

DOI: 10.5846/stxb201402050214

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.

Cui L, Zhang X T, Zhou N N, Ye H X, Yu J Z, Zhu Y, Han B Y. Behavioral responses of *Chrysopa septempunctata* to synomones of tea plants and sex pheromones of aphids: Effectiveness on tea aphid control. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(5): 1537-1546.

茶互利素和蚜性信息素及其组合调控大草蛉行为的效应

崔 林¹, 张新亭¹, 周宁宁¹, 叶火香², 余继忠³, 祝 愿¹, 韩宝瑜^{1,*}

1 中国计量学院浙江省生物计量及检验检疫技术重点实验室, 杭州 310018

2 浙江省松阳县农业局, 松阳 323400

3 杭州市农业科学研究院, 杭州 310008

摘要: 茶蚜群聚于茶梢上刺吸, 而茶梢是加工名优茶的原料, 不便施药治蚜。大草蛉虽是茶蚜主要天敌之一, 但在自然情况下不足以控制茶蚜。遂探讨以茶梢互利素、蚜虫性信息素及其组合引诱大草蛉制约茶蚜的技术。使用顶空吸附法采集蚜害茶梢和健康茶梢挥发物, 经 GC-MS 分析发现蚜害茶梢 (*E*)-2-戊烯醛、苯甲醛和 α -法尼烯的含量丰富。将蚜害茶梢挥发物中 16 种主要成分、蚜虫性信息素荆芥内酯和荆芥醇、以及 α -法尼烯、苯甲醛和荆芥醇的 2:2:6 比例混合物分别制成味源, 这 19 种味源的剂量都是 200 μg 。经检测发现荆芥醇、荆芥内酯、 α -法尼烯、(*E*)-2-戊烯醛和苯甲醛引起大草蛉的 EAG 值明显大于其它 13 种单组分引起的 EAG 值, 而小于 α -法尼烯、苯甲醛和荆芥醇混合物引起的 EAG 值。再将荆芥内酯和荆芥醇分别按 7 种比例配成 7 种味源, 还把 α -法尼烯、苯甲醛和荆芥醇的 2:2:6 比例混合物、以及 (*Z*)-3-己烯-1-醇、(*E*)-2-戊烯醛、(*E*)-2-己烯醛、苯甲醛和 α -法尼烯分别作为味源, 用这 13 种味源分别制成的诱芯于秋季茶园中诱集大草蛉, 每个诱芯含有信息物质总量是 10 mg, 结果表明: α -法尼烯、苯甲醛和荆芥醇混合物的诱效最强, 称为大草蛉诱集剂; 荆芥内酯和荆芥醇 1:9 或 0:10 比例的混合物诱效次之。深秋置大草蛉诱集剂诱芯于蚜群中, 可诱来许多大草蛉成虫捕食茶蚜, 并产卵于茶园中而增加大草蛉幼虫越冬基数, 翌年春季就近捕食越冬蚜卵孵化的茶蚜。该诱集剂及其使用技术可作为一种治理茶蚜手段。

关键词: 茶树互利素; 蚜虫性信息素; 茶蚜; 大草蛉; 行为调控; 草蛉诱集剂; 荆芥醇; α -法尼烯; 苯甲醛

Behavioral responses of *Chrysopa septempunctata* to synomones of tea plants and sex pheromones of aphids: Effectiveness on tea aphid control

CUI Lin¹, ZHANG Xinting¹, ZHOU Ningning¹, YE Huoxiang², YU Jizhong³, ZHU Yuan¹, HAN Baoyu^{1,*}

1 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biometrology and Inspection & Quarantine, College of Life Sciences of China Jiliang University, Hangzhou 310018, China

2 Agricultural Bureau of Songyang County of Zhejiang Province, Songyang 323400, China

3 Hangzhou Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China

Abstract: The tea aphid, *Toxoptera aurantii* (Boyer), aggregates, pierces and sucks the sap of the tea shoots. The chemical control is not practical and restricted, since the tender tea shoots are commonly used for producing quality tea leaves. The green lacewing, *Chrysopa septempunctata* Wesm., is one of the most important natural enemies of the tea aphid. However, the effectiveness of using this predator to suppress tea aphid populations is limited by their dispersal behavior and inefficiency of prey search. Here, we proposed a new strategy for enhancing the biological control against the

基金项目: 杭州市科技计划项目 (20130432B10)

收稿日期: 2014-02-05; 网络出版日期: 2014-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: han-insect@263.net

tea aphids by using the tea shoot synomones and the aphid sex pheromones as potential lacewing attractant lures. The volatiles were collected from aphid-damaged tea shoots and intact tea shoots by the headspace sampling technique, and analyzed by gas chromatography coupled with mass spectrometry. (*E*)-2-pentenal, benzaldehyde and α -farnesene were identified as three dominant volatile components, followed by other 13 compounds from aphid-damaged tea shoots. EAG responses by the lacewing antennae were tested on the 16 synthetic individual compounds identified from aphid-damaged tea shoots, the two known aphid sex pheromone components (nepetalactone and nepetalactol), and a synthetic mixture containing α -farnesene, benzaldehyde and nepetalactol at ratio of 2:2:6, at 200 μ g loading dosage for each tested compound or mixture. Nepetalactol, nepetalactone, α -farnesene, (*E*)-2-pentenal and benzaldehyde elicited higher EAG responses than did the other identified volatile components. However, the highest lacewing EAG response was observed to the synthetic mixture of α -farnesene, benzaldehyde and nepetalactol. This synthetic blend, aphid sex-pheromone, nepetalactone and nepetalactol, blends at seven different ratios (10:0, 9:1, 7.5:2.5, 5:5, 2.5:7.5, 1:9, 0:10), (*Z*)-3-hexen-1-ol, (*E*)-2-pentenal, (*E*)-2-hexenal, benzaldehyde and α -farnesene, each at 10 mg dosage, were tested in the field. Our field trapping results showed that the synthetic blend of α -farnesene, benzaldehyde and nepetalactol was the most attractive to *C. septempunctata* adults, followed by nepetalactol alone and the binary blend of nepetalactone and nepetalactol at 1:9 ratio, which caught more lacewings than did the other ratios of the pheromone binary blends or other individual plant volatile compounds. During the field observations, we also found that the lacewing adults were not only attracted to lure-baited tea plants to directly prey on aphids, but also oviposited to raise their larva overwintering population in the habitat with plenty of overwintering aphid eggs. The deployment of lacewing attractant lures on tea plants may provide a unique, novel, and non-traditional control strategy against the economically important tea aphids.

