

卷蛾分索赤眼蜂对小菜蛾利他素各成分的接触反应

吕燕青, 谢梅琼, 何余容, 陈科伟

(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:在实验室条件下测定了卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja 对小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 利他素各成分的接触反应. 结果表明, 卷蛾分索赤眼蜂在正二十七烷处理卵卡上的总接触次数最大, 为 74.17 次, 在其处理过的卵卡上的寄生总数也最高, 为 148.5 粒, 说明正二十七烷对卷蛾分索赤眼蜂的吸引作用最强; 卷蛾分索赤眼蜂在正十六烷处理卵卡上的总接触次数最低, 为 7 次, 在其处理过的卵卡上的寄生总数也最低, 仅为 1.17 粒, 说明正十六烷对卷蛾分索赤眼蜂的吸引作用最弱. 卷蛾分索赤眼蜂对利他素各成分的最大寄生率在 20% 以上的有 2,6,10,14-四甲基十五烷、正二十五烷、正二十七烷和正三十六烷, 最大寄生率在 5% 以下的有正十六烷和正二十二烷. 综合分析表明, 卷蛾分索赤眼蜂在 $0.2 \sim 2 \times 10^3 \text{ ng/cm}^2$ 范围的卵卡上的接触次数和寄生率相对较高.

关键词:卷蛾分索赤眼蜂; 小菜蛾; 利他素; 接触反应

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2011)02-0030-05

Contact Response of *Trichogrammatoidea bactrae* to Different Components of Kairomones of *Plutella xylostella*

LÜ Yan-qing, XIE Mei-qiong, HE Yu-rong, CHEN Ke-wei

(College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The contact responses of egg parasitoid *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja to the kairomones of its host diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* were bioassayed in laboratory. The attractive effect of 13 hydrocarbons, viz. pentadecane, hexadecane, heptadecane, nonadecane, 2,6,10,14-tetramethyl pentadecane, heneicosane, docosane, pentacosane, heptacosane, octacosane, triacontane, pentatriacontane, hexatriacontane on *T. bactrae* were carried out. The results showed that the total exposure frequency of *T. bactrae* to the eggs cards treated with heptacosane was 74.71, the highest of all, and the highest parasitism of 53.83% was observed in the eggs cards treated with 2 000 ng/cm² of heptacosane, which indicated the eggs cards treated with heptacosane was the most attractive to *T. bactrae*. In contrast, the eggs cards treated with hexadecane showed the weakest attractive to *T. bactrae*, and the total exposure frequency of *T. bactrae* against them was only 7, the least of all, and the lowest parasitism as 0.67% of *T. bactrae* was also observed in the eggs cards treated with the hexadecane. The parasitism of *T. bactrae* over 20% was found in the eggs cards treated with 2,6,10,14-tetramethyl pentadecane, pentacosane, heptacosane and hexatriacontane, and the parasitism under 5% was found in the eggs cards treated with hexadecane and docosane. In conclusion, the parasitoid *T. bactrae* showed the higher exposure frequency and parasitism in the eggs cards treated with hydrocarbons concentration between the concentrations 0.2 and $2 \times 10^3 \text{ ng/cm}^2$.

Key words: *Trichogrammatoidea bactrae*; *Plutella xylostella*; kairomones; contact response

收稿日期: 2010-04-15

作者简介: 吕燕青 (1979—), 女, 硕士; 通信作者: 何余容 (1963—), 女, 教授, 博士, E-mail: yrhe@scau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金 (30871677); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103025)

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 属鳞翅目菜蛾科, 是一种重要的世界性害虫, 在东南亚及中国南部地区发生为害尤为严重^[1]. 据估计, 全世界每年由于小菜蛾为害造成的经济损失达 10 亿美元^[2]. 由于广谱性杀虫剂的广泛使用, 导致大量天敌被杀伤, 害虫抗药性急剧增强, 环境污染越来越严重, 一系列的问题使得国内外越来越多的学者去寻求有效的非化学防治的新途径. 在卵期释放赤眼蜂是小菜蛾综合治理的有效途径之一, 但是在实际应用中, 释放到田间的赤眼蜂对目标寄主的搜寻效果不太理想, 寄生率不高, 削弱了其防治效能^[3]. 赤眼蜂要在复杂的环境中成功地搜索到寄主, 寄主源信息化合物起着重要的作用^[4]. 这些信息化学物质主要有寄主卵、鳞片、性外激素、性附腺、排泄物等^[5-12].

