

华北大黑鳃金龟植物源引诱剂配方筛选及引诱效果

李晓峰 曹雅忠 尹 姣 张 帅 李金桥 李克斌*

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要: 为研制华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* 的植物源引诱剂, 选取7种植物挥发物单体, 筛选各单体最佳引诱浓度并据此设计35个三元配方, 通过华北大黑鳃金龟成虫触角电位反应试验及进一步的趋势行为反应试验筛选出对华北大黑鳃金龟雌、雄成虫引诱作用较强的配方, 并通过笼罩引诱试验测试所筛选配方对成虫的引诱效果。结果表明, 趋势行为反应试验中配方5(邻苯二甲酸二丁酯+芳樟醇+苯甲醇)、配方14(肉桂醛+苯甲醇+顺-3-己烯基乙酸酯)、配方27(1-己醇+肉桂醛+苯甲醇)和配方35(1-己醇+顺-3-己烯基乙酸酯+顺-3-己烯基异丁酸酯)对雌成虫引诱效果较好, 选择反应率分别为62.09%、62.79%、60.22%和85.13%; 配方3(邻苯二甲酸二丁酯+肉桂醛+顺-3-己烯基乙酸酯)、配方6(邻苯二甲酸二丁酯+芳樟醇+顺-3-己烯基乙酸酯)和配方35对雄成虫引诱效果较好, 选择反应率分别为69.12%、64.22%和89.05%。笼罩引诱试验结果表明, 成虫对配方3、配方6和配方35的选择反应率分别为68.16%、60.24%和70.59%, 均高于其它配方; 配方3、配方6和配方35引诱的成虫数量分别为61、61和72头, 均显著高于其对照引诱的成虫数量(29、40和30头)。表明配方3、配方6和配方35对华北大黑鳃金龟成虫具有显著引诱效果, 可作为其引诱剂备选配方应用于生态防控。

关键词: 华北大黑鳃金龟; 植物挥发物; 配方筛选; 引诱效果

Prescription screening and trapping effect of plant volatile attractants to northern China scarab beetle *Holotrichia oblita*

LI Xiaofeng CAO Yazhong YIN Jiao ZHANG Shuai LI Jinqiao LI Kebin*

State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection,
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: To select the attractants of plant origin for the ecological management of northern China scarab beetle *Holotrichia oblita*, seven of the volatile components were selected and optimal attractant concentration was screened. Accordingly, 35 formulas consisting of three ingredients were designed, and each formula with strong attraction to female and male *H. oblita* adults was screened out through the measurement of antennal potential response of *H. oblita* adults and further behavioral trend test. The trapping effects of the selected formulas on *H. oblita* adults were tested by using enveloping and trapping tests. The result showed that, in the behavioral trend test, female adults were better seduced by formula 5 (dibutyl phthalate+linalool+benzyl alcohol), formula 14 (cinnamaldehyde+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl acetate), formula 27 (1-hexanol+cinnamaldehyde+benzyl alcohol) and formula 35 (1-hexanol+(Z)-3-hexenyl acetate+(Z)-3-hexenylisobutyrate), with a selection response rate of 62.09%, 62.79%, 60.22% and 85.13%, respectively; male adults were better seduced by formula 3 (dibutyl phthalate+cinnamaldehyde+(Z)-3-hexenyl acetate), formula 6 (dibutyl phthalate+linalool+(Z)-3-hexenyl acetate), and

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201700, 2018YFD0201000)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: kbli@ippcaas.cn

收稿日期: 2019-04-01

formula 35, with a selection response rate of 69.12%, 64.22% and 89.05%, respectively. The results of enveloping and trapping tests showed that the response rates of adults to formula 3, formula 6 and formula 35 were 68.16%, 60.24% and 70.59%, respectively, all greater than to other formulas. The number of trapped adults by formula 3, formula 6 and formula 35 were 61, 61 and 72 heads, respectively, significantly higher than the controls (29, 40 and 30 heads, respectively). It is concluded that formula 3, formula 6 and formula 35 had a significant trapping effect on the adult of *H. oblita*, and they can be used as an alternative attractant for ecological prevention and control of this pest insect.