Key Words: tea plant synomones; aphid sex pheromones; tea aphid; *Chrysopa septempunctata*; behavior response; lacewing attractant; nepetalactol; α -farnesene; benzaldehyde

我国茶园面积已达 260 万 hm^2 , 约占世界茶园面积 57%。茶蚜 *Toxoptera aurantii* Boyer 是茶树重要害虫之一, 广泛分布于全国茶区。其成、若蚜具有显著的趋嫩为害习性, 刺吸茶树嫩芽、嫩叶和嫩茎, 致芽头弯曲、叶片卷曲、嫩茎细弱, 还分泌“蜜露”致芽叶粘连; “蜜露”落于茶树中、下层叶面上引发茶煤病, 影响茶树光合作用。遭受蚜害之后, 茶梢生长停滞以至于枯萎, 以蚜害茶梢制成的商品茶叶质量劣变。据浙江省“安吉白茶”产区农技部门多年经验测算, 茶蚜重度发生的茶园, 蚜害可致当季茶叶产值下降 20%—30%, 还导致下一个季节树势衰竭、减产减值。生长季节茶蚜蚜群中的个体大多数是无翅胎生雌蚜, 少数是有翅胎生雌蚜, 群聚于茶梢上刺吸汁液、分泌蜜露。茶梢是加工名优茶的原料, 不便施用农药治蚜。大草蛉 *Chrysopa septempunctata* Wesmael 是茶蚜的主要天敌之一, 而在通常情况下不足以控制该蚜。如果使用信息物质诱集和指引大草蛉寻觅并捕食茶蚜, 则可提高搜寻效率和捕食效果。多年来的研究已肯定虫害之后植株释放挥发性互利素招引天敌昆虫, 害虫分泌物和残留物含有引诱天敌的利它素。本课题组也发现: 被茶蚜为害的茶树品种龙井 43 的茶梢挥发物中苯甲醛含量显著增加、反-2-己烯醛和吲哚的含量明显增加, 苯甲醛和反-2-己烯醛引起中华草蛉 *Chrysopa sinica* (Tjeder) 强烈的触角电生理 (EAG) 反应以及风洞中向上风飞行行为^[1]; 茶蚜气味、茶蚜体表的正己烷或乙醚漂洗物、茶蚜蜜露中都含有强烈引起中华草蛉 EAG 反应的利它素^[2]。未探讨在茶园开放环境中, 这些信息物质是否能够有效调控大草蛉行为? 还有一些研究揭示: 雌成蚜释放的性信息素包含 (4*aS*, 7*S*, 7*aR*)-nepetalactone 和 (1*R*, 4*aS*, 7*S*, 7*aR*)-nepetalactol 两种成分, 二者通常以不同比例、或以某个单一成分出现于某个蚜虫种内^[3-7]; 这两种蚜虫性信息素引诱某些种类的蚜虫天敌, 比如, 草蛉 *Chrysopa cognate* Wesmael^[8]、蚜虫的寄生蜂^[9-10]; 而且, 合成的 nepetalactone 与从荆芥植株提取的天然 nepetalactone 对于寄生蜂的引诱活性无差异^[11]。本组已鉴定茶蚜性信息素含有 (4*aS*, 7*S*, 7*aR*)-nepetalactone 和 (1*R*, 4*aS*, 7*S*, 7*aR*)-nepetalactol, 二者比例为 4.3—4.9:1^[12]。

既然茶梢互利素引诱中华草蛉,蚜虫性信息素对于某些草蛉类和寄生蜂类也有强烈引诱效应,那么可否将这两类信息物质按适宜的比例组合起来制成诱集剂,用于诱集大草蛉而强化对于茶蚜的制约效应?本研究拟分离鉴定茶树良种龙井长叶 *Camellia sinensis* cv. Longjingchangye 的茶梢互利素,检测茶梢互利素单组分、蚜虫性信息素、以及茶互利素和蚜性信息素的混合物调控大草蛉行为的效应,筛选出诱效最强的信息物质单组分或混合物作为大草蛉诱集剂,并研讨其诱集大草蛉制约茶蚜技术。

1 材料与方法

1.1 茶蚜为害茶梢和健康茶梢挥发物的分离鉴定

春茶期间从中国农业科学院茶叶研究所试验茶园采集茶蚜于实验室内饲养。春茶后期于浙江省杭州市梅家坞村的山林中选一片未有茶蚜为害、面积约 0.2 hm² 的有机茶园,定 2 株相距 50 m 的茶树。将室内饲养的 1000 头茶蚜(其中约 95% 是无翅蚜、5% 是有翅蚜)轻轻接于其中 1 棵茶树的 6 支健康茶梢上,接着用纱网罩住这 6 支茶梢以防茶蚜逃逸。待茶蚜取食 24 h 之后,剪下这 6 支蚜害茶梢,用小刷子缓缓移除茶梢上的茶蚜及其蜕皮,称量,总质量 15.5 g。用浸蒸馏水的脱脂棉包裹茶梢基部以保湿,立刻用于收集挥发物。同时剪下选定的另 1 株茶树上的 6 支健康茶梢,称量,总质量也是 15.5 g,梢基部同法保湿,收集挥发物。茶树品种为龙井长叶,茶树树龄 20 年,茶树高 95 cm,茶行行距 1.5 m,同一行的茶树株距 33 cm。

