

金龟甲蓖麻源引诱剂的配方筛选及田间效果评价*

李为争 杨 雷 申小卫 袁莹华 原国辉** 罗梅浩 郭线茹

(河南农业大学植物保护学院 郑州 450002)

摘 要 为了筛选植物源引诱剂用于多种金龟甲的生态治理,以华北大黑鳃金龟(*Holotrichia oblita*)、暗黑鳃金龟(*H. parallela*)和铜绿丽金龟(*Anomala corpulenta*)为研究对象,选取蓖麻叶释放的5种主要挥发物设计了10组金龟甲引诱剂的二元配方,采用触角电位技术并结合田间诱捕,评价了不同引诱剂配方的电生理活性和引诱效果。触角电位测定结果表明,活性配方一般含有绿叶气味物质顺-3-己烯-1-醇。其中配方1(顺-3-己烯-1-醇+邻苯二甲酸二丁酯)和配方6(顺-3-己烯-1-醇+苯甲醇)对3种靶标金龟甲的雌雄虫均表现出较强的触角电位活性,配方7(顺-3-己烯-1-醇+2-苯乙醇)对华北大黑鳃金龟雌雄两性也表现出较强的触角电位活性,配方8(肉桂醛+苯甲醇)对铜绿丽金龟雄虫有较强的触角电位活性。在金龟甲成虫发生高峰期,对上述10个配方进行初步筛选,发现配方6、配方8和配方1的综合表现最好,单个诱捕器30 d的累计诱虫量分别达110.30头、101.73头和74.97头。这些配方不仅能够大量诱捕上述3种靶标金龟甲,而且对黄褐丽金龟(*A. exoleta*)也有一定的诱捕效果。进一步对上述引诱活性较强的3种配方分别在洛阳和开封两地进行较大规模的诱捕试验,结果表明配方6和配方1的诱虫效果最好;其中在洛阳诱捕到的暗黑鳃金龟最多,还可诱捕到少量铜绿丽金龟和中华弧丽金龟(*Popillia quadriguttata*);在开封诱捕到的黑绒鳃金龟(*Maladera orientalis*)最多,还可诱捕到少量的暗黑鳃金龟和中华弧丽金龟,可能是不同地区金龟甲优势种类的差异所致。因此,配方6和配方1是对金龟甲具有广谱诱集效果的备选生态防控引诱剂。

关键词 金龟甲 蓖麻挥发物 植物源引诱剂 配方筛选 触角电位技术 田间诱捕
中图分类号: Q968.1; S436.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 1671-3990(2013)04-0480-07

Prescription screening and field evaluation of broad spectrum attractants of scarab beetles from *Ricinus communis*

LI Wei-Zheng, YANG Lei, SHEN Xiao-Wei, YUAN Ying-Hua, YUAN Guo-Hui, LUO Mei-Hao, GUO Xian-Ru
(College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract To screen plant-derived attractants for ecological management of three scarab beetles (*Holotrichia oblita*, *H. parallela* and *Anomala corpulenta*), 10 binary blends (labeled as 1, 2, ..., 10, see below) with 5 main volatiles from the leaves of *Ricinus communis* were selected. Then the electrophysiological activity and attractiveness of the selected *R. communis* volatiles blends were evaluated by electroantennogram (EAG) and field trapping experiments. The EAG bioassay showed that blends containing green leaf volatile of cis-3-hexen-1-ol usually exhibited strong EAG activities. Blend 1 (cis-3-hexen-1-ol plus dibutyl phthalate) and blend 6 (cis-3-hexen-1-ol plus benzyl alcohol) showed stronger EAG response to both sexes of the three scarab beetle species. Blend 7 (cis-3-hexen-1-ol plus 2-phenylethanol) exhibited a fairly strong EAG activity toward *H. oblita* sexes. Also blend 8 (cinnamaldehyde plus benzyl alcohol) effectively stimulated response to male *A. corpulenta* antennae. The preliminary trapping experiment indicated that among the ten candidate binary blends, blends 6, 8 and 1 performed the best regarding the target species at occurrence peak with respectively 110.30, 101.73 and 74.97 catches per trap in 30 days. Most interestingly, the blends also attracted a certain number of *A. exoleta*. Further mass-trapping experiments conducted in Luoyang and Kaifeng regions were used to compare the attractiveness of the mentioned 3 blends. The results showed that blends 6 and 1 caught significantly more scarab beetles than blend 8. A significantly

* 国家自然科学基金项目(31071972)和河南省科技攻关重大项目(0422011400)资助

** 通讯作者: 原国辉(1959—), 男, 教授, 研究方向为昆虫生态学和害虫综合治理。E-mail: hndygh@126.com

李为争(1978—), 男, 副教授, 研究方向为昆虫化学生态学。E-mail: wei-zhengli@163.com

收稿日期: 2012-10-19 接受日期: 2012-12-25

great number of *H. parallela* and a few *A. corpulenta* and *Popillia quadriguttata* were among the species caught in the trapping experiment conducted in Luoyang. In the Kaifeng trapping experiment, *Maladera orientalis* was the most abundant species caught, followed by *H. parallela* and *P. quadriguttata*. The different natural distributions of the scarab species in different regions possibly explained the differences in trapped species. Altogether, blends 6 and 1 were possibly the two promising ecological control attractants that were generically targeted to several scarab beetle species in the region.

