

DOI: 10.20103/j.stxb.202306121252

韩宝瑜, 黄光政, 韩善捷, 王梦馨. 一种灰茶尺蠖高效引诱剂的研制及其田间防效评价. 生态学报, 2024, 44(6): 2597-2608.

Han B Y, Huang G Z, Han S J, Wang M X. Development of an efficient attractant of *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae) and evaluation on its control effect in tea plantations. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(6): 2597-2608.

# 一种灰茶尺蠖高效引诱剂的研制及其田间防效评价

韩宝瑜<sup>1</sup>, 黄光政<sup>1</sup>, 韩善捷<sup>1,2</sup>, 王梦馨<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 中国计量大学生命科学学院, 浙江省生物计量与检验检疫技术重点实验室, 杭州 310018

<sup>2</sup> 杭州茶菊科技有限公司, 杭州 310018

**摘要:**为研制有效诱杀重要害虫灰茶尺蠖雌、雄成虫的性信息素/植物源信息物复合性诱剂, 选源自茶梢和茶花挥发物的 30 个主要成分, 分别配成  $10^{-6}$  g/mL、 $10^{-4}$  g/mL 和  $10^{-2}$  g/mL 液体石蜡溶液作味源, 检测其引起 1 日龄灰茶尺蠖雌、雄成虫的 EAG 反应值。结果表明: ①每种味源的 3 个剂量处理皆引起明显的 EAG 反应; 随着味源浓度增加, EAG 反应值显著增大; ②引起的雌、雄成虫 EAG 反应值相近, 差异不显著; ③芳樟醇、反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇、己醇、苯乙醇和 6-甲基-5-庚烯-2-酮的每个剂量处理引起强烈的 EAG 反应。将这 6 种 EAG 活性成分与灰茶尺蠖 2 个主要的性信息素成分 Z, Z, Z-3, 6, 9-十八碳三烯和 Z, Z-3, 9-6, 7-环氧-十八碳二烯配成数个备选的复合性诱剂, 载于羊毛毡细条上、塑封、制成诱芯, 在茶园中检测其引诱活性, 发现诱效最优的复合性诱剂在每个诱芯上组成为: 6 种 EAG 活性成分各 2 mg、Z, Z, Z-3, 6, 9-十八碳三烯 0.4 mg、Z, Z-3, 9-6, 7-环氧-十八碳二烯 0.6 mg、抗氧化剂——2, 6-二叔丁基-4-甲基苯酚 1 mg、正己烷 100  $\mu$ L。此外, 使用土黄、荧光黄、米黄、素馨黄、桔黄、土褐、墨绿、芽绿、草绿、荧光绿、天蓝、大红和纯白等 13 种色板诱杀灰茶尺蠖成虫, 发现其偏嗜暗黄色, 以土黄色效果最佳。遂将该诱芯载于土黄色粘板上组成诱捕器, 诱杀防治灰茶尺蠖主害代——第 3 代, 试验程序: 在第 2 代羽化始盛期用诱捕器诱杀成虫以减少交尾几率而压低第 3 代幼虫数, 在第 3 代初龄幼虫期喷施 2.5% 联苯菊酯、茶尺蠖核型多角体病毒、苏云金杆菌悬浮剂 ( $1 \times 10^4$  PIB·2000 IU/ $\mu$ L), 接着定期调查三者的防治效果, 结果表明复合性诱剂的防效显著优于后者。该研究为灰茶尺蠖的绿色防控提供了可敷应用的技术产品。

**关键词:**灰茶尺蠖; 复合性诱剂; 触角电位活性成分; 性信息素; 诱杀

## Development of an efficient attractant of *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae) and evaluation on its control effect in tea plantations

HAN Baoyu<sup>1</sup>, HUANG Guangzheng<sup>1</sup>, HAN Shanjie<sup>1,2</sup>, WANG Mengxin<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biometrology and Inspection and Quarantine, College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China

<sup>2</sup> Hangzhou Tea & Chrysanthemum Technology Co. Ltd., Hangzhou 310018, China

**Abstract:** In order to develop a sex pheromone/plant-derived volatile complex sexual attractant for efficaciously trapping *Ectropis grisescens* female and male adults, thirty major volatile compounds from tea shoots and tea flowers were chosen and prepared as odor sources at the dosages of  $10^{-6}$  g/mL,  $10^{-4}$  g/mL, and  $10^{-2}$  g/mL in liquid paraffin. Each dosage treatment was applied for electroantennogram (EAG) determination on 1 day-old male and female adults of *E. grisescens*. EAG responses showed that: ① Every dosage could elicit obvious EAG responses, and EAG value significantly increased with the rise of the dosage; ② The female and male adults showed similar EAG response values. ③ Each dosage treatment of linalool, *trans*-2-hexenal, *cis*-3-hexen-1-ol, hexanol, phenethyl alcohol, and 6-methyl-5-hepten-2-one caused intense EAG

**基金项目:**浙江省重点研发计划项目(2020C02026);浙江省属高校基本科研业务费专项资金资助项目(2021YW41)

**收稿日期:**2023-06-12; **网络出版日期:**2023-12-22

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wmx@cjlu.edu.cn

responses. The six EAG-active components blended with two main sex pheromones, *Z, Z, Z*-3, 6, 9-octadecatriene, and *Z, Z*-3, 9-6, 7-epoxy-octadecadiene, to make up the various candidates of the complex sexual attractant. Every candidate was uploaded onto a little strip of wool felt, which was sealed by PVC film to compose a trap for field trials. After a series of trials, a candidate, i. e. complex sexual attractant, gave the optimal control effect. Its composition on one lure was that 2 g of each of the six EAG-active compounds was blended with 0.4 mg *Z, Z, Z*-3, 6, 9-octadecatriene, 0.6 mg *Z, Z*-3, 9-6, 7-epoxy-octadecadiene, 1 mg butylated hydroxytoluene, and 100  $\mu$ L hexane. In addition, the attracting effect of thirteen colored types of sticky boards, including earth yellow, fluorescent yellow, beige yellow, jasmine yellow, orange, clay brown, dark green, bud green, grass green, fluorescent green, sky blue, bright red and pure white, on the geometrid adults was tested in tea plantations, and the adults preferred dark yellow to other colors with the earth yellow appeared optimum. One lure attached on one earth yellow sticky board to form one complex sexual attractant trap. The most serious damaging generation of the geometrid was the 3rd generation. During the 2nd generation eclosion peak beginning stage, the traps were applied for mass trapping its adults, so as to reduce mating opportunity and lower the individual number of the third generation larvae. Both 2.5% bifenthrin, and *Ectropis obliqua* nucleopolyhedrovirus (*Ecob* NPV)·*Bacillus thuringiensis* preparations (containing both  $1 \times 10^4$  PIB/ $\mu$ L *Ecob* NPV and 2000 IU/ $\mu$ L *Bacillus thuringiensis*) were respectively sprayed on the larvae of the 3rd generation. In turn, the control effect of each of three treatments was investigated at an interval, and that of complex sexual attractant exceeded the latter two. The present study provide the applicable technology and product for green control on the geometrid.