使用 Mu 等^[13]的“推-拉式”空气夹带吸附装置,其主体部件是一个直径 10 cm、体积 10 L 的玻璃圆柱体,组成圆柱体的两部分以磨砂口紧密结合,旋开,分别放入健康茶梢、蚜害茶梢,再拧紧。圆柱体的两端分别具有进气口、出气口。由进气口通入已过滤的洁净空气,流量为 100 mL/min,出气口依次连接 Super Q(80 mg)吸附柱、流量计和抽气泵。出气口的流量稍小于进气口气流量,以保证通入的洁净空气充盈圆柱体、阻抑周围未过滤气体的进入。抽气 1 h 后,取下吸附柱,用 300 μ L 色谱纯二氯甲烷淋洗,淋洗液接入体积 1500 μ L 的贮样瓶中,加入 10⁻⁴ g/mL 的癸酸乙酯 1 μ L 作为内标,摇匀。用微量进样器吸取 1 μ L 进 GC-MS 分析。

仪器型号为 Agilent GC(6890N)-MS(5975B)。色谱柱为 30.0 m(长)× 250 μ m(直径)× 0.25 μ m(膜厚)id HP-5MS 石英毛细管柱;不分流进样;恒定流量,流量为 1.0 mL/min;溶剂延迟 3 min;进样口温度 250 $^{\circ}$ C;GC/MS 接口温度 280 $^{\circ}$ C;程序升温其柱温 50—190 $^{\circ}$ C,起始 50 $^{\circ}$ C,保持 5 min,再以 3 $^{\circ}$ C/min 速度升至 190 $^{\circ}$ C,保持 5 min。EI 离子源,电离能 70 eV。使用全扫描,扫描频率为 2 次/s。载气为 99.999% 的氦气。

定性分析方法:根据样品中组分峰的保留时间与可信的合成化合物峰的保留时间一致性、样品中组分峰的质谱图与化学工作站标准化合物质谱图的匹配度、新鲜茶梢挥发性化合物文献^[2, 14-16]。定量分析方法:GC 上样品中组分峰的面积与内标峰面积的相对比值。

1.2 茶蚜为害茶梢挥发物各组分和茶蚜性信息素引起大草蛉 EAG 反应试验

1.2.1 味源和试虫的准备

从蚜害茶梢挥发物中鉴定了 21 种化合物(图 1,表 2),除去 4 种烷烃类和 1 种未知组分,其余 16 种化合物用作供试味源。这 16 种供试化合物购自 Sigma-Aldrich 公司或东京化成公司(Tokyo Chemical Industry Co., LTD),纯度均为色谱纯($\geq 98\%$);荆芥内酯和荆芥醇由美国 Rescue 昆虫信息素公司提供,纯度 $\geq 99\%$;将 α -法尼烯、苯甲醛和荆芥醇按 2:2:6 比例配成混合物。这 19 种味源的剂量都是 10 μ g/ μ L。正己烷为溶剂。

秋季从茶园中收集大草蛉幼虫回室内用茶蚜饲养,选取同一批羽化的大草蛉成虫作为试虫。

1.2.2 测试程序

昆虫触角电位仪购自 Syntech 公司,采用 Han 和 Chen^[2]的测试方法。用虹膜剪刀从每头草蛉左侧触角基剪下触角,从触角基部插入参考电极,触角端部减去少许,套入记录电极内,注入电生理盐水。先用正己烷测试,校准 EAG 反应值为 0,再用味源刺激。分别吸取每种味源 20 μ L 均匀滴在 6 cm×0.5 cm 滤纸条上,放入刺激管,刺激管尖端连接气体刺激装置,刺激气体流量 20 mL/min。每次味源刺激时间是 0.5 s,两次味源刺激之间的间隔为 2 min,以便空气刺激控制器(Model CS-05b, Syntech)提供洁净湿润空气以带走供试触角周围的

气味、以及触角恢复常态。安置昆虫触角电位仪的实验室装有换气扇,以排除室内气味。每种味源检测 10 根触角。得到的 EAG 信号经放大器 (Syntech CS-05) 放大后展示于示波器上,经 Syntech 软件转换后贮存于计算机中供统计分析。

1.3 蚜害茶梢挥发物各组分和蚜虫性信息素及其组合引诱大草蛉的田间试验

1.3.1 引诱大草蛉的供试信息物质配制和诱芯制作

14 种供试信息物质的组成如表 1 的 I—XIV 号,每个诱芯上载的每种信息物质中含有的混合物或单组分的剂量都是 10 mg。分别将 I—XIV 号的 10 mg 信息物质和 1 mg 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚 (butylated hydroxytoluene,常用缩写 BHT,作为抗氧化剂)加入 90 μ L 正己烷中,混匀,载于 1 条 4.5 cm(长) $\times$ 1.5 cm(宽) $\times$ 1.0 cm(厚)的羊毛毡上,以聚氯乙烯塑料膜封闭,即制成 1 个诱芯。贮于-20℃的冰箱内备用。

1.3.2 载有信息物质的诱芯引诱大草蛉的试验

从北京中捷四方生物科技有限公司购置三角形诱捕器,诱捕器白色,长 20 cm。在每个诱捕器内悬挂 1 个诱芯,诱芯距底板 1 cm,底板均匀涂布无色无味昆虫胶,用于诱捕茶园大草蛉以比较诱芯之间的诱效差异。