Key words Scarab beetle, *Ricinus communis* volatile, Plant-derived attractant, Blend screening, Electroantennogram, Field trapping

(Received Oct. 19, 2012; accepted Dec. 25, 2012)

金龟甲是北方旱作区重要的农林地下害虫, 包括华北大黑鳃金龟(*Holotrichia oblita*)、暗黑鳃金龟(*H. parallela*)和铜绿丽金龟(*Anomala corpulenta*)等, 其幼虫统称蛴螬, 在土壤中取食植物的种子和根茎等地下部分^[1]。近年来随着耕作栽培制度的变化和种植结构的调整, 蛴螬不仅对小麦播种期和苗期的危害逐年加重^[2], 而且严重危害花生、大豆、马铃薯等秋季作物, 常常造成大面积减产^[3]。由于蛴螬生活在土壤中, 危害方式隐蔽, 过去主要依赖持效期长的化学杀虫剂进行控制, 而目前生产上应用的杀虫剂多为残效期短的农药, 采用土壤处理、药剂拌种等传统施药方法防治秋季作物的蛴螬危害很难取得理想效果, 而继续使用残效期长的杀虫剂则会引发农产品质量安全问题。因此, 探讨各类成虫诱杀等行为为调控措施, 变地下防治幼虫为地上防治成虫成为近几年的研究热点^[4]。

我国农民在田间种植蓖麻(*Ricinus communis*)诱杀金龟甲已有数十年历史。已有的研究表明, 从严格意义上说蓖麻并不是金龟甲的寄主植物, 但上述 3 种金龟甲对蓖麻叶片均表现出比大豆、花生、甘薯等寄主植物明显的选择趋性^[5-7], 而蓖麻植株和叶片粗提物不仅对其幼虫有触杀毒性, 而且成虫少量取食后也表现出中毒反应^[8]。其他相关研究也表明, 蓖麻植株和叶片提取物对天幕毛虫(*Malacosoma neustria*)和烟蚜(*Myzus persicae*)^[9]、斜纹夜蛾(*Prodenia litura*)、菜蛾(*Plutella xylostella*)^[10]、菜青虫(*Pieris rapae*)^[11]、草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)^[12]和瓜绢螟(*Diaphania indica*)^[13]等多种害虫也具有触杀毒性, 其活性成分为蓖麻碱和毒蛋白, 可作为新型的植物源杀虫剂^[14]。因此, 蓖麻是比较理想的致死性诱集植物(dead-end trap plant)^[15], 在田间种植蓖麻设置诱杀陷阱, 不需要在蓖麻上使用农药杀死诱集到的害虫。然而, 这种诱杀措施至今很难大面积推广应用, 主要原因是种植蓖麻需要占用部分耕地, 且在作物田种植后也会增加机械化管理的难度。显然, 把传统的诱杀措施产品化, 研制金龟甲广谱引诱剂产品十分必要。为此, 本研究以华北大黑鳃金龟、暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟为研究

对象, 选取蓖麻叶释放的主要挥发物设计配方, 采用触角电位技术并结合田间诱捕试验进行效果评价, 期望筛选出对多种金龟甲雌雄虫均具有较好效果的引诱剂配方, 为实施地下害虫的绿色诱控提供产品支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试昆虫

选择华北大黑鳃金龟、暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟作为供试昆虫。于每年 6—8 月成虫发生高峰期, 在河南农业大学科教园区农作物田采集成虫, 鉴定种类和区分雌雄后带回室内分别饲养。饲养前取田间土壤过 20 目筛, 烘干至恒重后均匀混入蒸馏水, 将土壤含水量控制在 18%~20%, 然后放入长×宽×高=11 cm×10 cm×17 cm 的养虫盒内, 土壤厚度 10 cm 左右。每盒放入成虫约 40 头, 饲喂新鲜花生叶片。

1.1.2 供试挥发物

供试挥发物包括邻苯二甲酸二丁酯(莱阳市双双化工有限公司)、顺-3-己烯-1-醇(北京舒伯伟化工仪器有限责任公司)、肉桂醛(武汉盛世精细化学品有限公司)、苯甲醇(天津市科密欧化学试剂开发中心)和 2-苯乙醇(国药集团化学试剂有限公司)5 种, 均是从蓖麻叶二氯甲烷索氏提取物中鉴定出的主要成分^[16]。供试挥发物均为分析纯, 分别分散于石蜡油(天津市凯通化学试剂有限公司)中, 配制成 0.01 mol·L⁻¹ 溶液, 密封保存于 4 °C 冰箱中备用。

1.2 试验方法

1.2.1 供试引诱剂配方

将 5 种供试挥发物分别配对, 按各挥发物在蓖麻叶中的相对含量^[16]设计二元引诱剂配方, 各配方编号见表 1。

1.2.2 生物活性测定

采用触角电位(EAG)技术评价不同挥发物配方的活性。所用触角电位仪(MY-15)由微电极交/直流放大器(Syntech AC/DCUN-06)、刺激放大器(Syntech CS-05)和微动操作仪(Syntech MP-15)组成, 两根 Ag/AgCl 电极分别作为参比电极和记录电极。测定