国内外对于欧洲玉米螟 *Ostinia fumacalis* Hübner、甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* Linnaeus、玉米穗蛾 *Heliothis zea* Boddie、石榴棉铃虫 *Heliothis armigera* Hubner 和米蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton、云杉色卷蛾 *Choristoneura fumiferana* Clemens、棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella* Saunders、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* Guené 等挥发性化合物对赤眼蜂行为的影响已有不少报道^[9, 11, 13-20], 而有关卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea bactrae* 对存在于小菜蛾腹部鳞片和卵表中的利他素的接触反应鲜见报道.

卷蛾分索赤眼蜂对小菜蛾卵有较强的偏好性, 对小菜蛾的寄生能力最强, 是防治小菜蛾的优势赤眼蜂种^[21]. 笔者通过小菜蛾卵表和成虫腹部鳞片的组分鉴定, 得出其主要为一些饱和烷烃类(另文发表), 前人通过研究得出某些烷烃能显著增强赤眼蜂对目标寄主的搜寻能力^[9], 但嗅觉行为反应仅在寄生天敌对寄主一定距离定向中起着重要的作用, 寄生天敌找到寄主后, 并不是立即产卵, 而是先通过触角、视觉以及产卵器上的感受器对寄主进行严格地检验, 从而判断寄主是否合适. 接触性的化学信号物质是刺激寄生昆虫进行寄主检验的主要因素. 寄主昆虫体表存在的长链饱和烷烃能显著提高赤眼蜂对寄主的搜寻能力以及寄生率^[9, 18]. 本试验以从小菜蛾成虫腹部鳞片和卵表鉴定得出的 13 种饱和烷烃为出发点, 测定卷蛾分索赤眼蜂对这 13 种烷烃不同浓度处理过的米蛾卵的接触反应, 以期找出卷蛾分索赤眼蜂的产卵刺激物, 提高其产卵率, 从而为人为利用利他素防治小菜蛾提供一定的理论依据.

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试蜂种 卷蛾分索赤眼蜂由华南农业大学昆虫生态室以米蛾卵繁殖 20 代以上, 实验室温度为恒温 26 ℃. 试验用蜂为羽化后 12 ~ 42 h、充分交配并喂以 φ 为 30% 蜜糖水的雌蜂.

1.1.2 供试试剂 小菜蛾腹部鳞片和卵表各成分中的饱和烷烃共 13 种, C15: 正十五烷; C16: 正十六烷; C17: 正十七烷; C19: 正十九烷; C19': 2, 6, 10, 14-四甲基十五烷; C21: 正二十一烷; C22: 正二十二烷; C25: 正二十五烷; C27: 正二十七烷; C28: 正二十八烷; C30: 正三十烷; C35: 正三十五烷; C36: 正三十六烷, 均由阿法艾莎(Alfa aesar)公司购得. 正己烷分析纯由天津市大茂化学试剂厂提供.

1.2 方法

生物测定在玻璃培养皿(10 cm × 10 cm)内进行, 培养皿的正上方放置一 40 W 的日光灯作为光源. 将新鲜的米蛾卵用紫外灯照射 1 h 后, 用正己烷浸泡 2 次, 每次 30 min, 以去除卵表的鳞片或信息化合物. 滤干后做成 1 cm² 卵卡(约 100 粒卵)备用. 各烷烃用正己烷分别配制成质量浓度为 10⁻²、10⁻³、10⁻⁴、10⁻⁵、10⁻⁶、10⁻⁷、10⁻⁸ g/mL, 将卵卡分别涂上不同处理的试剂(约 20 μ L), 得到 2 × 10⁵、2 × 10⁴、2 × 10³、200、20、2、0.2 ng/cm² 共 7 个处理, 对照(CK)为正己烷. 将 10 头赤眼蜂同时释放入培养皿中心内, 每 5 min 观察 1 次, 记录 45 min 内赤眼蜂接触处理卵卡的次数. 45 min 后将赤眼蜂小心地从卵卡或培养皿内赶走, 分别将卵卡装入小试管(直径 1 cm), 用棉塞封住, 室温放置 4 d 后观察产卵量, 统计寄生率. 设 6 个重复.