在 2012 年秋季于皖南安徽省敬亭山茶场选 4 块面积 1 hm^2 左右的有机茶园,分别用于 4 次诱捕试验,即 10 月 3—5 日、10 月 27—29 日、10 月 30—11 月 1 日、11 月 2—4 日。每次诱捕试验设 6 个组,每组包括表 1 的 14 种诱芯,在每个组内 14 个三角形诱捕器呈线型排列,间距 10 m,组间距离 30 m,每种诱芯重复 6 次。每次试验历时 3 日,统计每种诱芯捕获的大草蛉总数,选用效果最佳者作为大草蛉诱集剂。

表 1 每个诱芯上载的每种引诱大草蛉的供试信息物质及其含量

Table 1 Composition of each of fourteen preparations for test to attract *Chrysopa septempunctata* loaded on one lure

序号 No.	供试信息物 Infochemicals for test	荆芥内酯 Nepetalactone/mg	荆芥醇 Nepetalactol/mg	正己烷 Hexane/ μ L	抗氧化剂 Butylated hydroxytoluene/mg
I	蚜虫性信息素 A	10	0	90	1
II	蚜虫性信息素 B	9	1	90	1
III	蚜虫性信息素 C	7.5	2.5	90	1
IV	蚜虫性信息素 D	5	5	90	1
V	蚜虫性信息素 E	2.5	7.5	90	1
VI	蚜虫性信息素 F	1	9	90	1
VII	蚜虫性信息素 G	0	10	90	1
VIII	蚜虫性信息素 H	0	0	100	1
序号 No.	供试信息物质 Infochemicals to be test	茶梢挥发物 Volatiles from tea shoots		正己烷 Hexane/ μ L	抗氧化剂 Butylated hydroxytoluene/mg
IX	(Z)-3-己烯-1-醇	(Z)-3-己烯-1-醇 10mg		90	1
X	(E)-2-戊烯醛	(E)-2-戊烯醛 10mg		90	1
XI	(E)-2-己烯醛	(E)-2-己烯醛 10mg		90	1
XII	苯甲醛	苯甲醛 10mg		90	1
XIII	α -法尼烯	α -法尼烯 10mg		90	1
XIV	α -法尼烯、苯甲醛与荆芥醇的混合物	α -法尼烯 2mg、苯甲醛 2mg、荆芥醇 6mg		90	1

1.4 大草蛉诱集剂诱集大草蛉制约茶蚜的试验

1.4.1 越冬期间在皖南茶园的试验

将“1.3.2”筛选的大草蛉诱集剂按“1.3.1”的方法制成诱芯,于 2012 年 10 月 31 日放置于安徽省敬亭山茶场的一片 0.5 hm^2 无公害茶园中。诱芯挂于茶梢上,间距 8 m $\times$ 8 m。另选 1 km 之外一块 0.5 hm^2 无公害茶园作为 CK 区,不放置诱芯。在诱集区和 CK 区分别用平行跳跃法选 10 个样方,每样方为 15 米茶行,统计每样方内茶梢上茶蚜数量 ≥ 20 头的有蚜茶梢数。2013 年 3 月 10 日,同法调查诱集区和 CK 区有蚜茶梢数,计算诱集区和 CK 区有蚜茶梢数下降率、诱集区校正有蚜茶梢数下降率即防治效果。

$$\text{校正有蚜茶梢数量下降率(防治效果)} = \frac{(\text{诱集区有蚜茶梢数下降率} - \text{CK 区有蚜茶梢数下降率})}{(1 - \text{CK 区有蚜茶梢数下降率})} \%$$

1.4.2 越冬期间在苏南茶园的试验

2012 年 11 月 14 日,在苏南丹阳市江苏吟春碧芽股份有限公司选相互间距 0.5 km 的 3 块无公害茶园,其中的一块作为大草蛉诱集区,参照“1.4.1”同法放置诱芯;第 2 块为不放置诱芯的 CK 区;第 3 块放置 40 cm×20 cm 无粘性芽绿色板,色板的亮度 L 是 69.27,色板的色度坐标 a 是 36.76、色度坐标 b 是 59.17^[17],色板附于小竹竿上,下底边与茶梢等高,色板间距 8 m×8 m,诱集大草蛉。

参照“1.4.1”,11 月 14 日同法在 3 块茶园调查有蚜茶梢数。翌年 3 月 10 日,同法调查诱集剂诱集区、无粘性芽绿色板诱集区和 CK 区的有蚜茶梢数,分别计算诱集剂诱集区、芽绿色板区和 CK 区的有蚜茶梢数下降率,以及诱集剂诱集区、无粘性芽绿色板诱集区校正有蚜茶梢数下降率。

1.4.3 越冬期间在浙西南茶园的试验

2013 年 11 月 15 日在浙江省松阳县新兴镇选一大片有机茶园。这片有机茶园位于一个山坡上,坡度约 10°,稀疏地间种杨梅、桂花等经济林木,经济林木高 2.5—3.5 m。蚜害茶梢的密度较大,大草蛉在茶行间飞翔。选其中 0.5 hm²区域为诱集剂试验区,500 m 之外再选一片 0.5 hm²区域为 CK 区。参照“1.4.1”,同法放置诱芯;2014 年 3 月 5 日同法调查有蚜茶梢数并作统计分析。

1.4.4 春茶期间在杭州郊区茶园的试验

2014 年 3 月 25 日选杭州市农业科学研究院茶叶研究所一大片 3 年生—4 年生未投产茶园,其中 0.5 hm²区域为诱集剂试验区,500 m 之外的另一片 0.5 hm²区域为 CK 区。参照“1.4.1”,同法放置诱芯;2014 年 4 月 25 日同法调查有蚜茶梢数并分析。