表 1 供试引诱剂配方
Table 1 Prescriptions of tested attractants

编号 No	蓖麻挥发物组成成分(用量) Composition of <i>R. communis</i> volatiles (dose)	编号 No	蓖麻挥发物组成成分(用量) Composition of <i>R. communis</i> volatiles (dose)
1	顺-3-己烯-1-醇+邻苯二甲酸二丁酯 (Z)-3-hexene-1-ol+Dibutyl phthalate (25 μ L : 475 μ L)	6	顺-3-己烯-1-醇+苯甲醇 (Z)-3-hexene-1-ol+Benzyl alcohol (310 μ L : 190 μ L)
2	邻苯二甲酸二丁酯+肉桂醛 Dibutyl phthalate+Cinnamaldehyde (444 μ L : 56 μ L)	7	顺-3-己烯-1-醇+2-苯乙醇 (Z)-3-hexene-1-ol+2-Phenylethanol (330 μ L : 170 μ L)
3	邻苯二甲酸二丁酯+苯甲醇 Dibutyl phthalate+Benzyl alcohol (485 μ L : 15 μ L)	8	肉桂醛+苯甲醇 Cinnamaldehyde+Benzyl alcohol (400 μ L : 100 μ L)
4	邻苯二甲酸二丁酯+2-苯乙醇 Dibutyl phthalate+2-Phenylethanol (487 μ L : 13 μ L)	9	肉桂醛+2-苯乙醇 Cinnamaldehyde+2-Phenylethanol (414 μ L : 86 μ L)
5	顺-3-己烯-1-醇+肉桂醛 (Z)-3-hexene-1-ol+Cinnamaldehyde (145 μ L : 355 μ L)	10	苯甲醇+2-苯乙醇 Benzyl alcohol+2-Phenylethanol (273 μ L : 227 μ L)

前取健康活泼的金龟甲成虫, 选取一根触角由基部切下, 并切除触角端部末梢, 立即将离体触角两端用导电胶粘在两根电极上, 然后调节仪器, 待基线平稳后进行测定。测定时取各配方的溶液 20 μ L 均匀滴加在 5 cm \times 4 mm 长形滤纸条上, 纵向对折后放入进样管。然后对触角进行气味脉冲刺激, 空气流量 80 mL \cdot min⁻¹, 刺激气体流量为 30 mL \cdot min⁻¹, 每次刺激时间为 0.2 s, 两次刺激间隔 30 s 以上。供试配方的测试顺序随机抽取, 均以 20 μ L 石蜡油为对照, 以顺-3-己烯-1-醇为标准参照物。共测试 3 种供试金龟甲, 每种金龟甲均按雌、雄虫分别进行测试, 每种配方测试 10 根触角, 每根触角测试同一配方 3 次。

1.2.3 田间效果评价

分别取各配方供试挥发物, 按 0.1 mol \cdot L⁻¹ 的用量均匀混入琼脂内, 成型于 10 mL 青霉素瓶中制成诱芯。在 6—8 月金龟甲成虫发生高峰期, 首先在郑州河南农业大学科教园区花生田进行小区诱虫试验, 筛选出诱虫效果较好的配方; 然后在河南洛阳和开封两地的花生田进行田间诱捕试验。所有试验均采用直径 20 cm 的绿色水盆诱捕器, 盆内加入适量清水, 并加入少量洗衣粉和敌百虫, 将诱芯悬挂于盆口中央距水面 2~3 cm 处, 诱捕器距地面高度 50 cm。根据处理的多少选择田块大小, 各处理诱捕器随机区组排列, 共 4 个区组, 每个区组内部诱捕器的间距不小于 20 cm, 区组之间的间隔不小于 50 cm。在诱捕试验期间, 每日早晨调查记录诱捕到的金龟甲种类和数量, 调查后清除水盆中的金龟甲及其他昆虫和杂物。

1.3 数据分析

用 Syntech 公司提供的软件对不同处理的 EAG 反应值进行标准化校正, 然后按下列公式计算 EAG 反应相对值(relative EAG value):

$$\text{触角电位反应相对值} = \frac{\text{处理反应值} - \text{对照反应值}}{\text{参照反应值} - \text{对照反应值}} \times 100\% \quad (1)$$

田间诱捕试验以金龟甲成虫发生高峰期 30 d 内诱捕到的虫量为基数, 统计不同配方对不同金龟甲的单盆累计诱虫量。由于试验期间发现各区组诱捕量之间差异不显著, 故将不同区组内相同的诱芯视为重复, 数据经平方根转换后进行单因素方差分析, 如各处理诱虫量在 $P=0.05$ 水平上有显著性差异, 进而采用 Duncan's 多重比较法分析不同处理间诱捕量的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 金龟甲对不同配方引诱剂的 EAG 反应