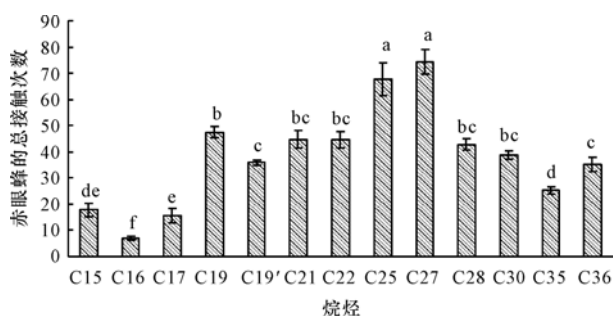
用赤眼蜂活动指数(Parasitoid activity index, PAI)来衡量赤眼蜂对利他素各成分的接触反应, PAI 值为 45 min 内 10 头赤眼蜂对不同烷烃各处理卵卡的接触次数.

采用 DPS 软件(9.50 版)对数据进行方差分析和多重比较. 对寄生率采用反正弦平方根转换.

2 结果与分析

2.1 小菜蛾利他素各成分不同浓度对卷蛾分索赤眼蜂接触反应的影响

在 13 种烷烃中, 卷蛾分索赤眼蜂对正二十七烷各处理卵卡的总接触次数最多, 为 74.17 次, 与除正二十五烷之外的其他烷烃差异显著; 卷蛾分索赤眼蜂对正十六烷各处理卵卡的总接触次数最少, 仅为 7 次, 与其他烷烃差异都显著(图 1).



凡是有一个相同字母者,表示差异不显著($P=0.05$,DMRT法)。

图1 卷蛾分索赤眼蜂在各烷烃处理卵卡上的总接触次数

Fig.1 The activity index of parasitoid *T. batrae* on eggs cards treated with different hydrocarbons

表1 卷蛾分索赤眼蜂在不同浓度烷烃处理卵卡上的接触次数(PAI值)¹⁾

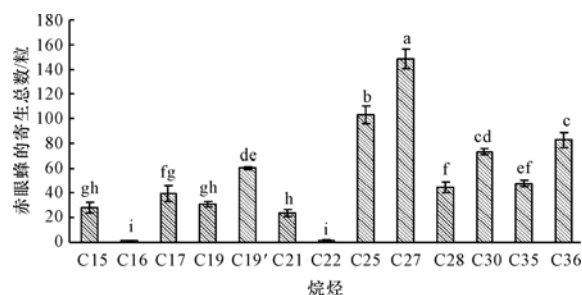
Tab.1 The activity index(PAI values) of parasitoid *T. batrae* on eggs cards treated with different concentration of hydrocarbons