**Key Words:** *Ectropis griseascens*; complex sexual attractant; electroantennogram active components; sex pheromones; attract and kill

茶尺蠖 *Ectropis obliqua* Prout 是我国大陆茶区最重要的害虫之一。20 世纪 70 年代首次爆发于浙皖苏三省交界处茶区,至 90 年代已扩展至全国主要茶区<sup>[1]</sup>。过去的几十年,它的近缘种灰茶尺蠖 *Ectropis griseascens* Warren 与之伴随发生于华东地区<sup>[2]</sup>以致于全国茶区<sup>[3]</sup>。化学防治是重要的防治措施。有些茶区也施用茶尺蠖核型多角体病毒(NPV)制剂<sup>[4]</sup>。在部分茶园生境中尺蠖原绒茧蜂 *Protapanteles immunis* (Haliday) (原名茶尺蠖绒茧蜂 *Apanteles* sp.) 和单白绵副绒茧蜂 *Parapanteles hyposidrae* (Wilkinson) (原名单白绵绒茧蜂 *Apanteles* sp.) 对于茶尺蠖幼虫种群显示高寄生率和跟随效应<sup>[5-8]</sup>,二者也寄生灰茶尺蠖幼虫。在这两种寄生蜂盛发期,还可使用引诱剂调控其行为而提高寄生率<sup>[7]</sup>。20 世纪 80 年代以来,在浙皖苏交界区域茶园秋季其第 5 代、第 6 代种群中,根虫瘟霉 *Zoophthora radicans* 酿成规模不等的流行病,而在一定程度上制约着茶尺蠖种群<sup>[9]</sup>。

现阶段施药仍是防治这两种茶园尺蠖的主要手段,不过业界对于尺蠖性诱剂研发及其应用技术表现出前所未有的兴趣。殷坤山等<sup>[10-11]</sup>首次报道了茶尺蠖性腺的位置和 5 种基本的性信息素成分。这 5 种成分中,*Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯是引起雄蛾求偶行为的主要成分,引起 30%—47%雄蛾求偶;*Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯引诱活性稍低,其余 3 种即 3, 6, 9-二十二碳三烯、3, 6, 9-二十四碳三烯、*Z, Z*-9, 12-十八碳二烯醛引起的雄蛾求偶率更低<sup>[10-11]</sup>。么恩云等<sup>[12]</sup>认为茶尺蠖两个重要性信息素成分是 *Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯和 *Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯,3, 6, 9-二十二碳三烯、3, 6, 9-二十四碳三烯对于雄虫也有一定引诱活性,3, 6, 9-十九碳三烯则对雄虫表现出抑制作用。Luo 等报道茶尺蠖性信息素成分是 *Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯,*Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-十八碳二烯和 *Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-十九碳二烯,比例是 4:4:2<sup>[13]</sup>。Yang 等报道茶尺蠖性信息素成分是 *Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯,*Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-十八碳二烯,比例为 2:8 或者 4:6<sup>[14]</sup>。罗宗秀等<sup>[13, 15]</sup>认为灰茶尺蠖性信息素是 *Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯、*Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯,二者比例为 4:6、总剂量 1 mg 时,效果最好。Ma 等报道灰茶尺蠖性信息素是 *Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯、*Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯,二者比例为 1:4、总剂量 1000  $\mu$ g 时效果好<sup>[16]</sup>。相关研发机构利用茶尺

蠖和灰茶尺蠖性信息素成分制作了多种类型的性诱剂于茶园中诱杀茶尺蠖和灰茶尺蠖成虫,具有一定效果,但现阶段应用面积较小,主要是防效不够好且不稳定。

然而,这两种尺蠖类害虫经常在茶园中重发,施药防治尺蠖引起的副作用较多,必须拓展治虫新途径。昆虫信息素无公害,活性强,可以设法维持其稳定的高诱杀效果。灰茶尺蠖和茶尺蠖都是比较专化的茶树害虫,雌、雄成虫对于茶树挥发物趋性较强<sup>[17-18]</sup>,亦即茶树挥发物也能强烈地吸引茶尺蠖雌雄成虫,有些报道证实寄主植物挥发物可增效害虫性信息素。Gregg 等认为高效率引诱剂的有效组分可以源自同一种寄主植物、数种寄主植物、不同科的寄主植物、或者动物挥发物<sup>[19]</sup>。本研究拟基于前期研究,借助于昆虫触角电生理反应技术(Electrophysiology, EAG)筛选出引起灰茶尺蠖雌、雄成虫强烈 EAG 反应的茶树挥发性化合物,再与灰茶尺蠖性信息素恰当组合,经田间系列诱杀试验,筛选高效的性信息素/植物源信息物复合型性诱剂,用于灰茶尺蠖的防治。

## 1 材料与方法

### 1.1 灰茶尺蠖雌雄成虫触角电生理反应

#### 1.1.1 味源及其剂量

选用源自新鲜茶梢、茶花挥发物的 30 种主要成分<sup>[20-24]</sup>(表 1),用液体石蜡为溶剂,将每成分配成  $10^{-6}$ g/mL、 $10^{-4}$ g/mL 和  $10^{-2}$ g/mL 3 个剂量。

表 1 30 种味源化合物的名称和纯度及来源

Table 1 Purity and sources of thirty synthetic odorant compounds

序号 No.	样品名称 Compound	纯度 Purity	来源 Source
1	芳樟醇 Linalool	≥99%	Sigma-Aldrich
2	反-2-己烯醛 <i>trans</i> -2-Hexenal	≥99%	Sigma-Aldrich
3	顺-3-己烯-1-醇 <i>cis</i> -3-Hexen-1-ol	≥99%	Sigma-Aldrich
4	苯甲醛 Benzaldehyde	≥99%	Sigma-Aldrich
5	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	≥99%	Sigma-Aldrich
6	香叶醇 Geraniol	≥99%	Sigma-Aldrich
7	吲哚 Indole	≥99%	Sigma-Aldrich
8	顺-3-己烯乙酸酯 <i>cis</i> -Hexenyl acetate	≥99%	Sigma-Aldrich
9	茉莉酮酸甲酯 Methyl Jasmonate	≥99%	Sigma-Aldrich
10	反-2-戊烯醛 <i>trans</i> -2-Pentenal	≥99%	Sigma-Aldrich
11	顺-2-戊烯-1-醇 <i>cis</i> -2-Penten-1-ol	≥99%	Sigma-Aldrich
12	烯丙基异硫氰酸酯 Allyl isothiocyanate	≥99%	Sigma-Aldrich
13	橙花醇 Nerol	≥99%	Sigma-Aldrich
14	罗勒烯 Ocimene	≥99%	Sigma-Aldrich
15	苯乙酮 Acetophenone	≥99%	Sigma-Aldrich
16	正戊醇 Pentanol	≥99%	Sigma-Aldrich
17	正己醇 1-Hexanol	≥99%	Sigma-Aldrich
18	1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	≥99%	Sigma-Aldrich
19	顺-茉莉酮 <i>cis</i> -Jasmone	≥99%	Sigma-Aldrich
20	β-紫罗酮 β-Ionone	≥99%	Sigma-Aldrich
21	α-松油烯 α-Terpinene	≥99%	Sigma-Aldrich
22	苯乙醇 Phenethyl alcohol	≥99%	Sigma-Aldrich
23	α-松油醇 α-Terpineol	≥99%	Sigma-Aldrich
24	雪松醇 (+)-Cedrol	≥99%	Sigma-Aldrich
25	3-萜烯 (+)-3-Caren	≥99%	Sigma-Aldrich
26	α-石竹烯 α-Humulene	≥99%	Sigma-Aldrich
27	苯甲醇 Benzyl alcohol	≥99%	Sigma-Aldrich
28	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	≥99%	Sigma-Aldrich
29	水芹烯 <i>R</i> -(-)-α-Phellandrene	≥99%	Sigma-Aldrich
30	己酸 Hexanoic acid	≥99%	Sigma-Aldrich