华北大黑鳃金龟对不同配方的 EAG 反应见图 1A。结果表明, 华北大黑鳃金龟雌雄虫对含有顺-3-己烯-1-醇的配方反应最强, 对含有肉桂醛的配方次之, 而不含上述两种物质的其他配方 EAG 活性较弱, 其中配方 1(顺-3-己烯-1-醇+邻苯二甲酸二丁酯)、配方 6(顺-3-己烯-1-醇+苯甲醇)和配方 7(顺-3-己烯-1-醇+2-苯乙醇)激发的雌雄虫 EAG 反应相对值均较大。从不同性别对各配方的反应看, 雌雄虫对不同配方的反应强弱顺序也基本一致。其中雌虫对含有顺-3-己烯-1-醇的 4 个配方(1、5、6 和 7)的 EAG 反应显著强于不含该物质的配方, 以配方 6 激发的 EAG 反应相对值最高, 达 257.14, 与其他配方差异均达到显著水平; 其次为配方 7 和配方 1, EAG 反应相对值分别为 215.47 和 207.80; 在不含顺-3-己烯-1-醇的 6 个配方中, 雌虫对含有肉桂醛的 3 个配方(2、8 和 9)的反应显著强于不含肉桂醛的配方(3、4 和 10)。雄虫对含有顺-3-己烯-1-醇的配方(1、6 和 7)的反应也较强, 其中对配方 7 的 EAG 反应相对值最高, 达 284.76, 与其他配方差异均达到显著水平, 其次为配方 1 和配方 6, EAG 反应相对值分别为 224.40 和 209.95, 而对配方 5 的反应相对较弱; 此外, 雄虫对 4 组含肉桂醛的配方(2、5、8 和 9)的 EAG 反应相对值显著高于既不含顺-3-己烯-1-醇也不含肉桂醛的配方(3、4 和 10)。

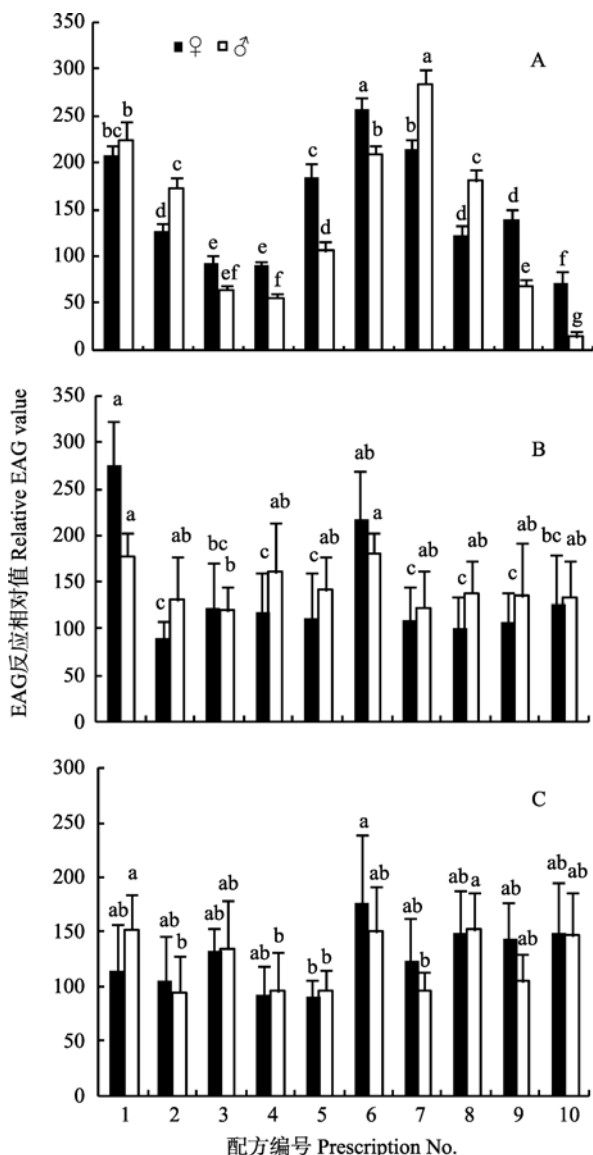


图 1 华北大黑鳃金龟(A)、暗黑鳃金龟(B)和铜绿丽金龟(C)对不同蓖麻源引诱剂配方的触角电位反应

Fig. 1 Electroantennogram (EAG) responses of *Holotrichia obliqua* (A), *H. parallela* (B) and *Anomala corpulenta* (C) to different attractants of *R. communis* volatiles

同一性别的柱形图上方不同小写字母表示对不同挥发物的反应差异在 0.05 水平上显著 Bars of the same sex with different small letters indicate significantly different responses to different volatiles (Duncan's multiple-range test, $P < 0.05$).