烷烃	PAI 值							
	2×10^5 ng/cm ²	2×10^4 ng/cm ²	2×10^3 ng/cm ²	200 ng/cm ²	20 ng/cm ²	2 ng/cm ²	0.2 ng/cm ²	正己烷(CK)
C15	0c	0c	$1.50 \pm 0.22bc$	$1.50 \pm 1.50bc$	$2.83 \pm 0.31b$	$5.17 \pm 0.48a$	$6.83 \pm 1.28a$	0c
C16	0b	0b	$3.17 \pm 1.47a$	$0.50 \pm 0.34b$	$0.83 \pm 0.40b$	$1.83 \pm 0.87ab$	$0.67 \pm 0.33b$	$1.33 \pm 0.88ab$
C17	$0.17 \pm 0.17b$	$0.33 \pm 0.21b$	$0.17 \pm 0.17b$	$2.50 \pm 1.46ab$	$3.33 \pm 1.50ab$	$5.83 \pm 1.40a$	$5.00 \pm 1.86a$	$3.33 \pm 1.80ab$
C19	$1.50 \pm 1.50 d$	$1.50 \pm 1.15 d$	$3.00 \pm 1.90cd$	$3.17 \pm 0.95cd$	$11.50 \pm 1.23b$	$7.17 \pm 1.22c$	$19.67 \pm 1.52a$	$6.00 \pm 1.97cd$
C19'	0c	$1.50 \pm 0.96bc$	$2.83 \pm 1.80bc$	$4.67 \pm 1.17b$	$4.00 \pm 1.06b$	$10.83 \pm 1.49a$	$12.00 \pm 1.69a$	$1.83 \pm 0.60bc$
C21	$1.83 \pm 1.28 de$	$6.00 \pm 1.27bcd$	$4.67 \pm 1.67ede$	$4.50 \pm 1.52cde$	$9.33 \pm 1.05ab$	$7.67 \pm 1.15abc$	$10.67 \pm 1.94a$	$1.33 \pm 1.33e$
C22	$2.67 \pm 1.02cd$	$7.33 \pm 1.05a$	$8.17 \pm 0.70a$	$8.33 \pm 1.69a$	$8.33 \pm 0.42a$	$3.67 \pm 1.09bc$	$6.17 \pm 1.14ab$	0 d
C25	$1.83 \pm 1.47c$	$7.67 \pm 1.33b$	$14.67 \pm 3.91a$	$11.00 \pm 2.25ab$	$14.00 \pm 1.75ab$	$10.67 \pm 1.48ab$	$8.00 \pm 0.52b$	$1.50 \pm 1.50c$
C27	$2.67 \pm 2.67c$	$1.50 \pm 1.50c$	$21.67 \pm 5.23a$	$14.17 \pm 2.95ab$	$14.83 \pm 1.58ab$	$13.33 \pm 5.04ab$	$6.00 \pm 1.90bc$	$1.50 \pm 1.50c$
C28	0c	$5.50 \pm 1.20b$	$9.30 \pm 1.65a$	$8.67 \pm 0.33ab$	$6.17 \pm 1.14ab$	$6.33 \pm 1.58ab$	$6.83 \pm 0.79ab$	$0.83 \pm 0.83c$
C30	$1.67 \pm 1.48bc$	$2.50 \pm 1.59bc$	$8.67 \pm 0.42a$	$8.33 \pm 0.49a$	$8.33 \pm 0.67a$	$4.67 \pm 1.02b$	$4.50 \pm 1.41b$	0c
C35	0c	0c	$0.17 \pm 0.17c$	$6.33 \pm 1.31b$	$2.83 \pm 0.75c$	$8.17 \pm 0.83b$	$12.00 \pm 2.05a$	$7.83 \pm 0.83b$
C36	$2.67 \pm 1.71bcd$	$2.17 \pm 1.05cd$	$6.67 \pm 1.12b$	$14.83 \pm 1.20a$	$6.00 \pm 1.46bc$	$2.83 \pm 1.80bcd$	$0.17 \pm 0.17d$	$1.33 \pm 1.33 d$

1)表中数据为平均值±标准误;同行凡是具有一个相同字母者,表示差异不显著($P=0.05$,DMRT法);PAI值为45 min内10头赤眼蜂对不同烷烃各浓度处理卵卡的接触次数。

生总数最多,为148.5粒,与其他烷烃处理卵卡相比差异显著;卷蛾分索赤眼蜂对正十六烷和正二十二烷处理卵卡的寄生总数都很少,显著低于其他烷烃处理卵卡的寄生总数(图2)。

在不同烷烃处理卵卡上,卷蛾分索赤眼蜂的寄



凡是有一个相同字母者,表示差异不显著($P=0.05$,DMRT法)。

图2 卷蛾分索赤眼蜂在各烷烃处理卵卡上的寄生总数

Fig.2 The total parasitism of *T. batrae* on eggs cards treated with different hydrocarbons, irrespective of concentration