2 结果和分析

2.1 茶蚜为害诱导茶梢挥发物的组成发生显著变化

从蚜害茶梢挥发物中鉴定了 21 种成分(图 1,表 2),从健康茶梢挥发物中鉴定了 16 种成分(图 2,表 2)。二者相比较,发现蚜害之后:①组分增加;②各个挥发性成分之间的相对含量发生变化;③ α -法尼烯、苯甲醛和 *E*-2-戊烯醛的含量显著增大。

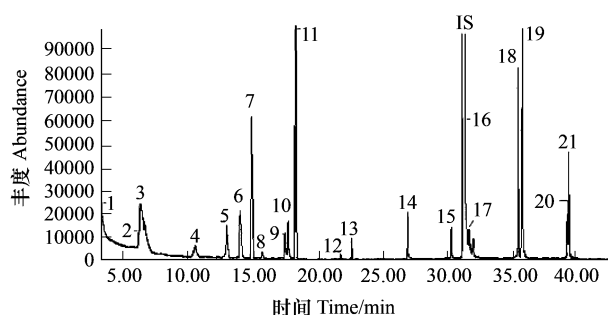


图 1 蚜害茶梢挥发物总离子流色谱图

Fig.1 Chromatography of total ion flow of volatiles from tea aphid-damaged tea shoots

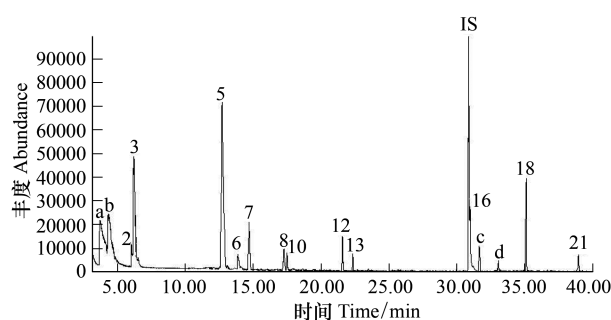


图 2 健康茶梢挥发物总离子流色谱图

Fig.2 Chromatography of total ion flow of volatiles from intact tea shoots

2.2 茶互利素和茶蚜性信息素及二者的一种组合引起大草蛉强烈 EAG 反应

源于茶蚜为害茶梢挥发物的 α -法尼烯、苯甲醛和 (*E*)-2-戊烯醛引起大草蛉强烈的 EAG 反应(图 3),本研究称三者为茶树互利素。茶蚜性信息素荆芥内酯和荆芥醇也能引起强烈的 EAG 反应,荆芥醇的 EAG 反应值大于其它 17 种供试的单组分的 EAG 值。苯甲醛、 α -法尼烯和荆芥醇混合物引起的 EAG 反应值最大(图 3)。

表 2 蚜害茶梢与健康茶梢挥发物组分和相对含量的比较

Table 2 Comparison of various components and their relative contents from tea aphid-damaged tea shoots with those from intact tea shoots

蚜害茶梢 TADIS		健康茶梢 ITS		茶梢挥发物 Volatile compounds	相对于内标的含量 RCTIS/%	
峰号 No. of peak	保留时间 RT/min	峰号 No. of peak	保留时间 RT/min		健康茶梢 ITS	蚜害茶梢 TADIS
1	3.16			(<i>E</i>)-2-戊烯醛 (<i>E</i>)-2-pentenal		8.7
		a	3.90	顺-2-戊烯-1-醇 (<i>Z</i>)-2-Penten-1-ol	14.9	
		b	4.39	己醛 Hexanal	20.0	
2	5.96	2	5.96	(<i>E</i>)-2-己烯醛 (<i>E</i>)-2-hexenal	3.8	1.2
3	6.09	3	6.10	(<i>Z</i>)-3-己烯-1-醇 (<i>Z</i>)-3-hexen-1-ol	35.3	9.8
4	10.36			苯甲醛 Benzaldehyde		3.0
5	12.77	5	12.77	(<i>Z</i>)-3-己烯乙酸酯 (<i>Z</i>)-3-hexenyl acetate	55.7	3.8
6	13.78	6	13.78	2-乙基-1-己醇 2-ethyl-1-hexanol	2.8	6.8
7	14.66	7	14.66	(<i>E</i>)-罗勒烯 (<i>E</i>)-ocimene	5.9	15.3
8	15.47			苯乙酮 acetophenone		0.6
9	17.21	9	17.21	芳樟醇 linalool	2.9	2.5
10	17.46	10	17.46	壬醇 nonanol	2.1	2.7
11	18.03			未知成分 1 unknown 1		30.5
12	21.46	12	21.46	(<i>Z</i>)-3-己烯丁酸酯 (<i>Z</i>)-butanoic acid, 3-hexenyl ester	4.1	0.4
13	22.33	13	22.33	癸醛 Decanal	2.2	1.3
14	26.62			十三烷 Tridecane		2.3
15	29.97			植醇 Phytol		1.5
IS	30.95	IS	30.95	内标 Internal standard		
16	30.96	16	30.96	十四烷 Tetradecane	7.5	14.8
17	31.33			古巴烯 Copaene		1.1
		c	31.69	石竹烯 Caryophyllene	4.0	
		d	33.10	香叶醇 Geraniol	1.1	
18	35.06	18	35.06	十五烷 Pentadecane	9.8	9.9
19	35.41			α -法尼烯 α -farnesene		16.7
20	38.87			雪松烯 Cedrene		2.2
21	38.96	21	38.96	十六烷 Hexadecane	2.1	5.5

TADIS: tea aphid damaged tea shoots; ITS: Intact tea shoots; RCTIS: Relative contents to internal standard; RT: Retention time