Key words: *Holotrichia oblita*; plant volatile; formulation selection; trapping effect

华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* 属鞘翅目金龟甲总科, 是华北旱作区重要的地下害虫。华北大黑鳃金龟幼虫取食花生、大豆、马铃薯等秋季作物(程松莲等, 2008)和小麦的嫩根(范绍强等, 2008), 使其大面积减产, 其成虫取食植物叶片, 取食时具有群聚特征, 对作物和林木造成巨大为害(胡琼波等, 2004)。目前生产上针对幼虫常采用土壤处理、药剂拌种等传统化学方法进行防治, 但效果不明显(李为争等, 2013a)。同时, 这些传统的化学方法会使土壤面临短期或长期污染, 继而引发农产品安全问题。利用华北大黑鳃金龟成虫对植物挥发物的趋化性调控其行为, 从而控制其为害, 进而减少农药用量。

寄主植物产生的大量次生代谢产物对害虫的定位、取食和产卵等行为有较大影响(侯照远等, 1996; Halitschke et al., 2008)。关于植物挥发物单体对金龟甲有引诱作用的研究较多, 如热孜宛古丽·阿卜杜克热木等(2018)报道顺-3-己烯基异丁酸酯、邻苯二甲酸二丁酯、顺-3-己烯基乙酸酯、芳樟醇、1-己醇、肉桂醛等植物挥发物对金龟甲有引诱作用; 姚永生(2004)通过气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)分析鉴定出苯甲醇、苯乙醛、苯乙酯、苯甲酸甲酯、石竹烯等植物挥发物对金龟甲也有引诱作用。植物挥发物对靶标害虫的引诱作用在一定条件下才能发挥作用, 在某一特定空间范围内, 挥发物种类越复杂, 害虫对寄主的选择性越强; 在针对某一害虫设计引诱剂配方时, 配方各组成成分间的质量比不应完全模拟其寄主, 否则引诱剂的持效期短(Cunningham et al., 1999), 因此人工植物源引诱剂配方组成成分要多元化, 这样不但可以提高诱虫活性, 而且更有利于推广应用。针对部分金龟甲类昆虫, 国外学者提出了三元引诱剂配方, 如由苯甲醛、苯乙醛、苯甲醇混配而成的三元引诱剂对扁绿丽金龟 *Anomala octiescostata* 有较好的引诱效果(Leal et al., 1994); PEP+丁香酚+香叶醇(3:7:3)的三元配方被广泛用于日本丽金龟 *Popilia*

japonica 的诱杀与监测(Ladd & McGovern, 1980); 另外还有戊酸+丁酸辛酯+己酸(1:1:1)、香叶醇+丁香酚+2-乙基苯丙酸(3:7:3)等三元配方(Ruther & Tolasch, 2004)。国内对金龟甲特别是华北大黑鳃金龟有引诱作用的特定植物和植物挥发物成分进行了鉴定及室内引诱试验, 如张艳玲等(2006)测试了华北大黑鳃金龟对蓖麻、花生、大豆、苹果、榆树、杨树叶片粗提物的反应活性; 鞠倩等(2014)测试了华北大黑鳃金龟、暗黑鳃金龟 *H. trichia parallela*、铜绿丽金龟 *A. corpulenta* 对垂柳、沟叶结缕草、榆树、国槐、毛白杨、梧桐、女贞、小叶黄杨、桑树、梨树、苹果树等植物叶片的趋性行为反应; 龚健等(2017)测试了白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* 对醇类和醛类植物挥发物的触角电位反应; 朱栋等(2012)将植物挥发物反-2-己烯醛与不同比例糖醋酒液混合, 测定其对金龟甲的引诱效果; 国内虽然对华北大黑鳃金龟的引诱剂成分进行了室内测定, 仅李为争等(2013a)将植物挥发物肉桂醛和苯甲醇按4:1体积比混合制备成二元引诱剂, 而用于防治华北大黑鳃金的三元引诱剂就更少, 因此研制成分更复杂、广谱性更强的三元引诱剂配方对于华北大黑鳃金龟的防治显得尤为重要。