卷蛾分索赤眼蜂在不同浓度不同烷烃处理卵卡上的接触次数不同. 其中,在 2×10^3 ng/cm² 正二十七烷处理时,PAI值最大,为21.67次,对卷蛾分索赤眼蜂的吸引作用最强,且与 2×10^5 、 2×10^4 ng/cm² 正二十七烷处理的PAI值相比差异显著. 而在 2×10^5 、 2×10^4 ng/cm² 正十五烷、正十六烷和正三十五烷处理,以及 2×10^5 ng/cm² 的2,6,10,14-四甲基十五烷、正二十八烷处理时,卷蛾分索赤眼蜂在卵卡上的接触次数最低,即PAI值为0(表1)。

2.2 小菜蛾利他素各成分不同浓度对卷蛾分索赤眼蜂寄生率的影响

卷蛾分索赤眼蜂在正二十七烷处理卵卡上的寄

生率不同. 其中,在 2×10^3 ng/cm² 正二十七烷处理时,卷蛾分索赤眼蜂的寄生率最高,为49.14%,与其他处理相比差异显著. 而当 2×10^5 、 2×10^4 ng/cm² 正十五、正十七烷的处理,以及 2×10^5 、 2×10^4 、200、20、0.2 ng/cm² 正十六烷处理, 2×10^5 、0.2 ng/cm² 正二十二烷处理, 2×10^5 ng/cm² 2,6,10,14-四甲基十五烷、正二十一烷和正二十八烷处理, 2×10^5 、 2×10^4 、 2×10^3 ng/cm² 正三十五烷处理时,卷蛾分索赤眼蜂在以上这些烷烃处理卵卡上的寄生率最低,均为0(表2)。

在13种烷烃中,卷蛾分索赤眼蜂最大寄生率在20%以上的有2,6,10,14-四甲基十五烷、正二十五烷、正二十七烷、正三十五烷和正三十六烷,其中正二十七烷处理的卵卡寄生率最高;卷蛾分索赤眼蜂最大寄生率在5%以下的为正十六烷和正二十二烷(表2)。

表2 卷蛾分索赤眼蜂在不同浓度烷烃处理卵卡上的寄生率¹⁾Tab. 2 The parasitism of *T. battrae* on eggs cards treated with different concentration of hydrocarbons

烷烃	寄生率/%							
	2×10^5 ng/cm ²	2×10^4 ng/cm ²	2×10^3 ng/cm ²	200 ng/cm ²	20 ng/cm ²	2 ng/cm ²	0.2 ng/cm ²	正己烷(CK)
C15	0 d	0 d	8.78 ± 1.09bc	4.55 ± 4.55cd	13.89 ± 0.73ab	15.37 ± 1.04ab	16.94 ± 2.31a	0.96 ± 0.96 d
C16	0b	0b	2.71 ± 1.71a	0b	0b	2.31 ± 1.49ab	0b	0b
C17	0c	0c	3.07 ± 3.07bc	11.47 ± 5.61abc	13.01 ± 4.64ab	16.51 ± 2.40a	18.57 ± 4.96a	10.48 ± 4.12abc
C19	1.67 ± 1.67d	3.91 ± 2.64 d	4.92 ± 3.12 d	6.99 ± 1.54cd	13.95 ± 1.61b	11.62 ± 1.41bc	22.13 ± 1.18a	6.68 ± 1.45cd
C19'	0e	5.30 ± 3.35e	7.66 ± 4.93 de	14.35 ± 2.27cd	16.29 ± 2.23bc	26.86 ± 2.19a	23.74 ± 1.72ab	8.30 ± 2.72cde
C21	0e(0)	7.24 ± 0.73cd	5.73 ± 2.12cd	4.23 ± 2.04 de	14.12 ± 1.25ab	10.77 ± 1.10bc	16.98 ± 2.52a	2.56 ± 2.56 de
C22	0b(0)	3.58 ± 1.72a	0.96 ± 0.96ab	0.96 ± 0.96ab	0.96 ± 0.96ab	0.96 ± 0.96ab	0b	0b
C25	5.95 ± 3.97b	20.33 ± 2.48a	27.44 ± 2.98a	24.36 ± 2.20a	25.50 ± 1.78a	23.51 ± 2.12a	20.30 ± 1.04a	2.74 ± 2.74b
C27	4.31 ± 4.31 d	4.66 ± 4.66 d	49.14 ± 9.58a	32.56 ± 1.87b	30.33 ± 1.46bc	23.99 ± 8.03bc	14.62 ± 4.96cd	4.89 ± 4.89d
C28	0c	13.30 ± 1.99b	19.01 ± 2.21a	19.58 ± 0.94a	10.91 ± 1.72b	11.94 ± 2.27b	15.15 ± 1.58ab	0.96 ± 0.96c
C30	4.33 ± 3.32 d	8.18 ± 5.25cd	23.26 ± 0.84ab	24.83 ± 0.54a	23.26 ± 0.84ab	15.68 ± 3.35bc	13.77 ± 3.17c	0 d
C35	0 d	0 d	0 d	20.49 ± 2.76b	10.62 ± 1.76c	24.96 ± 1.38ab	28.19 ± 1.49a	20.62 ± 1.88b
C36	6.87 ± 4.38c	10.24 ± 3.60c	22.74 ± 1.90b	35.30 ± 1.46a	22.77 ± 3.46b	9.09 ± 5.75c	2.56 ± 2.56c	3.93 ± 0.47c