2.3 蚜害茶梢挥发物和茶蚜性信息素及二者的一种组合在田间引诱大草蛉的效果差异明显

由 α -法尼烯、苯甲醛和荆芥醇按 2:2:6 组成的混合物对大草蛉的诱效最强,表明茶树互利素和蚜虫性信息素互相增效,本研究称之为大草蛉诱集剂。其次,当荆芥内酯和荆芥醇比例为 1:9 或 0:10 时,亦即荆芥醇对于大草蛉有较强诱效。再次,单组分蚜虫性信息素的引诱活性强于单组分茶树互利素,茶树互利素中以 α -法尼烯诱效最强(表 3)。

2.4 大草蛉诱集剂有效地诱集大草蛉制约茶蚜

10—11 月大草蛉数量较多,茶园诱集试验证实:大草蛉诱集剂有效地将其诱向茶蚜群而直接捕食;诱来的大草蛉还在蚜群附近产卵,卵孵化为幼虫越冬,翌年春茶季节就近捕食茶蚜越冬卵孵化的若蚜和成蚜(表 4—表 6)。

2014 年春茶期间杭州茶区和邻近的安吉白茶茶区茶蚜大发生,开始阶段生产茶园危害重,之后未开采的幼龄茶园也受到较重为害。在幼龄茶园中使用诱集剂诱集大草蛉,可诱来大草蛉而在一定程度上制约茶蚜(表 7)。

3 讨论

大草蛉是茶蚜的主要天敌之一,也捕食其它昆虫的卵和幼虫^[18],是茶园中的重要天敌,本文沿用其学名 *Chrysopa septempunctata* Wesmael^[18],有些文献用学名 *Chrysopa pallens* (Rambur)^[19]。在虫害的诱导下,植物释放挥发性互利素以引诱天敌;人们在田间也常常嗅到严重遭受虫害的植株气味的异变,发现较多的天敌随着被招引来捕食或寄生害虫。实践中也发现:在空旷的田野中,使用合成的一种互利素或者几种互利素的混合物很难诱来大量天敌,成功的例证甚少。尚未见茶园中应用茶树互利素引诱草蛉类天敌昆虫防治茶蚜的报道。Boo 等首次报道了蚜虫性信息素强烈地引诱草蛉 *Chrysopa cognate* Wesmael^[8]。Koczor 等发现蚜虫性信息素强烈吸引大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur),蚜虫性信息素与植物气味的混合物同样吸引大草蛉 *C. pallens* (Rambur)^[19]。本研究也证实荆芥醇、荆芥内酯及二者混合物强烈地引诱大草蛉;而且,茶蚜性信息素与寄主植物茶树挥发物 α -法尼烯、苯甲醛的组合也强烈地引诱大草蛉。但是,现阶段仅用蚜虫性信息素引诱大草蛉防治茶蚜是不可行的,因为在茶园环境中其诱效有限且合成成本高昂。

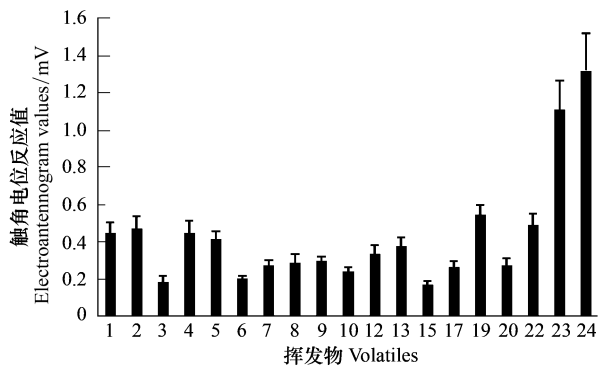


图3 蚜害茶梢挥发物多种组分和蚜虫性信息素及两者组成的一种混合物引起大草蛉的 EAG 反应

Fig.3 Electroantennogram values of *Chrysopa septempunctata* elicited by various volatile components from tea aphid-damaged tea shoots and tea aphid sex pheromones as well as a mixture composed of the both types of pheromones

1: (*E*)-2-pentenal; 2: (*E*)-2-hexenal; 3: (*Z*)-3-hexen-1-ol; 4: benzaldehyde; 5: (*Z*)-3-hexenyl acetate; 6: 2-ethyl-1-hexanol; 7: (*E*)-ocimene; 8: acetophenone; 9: linalool; 10: nonanol; 12: (*Z*)-butanoic acid, 3-hexenyl ester; 13: decanal; 15: phytol; 17: copaene; 19: α -farnesene; 20: cedrene; 22: lactone; 23: lactol; 24: a mixture composed of benzaldehyde, α -farnesene and lactol

表3 14种供试信息物质诱捕大草蛉的数量及差异

Table 3 Difference in number of <i>Chrysopa septempunctata</i> trapped by 14 pheromone preparations						
序号 No.	供试信息物质 Infochemicals to be test	10月3—5日 3—5 in Oct.	10月27—29日 27—29 in Oct.	10月30—11月1日 Oct. 30 to Nov. 1	11月2—4日 2—4 in Nov.	总数 Total
I	蚜虫性信息素 A	5	0	3	2	10
II	蚜虫性信息素 B	5	5	1	0	11
III	蚜虫性信息素 C	11	7	11	7	36
IV	蚜虫性信息素 D	13	6	18	7	44
V	蚜虫性信息素 E	9	13	15	11	48
VI	蚜虫性信息素 F	17	12	17	15	61
VII	蚜虫性信息素 G	17	11	20	13	61
VIII	蚜虫性信息素 H	0	0	0	0	0
IX	(<i>Z</i>)-3-己烯-1-醇	0	0	0	0	0
X	(<i>E</i>)-2-pentenal	3	2	2	2	9
XI	(<i>E</i>)-2-己烯醛	3	2	2	2	9
XII	苯甲醛	4	3	2	2	11
XIII	α -法尼烯	5	4	3	3	15
XIV	α -法尼烯、苯甲醛与荆芥醇的混合物	26	21	23	21	91

