛾的诱蛾活性。这是由于 E11, 13-14:Ald 作为黄斑卷蛾性信息素的主要活性成分，吸引雄蛾作远距离定向飞行，到达诱捕器后，虽不能接近诱芯，但不断在诱芯的周围飞舞、降落，以致被粘住捕获，这样就诱捕到相当数量的雄蛾。

2.2.2 合成性信息素二组分及三组分组合物的田间诱蛾活性：以二组分 (E11, 13-14:Ald + E11, 13-14:Ac)、(E11, 13-14:Ald + E11-14:Ac) 和三组分 (E11, 13-14:Ald + E11, 13-14:Ac + E11-14:Ac) 按雌蛾分泌性信息素的自然比例配制的诱芯进行田间诱蛾活性试验 (剂量均为 1 000 μg)，诱得的雄蛾数见表 5。E11, 13-14:Ac 对 E11, 13-14:Ald 的诱蛾活性有显著的增效作用，每个诱捕器平均诱蛾数从 29.7 头增加到 68 头，而 E11-14:Ac 的增效或抑制作用均不显著。当诱芯为三组分时，平均诱蛾数是单一活性组分诱蛾量的 2.8 倍，是双组分 (E11, 13-14:Ald + E11, 13-14:Ac) 诱蛾量的 1.2 倍。

表4 性信息素单组分的田间诱蛾活性

Table 4 Comparison of numbers of male *A. fimbriana* by single component of the sex pheromone

性信息素成分 Component	捕蛾头数 Male captures
E11, 13-14:Ald	97 a
E11, 13-14:Ac	0 b
E11-14:Ac	0 b
活雌蛾 virgin females	51 ab
对照 control	0 b

表5 性信息素二组分及三组分组合物的田间诱蛾活性

Table 5 Field catches of male *A. fimbriana* with different combinations of synthetic sex pheromones components

处理 Treatments	剂量 Dosages ($\mu\text{g/septum}$)	每个诱捕器平均诱蛾数 Mean number of males per trap
E11, 13-14:Ald	1 000	29.7 c
E11, 13-14:Ald + E11, 13-14:Ac	600 + 400	68 b
E11, 13-14:Ald + E11-14:Ac	600 + 100	25 cd
E11, 13-14:Ald + E11, 13-14:Ac + E11-14:Ac	600 + 400 + 100	82.5 a
对照 control		0.7 d

3 讨论

利用风洞技术在实验室内模拟昆虫的行为反应进行研究和测定, 虽然没有田间试验条件那样真实与客观, 但比田间观察更为方便。其中最重要的一点是风洞装置是人为模拟田间环境, 可以避开环境温度、风速、天气、季节及实验昆虫的发生期等因素的影响, 更容易在风洞实验中观察昆虫性信息素的每个成分及其各种组合物对雄虫行为的影响, 因此风洞技术已成为昆虫性信息素研究中不可缺少的实验手段。田间试验则对性信息素活性的评价起决定性作用, 昆虫性信息素研究的最终目的是提供一种在田间防治害虫的手段。

Roelofs 等 (1970) 把雌蛾性信息素分为两类: 一类称作“性信息素的主要活性成分”, 起刺激雄蛾作长距离逆风定向飞行的作用; 另一类称作“性信息素的次要活性组分”, 不具备远距离逆风定向飞行行为的功能, 单独使用时不具有诱蛾活性, 但能激发雄蛾近距离内的性行为反应, 可增加主要活性成分的诱蛾效果。黄斑卷蛾雌蛾分泌的性信息素由 3 种成分组成, *E11*, *13-14:Ald* 为“主要活性成分”, 单独使用时能刺激雄蛾产生兴奋、起飞、定向飞行等风洞行为反应, 在田间的诱蛾量是活雌蛾的 1.9 倍。*E11*, *13-14:Ac* 和 *E11-14:Ac* 为“次要活性成分”, 本身均不能刺激雄蛾产生行为反应, 当 *E11*, *13-14:Ac* 与 *E11*, *13-14:Ald* 构成双组分时, 对 *E11*, *13-14:Ald* 具有明显的增效作用。*E11-14:Ac* 对 *E11*, *13-14:Ald* 的增效作用不明显, 但它与另外两组分组成三组分混合物时, 诱导雄蛾产生到达释放源、搜索释放源、预交尾行为的百分率大大高于双组分, 在田间的诱蛾量也最多。类似的结果还见于红带卷蛾 *Argyrocaenia velutinana* (Walker), 它的性信息素也是由 3 种化合物 *E11-14*

:Ac、*Z11-14:Ac* 和 *12:Ac* 组成, 前两种主要活性成分以 92:8 比例混合能刺激雄蛾趋向释放源, 当加入第 3 种成分后可明显提高雄蛾着陆、振翅和求偶行为, 增加诱蛾率, 但 *12:Ac* 单独使用时没有诱蛾活性 (Roelofs *et al.*, 1977)。杜家纬 (1988) 研究发现虽然许多近缘昆虫远距离通讯性信息素组分相同, 但因为刺激近距离求偶行为性信息素的化合物不同, 即使异种昆虫两性已经聚集在一起, 也不会发生交尾, 甚至有的近缘种雌蛾性信息素组成成分完全相同, 只因为各成分间的配比不同, 而阻碍了不同种间的交配, 从而保证了近缘昆虫的种间生殖隔离。

风洞实验结果表明, 性信息素组分间的比例对黄斑卷蛾雄蛾的行为反应有明显的影响, 以单腺体毛细管色谱分析测定的黄斑卷蛾性信息素三组分自然比例 (6:4:1) 制成的诱芯引起的雄蛾行为反应百分率最高, 这与田间试验时所获得的 *E11*, *13-14:Ald*、*E11*, *13-14:Ac* 和 *E11-14:Ac* 按 6:4:1 的比例配制的诱芯诱蛾效果最好的结果一致。以此比例配制的诱芯可用于对黄斑卷蛾作虫情测报, 并可进一步开展诱捕法、迷向法等应用试验, 为用性信息素防治黄斑卷蛾创造了条件。

参 考 文 献 (References)

- Du J W, 1988. Study and Application of Insect Semiochemicals. Beijing: Chinese Forest Publish House. 182 - 197. [杜家纬, 1988. 昆虫信息素及其应用. 北京: 中国林业出版社. 182 - 197]
- El-Sayed A, Unelius R C, Liblikas I, Lofqvist J, Bengtsson M, Witzgall P, 1998. Effect of codlemone isomers on codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) male attraction. *Environ. Entomol.*, 27 (5): 1 250 - 1 254.
- Roelofs W L, Comeau A, 1970. Lepidopterous sex attractants discovered by field screening tests. *J. Ecol. Entomol.*, 63 (3): 969.
- Roelofs W L, Carde R T, 1977. Responses of Lepidoptera to synthetic sex pheromones and their analogues. *Ann. Rev. Entomol.*, 22: 377 - 405.