在余玉婷(2013)和热孜宛古丽·阿卜杜克热木等(2018)对榆树、苘麻和蓖麻3种植物的挥发物组分鉴定及含量分析以及已发现的对华北大黑鳃金龟成虫具有引诱作用的植物挥发物基础上, 本研究以这3种寄主植物独有或共有的7种挥发物为研究对象, 通过试验筛选出这7种植物挥发物对华北大黑鳃金龟的最佳引诱浓度, 以此为依据设计35个三元配方, 采用触角电位反应试验、趋势行为反应试验对这35个三元配方逐步进行筛选, 并通过笼罩引诱试验测定其引诱效果, 筛选出对华北大黑鳃金龟成虫具有较好引诱效果、广谱性更强的三元引诱剂配方, 以期对华北大黑鳃金龟成虫生物防治提供有效的技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫: 在中国农业科学院廊坊科研中试基地的花生田内取土, 去掉 10 cm 表层土壤后收集颗粒均匀的褐土, 过 20 目筛, 用干燥箱烘干后, 与蒸馏水混匀, 边混边用湿度计进行测量, 将湿度控制在 18%~20% 之间, 将处理后的土壤放入长 50 cm、宽 40 cm、高 40 cm 的养虫箱内, 土壤厚度为 10 cm 左右, 铺满整个养虫箱, 将于 2018 年 6 月自河北省沧州市郊花生田采集的华北大黑鳃金龟成虫放入养虫箱内, 每箱 200 头, 于室内温度 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 下饲养, 晚上 18:00 以后不开灯, 使成虫正常出土; 以自中国农业科学院廊坊科研中试基地内采集的新鲜大果榆树叶饲喂, 选取活力较强、体型大小较一致的成虫用于试验。

试剂和仪器: 纯度均 $\geq 95\%$ 的邻苯二甲酸二丁酯、肉桂醛、芳樟醇、苯甲醇、顺-3-己烯基乙酸酯、顺-3-己烯基异丁酸酯、1-己醇、顺-3-己烯-醇, 西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司; 石蜡油, 生工生物工程(上海)股份有限公司。1 000 μL 移液枪头, 上海泰坦科技股份有限公司; 空诱芯, 北京睿恒均安科技有限公司; 主臂长 20 cm、侧臂长 18 cm、两侧臂夹角为 60° 、管内直径 2.5 cm 的 Y 型嗅觉仪, 长、宽、高均为 1 m 的透明玻璃箱, 北京兴运科诺玻璃仪器厂; MY-15 型触角电位仪, 北京渠道科学器材有限公司; BY881 系列干燥箱, 苏州彬源烘箱制造贸易有限公司; SMZ-100W 体视显微镜, 深圳市微特光电仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 植物源引诱剂配方溶液的制备

植物源引诱剂配方成分和含量确定: 采用 Y 型嗅觉仪测定 7 种植物挥发物单体各浓度处理对华北大黑鳃金龟成虫的引诱作用。测试中气体流速为 500 mL/min, 气流经活性炭去除杂质, 再经空气泵进入洗气瓶湿润空气。为排除残留在 Y 型嗅觉仪中的气体, 测试前分别用水和 75% 酒精清洗, 干燥后通气 3 min 排除管内的杂气。华北大黑鳃金龟成虫具有昼伏夜出的习性, 试验时间为 19:30—23:30, 测试时观察光源为红光。以石蜡油为溶剂, 将邻苯二甲酸二丁酯、肉桂醛、芳樟醇、苯甲醇、顺-3-己烯基乙酸酯、顺-3-己烯基异丁酸酯、1-己醇配共 7 种植物挥发物单体分别制成 0.11、0.33、1、3、9 g/L 五个浓度