近年来 Socorro 等提出“super-blending”理念^[20],这类“super-blending”对于目标昆虫引诱力很强,其成分来自于多种植物,这些植物可能属于一个或几个科。基于这种理念,他们研制出棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 引诱剂的系列产品和引诱技术并付诸实施^[20-22]。本课题组发现寄主植物茶树挥发性利它素引诱

假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* Göthe^[12], 还发现茶园杂草迷迭香挥发物中一些成分也显著引诱假眼小绿叶蝉^[23], 茶树和迷迭香显然不属于同一个科。本研究则将源自茶树的 α -法尼烯、苯甲醛和来自蚜虫的荆芥醇按一定比例组成混合物, 这种混合物在室内引起大草蛉强烈的 EAG 反应, 在田间展示出对于大草蛉的显著引诱力, 可用于茶园中治理茶蚜。这种研发思路与 Socorro 等^[20-22] 研发高效、实用的引诱剂理念类似, 也证明了高效引诱剂的组分可以源自不同种类的寄主植物或昆虫。

表 4 秋末至早春诱集剂诱集大草蛉制约茶蚜的效果 (皖南宣城市)

Table 4 Control effect of attractant attracting *Chrysopa septempunctata* to prey on tea aphids through late autumn to early spring (Xuancheng City in the southern Anhui Province)

处理 Treatment	有蚜茶梢数/样方 No. of tea shoots with aphids/ plot		有蚜茶梢下降率 Reduction ratio/%	有蚜茶梢校正下降率 Adjusted reduction ratio/%
	2012-10-31	2013-03-10		
草蛉诱集剂试验区 Attractant test area	45.5±6.3	31.1 ± 5.2	31.6	41.9
对照区 CK area	38.8±6.6	45.7 ± 6.0	-17.8	—

表中数值为平均数±标准差

表 5 秋末至早春诱集剂和芽绿色板诱集大草蛉制约茶蚜的效果 (苏南丹阳市)

Table 5 Control effect of attractant and bud green boards attracting *Chrysopa septempunctata* to prey on tea aphids through late autumn to early spring (Danyang City in the southern Jiangsu Province)

处理 Treatment	有蚜茶梢数/样方 No. of tea shoots with aphids/ plot		有蚜茶梢下降率 Reduction ratio/%	有蚜茶梢校正下降率 Adjusted reduction ratio/%
	2012-11-14	2013-03-10		
芽绿色板试验区 bud green board test area	33.8±7.6	31.7±4.4	6.2	19.4
草蛉诱集剂试验区 Attractant test area	55.5±6.3	40.0±5.8	27.9	38.1
对照区 CK area	36.6±6.6	42.6±5.6	-16.4	—

表 6 秋末至早春诱集剂诱集大草蛉制约茶蚜的效果 (浙西南松阳县)

Table 6 Control effect of attractant attracting *Chrysopa septempunctata* to prey on tea aphids through late autumn to early spring (Songyang County in the southwest of Zhejiang Province)

处理 Treatment	有蚜茶梢数/样方 No. of tea shoots with aphids/ plot		有蚜茶梢下降率 Reduction ratio/%	有蚜茶梢校正下降率 Adjusted reduction ratio/%
	2013-11-15	2014-03-05		
草蛉诱集剂试验区 Attractant test area	50.5±6.6	27.0 ± 3.2	46.5	42.5
对照区 CK area	58.0±7.0	54.0 ± 6.5	6.9	—

表 7 春茶期间诱集剂诱集大草蛉制约茶蚜的效果 (杭州市郊)

Table 7 Control effect of attractant attracting *Chrysopa septempunctata* to prey on tea aphids during spring tea plucking stage (Suburbs in Hangzhou City)

处理 Treatment	有蚜茶梢数/样方 No. of tea shoots with aphids/ plot		有蚜茶梢下降率 Reduction ratio/%	有蚜茶梢校正下降率 Adjusted reduction ratio/%
	2014-03-25	2014-04-25		
草蛉诱集剂试验区 Attractant test area	59.0±6.6	33.3 ± 4.8	43.6	37.5
对照区 CK area	62.0±8.0	68.0 ± 8.5	9.7	—

色彩、形状和尺寸等可视因素对于昆虫也有一定引诱力^[24-25]。油菜花黄色板与茶梢挥发性利它素组合, 可显著增强茶梢挥发性利它素引诱茶蚜的效果^[26]; 淡黄绿色板与茶梢挥发性利它素组合, 能够显著增强茶梢利它素引诱假眼小绿叶蝉的效果^[12]。本研究的芽绿色彩吸引大草蛉, 可将大草蛉诱集剂与芽绿色彩叠加起

来而强化诱效。还可以采用相关的措施以提高诱效。比如,深秋时节诱来的大草蛉除了直接捕食茶蚜之外,还会在蚜群中产卵,卵孵化为幼虫,以幼虫在茶园中越冬,翌年春季就近捕食由越冬蚜卵孵化的茶蚜。春茶季节农事繁忙,顾不上治蚜,也不允许施药,如此诱集大草蛉治理茶蚜可谓一举多得,本研究探讨出一个应用天敌诱集剂控制茶蚜的途径。

但是,无论在皖南、苏南和浙西南茶园的越冬期间诱集大草蛉治蚜,还是在杭州郊区春茶中后期诱集大草蛉控制茶蚜,本诱集剂的防治效果只有 40% 左右。供试茶园是有机茶园或较少施用化学农药的无公害茶园,其中大草蛉密度明显大于普通茶园;而且,实际观察发现,这种诱集剂还诱来部分丽草蛉 *Chrysopa formosa* Brannan, 与大草蛉一起捕食了茶蚜。因此,为了提升防治效果,还需要不断改进配方和使用技术以增强诱效。秋季的茶园中需要节制施药而保护天敌昆虫,以便茶园群落中栖息较多的草蛉类天敌。