### 1.1.2 试验昆虫

4 月份从浙江省松阳县茶园采集灰茶尺蠖幼虫,于中国计量大学室内连续饲养 3 代,选用刚羽化的 1 日龄雌、雄成虫为试验昆虫。

### 1.1.3 EAG 试验程序和数据统计分析

昆虫触角电位仪购自荷兰 Syntech 公司,触角电位试验程序类似于文献<sup>[24-25]</sup>。使用眼科手术剪刀将灰茶尺蠖左侧触角从基部剪除,从触角基部插入充满电生理盐水的参考电极。触角端部切去少许,被套入记录电极,记录电极也充满电生理盐水。先用液体石蜡测试,校准 EAG 反应值为 0,再用味源刺激。

吸取每个剂量的标准品溶液 20  $\mu\text{L}$  加于 5 mm $\times$ 60 mm 滤纸条上,让溶剂挥发 30 秒,再将滤纸插入 15 cm 长的巴斯德玻璃管中,这是一个供给味源的小管。味源是按照浓度升高序列供给的,从  $10^{-6}$  g/mL、 $10^{-4}$  g/mL 至  $10^{-2}$  g/mL。巴斯德玻璃管口距离供试触角约 1.5 cm。供给 1 次气味,就刺激 1 次触角。每刺激触角 1 次,就暂停 2min,让流动的空气带走触角周围的气味,以便触角上的气味接受器恢复原状。

每种味源的每个剂量检测 15 根触角。被气味刺激之后的触角上产生的电信号传入放大器(型号 Syntech CS-05)放大,再用软件(Syntech, Hilversum, 荷兰)显示于电脑屏幕上,贮存于电脑硬盘上。

## 1.2 田间检测 4 种性诱剂和植物源引诱剂对灰茶尺蠖的诱效

### 1.2.1 性诱剂和植物源引诱剂配制

如表 2,依据文献[14]和[15],将 *Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯和 *Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯按照 4:6 比例,再加入正己烷和抗氧化剂(Butylated hydroxytoluene, BHT)配制成性诱剂 I。依据文献[16],将 *Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯和 *Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯按照 2:8 比例,加入正己烷和抗氧化剂 BHT 配制成性诱剂 II。将 *Z, Z, Z*-3, 6, 9-十八碳三烯和 *Z, Z*-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯按照 4:6 比例,加入表 1 中 6 种触角活性植物挥发物芳樟醇、反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇、正己醇、苯乙醇和 6-甲基-5-庚烯-2-酮,每种化合物皆是 2 mg,配制成性信息素/植物源信息物复合型性诱剂。最后,将这 6 种触角活性化合物等量混合,每种 5 mg,配制成植物源引诱剂。

配制每种引诱剂时,分别将各信息化合物和 1 mg BHT 加入正己烷(表 2)中,混匀,载于 1 条 1.5 cm $\times$ 4.5 cm $\times$ 1.0 cm 的羊毛毡上,以聚氯乙烯塑料膜(膜厚 100  $\mu\text{m}$ )封闭,制成 1 个诱芯。各制成诱芯贮于-20 $^{\circ}\text{C}$ 的冰箱内备用。

表 2 4 种引诱剂的每个诱芯上载的信息物质及其含量

Table 2 Pheromone composition on each of lures respectively baited four types of sex attractants and plant-derived attractant

性诱剂或引诱剂 Sex attractant or Plant-derived attractant	植物源挥发物 Plant-derived volatiles/mg	<i>Z, Z, Z</i> -3, 6, 9-十八碳三烯 <i>Z, Z, Z</i> -3, 6, 9-Octadecatriene / $\mu\text{g}$	<i>Z, Z</i> -3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯 <i>Z, Z</i> -3, 9-6, 7-epoxy-Octadecadiene/ $\mu\text{g}$	正己烷 Hexane/ $\mu\text{L}$	抗氧化剂 Butylated hydroxytoluene BHT /mg	
性诱剂 I Sex attractant I	0	0	400	600	100	1
性诱剂 II Sex attractant II	0	0	200	800	100	1
复合型性诱剂 Complex sexual attractant	芳樟醇 反-2-己烯醛 顺-3-己烯-1-醇 正己醇 苯乙醇 6-甲基-5-庚烯-2-酮	2 2 2 2 2 2	400	600	200	1
植物源引诱剂 Plant-derived attractant	芳樟醇 反-2-己烯醛 顺-3-己烯-1-醇 正己醇 苯乙醇 6-甲基-5-庚烯-2-酮	5 5 5 5 5 5	0	0	200	1
对照 CK	0	0	0	0	100	1

### 1.2.2 性诱剂或植物源引诱剂对灰茶尺蠖成虫诱效的比较试验

选用北京中捷四方生物科技有限公司的白色三角形诱捕器,长 20 cm。每个诱捕器内挂 1 个诱芯,诱芯距诱捕器底板 1 cm,底板涂布无色无味昆虫胶。2020 年 6 月 18—20 日、6 月 25 日—27 日、7 月 19—21 日、7 月 26 日—28 日,分别在浙江省松阳县茶区选 4 块面积 1 hm<sup>2</sup>左右的有机茶园,分别用于 4 次诱捕试验。每次诱捕试验设 6 个组,每组包括表 2 的 5 种诱芯。在每个组内 5 个三角形诱捕器呈线型排列、距离 30 m,组间距离 30 m,每种诱芯重复 6 次。每次试验历时 3 日,每日统计每种诱芯捕获的灰尺蠖个数,并更换底板。比较这 5 种诱芯之间的诱效差异。

依据同样方法,2021 年 6 月 18—20 日、6 月 25 日—27 日、7 月 19—21 日、7 月 26 日—28 日在松阳县茶区有机茶园重复同样的诱捕试验。

同法,于 2021 年 6 月 16—18 日、6 月 23 日—25 日、7 月 17—19 日、7 月 24 日—26 日在安徽省宣城市安徽省敬亭山茶场的一片无公害茶园执行同样的诱捕试验。

### 1.3 灰茶尺蠖成虫趋色性检测

#### 1.3.1 诱虫色板

尺寸为 40 cm×0.20 cm 的铜板纸,色彩有荧光黄、米黄、素馨黄、土黄、桔黄、土褐、墨绿、芽绿、草绿、荧光绿、天蓝、大红和纯白等 13 种颜色,由杭州茶菊科技有限公司生产。使用柯尼卡美能达公司生产的色彩色差计(型号为 CM-3600A),色空间选用绝对测量方式(L\* a\* b\* 色差系统),检测每种色板亮度 L、色度坐标 a、色度坐标 b。对于每种色板随机挑选 5 块检测,取平均值(表 3)。测色之后,双面均匀涂布无色无味昆虫胶,覆盖防粘纸,室温下贮存备用。

表 3 13 种色板的亮度和色度

Table 3 Brightness and chroma of thirteen types of color boards

色板类型 Color type	亮度 Lightness	色度坐标 <sup>a</sup> Chroma coordinate	色度坐标 <sup>b</sup> Chroma coordinate
荧光黄 Fluorescent yellow	91.50	-18.22	+71.40
米黄 Beige	87.37	+0.21	+21.54
素馨黄 Jasmine yellow	82.82	+2.83	+72.57
土黄 Earth yellow	75.95	+14.77	+61.34
桔黄 Orange	64.30	+37.51	+46.56
土褐 Clay brown	57.52	+8.34	+22.12
墨绿 Dark green	52.99	-41.89	+7.30
芽绿 Bud green	71.36	-35.25	+52.28
草绿 Grass green	67.89	-33.55	+41.30
荧光绿 Fluorescent Green	66.32	-68.48	+46.20
天蓝 Sky blue	53.48	-11.84	-41.44
大红 Bright red	43.15	+49.67	+23.71
纯白 Pure white	89.31	+2.55	-14.42