的溶液; 在 Y 型嗅觉仪 2 个侧臂的玻璃管内分别放置滴有 20 μL 植物挥发物单体各浓度溶液和 20 μL 石蜡油(对照)的小诱芯, 作为气味源; 在 Y 型嗅觉仪主臂 3 cm 处放入 1 头华北大黑鳃金龟成虫, 若试虫在任一侧臂中爬行距离超过侧臂长度的 1/2 并且停留时间超过 1 min 时, 则认为有反应(李晓莉等, 2018), 若接入 5 min 后试虫仍留在主臂, 则认为无反应。每种植物挥发物单体各浓度分别测试华北大黑鳃金龟雌、雄成虫各 30 头, 重复 3 次(马艳华等, 2018)。参照 Zhou et al. (2009) 方法计算每种植物挥发物单体各浓度下华北大黑鳃金龟成虫的反应率和选择反应率, 反应率 = (味源臂试虫数 + 对照臂试虫数) / 测试虫数 $\times 100\%$; 选择反应率 = 味源臂试虫数 / (味源臂试虫数 + 对照臂试虫数) $\times 100\%$, 根据选择反应率确定每种植物挥发物单体对华北大黑鳃金龟成虫的最佳引诱浓度。每 3 种植物挥发物单体为 1 组共随机组合设计 35 个植物源引诱剂配方, 根据每种植物挥发物单体的最佳引诱浓度确定各植物源引诱剂配方成分的含量。

植物源引诱剂配方溶液的制备: 每个植物源引诱剂配方取 3 种相应的植物挥发物单体, 混合后溶解于 100 mL 石蜡油中, 使这 3 种纯单体终浓度分别与其对华北大黑鳃金龟成虫最佳引诱浓度相同, 将配制完成的各配方溶液密封于 4°C 下保存, 备用。

1.2.2 华北大黑鳃金龟成虫触角电位反应试验

采用触角电位仪逐一测定华北大黑鳃金龟成虫触角对 35 个植物源引诱剂配方溶液的电位反应, 顺-3-己烯-醇已被证实可有效引诱数种金龟甲(路常宽等, 2009; 邓思思等, 2011), 故本研究选择顺-3-己烯-醇为触角电位反应试验的参照挥发物。将养虫箱内的成虫取出, 在解剖镜下用手术刀和镊子将其头部切下, 逐步分离出触角, 用导电胶将 1 根触角两端粘在触角电位仪的 2 个电极上, 胶水不宜过多并且保证触角其它部位不粘上胶水; 每个植物源引诱剂配方溶液取 20 μL 涂到长 30 mm、宽 3 mm 滤纸上, 将滤纸放入玻璃管内, 将玻璃管固定在触角电位仪器适当的位置。打开测试软件, 检查仪器, 保持实验室无噪音、无杂乱气流, 从而使基线稳定运行; 点击记录, 开始对触角进行气味刺激。在非气味刺激时间段, 气流流速为 80 mL/min, 在气味刺激时间段, 气流流速为 30 mL/min; 每次气味刺激时长为 0.2 s, 间隔 30 s; 均以 20 μL 石蜡油为对照。每个处

理测试雌、雄成虫触角各10根,每个触角重复测试3次(李为争等,2013b)。对测定的触角电位反应值进行标准化校正,校正后参照李为争等(2013b)方法计算触角电位反应相对值,触角电位反应相对值=(处理触角电位反应值-对照触角电位反应值)/(参照挥发物触角电位反应值-对照触角电位反应值)×100%。

1.2.3 华北大黑鳃金龟成虫趋势行为反应试验

分别选取在触角电位反应试验中对华北大黑鳃金龟雌、雄成虫触角电位反应相对值较高的植物源引诱剂配方,采用Y型嗅觉仪进行趋势行为反应试验。方法同1.2.1。每个植物源引诱剂配方测试雌、雄成虫各30头,重复3次。