表 4 和表 5 中 CK 区比诱集剂区的有蚜茶梢数稍小、而表 6 和表 7 中 CK 区比诱集剂区的有蚜茶梢数稍大,这些试验区都是随机选取的,对于试验结果的可靠度没有影响,防效都在 40% 上下。表 7 展示了幼龄茶园实验结果,由于茶蚜基数较高,防效只达到 37.5%,害虫密度也影响着防效。

参考文献 (References):

- [1] Han B Y, Chen Z M. Composition of the volatiles from intact and tea aphid-damaged tea shoots and their allurement to several natural enemies of the tea aphid. *Journal of Applied Entomology*, 2002, 126 (9): 497-500.
- [2] Han B Y, Chen Z M. Behavioral and electrophysiological responses of natural enemies to synomones from tea shoots and kairomones from tea aphids, *Toxoptera aurantii*. *Journal of Chemical Ecology*, 2002, 28 (11): 2203-2219.
- [3] Dawson G W, Griffiths D C, Janes N F, Mudd A, Pickett J A, Wadham L J, Woodcock C M. Identification of an aphid sex pheromone. *Nature*, 1987, 325 (6105): 614-616.
- [4] Dawson G W, Griffiths D C, Merritt L A, Mudd A, Pickett J A, Wadham L J, Woodcock C M. The sex pheromone of the greenbug, *Schizaphis graminum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1988, 48 (1): 91-93.
- [5] Dawson G W, Janes N F, Mudd A, Pickett J A, Wadham L J, Williams D J. The aphid sex pheromone. *Pure and Applied Chemistry*, 1989, 61 (3): 555-558.
- [6] Campbell C A M, Dawson G W, Griffiths D C, Pettersson J, Pickett J A, Wadham L J, Woodcock C M. Sex attractant pheromone of damson-hop aphid *Phorodon humuli* (Homoptera, Aphididae). *Journal of Chemical Ecology*, 1990, 16 (12): 3455-3465.
- [7] Boo K S, Choi M Y, Chung I B, Eastop V F, Pickett J A, Wadham L J, Woodcock C M. Sex pheromone of the aphid, *Tuberocephalus momonis*, and optimal blends for trapping males and females in the field. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26 (3): 601-609.
- [8] Boo K S, Chung I B, Han K S, Pickett J A, Wadham L J. Response of the lacewing *Chrysopa cognata* to pheromones of its aphid prey. *Journal of Chemical Ecology*, 1998, 24 (4): 631-643.
- [9] Ameixa O M C C, Kindlmann P. Effect of synthetic and plant-extracted aphid pheromones on the behaviour of *Aphidius colemani*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2012, 136 (4): 292-301.
- [10] Gabryś B J, Gadomski H J, Klukowski Z, Pickett J A, Sobota G T, Wadham L J, Woodcock C M. Sex pheromone of cabbage aphid *Brevicoryne brassicae*: identification and field trapping of male aphids and parasitoids. *Journal of Chemical Ecology*, 1997, 23 (7): 1881-1891.
- [11] Glinwood R T, Du Y J, Powell W. Responses to aphid sex pheromones by the pea aphid parasitoids *Aphidius ervi* and *Aphidius eadyi*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1999, 92 (2): 227-232.
- [12] 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) (Homoptera: Aphididae). *Chemoecology*, 2014, 24 (5): 179-187.
- [13] 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.
- [14] Sun X L, Wang G C, Cai X M, Jin S, Gao Y, Chen Z M. The tea weevil, *Myloecerus aurolinatus*, is attracted to volatiles induced by conspecifics. *Journal of Chemical Ecology*, 2010, 36 (4): 388-395.
- [15] 赵冬香, 陈宗懋, 程家安. 茶树-假眼小绿叶蝉-白斑猎蛛间化学通讯物的分离与活性鉴定. *茶叶科学*, 2002, 22 (2): 109-114.
- [16] 李名君. 化学部 // 陈宗懋. 中国茶叶大辞典. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 323-359.
- [17] 郑颖姣, 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.

- [18] 殷坤山. 大草蛉. 中国茶叶, 1980, 2 (2): 31
- [19] Koczor S, Szentkirályi F, Birkett M A, Pickett J A, Voigt E, Tóth M. Attraction of *Chrysoperla carnea* complex and *Chrysopa* spp. lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) to aphid sex pheromone components and a synthetic blend of floral compounds in Hungary. Pest Management Science, 2010, 66 (12): 1374-1379.
- [20] Socorro A P D, Gregg P C, Alter D, Moore C J. Development of a synthetic plant volatile-based attracticide for female noctuid moths. I. Potential sources of volatiles attractive to *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Australian Journal of Entomology, 2010, 49 (1): 10-20.
- [21] Gregg P C, Socorro A P D, 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.
- [22] Socorro A P D, Gregg P C, Hawes A J. Development of a synthetic plant volatile-based attracticide for female noctuid moths. III. Insecticides for adult *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Australian Journal of Entomology, 2010, 49 (1): 31-39.
- [23] 钮羽群, 潘铤, 王梦馨, 周宁宁, 张新亭, 崔林, 陈学新, 韩宝瑜. 显著调控假眼小绿叶蝉行为的迷迭香挥发物之鉴定. 生态学报, 2014, 34 (19): 5477-5483.
- [24] 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, 2001, 82 (1): 25-34.
- [25] Horridge A. Visual discriminations of spokes, sectors, and circles by the honeybee (*Apis mellifera*). Journal of Insect Physiology, 2006, 52 (9): 984-1003.
- [26] 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.