暗黑鳃金龟对不同配方的 EAG 反应相对值见图 1B。结果表明, 配方 1(顺-3-己烯-1-醇+邻苯二甲酸二丁酯)和配方 6(顺-3-己烯-1-醇+苯甲醇)对暗黑鳃金龟雌雄虫均有较强 EAG 活性, 而其他配方间的 EAG 活性相对较弱。从不同性别对各配方的反应看, 雌虫对配方 1 和配方 6 的 EAG 反应相对值最高, 分别达 276.83 和 217.99, 两者差异不显著, 但配方 1 与其他配方的差异均达到显著水平。雄虫对配方 6 和配方 1 的 EAG 反应相对值最高, 分别达 180.94 和 178.36, 但除了与配方 3 差异达到显著水平外, 与其他配方的差异均未达到显著水平。

铜绿丽金龟对不同配方的 EAG 反应见图 1C。结果表明, 铜绿丽金龟雌雄虫对不同配方的 EAG 反应相对值差别较小, 说明供试配方对铜绿丽金龟的专一性相对较差。从不同性别对各配方的反应看, 雌虫对配方 6 的 EAG 反应相对值最高, 达 177.61, 但除了与配方 5 差异达到显著水平外, 与其他配方的差异均未达到显著水平。雄虫对配方 1 和配方 8 的 EAG 反应相对值较高, 分别达 153.32 和 151.90, 与配方 2、4、5 和 7 的差异达到显著水平外, 与其他配方的差异均未达到显著水平。

综合分析上述结果不难看出, 配方 1 和配方 6 对 3 种金龟甲的雌雄虫均表现出较强 EAG 活性, 而这两个配方的共同点是均含有绿叶气味物质顺-3-己烯-1-醇。由于顺-3-己烯-1-醇也是本试验 EAG 测定的标准参照物, 说明在顺-3-己烯-1-醇中添加蓖麻叶其他挥发物后可以显著增强前者的 EAG 活性。综合比较 3 种供试金龟甲的反应还可以发现, 供试配方对华北大黑鳃金龟触角生理活性最强, 其次为暗黑鳃金龟, 而对铜绿丽金龟的触角生理活性最弱。

2.2 不同配方引诱剂的田间诱虫效果评价

不同配方引诱金龟甲的田间试验结果(表 2)表明, 配方 6 和配方 7 对华北大黑鳃金龟的引诱活性较强, 成虫发生高峰期 30 d 内单盆累计诱虫量分别为 37.00 头和 27.00 头; 其次为配方 1, 单盆累计诱虫量达 21.67 头, 3 个配方的诱虫量差异不显著, 但配方 6 和配方 7 与其他处理的差异均达到显著水平。配方 6 和配方 7 对暗黑鳃金龟也有较强的引诱活性, 累计诱虫量分别为 23.30 头和 16.70 头, 两者的诱虫量差异不显著, 但配方 6 与其他处理的差异均达到显著水平。对铜绿丽金龟引诱活性较强的是配方 8、配方 6 和配方 1, 累计诱虫量分别为 60.00 头、36.70 头和 23.30 头, 3 个配方的诱虫量差异不显著, 但配方 8 和配方 6 与其他处理的差异均达显著水平。从表 2 还可以看出, 除了诱集到 3 种目标金龟甲外, 供试配方对黄褐丽金龟也有较好的诱集效果, 其中配方 8 诱虫量最多, 达 26.70 头。从对 4 种金龟甲的合计诱虫量看, 配方 6 的诱虫量最高, 达 110.30 头, 其次为配方 8 和配方 1, 诱虫量分别达 101.73 头和 74.97 头, 与 EAG 活性测定结果基本一致, 说明 EAG 活性较强的配方在田间的诱虫活性也较强。

选择小区试验诱虫效果较好的配方 6、配方 8 和配方 1, 分别在洛阳和开封进行大田诱虫效果评价, 结果见表 3。可以看出配方 6 和配方 1 田间诱虫效果较好, 在洛阳的合计诱虫量分别达 140.63 头和 135.00 头, 在开封的合计诱虫量分别达 90.00 头和 54.39 头。从诱集到的金龟甲种类看, 两地均未诱集

表 2 不同引诱剂配方诱集的金龟甲数量
Table 2 Numbers of scarab beetles adults trapped by different attractants of *R. communis* volatiles

配方编号 Prescription No.	单盆累计诱虫量 Cumulative catches per trap				合计 Total
	华北黑鳃金龟 <i>Holotrichia obliqua</i>	暗黑鳃金龟 <i>H. parallela</i>	铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i>	黄褐丽金龟 <i>A. exoleta</i>	
1	21.67±6.83ab	10.00±3.33bc	23.30±13.47ab	20.00±3.33ab	74.97
2	3.00±1.24e	6.70±1.93c	0.00c	0.00c	9.70
3	3.67±2.36de	13.30±1.77b	3.30±1.93c	10.00±0.00c	30.27
4	13.33±1.93b	13.30±1.93b	0.00c	16.70±5.10ab	43.33
5	11.67±3.83bc	6.70±1.93c	0.00c	16.70±6.93ab	35.07
6	37.00±10.23a	23.30±5.10a	36.70±11.70a	13.30±5.10bc	110.30
7	27.00±8.93a	16.70±6.93ab	3.30±1.93c	6.70±3.83c	53.70
8	8.33±2.63cd	6.70±3.83bc	60.00±29.07a	26.70±6.93a	101.73
9	2.00±1.33e	3.30±1.93c	6.70±3.83bc	10.00±3.33c	22.00
10	11.00±3.33c	6.70±1.93c	10.00±5.77bc	20.00±3.33ab	47.70