1.2.4 华北大黑鳃金龟成虫的笼罩引诱效果试验

分别选取在趋势行为反应试验中对华北大黑鳃金龟雌、雄成虫引诱效果较好的植物源引诱剂配方进行笼罩引诱效果试验。在长1 m、宽1 m、高1 m的透明玻璃箱内底部2条对角线两端各放1个上直径为18 cm、下直径为13 cm、高为13 cm的花盆,花盆中仅装有从养虫箱转移来的土壤,深度为10 cm,花盆上沿和玻璃箱底部平齐并保证无夹缝;将空诱芯插入1 000 μ L移液枪头中成为一个组合体,将4个组合体分别插入4个花盆中心并保持空诱芯顶端高于土壤2 cm,在1条对角线两端的花盆内的组合体中分别滴加100 μ L同配方溶液,另一条对角线两端的花盆内的组合体中分别滴加100 μ L石蜡油作为对照。挑选健康活泼的华北大黑鳃金龟成虫,饥饿处理24 h后,向每个透明玻璃箱中放入雌、雄成虫各20头,封严透明玻璃箱,30 min后开始观察成虫反应,若华北大黑鳃金龟成虫停留在花盆中或者趴在诱芯上,则视为有反应,若停留在花盆外,则视为无反应。记录每个花盆引诱的雌、雄成虫数量。为防止处理之间气味的相互干扰,每个处理后透明玻璃箱盖开启30 min以上,以排尽杂气。每个处理重复3次。参照Zhou et al. (2009)方法计算反应率和选择反应率,反应率=(处理花盆内试虫数+对照花盆内试虫数)/测试虫数×100%;选择反应率=处理花盆内试虫数/(处理花盆内试虫数+对照花盆内试虫数)×100%。

1.3 数据分析

采用SPSS 17.0软件进行数据分析。趋势行为反应试验中处理和对照之间,笼罩引诱试验中雌成

虫和雄成虫之间、处理和对照之间均采用 χ^2 检验进行差异显著性检验,其它数据均采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验,其中反应率和选择反应率要进行反正弦平方根转换。

2 结果与分析

2.1 35个植物源引诱剂配方的成分和含量

华北大黑鳃金龟成虫对7种植物挥发物单体的反应率均高于69.35%;邻苯二甲酸二丁酯、肉桂醛、芳樟醇、苯甲醇、顺-3-己烯基乙酸酯、顺-3-己烯基丁酸酯和1-己醇7种挥发物单体的35个浓度中,华北大黑鳃金龟成虫对0.11 g/L邻苯二甲酸二丁酯、0.33 g/L肉桂醛、1 g/L芳樟醇、0.11 g/L苯甲醇、1 g/L顺-3-己烯基乙酸酯、3 g/L顺-3-己烯基丁酸酯、0.33 g/L 1-己醇的选择反应率最高,分别达到60.33%、64.33%、70.16%、60.31%、59.34%、67.23%、69.68%(表1),故将0.11、0.33、1、0.11、1、3和0.33 g/L分别作为这7种植物挥发物单体的最佳引诱浓度。

每3种植物挥发物单体为1组随机组合共设计35个植物源引诱剂配方。根据这7种植物挥发物单体的最佳引诱浓度确定各植物源引诱剂配方中其相应成分的含量,以石蜡油为溶剂配制100 mL溶液,35个植物源引诱剂配方的成分及含量如表2所示。

2.2 华北大黑鳃金龟对35个配方的触角电位反应

在35个植物源引诱剂配方中,华北大黑鳃金龟雌成虫对配方3、5、6、11、14、22、27、31、34、35的触角电位反应相对值较大,均在250.98%以上,除配方34、5、14外,均与其它25个配方的触角电位反应相对值差异显著($P<0.05$)。在3、5、6、11、14、22、27、31、34、35这10个配方中,华北大黑鳃金龟雌成虫对配方3的触角电位反应相对值最高,达490.20%,其次是配方35、22和27,分别达到441.18%、435.29%和427.45%,华北大黑鳃金龟雌成虫对这4个配方的触角电位反应相对值之间无显著差异,但均显著高于其它配方的触角电位反应相对值($P<0.05$,表3)。

在35个植物源引诱剂配方中,华北大黑鳃金龟雄成虫对配方1、2、3、5、6、7、8、10、11、35的触角电位反应相对值较大,均达到370.59%以上,显著高于其它25个配方的触角电位反应相对值($P<0.05$)。在1、2、3、5、6、7、8、10、11、35这10个配方中,华北大黑鳃金龟雄成虫对配方6的触角电位反应相对值最大,达580.39%,其次是配方3和配方5,分别达

560.78%和515.69%,这3个配方均显著高于其它32个 配方的触角电位反应相对值($P<0.05$,表3)。

表1 7种植物挥发物单体对华北大黑鳃金龟成虫的引诱效果
Table 1 Effects of seven plant volatile monomers on the attraction of *Holotrichia oblita* adults