1)表中数据为平均值 ± 标准误;同行凡是具有一个相同字母者,表示差异不显著($P=0.05$,DMRT法);PAI值为45 min内10头赤眼蜂对不同烷烃各浓度处理卵卡的接触次数。

3 讨论

国外学者通过很多试验证明了存在于一些寄主卵表和鳞片的正二十三烷是广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* Westwood、短管赤眼蜂 *T. pretiosum* Riley 等很多赤眼蜂很好的利他素,能显著增强其搜寻能力和寄生率^[22]。Padmavathi 等^[19]测定了不同浓度的11种饱和烷烃对拟澳洲赤眼蜂 *T. chilonis* Ishii 的行为反应和寄生率的影响,得出正二十三烷为拟澳洲赤眼蜂的最好利他素,其次为正二十八烷,正十七烷、正二十烷、正二十四烷和正二十五烷对拟澳洲赤眼蜂的吸引作用不强。Paul 等^[23]也报道正二十五烷、正二十六烷和正三十六烷是巴西利亚赤眼蜂 *T. brasiliensis* Ashmead 和拟暗褐赤眼蜂 *T. exiguum* Pinto et Platner-Oatman 的适合利他素。本试验结果表明,存在于小菜蛾腹部鳞片和卵表的13种烷烃中,经不同烷烃不同浓度处理过的卵卡对卷蛾分索赤眼蜂的吸引作用及寄生率各有不同,每种烷烃都有吸引卷蛾分索赤眼蜂的最佳浓度。其中,正二十七烷对卷蛾分索赤眼蜂的吸引最强,卷蛾分索赤眼蜂在其不同浓度处理过的卵卡上的寄生率也最高,说明正二十七烷是吸引卷蛾分索赤眼蜂最好的利他素,而正十六烷对卷蛾分索赤眼蜂的吸引最弱,卷蛾分索赤眼蜂在其不同浓度处理过的卵卡上的寄生率也最低,说明正十六烷对卷蛾分索赤眼蜂的吸引作用最差。综上所述,因试验寄生蜂和寄主不同,天敌的最佳利他素存在差异。另外,本试验从小菜蛾成虫腹部鳞片和卵表提取的烷烃部分与前人从其他昆虫提取到的基本一致。