色度坐标 a 中,“+”表示红成分,“-”表示绿成分;色度坐标 b 中,“+”表示黄成分,“-”表示蓝成分

#### 1.3.2 诱捕方法

用细铁丝将色板悬挂在竹签上,竹签插于茶丛中间,各种颜色色板随机放置,相互间距 7—8 m,色板底面略微高于茶梢。2021 年 7 月 23 日在安徽省敬亭山茶场进行诱捕,24 h 之后,调查色板两面累积诱捕的灰茶尺蠖成虫数。每种色板重复 10 次。2021 年 7 月 28 日在浙江省松阳县茶园同法进行试验。

### 1.4 复合型性诱剂和化学农药及茶尺蠖核型多角体病毒-苏云菌杆菌悬浮剂对灰茶尺蠖的防效比较

#### 1.4.1 4 种处理的试验设置

2022 年 6 月选浙江省松阳县一大片灰茶尺蠖比较严重的茶园,分为 4 种处理。每种处理包含 4 个小区,

共 16 个小区,小区随机设置,每小区面积 667 m<sup>2</sup>即 1 亩:

(1)复合型性诱剂诱杀处理:6月25日为第2代灰茶尺蠖发蛾始盛期,将每1个复合型性诱剂诱芯附于1块20 cm×40 cm土黄色诱虫板上组成诱捕器,每块诱捕器挂于1支竹签上,竹签插入茶行中,让诱虫板底边高于茶蓬面1 cm。每个小区放置4只诱捕器,相互间距15 m。

7月12日为第3代灰茶尺蠖1—3龄幼虫盛期,在该处理的4个小区,分别用五点取样法调查每小区幼虫虫口,每个样点为2 m茶行,将茶丛一分为二,用力拍打枝叶、振落幼虫,以塑料布承接,计数幼虫个数。

(2)茶尺蠖核型多角体病毒·苏云菌悬浮剂喷施处理:7月12日,先以五点取样法调查每小区幼虫虫口基数。调查之后,再施用茶核·苏云菌悬浮剂,规格为茶尺蠖核型多角体病毒 $1 \times 10^4$  PIB/ $\mu$ L·苏云金杆菌2000 IU/ $\mu$ L,扬州绿源化工有限公司当年产品。用药量为茶核·苏云菌悬浮剂500倍(150 mL/667 m<sup>2</sup>),在每个小区内均匀喷施。

(3)施药处理:包括4个小区,7月12日先以五点取样法调查每小区幼虫虫口基数,再均匀喷施2.5%联苯菊酯(青岛泰源科技发展有限公司生产)1200倍溶液。

(4)CK处理:也包括4个小区。7月12日先以五点取样法调查幼虫虫口基数,再悬挂表2中的CK诱芯,每小区挂4只CK诱捕器,相互间距15 m。

#### 1.4.2 4种处理的防效计算

在7月14日、7月19日使用五点取样法调查每种处理的每小区幼虫数,计算平均值。

校正虫口减退率(%) = (防治区虫口减退率-对照区虫口减退率)/(100%-对照区虫口减退率)×100%

7月27日是第3代灰茶尺蠖成虫盛期,在每个处理的小区内按照五点法放置5块土黄色诱虫板,诱捕该尺蠖成虫。

### 1.5 统计分析

使用软件<sup>[26]</sup>,对于30种味源引起的EAG反应值差异(1.1)、3种性诱剂和1种植物源引诱剂及对照诱杀的灰茶尺蠖成虫个数差异(1.2)、13种色彩诱杀的灰茶尺蠖成虫个数差异(1.3)、复合型性诱剂和联苯菊酯等4种处理对于灰茶尺蠖幼虫田间防效的差异(1.4),先用方差分析检测差异的显著性,再用Tukey法检测各种处理之间的差异水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 茶梢和茶花挥发物可引起灰茶尺蠖雌雄成虫明显的EAG反应

供试的30种挥发物的每一种剂量皆可引起灰茶尺蠖雄成虫(图1)、雌成虫(图2)触角的比较强烈的EAG反应。随着反应剂量从 $10^{-6}$  g/mL、 $10^{-4}$  g/mL升至 $10^{-2}$  g/mL,雄成虫或者雌成虫的EAG反应值显著增大,雄成虫(或者雌成虫)3个剂量处理引起的EAG反应值之间的差异达显著水平( $P < 0.05$ ),亦即随着味源浓度的加大,触角的EAG反应值显著增大,呈现明显的剂量反应。

图1中每种味源的3个剂量皆可引起明显的EAG反应,图中每个柱形图的数值就是1个平均值。若将每种味源的3个剂量的EAG平均值相加再除以3,则得到一个平均值,引起雄成虫EAG平均值前8位的化合物:22号、0.4361 mV;28号、0.3633 mV;1号、0.3283 mV;3号、0.2720 mV;27号、0.2455 mV;2号、0.2437 mV;17号、0.2386 mV;16号、0.1994 mV。同理,由图2算得引起雌成虫EAG平均值前8位的化合物:3号、0.3247 mV;1号、0.3195 mV;22号、0.3161 mV;2号、0.3112 mV;17号、0.2625 mV;28号、0.2553 mV;16号、0.2419 mV;27号、0.2201 mV。亦即,引起雄成虫最大EAG值的前8种化合物、以及引起雌成虫最大EAG值的前8种化合物是相同的。本研究选用其中的6种化合物,即1号、2号、3号、17号、22号和28号。从图1、图2中可以明显地看出,在30种味源化合物中,1号(芳樟醇)、2号(反-2-己烯醛)、3号(顺-3-己烯-1-醇)、17号(正己醇)、22号(苯甲醇)和28号(6-甲基-5-庚烯-2-酮)皆能引起雄蛾(图1)、或雌蛾(图2)强烈的EAG反应。其中反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇和正己醇都是绿叶气味分子,芳樟醇和苯甲醇是茶叶主要香气成分,