表 3 3 种引诱剂在洛阳和开封诱集的金龟甲数量
Table 3 Number of scarab beetles trapped by three kind of candidate attractants of *R. communis* volatiles in Luoyang and Kaifeng City
Number·pot⁻¹

配方编号 Prescription No.	洛阳 Luoyang				开封 Kaifeng			
	暗黑鳃金龟 <i>Holotrichia parallela</i>	铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i>	中华弧丽金龟 <i>Popillia quadriguttata</i>	合计 Total	暗黑鳃金龟 <i>H. parallela</i>	黑绒鳃金龟 <i>Maladera orientalis</i>	中华弧丽金龟 <i>P. quadriguttata</i>	合计 Total
1	112.50±12.80a	18.75±3.75a	3.75±1.00a	135.00	1.88±0.50b	50.63±5.23b	1.88±0.58c	54.39
6	131.25±13.00a	5.63±0.96b	3.75±1.00a	140.63	7.50±1.41a	78.75±10.34a	3.75±0.58b	90.00
8	35.63±4.11b	0.00c	1.88±0.50b	37.51	1.88±0.50b	3.75±0.58c	9.38±1.50a	15.01

到华北黑鳃金龟, 其中在洛阳诱集到的暗黑鳃金龟较多, 也诱集到少量铜绿丽金龟和中华弧丽金龟; 在开封诱集到大量黑绒鳃金龟, 也诱集到少量暗黑鳃金龟和中华弧丽金龟, 但未诱集到铜绿丽金龟。这种诱虫种类的差异估计与不同地区金龟甲优势种类的不同有关。

3 讨论与结论

本文以华北大黑鳃金龟、暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟为研究对象, 选取蓖麻叶主要挥发物设计引诱剂配方, 通过室内 EAG 测定和田间诱捕试验, 筛选出了田间诱虫效果较好的配方 1(顺-3-己烯-1-醇+邻苯二甲酸二丁酯)和配方 6(顺-3-己烯-1-醇+苯甲醇), 这两个配方不仅可大量诱捕 3 种目标金龟甲, 而且对黑绒鳃金龟、黄褐丽金龟和中华弧丽金龟等也有一定诱捕效果, 表现出明显的广谱特点。关于植物挥发物诱虫谱广的原因目前还不太明确, 一般认为, 植物挥发物与植食性昆虫的寄主选择和产卵定位有关^[17], 依此为基础研制的植物源害虫引诱剂也具有诱虫谱广的特点, 不仅可以诱集到多种昆虫, 而且可以同时诱捕雌雄成虫^[18]。从本研究筛选出的两个引诱剂配方所含的蓖麻叶挥发物成分看, 顺-3-己烯-1-醇也是其他植物中常见的绿叶气味物质, 在寄主

植物与植食性昆虫关系中具有重要作用^[19], 不仅可增强多种鳞翅目昆虫对性信息素的行为反应^[20], 而且有研究表明西方五月鳃金龟 (*Melolontha melolontha*)、东方五月鳃金龟 (*M. hippocastani*) 和庭院叶丽金龟 (*Phylloperha honicola*) 可利用顺-3-己烯-1-醇作为求偶交配过程中定位寄主的线索^[21-23], 但对金龟甲的具体行为作用机制目前还不十分清楚^[24]。邻苯二甲酸二丁酯是蓖麻叶挥发物中相对含量最高的挥发物^[16], 而华北大黑鳃金龟和暗黑鳃金龟雌性信息素的主要成分是甘氨酸甲酯、脯氨酸甲酯和 L-异亮氨酸甲酯等酯类物质^[25-26], 这是否暗示顺-3-己烯-1-醇与邻苯二甲酸二丁酯混配的增效作用与上述情况类似, 值得深入探索。苯甲醇是最简单的芳香醇之一, 与顺-3-己烯-1-醇混配后对供试金龟甲也有明显增效作用, 这种情况与苯甲醇、苯乙醇、苯甲醛、苯乙醛等苯丙氨酸类致香物质与顺-3-己烯-1-醇混配可以提高对扁绿丽金龟 (*Anomala octiescostata*) 的引诱活性相似^[27], 但具体原因也有待探明。

EAG 测定是评价挥发物对昆虫生物活性的常用方法, 但活性较强的物质是具有引诱作用还是驱避作用需要进一步的行为反应测定进行明确^[28]。作者前期在对 5 种蓖麻叶挥发物单剂进行 EAG 活性测定时发现, 3 种金龟甲雄虫对各挥发物单剂的 EAG 反