前人^[12,24]选择了62.5~500 ng/cm²的范围进

行试验,得出每种烷烃对巴西利亚赤眼蜂 *T. brasiliensis* Ashmead 和拟暗褐赤眼蜂 *T. exiguum* Pinto et Platner-Oatman 吸引作用最强的浓度不同。而本试验选用了更宽的范围0.2~ 2×10^5 ng/cm²进行试验,以期更科学地找出各烷烃吸引卷蛾分索赤眼蜂的最适剂量。本研究表明卷蛾分索赤眼蜂对0.2~ 2×10^3 ng/cm²范围内的选择行为以及卵卡的寄生率比较理想,而对 2×10^5 ng/cm²和对照的选择行为及卵卡的寄生率都较差,这说明浓度过高不但不利于卷蛾分索赤眼蜂的选择行为,甚至有可能因为卵表被烷烃覆盖对赤眼蜂的搜寻行为产生影响。

卷蛾分索赤眼蜂在各烷烃不同浓度处理的卵卡上的接触次数和寄生率各有不同。对不同烷烃来讲,卷蛾分索赤眼蜂在正二十七烷处理卵卡上的接触次数和寄生率都最高,其次为正二十五烷,对正十六烷和正二十二烷处理卵卡的寄生总数最少;卷蛾分索赤眼蜂在0.2~ 2×10^3 ng/cm²范围内的卵卡上接触次数和寄生率相对比较高,剂量太高(如 2×10^5 ng/cm²)不利于卷蛾分索赤眼蜂的寄生。综上所述正二十七烷和正二十五烷对卷蛾分索赤眼蜂的寄生行为以及寄生率有着显著的增强作用,可作为卷蛾分索赤眼蜂关键的利他素加以利用,增强其对目标寄主的搜寻能力,从而提高其寄生率;在利用赤眼蜂防治小菜蛾过程中,可充分利用相应的烷烃对赤眼蜂的影响作用,在田间人为喷洒利他素,以更好地利用赤眼蜂防治小菜蛾。

参考文献:

- [1] TALEKAR N S, SHELTON A M. Biology, ecology and management of the diamondback moth[J]. Annual Review of Entomology, 1993, 38: 275-301.