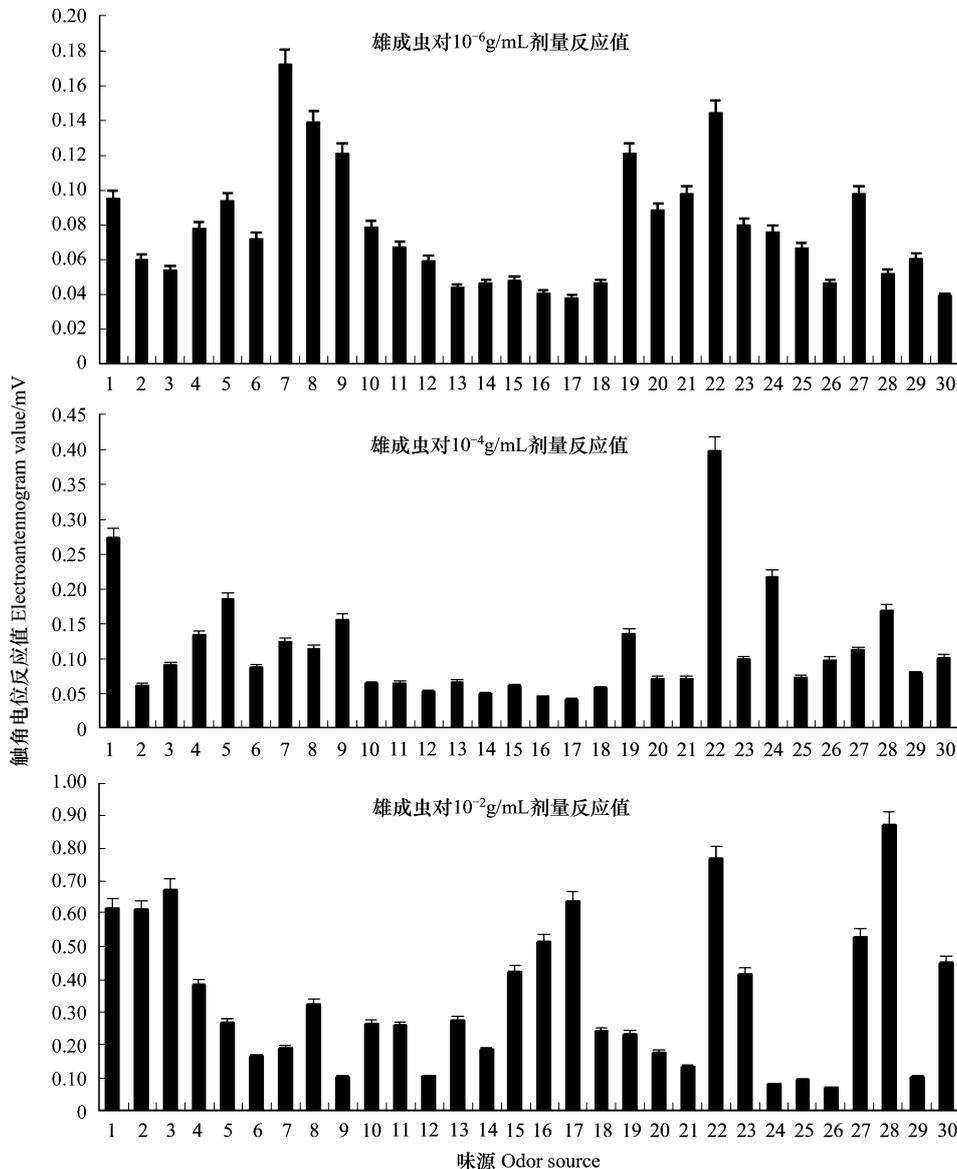


图1 灰茶尺蠖雄成虫对于30种茶树挥发物3个剂量的EAG反应

Fig.1 EAG responses of *Ectopis grisea* male adults to 3 dosages of 30 tea plant volatiles

EAG:昆虫触角电位

6-甲基-5-庚烯-2-酮是茶树鲜叶比较特殊的香气成分。这6种化合物是新鲜茶叶重要的挥发性信息化合物,灰茶尺蠖是比较专化性的茶树害虫,其成虫对这些化合物敏感,展示了触角电生理的功能反应。

当检测剂量为 $10^{-6}$  g/mL时,30种味源处理引起的引起雄成虫、雌成虫EAG平均值分别为0.0773 mV和0.0788 mV,雄成虫EAG反应值与雌成虫EAG反应值之间差异未达显著水平(Student's *t*-test)。当剂量为 $10^{-4}$  g/mL时,引起雄成虫、雌成虫EAG平均值分别为0.1114 mV和0.1181 mV,雄成虫EAG反应值与雌成虫EAG反应值之间差异也未达显著水平(Student's *t*-test)。当剂量为 $10^{-2}$  g/mL时,引起雄成虫、雌成虫EAG平均值分别为0.3377 mV和0.3004 mV,雄成虫EAG反应值与雌成虫EAG反应值之间差异还是未达显著水平(Student's *t*-test)。因此,雌成虫与雄成虫对于茶叶主要挥发物的EAG反应值大小近似。

## 2.2 田间3种性诱剂和植物源引诱剂诱捕灰茶尺蠖成虫数量的差异

2020年6月在松阳县有机茶园的4次田间诱杀结果表明,性诱剂I、性诱剂II、复合型性诱剂以及植物源

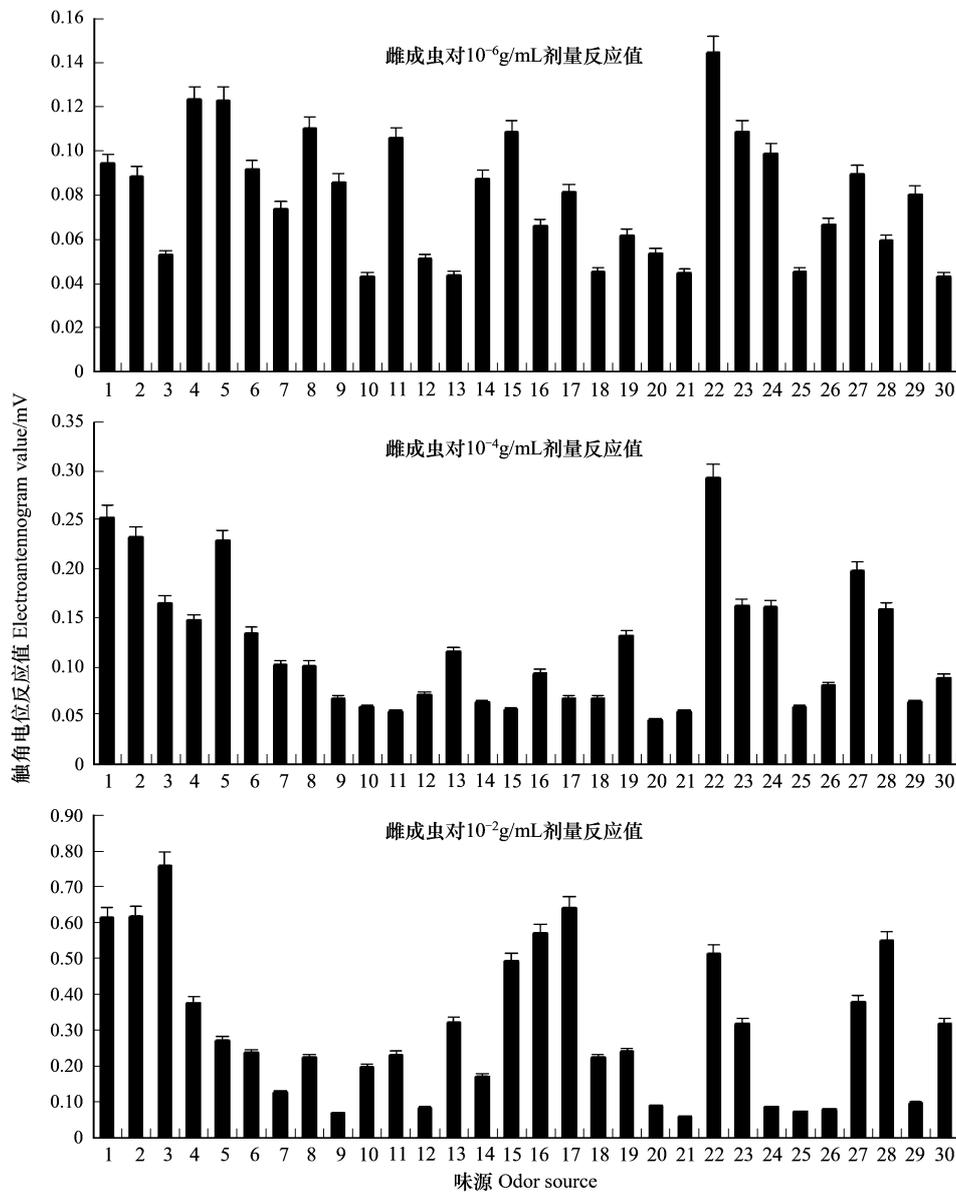


图2 灰茶尺蠖雌成虫对于30种茶树挥发物3个剂量的EAG反应

Fig.2 EAG responses of *Ectopis grisescens* female adults to 3 dosages of 30 tea plant volatiles

引诱剂都可以捕获较多的灰茶尺蠖雌、雄成虫。方差分析表明5种处理之间差异显著( $P < 0.05$ ),以复合性引诱剂诱捕的成虫个数最多(表4)。

表4 2020年松阳茶区性诱剂和植物源引诱剂诱杀的灰茶尺蠖成虫个数及差异

Table 4 Difference in catches of adults of *Ectopis grisescens* by three types of sex attractants and plant-derived attractant in Songyang tea region in 2020