应值均高于顺-3-己烯-1-醇, 华北大黑鳃金龟对邻苯二甲酸二丁酯和肉桂醛的 EAG 反应值相对较高, 铜绿丽金龟对邻苯二甲酸二丁酯和苯甲醇的 EAG 反应值相对较高。本试验将供试挥发物两两混配后进行测定, 发现与顺-3-己烯-1-醇混配的配方均表现出显著的活性, 但其他挥发物两两混配后并没有显著增效作用, 如邻苯二甲酸二丁酯与肉桂醛混配后对华北大黑鳃金龟活性并没有显著增强, 估计与上述性信息素增效机制有关, 有待进一步研究予以探明。此外, 由于 EAG 反映的是嗅觉感受器对特定化合物反应电压的强弱, 而最终输出的行为反应则要经历嗅觉受体至大脑嗅叶之间的神经编码和投射、中枢神经系统对神经电生理信号的综合评判以及大脑依据评判结果对运动器官的调控等, 这个过程可能造成神经电生理信号的重新整合, 致使电生理活性与行为表现并不完全一致^[29]。本研究也发现, 一些电生理活性较强的配方与田间诱捕虫量并不完全一致, 有些配方甚至诱捕不到金龟甲。因此, 通常情况下用 EAG 技术初步筛选活性物质, 用行为反应测定初步评价这些活性物质的生物学作用, 但其最终效果还需田间试验予以确定。

性诱剂的研究已经形成了一系列成熟的研究技术, 可供植物源引诱剂的研究借鉴。大量研究表明, 性诱剂具有活性高和专一性强的特点^[30], 诱虫数量也常常显著多于植物源引诱剂。但由于其诱虫种类单一, 且多数性诱芯仅能诱捕雄虫, 最终的防治效果主要通过造成性比失衡和影响交配来实现, 特别是对于具有多次交配习性或种群数量较多的害虫, 尽管诱捕到的虫量很大, 但田间防治效果并不理想, 这是限制其防治应用的主要原因。因此, 将性信息素的高活性与植物挥发物的广谱性有机结合, 研制新型广谱高效引诱剂产品, 是一个值得深入研究的问题。此外, 从田间应用的角度看, 采用的溶剂类型和诱芯载体、诱捕器的类型及其悬挂高度和间距等, 都会影响诱虫量的多少^[31]。因此, 加强这方面的研究对于形成定型产品和配套的使用技术也非常重要。

参考文献

- [1] 仵均祥, 李照会, 原国辉. 农业昆虫学[M]. 第2版. 北京: 中国农业出版社, 2011: 52-57
Wu J X, Li Z H, Yuan G H. Agricultural entomology (2nd Edition)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 52-57
- [2] 范绍强, 郑王义, 谢咸升, 等. 山西晋南麦区蛴螬种群动态预测模型研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 929-932
Fan S Q, Zheng W Y, Xie X S, et al. Prediction models of population dynamics in wheat lands of South Shanxi Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(4): 929-932
- [3] 程松莲, 丁永青, 周群, 等. 花生蛴螬发生原因及防治方法[J]. 花生学报, 2008, 37(2): 38-40
Cheng S L, Ding Y Q, Zhou Q, et al. Reason of peanut grubs occurrence and its control strategy[J]. Journal of Peanut Science, 2008, 37(2): 38-40
- [4] 朱栋, 秦玉川, 朱培祥, 等. 不同诱杀方法对花生金龟子的防治效果研究[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(1): 38-41
Zhu D, Qin Y C, Zhu P X, et al. Control effect of different trap and kill methods on peanut scarab beetles[J]. China Plant Protection, 2012, 32(1): 38-41
- [5] 李为争, 袁莹华, 原国辉, 等. 铜绿丽金龟对不同植物叶片的选择和取食反应[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1905-1908
Li W Z, Yuan Y H, Yuan G H, et al. Bioassays on selection and feeding responses of *Anomala corpulenta* adults to different plant leaves[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(9): 1905-1908
- [6] Li W Z, Yuan Y H, An S H, et al. Bioassays on selection and feeding responses of *Holotrichia obliqua* adults to different plant species[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 293-296
- [7] 李为争, 袁莹华, 原国辉, 等. 暗黑鳃金龟成虫对非寄主蓖麻和几种寄主叶片的选择和取食反应[J]. 河南农业大学学报, 2010, 44(4): 438-442, 447
Li W Z, Yuan Y H, Yuan G H, et al. Selection and feeding responses of *Holotrichia parallela* adults to the leaves of non-host plant *Ricinus communis* and several host plants[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2010, 44(4): 438-442, 447
- [8] 申小卫, 安靖靖, 原国辉, 等. 蓖麻植株不同部位粗提物对蛴螬的触杀作用研究[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(4): 427-429
Shen X W, An J J, Yuan G H, et al. Research on the contact effect of extracts of different plant parts of *Ricinus communis* (Euphorbiales: Euphorbiaceae) on grubs[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2008, 42(4): 427-429
- [9] 赵建兴, 张树怀, 余国珍, 等. 蓖麻毒素粗提物杀虫作用的研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2001, 22(4): 78-80
Zhao J X, Zhang S H, She G Z, et al. Insecticidal effect of raw extracts of castor bean toxin[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2001, 22(4): 78-80
- [10] 徐齐云, 钟国华, 胡美英, 等. 蓖麻提取物对蔬菜害虫的杀虫活性研究[J]. 长江蔬菜, 2006(11): 35-36
Xu Q Y, Zhong G H, Hu M Y, et al. Study on insecticidal activity of extract of *Ricinus communis* L. to vegetable pests[J].