- [2] JAVIER E Q. Foreword of Proceedings of the second international workshop [C] // TALEKAR N S. Proceedings of the second international workshop: Management of diamondback and other crucifer pests. Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center, 1992.
- [3] BEEVERS M, LEWIS W J, GROSS H R, et al. Kairomones and their use for management of entomophagous insects: X. Laboratory studies on manipulation of host finding behavior of *Trichogramma pretiosum* with a kairomone extracted from *Heliothis zea* (Boddie) moth scales [J]. Journal of Chemical Ecology, 1981, 7: 635-648.
- [4] VET L E M, DICKE M. Ecology of infochemical use natural enemies in a tritrophic context [J]. Annual Review of Entomology, 1992, 37: 141-172.
- [5] LEWIS W J, JONES R L, SPARKS A N. A host-seeking stimulant for the egg parasite *Trichogramma evanescens*: Its source and a demonstration of its laboratory and field activity [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1972, 65 (5): 1087-1089.
- [6] GUELDER R C, NORDLUND D A, LEWIS W J, et al. Kairomones and their use for management of entomophagous insects: XV. Identification of several acids in scales of *Heliothis zea* moths and comments on their possible role as kairomones for *Trichogramma pretiosum* [J]. Journal of Chemical Ecology, 1984, 10 (2): 245-251.
- [7] NOLDUS L P, LENTEREN J C. Kairomones for the egg parasite *Trichogramma evanescens* Westwood: I: Effect of volatile substances released by two of its hosts, *Pieris brassicae* L. and *Mamestra brassicae* L. [J]. Journal of Chemical Ecology, 1985, 11 (6): 781-791.
- [8] FRENOY C, DURIER C, HAWLIZKY N. Effect of kairomones from egg and female adult stages of *Ostrinia nubilalis* (Hbner) (Lepidoptera, Pyralidae) on *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera Trichogrammatidae) female kinesis [J]. Journal of Chemical Ecology, 1992, 18 (5): 761-773.
- [9] RENOU M, NAGNAN P, BERTHIER A, et al. Identification of compounds from the eggs of *Ostrinia nubilalis* and *Mamestra brassicae* having kairomone activity on *Trichogramma brassicae* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1992, 63 (3): 291-303.
- [10] AGELOPOULOS N G, DICKE M, POSTHUMUS M A. Role of volatile infochemicals emitted by feces of larvae in host-searching behavior of parasitoid *Cotesia rubecula* (Hymenoptera: Braconidae): A behavioral and chemical study [J]. Journal of Chemical Ecology, 1995, 21 (11): 1789-1811.
- [11] 王振营, 周大荣, HASSAN S A. 欧洲玉米螟雌蛾鳞片提取液对玉米螟赤眼蜂寄生搜索行为的影响 [J]. 植物保护学报, 1996, 23: 373-374.
- [12] 白树雄, 王振营, 何康来, 等. 玉米螟赤眼蜂对亚洲玉米螟益它素的嗅觉反应 [J]. 昆虫学报, 2004, 47 (1): 48-54.
- [13] NOLDUS L P, LENTEREN J C. Kairomones for the egg parasite *Trichogramma evanescens* Westwood: II: Effect of contact chemicals produced by two of its hosts, *Pieris brassicae* L. and *Pieris rapae* L. [J]. Journal of Chemical Ecology, 1985, 11 (6): 793-800.
- [14] ZABORSKI E, TEAL P E A, LAING J E. Kairomone-mediated host finding by spruce budworm egg parasite. *Trichogramma minutum* [J]. Journal of Chemical Ecology, 1987, 13 (1): 113-122.
- [15] SHU S, JONES R L. Laboratory studies of the host-seeking behavior of a parasitoid, *Trichogramma nubilale* and a kairomone from its host, *Ostrinia nubilalis* [C] // VOEGELE J, WAAGE J, LENTEREN J. 2nd International Symposium: *Trichogramma* and Other Egg Parasites. Paris: Institut National De La Recherche Agronomique, 1988: 10-15.
- [16] KAISER L, PHAM-DELEGUE M H, MASSON C. Behavioural study of plasticity in host preferences of *Trichogramma maidis* (Hym.: Trichogrammatidae) [J]. Physiological Entomology, 1989, 14 (1): 53-60.
- [17] WANG J J, ZONG L B. A study on host-seeking kairomone for *Trichogramma confusum* Viggiani [C] // WAJNBURG E, VINSON S B. 3rd International Symposium: *Trichogramma* and Other Egg Parasitoids. Paris: Les Colloque de l'INRA, 1991: 93-96.
- [18] ANANTHAKRISHNAN T N, SENRAYAN R, MURUGESAN S, et al. Kairomones of *Heliothis armigera* and *Corcyra cephalonica* and their influence on the parasitic potential of *Trichogramma chilonis* (Trichogrammatidae: Hymenoptera) [J]. Journal of Biosciences, 1991, 16 (3): 111-119.
- [19] PADMAVATHI C, PAUL A V N. Saturated hydrocarbons as kairomonal source for the egg parasitoid, *Trichogramma chilonis* Ishii (Hym, Trichogrammatidae) [J]. Journal of Applied Entomology, 1998, 122 (1): 29-32.
- [20] 练永国, 王素琴, 白树雄, 等. 挥发性信息化合物对玉米螟赤眼蜂寄生选择行为的影响 [J]. 昆虫学报, 2007, 50 (5): 448-453.
- [21] VASQUEZ L A, SHELTON A M, HOFFMANN M P, et al. Laboratory evaluation of commercial trichogrammatid products for potential use against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. Biological Control, 1997, 9: 143-148.
- [22] MADHU S, PAUL A V N, SINGH D. Kairomonal effect of saturated hydrocarbons on *Trichogramma brasiliensis* (Ashmead) and *T. japonicum* Ashmead [J]. Shashpa, 1997, 4 (2): 131-135.
- [23] PAUL A V N, SINGH S, SINGH A K. Kairomonal effect of some saturated hydrocarbons on the egg parasitoids, *Trichogramma brasiliensis* (Ashmead) and *Trichogramma exiguum* Pinto, Platner and Oatman (Hym., Trichogrammatidae) [J]. Journal of Applied Entomology, 2002, 126 (7/8): 409-416.