性诱剂或引诱剂 Sex attractant or botanical attractant	6月18—20日 June 18—20	6月25—27日 June 25—27	7月19—21日 July 19—21	7月26—28日 July 26—28	平均数±标准差 Average±SD
性诱剂 I Sex attractant I	11	15	18	24	17±5.5b
性诱剂 II Sex attractant II	11	15	17	25	17±5.9b
复合性性诱剂 Complex sexual attractant	19	30	28	46	31±11.2a
植物源引诱剂 Plant-derived attractant	10	14	16	22	16±5.0b
CK	0	1	1	1	1±0.5c

试验时间在2020年;地点:浙江省松阳县;同一列带有不同小写字母的数值之间差异达显著水平( $P < 0.05$ )

同法,在松阳县茶区同样的试验茶园,2021年6月18—20日、6月25日—27日、7月19—21日、7月26日—28日诱捕灰茶尺蠖的试验结果如表5。诱杀效果表明复合型性诱剂诱捕效果最好。

依据同样方法,2021年6月16—18日、6月23日—25日、7月17—19日、7月24日—26日在安徽省敬亭山茶场无公害茶园诱捕灰茶尺蠖成虫的试验结果如表6。复合型性诱剂的效果显著得优越。

表5 2021年松阳县茶区性诱剂和植物源引诱剂诱杀的灰茶尺蠖成虫的个数及差异

Table 5 Difference in catches of adults *Ectopris grisescens* by three types of sex attractants and plant-derived attractant in Songyang tea region in 2021

性诱剂或引诱剂 Sex attractant or botanical attractant	6月18—20日 June 18—20	6月25—27日 June 25—27	7月19—21日 July 19—21	7月26—28日 July 26—28	平均数±标准差 Average±SD
性诱剂 I Sex attractant I	13	16	20	27	19.0±6.1b
性诱剂 II Sex attractant II	13	17	20	28	19.5±6.4b
复合型性诱剂 Complex sexual attractant	21	33	30	51	33.8±12.6a
植物源引诱剂 Plant-derived attractant	13	16	19	28	19.0±6.5b
CK	0	2	2	2	1.5±1.0c

试验时间在2021年,地点:同表4

表6 2021年安徽省敬亭山茶场性诱剂和植物源引诱剂诱杀的灰茶尺蠖成虫的个数及差异

Table 6 Difference in catches of adults *Ectopris grisescens* by three types of sex attractants and plant-derived attractant in Jingtingshan tea farm Anhui Province in 2021

性诱剂或引诱剂 Sex attractant or botanical attractant	6月16—18日 June 16—18	6月23日—25日 June 23—25	7月17—19日 July 17—19	7月24日—26日 July 24—26	平均数±标准差 Average±SD
性诱剂 I Sex attractant I	14	18	22	28	20.5±6.0b
性诱剂 II Sex attractant II	15	19	21	30	21.3±6.3b
复合型性诱剂 Complex sexual attractant	23	38	35	55	37.8±13.2a
植物源引诱剂 Plant-derived attractant	14	19	22	29	21.0±6.3b
CK	1	3	3	2	2.3±1.0c

试验时间在2021年,地点:安徽省敬亭山茶场

### 2.3 13种色彩中土黄色对于灰茶尺蠖雌雄成虫诱效显著

2021年7月23—24日,在安徽省敬亭山茶场一片无公害茶园使用13种粘性色板对第3代灰茶尺蠖雌、雄成虫实施诱捕,调查24h内每块色板两面累积诱捕的灰茶尺蠖雌、雄成虫个数。与其它类型色板相比,土黄色、桔黄、素馨黄、土褐色和荧光黄具有显著诱效(表7)。2021年7月28—29日,在浙江省松阳县一片无公害茶园同法进行试验,尽管所选供试茶园灰茶尺蠖成虫密度较低,在24h之内也还是土黄色、桔黄、素馨黄、土褐色和荧光黄诱得灰茶尺蠖雌、雄成虫个数最多(表7)。因此,认为该尺蠖成虫偏嗜暗黄色,土黄色诱效最佳。

表7 13种色板诱捕的灰茶尺蠖雌雄成虫数量

Table 7 Difference in catches of adult *Ectopris grisescens* trapped by 13 types of sticky color boards

色彩类型 Color type	安徽敬亭山茶场 Anhui Jingtingshan tea farm	浙江松阳县茶区 Songyang tea region in Zhejiang	色彩类型 Color type	安徽敬亭山茶场 Anhui Jingtingshan tea farm	浙江松阳县茶区 Songyang tea region in Zhejiang
荧光黄 Fluorescent yellow	0.4±0.5abc	0.2±0.4a	芽绿 Bud green	0.4±0.7abc	0.1±0.3a
米黄 Beige yellow	0.3±0.5bc	0.1±0.3a	草绿 Grass green	0.4±0.5abc	0.0±0.0a
素馨黄 Jasmine yellow	0.9±0.7abc	0.2±0.4a	荧光绿 Fluorescent Green	0.3±0.7bc	0.1±0.3a
土黄 Earth yellow	1.2±0.6ab	0.3±0.5a	天蓝 Sky blue	0.2±0.4c	0.1±0.3a
桔黄 Orange	1.3±0.9a	0.2±0.4a	大红 Bright red	0.4±0.7abc	0.1±0.3a
土褐 Clay brown	0.6±0.7abc	0.2±0.4a	纯白 Pure white	0.1±0.3c	0.2±0.6a
墨绿 Dark green	0.5±0.7abc	0.1±0.3a			

## 2.4 复合性诱剂与农药及茶尺蠖核型多角体病毒·苏芸菌杆菌悬浮剂对灰茶尺蠖的防效差异

在复合性诱剂处理的 4 个小区,第 2 代灰茶尺蠖产卵前(6 月 25 日)就在茶园设置携带复合性诱剂诱芯的土黄色诱虫板诱杀其成虫,7 月 12 日对 4 种处理的每个小区第 3 代灰茶尺蠖幼虫虫口的调查结果表明,复合性诱剂处理的小区平均虫口( $5.3 \pm 1.0$ )皆显著低于其它 3 个处理区(表 8),说明复合性诱剂从 6 月 25 日起大量诱杀了灰茶尺蠖成虫,导致茶树上该尺蠖第 3 代着卵量很少。此后受天敌寄生和捕食以及农事影响,7 月 12—19 日复合性诱剂处理区内幼虫密度一直很低,防效最佳(表 8)。

在 CK 区域的 4 个小区,7 月上中旬灰茶尺蠖卵和各龄幼虫混合发生,卵持续孵化,至 7 月 19 日幼虫数量最多(表 8)。

在农药处理区,7 月 12 日施药后,7 月 14 日的校正虫口下降率(防治效果)为 89.5%,效果好。但是 5d 之后,即 7 月 19 日持续效果下降至 60.0%(表 8)。

在病毒·苏芸菌悬浮剂防治区,7 月 12 日施用病毒·苏芸菌悬浮剂之后,7 月 14 日防效 14.1%;7 月 19 日防效为 86.4%,防效优良;但 4 个小区平均虫口( $6.3 \pm 0.5$ )高于复合性诱剂处理的 4 个小区( $5.5 \pm 1.3$ )。

7 月 27 日已进入第 3 代灰茶尺蠖羽化盛期,在每个处理的小区内放置 5 块土黄色诱虫板诱捕灰茶尺蠖成虫。每个处理包括 4 个小区,在复合性诱剂处理、病毒·苏芸菌悬浮剂处理、2.5%联苯菊酯处理和 CK 处理各自的 4 个小区内,24 小时诱得的成虫总数分别是 10 头、20 头、48 头和 48 头。进一步说明复合性诱剂区域内防效最佳。