- Journal of Changjiang Vegetables, 2006(11): 35–36
- [11] 何恒果. 蓖麻提取液对菜青虫的生物活性研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 7929–7930
He H G. Insecticidal and anti-feeding effects of *Ricinus communis* L. extract on *Pieris rapae*[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2010, 38(15): 7929–7930
- [12] Ramos-López M A, Perez-G S, Rodríguez-Hernández C, et al. Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(9): 1359–1365
- [13] 周福才, 顾爱祥, 周桂生, 等. 蓖麻叶片粗提物对黄瓜瓜绢螟的作用[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 619–624
Zhou F C, Gu A X, Zhou G S, et al. Effect of castor leaf alcohol extract on *Diaphania indica*[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(5): 619–624
- [14] 鞠荣, 徐汉虹, 周利娟. 大戟科杀虫植物生物活性的研究与应用[J]. 广东农业科学, 2005(6): 56–59
Ju R, Xu H H, Zhou L J. Research and application of Euphorbiaceae plants in pesticides[J]. Guangdong Agricultural Science, 2005(6): 56–59
- [15] 陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5113–5122
Lu Y H, Zhang Y J, Wu K M. Host-plant selection mechanisms and behavioral manipulation strategies of phytophagous insects[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5113–5122
- [16] 姚永生. 铜绿丽金龟对蓖麻的趋向作用及其雌性信息素的初步研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2004
Yao Y S. Preliminary study on the positively taxis of *Anomala corpulenta* to castor bean and its female sex pheromone[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2004
- [17] Bruce T J, Wadhams L J, Woodcock C M. Insect host location: A volatile situation[J]. Trends Plant Science, 2005, 10(6): 269–274
- [18] Lu P F, Huang L Q, Wang C Z. Identification and field evaluation of pear fruit volatiles attractive to the oriental fruit moth, *Cydia molesta*[J]. Journal of Chemical Ecology, 2012, 38(1): 1003–1016
- [19] Wei J N, Kang L. Roles of (Z)-3-hexenol in plant-insect interactions[J]. Plant Signaling & Behavior, 2011, 6(3): 369–371
- [20] Reddy G V P, Guerrero A. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals[J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(5): 253–261
- [21] Reinecke A, Ruther J, Tolasch T, et al. Alcoholism in cockchafers: orientation of male *Melolontha melolontha* towards green leaf alcohols[J]. Naturwissenschaften, 2002, 89(6): 265–269
- [22] Ruther J, Reinecke A, Hilker M. Plant volatiles in the sexual communication of *Melolontha hippocastani*: Response towards time-dependent bouquets and novel function of (Z)-3-hexen-1-ol as a sexual kairomone[J]. Ecological Entomology, 2002, 27(1): 76–83
- [23] Ruther J. Male-biased response of garden chafer, *Phyllopertha horticola* L., to leaf alcohol and attraction of both sexes to floral plant volatiles[J]. Chemoecology, 2004, 14(3/4): 187–192
- [24] 路常宽, 王晓勤, 张巨山, 等. 苹毛丽金龟对植物挥发物成分的触角电位及行为反应[J]. 昆虫学报, 2009, 52(12): 1379–1384
Lu C K, Wang X Q, Zhang J S, et al. Electroantennographic and behavioral responses of *Proagopertha lucidula* (Faidermann) (Coleoptera: Scarabaeidae) to plant volatiles[J]. Acta Entomologica Sinica, 2009, 52(12): 1379–1384
- [25] 胡祖庆, 亢菊侠, 赵惠燕, 等. 华北大黑鳃金龟引诱剂生物测定初探[J]. 陕西农业科学, 2005(4): 46–48
Hu Z Q, Kang J X, Zhao H Y, et al. Bioassays of attracting substances to the *Holotrichia ablita*[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2005(4): 46–48
- [26] Choi M Y, Paik C H, Seo H Y, et al. Attractiveness of sex pheromone of the large black chafer, *Holotrichia parallela* (Motschulsky) (Coleoptera: Scarabaeidae), in potato field[J]. Korean Journal of Applied Entomology, 2006, 45(2): 169–172
- [27] Leal W S, Ono M, Hasegawa M, et al. Kairomone from dandelion, *Taraxacum officinale*, attractant for scarab beetle *Anomala octiescostata*[J]. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(7): 1697–1704
- [28] 阎凤鸣. 化学生态学[M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2011: 237–399
Yan F M. Chemical ecology (2nd Edition)[M]. Beijing: Science Press, 2011: 237–399
- [29] Ryan M F. Insect chemoreception-fundamental and applied[M]. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002: 140–171
- [30] 向玉勇, 杨茂发. 昆虫性信息素研究应用进展[J]. 湖北农业科学, 2006, 45(2): 250–256
Xiang Y Y, Yang M F. Progress on study and application of insect sex pheromone[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2006, 45(2): 250–256
- [31] 杨捷. 影响昆虫性信息素防治效果的因素[J]. 湖北植保, 2008(4): 54–56
Yang J. The factors affected control effect of insect sex pheromones[J]. Hubei Plant Protection, 2008(4): 54–56