表 8 复合性诱剂和化学农药及病毒·苏芸菌悬浮剂对灰尺蠖幼虫的防效及差异

Table 8 Difference in control effect of complex sexual attractant, pesticide and *EcoB* NPV preparations on larvae of *Ectropis grisescens* in 2022

试验日期 Test date	虫口 Population	复合性诱剂 Complex sexual attractant	病毒·苏芸菌悬浮剂 <i>EcoB</i> NPV· <i>Bacillus</i> <i>thuringiensis</i> preparations	2.5%联苯菊酯 2.5% Bifenthrin	CK
7 月 12 日 July 12	每小区虫口	4	50	49	51
		6	46	48	43
		6	40	43	45
		5	32	33	31
	平均数±标准差	$5.3 \pm 1.0a$	$42.0 \pm 7.8b$	$43.3 \pm 7.3b$	$42.5 \pm 8.4b$
7 月 14 日 July 14	每小区虫口	5	44	5	52
		5	41	5	45
		6	37	4	46
		6	30	5	36
	平均数±标准差	$5.5 \pm 0.6b$	$38.0 \pm 6.1a$	$4.8 \pm 0.5b$	$44.8 \pm 6.6a$
	虫口下降率		9.5%	88.9%	-5.4%
	校正虫口下降率		14.1%	89.5%	
7 月 19 日 July 19	每小区虫口	7	7	20	53
		4	6	22	47
		6	6	17	48
		5	6	14	39
	平均数±标准差	$5.5 \pm 1.3c$	$6.3 \pm 0.5c$	$18.2 \pm 3.5b$	$46.8 \pm 5.8a$
	虫口下降率		85.0%	56.0%	-10.1%
	校正虫口下降率		86.4%	60.0%	

同一行带有不同小写字母的数值之间差异达显著水平( $P < 0.05$ )

## 3 讨论

罗宗秀等<sup>[13, 15]</sup>认为灰茶尺蠖信息素成分 Z, Z, Z-3, 6, 9-十八碳三烯、Z, Z-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯

之间比例为 4:6, 近期罗宗秀等又提出灰茶尺蠖性信息素 Z, Z, Z-3, 6, 9-十八碳三烯、Z, Z-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯之间比例为 3:7<sup>[27]</sup>、总剂量 1 mg 时, 效果最佳。本研究将合成的 Z, Z, Z-3, 6, 9-十八碳三烯、Z, Z-3, 9-6, 7-环氧-18 碳二烯按 4:6 比例配制成性诱剂 I, 按 2:8 比例配制成性诱剂 II, 田间诱蛾结果表明, 二者对于第 2 代灰茶尺蠖雄蛾具有显著诱杀效果, 防效相当。再将二者按照 4:6 比例配制总剂量为 1 mg 性诱剂, 加入对于灰茶尺蠖具有显著诱效的植物源挥发物芳樟醇、反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇、正己醇、苯乙醇和 6-甲基-5-庚烯-2-酮, 每种挥发物剂量是 2 mg, 组成复合型性诱剂, 展示出更强的效果。

性信息素诱蛾效果显著<sup>[13, 15, 27]</sup>。若能筛选出关键的植物源信息物质, 按照恰当比例组成的引诱剂, 也具有显著诱效。而且, 适宜的植物挥发物对性信息素有显著增诱作用, 苯甲醇就显著增强斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (F.) 性信息素对于雄蛾的引诱效应<sup>[28]</sup>。本研究的 6 种植物挥发物与灰茶尺蠖性信息素相互增效。

当把芳樟醇、反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇、正己醇、苯乙醇和 6-甲基-5-庚烯-2-酮分别按 5 mg 剂量等比例配成植物源引诱剂, 也展示优良的诱效, 其诱效与性诱剂 I 和性诱剂 II 的诱效相当。原因之一: 反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇、正己醇是绿叶气味, 对于一般害虫都有比较强烈引诱效应; 芳樟醇和苯乙醇在茶鲜叶挥发物中含量比较丰富; 6-甲基-5-庚烯-2-酮在茶鲜叶中虽含量不大, 但是茶叶的一种比较专化的成分; 这些成分属于茶树比较专化的成分, 对于茶树上比较专化的灰茶尺蠖就具有强烈诱效。就像十字花科特异性成分烯丙基异硫氰酸酯对于小菜蛾雌、雄成虫皆有十分显著的引诱效果<sup>[29]</sup>。因此, 具有物种专化性的植物挥发物的恰当组合, 可配出诱效优良的引诱剂。原因之二: 植物源引诱剂可以同时吸引灰茶尺蠖的雌成虫和雄成虫。

色彩、形状、尺寸和其它可视因子是害虫搜寻寄主植物的关键线索<sup>[30-33]</sup>。本研究发现灰茶尺蠖成虫对于暗黄色有嗜好性, 土黄色诱虫板就比较强烈地吸引灰茶尺蠖成虫, 也强烈地吸引茶尺蠖成虫<sup>[34-37]</sup>, 而且茶树信息物质可强化黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance) 的趋色性<sup>[38]</sup>, 本研究的复合型性诱剂与土黄色粘虫板相结合的诱效更好。Luo 等也认为灰茶尺蠖性诱剂宜与粘性物体组合以便获得更好诱效<sup>[27]</sup>。本研究 13 种色板的生产厂与郑颖姹等<sup>[36]</sup>所用色板的生产厂不同, 这些产品的 L、a 和 b 值基本上类似, 芽绿和素馨黄色彩的 L、a 和 b 值略有差异。

灰茶尺蠖是我国重要茶树病虫之一, 通常伴随着近缘种茶尺蠖在茶园中发生。其 1 年发生 6—7 代, 以第 3 代为主害代。农药、NPV 制剂和 Bt 制剂常被用于防治其幼虫。本研究先筛选出具有强烈 EAG 活性的茶树挥发性化合物, 再与灰茶尺蠖 2 个主要的性信息素成分组合, 配制出在田间有着高效诱杀效应的复合型性诱剂, 附于诱效较强的土黄色板上。在第 2 代灰茶尺蠖成虫始盛期至盛末期大量诱杀雄成虫和部分雌成虫, 卓有成效地降低第 3 代幼虫密度。

#### 参考文献 (References):

- [1] 韩宝瑜, 周鹏, 崔林, 周孝贵, 夏艳. 不同管理方式的茶园生境中茶尺蠖及其天敌密度的差异. 植物保护学报, 2007, 34(1): 15-21.
- [2] 姜楠, 刘淑仙, 薛大勇, 唐美君, 肖强, 韩红香. 我国华东地区两种茶尺蠖的形态和分子鉴定. 应用昆虫学报, 2014, 51(4): 987-1002.
- [3] 唐美君, 王志博, 郭华伟, 殷坤山, 肖强. 茶尺蠖和灰茶尺蠖幼虫及成虫的鉴别方法. 植物保护, 2019, 45(4): 172-175.
- [4] 张欣欣, 梅洋, 李红, 唐美君, 贺康, 肖强. 两株茶尺蠖核型多角体病毒毒株对灰茶尺蠖的毒力及基因组差异. 植物保护学报, 2021, 48(6): 1457-1465.
- [5] 韩宝瑜, 周孝贵, 周鹏, 崔林. 茶园绒茧蜂数量和空间动态及其与茶尺蠖的相关性. 浙江农业学报, 2006, 18(4): 203-206.
- [6] 胡萃, 赵启泉, 任翔, 朱俊庆, 张正荣, 吴琛琛. 茶尺蠖绒茧蜂放蜂试验简报. 植物保护学报, 1980, 7(4): 252-254.
- [7] 韩宝瑜, 周鹏, 付建玉, 崔林. 昆虫化学信息素诱集绒茧蜂控制茶尺蠖的研究. 茶叶科学, 2006, 26(1): 72-75.
- [8] 周孝贵, 唐璞, 吴琼, 郭华伟, 肖强, 陈学新. 茶尺蠖和灰茶尺蠖幼虫两种共有寄生蜂的鉴定. 中国生物防治学报, 2023, 39(1): 1-9.
- [9] 李增智, 杨健平, 汪命龙, 鲁绪祥. 圆孢虫疫霉在茶尺蠖中的流行. 茶业通报, 1988, 10(2): 10-12.
- [10] 殷坤山, 洪北边, 洪子华. 茶尺蠖性信息素腺体部位的研究. 中国茶叶, 1990, 12(5): 8-9.
- [11] 殷坤山, 洪北边, 尚稚珍, 么恩云, 李正名. 茶尺蠖性信息素生物学综合研究. 茶尺蠖性信息素生物学综合研究. 自然科学进展—国家重点实验室通讯, 1993, 3(4): 332-338.
- [12] 么恩云, 李正名, 罗志强, 尚稚珍, 殷坤山, 洪北边. 茶尺蠖性信息素化学结构研究初报. 自然科学进展—国家重点实验室通讯, 1991, 1

- (5): 452-454.
- [13] Luo Z X, Li Z Q, Cai X M, Bian L, Chen Z M. Evidence of premating isolation between two sibling moths: *Ectropis grisescens* and *Ectropis obliqua* (Lepidoptera: Geometridae). *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110(6): 2364-2370.
- [14] Yang Y Q, Zhang L W, Guo F, Long Y H, Wang Y, Wan X C. Reidentification of sex pheromones of tea geometrid *Ectropis obliqua* prout (Lepidoptera: Geometridae). *Journal of Economic Entomology*, 2016, 109(1): 167-175.
- [15] 罗宗秀, 李兆群, 蔡晓明, 边磊, 陈宗懋. 灰茶尺蠖性信息素的初步研究. *茶叶科学*, 2016, 36(5): 537-543.
- [16] Ma T, Xiao Q, Yu Y G, Wang C, Zhu C Q, Sun Z H, Chen X Y, Wen X J. Analysis of tea geometrid (*Ectropis grisescens*) pheromone gland extracts using GC-EAD and GC×GC/TOFMS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(16): 3161-3166.
- [17] 许宁, 陈宗懋, 游小清. 引诱茶尺蠖天敌寄生蜂的茶树挥发物的分离与鉴定. *昆虫学报*, 1999, 42(2): 126-131.
- [18] 范培珍, 韩善捷, 韩宝瑜. 灰茶尺蠖为害诱导茶树释放的互利素的鉴定. *中国生物防治学报*, 2020, 36(1): 65-71.
- [19] Gregg P C, Del Socorro A P, Henderson G S. Development of a synthetic plant volatile-based attracticide for female noctuid moths. II. Bioassays of synthetic plant volatiles as attractants for the adults of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Australian Journal of Entomology*, 2010, 49(1): 21-30.
- [20] Han B Y, Zhang Q H, Byers J A. Attraction of the tea aphid, *Toxoptera aurantii*, to combinations of volatiles and colors related to tea plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2012, 144(3): 258-269.
- [21] Mu D, Cui L, Ge J, Wang M X, Liu L F, Yu X P, Zhang Q H, Han B Y. Behavioral responses for evaluating the attractiveness of specific tea shoot volatiles to the tea green leafhopper, *Empoasca vitis*. *Insect Science*, 2012, 19(2): 229-238.
- [22] Han B, Zhou P, Cui L, Fu J Y. Characterization of the key aromatic constituents in tea flowers of elite Chinese tea cultivars. *International Journal of Tea Science*, 2007, 6(1): 31-36.
- [23] Niu Y Q, Han S J, Wu Z H, Pan C, Wang M X, Tang Y Y, Zhang Q H, Tan G J, Han B Y. A push-pull strategy for controlling the tea green leafhopper (*Empoasca flavescens* F.) using semiochemicals from *Tagetes erecta* and *Flemingia macrophylla*. *Pest Management Science*, 2022, 78(6): 2161-2172.
- [24] Han B Y, Wang M X, Zheng Y C, Niu Y Q, Pan C, Cui L, Chauhan K R, Zhang Q H. Sex pheromone of the tea aphid, *Toxoptera aurantii* (Boyer De Fonscolombe) (Hemiptera: Aphididae). *Chemoecology*, 2014, 24(5): 179-187.
- [25] 崔林, 张新亭, 周宁宁, 叶火香, 余继忠, 祝愿, 韩宝瑜. 茶互利素和蚜性信息素及其组合调控大草蛉行为的效应. *生态学报*, 2015, 35(5): 1537-1546.
- [26] Tang Q. DPSDATA PROCESSING SYSTEM Volume III Specialized Statistics and Miscellanea (Fifth Edition). Beijing: Science Press, 2020, 12
- [27] Luo Z X, Magsi F H, Li Z Q, Cai X M, Bian L, Liu Y, Xin Z J, Xiu C L, Chen Z M. Development and evaluation of sex pheromone mass trapping technology for *Ectropis grisescens*: a potential integrated pest management strategy. *Insects*, 2019, 11(1): 15.
- [28] Fang Y L, Zeng R, Lu S F, Dai L Y, Wan X L. The synergistic attractiveness effect of plant volatiles to sex pheromones in a moth. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2018, 21(1): 380-387.
- [29] Han B Y, Zhang Z N, Fang Y L. Electrophysiology and behavior feedback of diamondback moth, *Plutella xylostella*, to volatile secondary metabolites emitted by Chinese cabbage. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(24): 2086-2088.
- [30] Prokopy R J, Owens E D. Visual detection of plants by herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 1983, 28: 337-364.
- [31] Cornelius M L, Duan J J, Messing R H. Visual stimuli and the response of female oriental fruit flies (Diptera: Tephritidae) to fruit-mimicking traps. *Journal of Economic Entomology*, 1999, 92(1): 121-129.
- [32] Bostanian N J, Racette G. Attract and kill, an effective technique to manage apple maggot, *Rhagoletis pomonella* [Diptera: Tephritidae] in high density Quebec apple orchards. *Phytoprotection*, 2005, 82(1): 25-34.
- [33] Horridge A. Visual discriminations of spokes, sectors, and circles by the honeybee (*Apis mellifera*). *Journal of Insect Physiology*, 2006, 52(9): 984-1003.
- [34] 王彦苏, 韩善捷, 韩宝瑜. 盛夏西湖龙井茶园色板诱杀的昆虫类群的组成及其趋色性差异. *生态学报*, 2020, 40(19): 7093-7103.
- [35] 林金丽, 韩宝瑜, 周孝贵, 陈学好. 色彩对茶园昆虫的引诱力. *生态学报*, 2009, 29(8): 4303-4316.
- [36] 郑颖姘, 钮羽群, 崔桂玲, 周宁宁, 张新亭, 王梦馨, 崔林, 郑雨婷, 韩宝瑜. 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性. *生态学报*, 2013, 33(16): 5017-5025.
- [37] 王勇, 张汉鹄, 邹运鼎. 彩纸对茶尺蠖幼虫诱集效率的研究. *植物保护学报*, 1991, 18(2): 177-180.
- [38] 韩善捷, 叶火香, 李金珠, 韩宝瑜. 茶树信息物质强化黑刺粉虱趋色效应的田间检测. *植物保护学报*, 2016, 43(2): 275-280.