试剂 Reagent	浓度/(g/L) Concentration	反应率/% Response rate	选择 反应率/% Selection response rate	试剂 Reagent	浓度/(g/L) Concentration	反应率/% Response rate	选择 反应率/% Selection response rate
邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	0.11	86.02±16.11 ab	60.33±4.06 a	顺-3-己烯基 乙酸酯 (Z)-3-hexenyl acetate	0.11	87.69±2.31 b	50.68±1.09 ab
	0.33	69.35±3.14 b	60.12±4.01 a		0.33	92.35±4.08 b	44.16±5.04 bc
	1.00	94.22±9.08 a	41.35±2.34 b		1.00	90.93±2.06 b	59.34±6.41 a
	3.00	86.92±14.27 ab	56.14±0.00 a		3.00	92.88±4.03 b	24.25±5.14 d
	9.00	75.06±2.11 b	54.49±3.11 a		9.00	97.00±2.05 a	35.22±3.98 cd
肉桂醛 Cinnamaldehyde	0.11	91.98±4.05 a	47.24±7.28 ab	顺-3-己烯基 异丁酸酯 (Z)-3-hexenyl isobutyrate	0.11	98.17±2.01 a	38.58±7.43 b
	0.33	87.22±6.26 ab	64.33±6.89 a		0.33	78.26±2.33 c	44.34±6.67 b
	1.00	88.31±7.89 ab	47.26±3.15 ab		1.00	88.11±10.22 bc	46.37±9.13 b
	3.00	87.01±7.24 ab	39.41±6.01 b		3.00	91.78±4.31 ab	67.23±5.15 a
	9.00	77.94±5.21 b	46.23±5.92 ab		9.00	93.23±2.09 ab	40.80±2.24 b
芳樟醇 Linalool	0.11	97.34±0.00 a	45.14±3.22 bc	1-己醇 1-hexanol	0.11	90.36±3.56 ab	36.24±1.99 c
	0.33	89.03±3.18 b	49.04±7.17 bc		0.33	87.15±4.24 b	69.68±1.11 a
	1.00	89.25±1.98 b	70.16±3.19 a		1.00	95.45±0.00 a	51.12±6.33 b
	3.00	97.09±2.00 a	55.11±2.08 ab		3.00	92.25±3.58 ab	52.24±0.93 b
	9.00	84.15±5.14 b	32.25±11.45 c		9.00	90.31±2.69 a	68.79±4.32 a
苯甲醇 Benzyl alcohol	0.11	91.23±3.88 b	60.31±3.27 a				
	0.33	91.01±3.26 b	48.13±7.08 a				
	1.00	92.26±7.78 b	58.36±3.13 a				
	3.00	98.31±2.06 a	57.28±3.94 a				
	9.00	88.91±2.04 b	27.63±6.45 b				

表中数据为平均数±标准误。同试剂同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column for the same reagent indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan’s new multiple range test.

表2 35个植物源引诱剂配方的成分及含量
Table 2 Compositions and contents of 35 formulas of attractants of plant origin

配方编号 Formula no.	成分 Composition	含量/mg Content
1	邻苯二甲酸二丁酯+肉桂醛+芳樟醇 Dibutyl phthalate+cinnamaldehyde+linalool	11.1+33.3+100.0
2	邻苯二甲酸二丁酯+肉桂醛+苯甲醇 Dibutyl phthalate+cinnamaldehyde+benzyl alcohol	11.1+33.3+11.1
3	邻苯二甲酸二丁酯+肉桂醛+顺-3-己烯基乙酸酯 Dibutyl phthalate+cinnamaldehyde+(Z)-3-hexenyl acetate	11.1+33.3+100.0
4	邻苯二甲酸二丁酯+肉桂醛+顺-3-己烯基异丁酸酯 Dibutyl phthalate+cinnamaldehyde+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	11.1+33.3+300.0
5	邻苯二甲酸二丁酯+芳樟醇+苯甲醇 Dibutyl phthalate+linalool+benzyl alcohol	11.1+100.0+11.1
6	邻苯二甲酸二丁酯+芳樟醇+顺-3-己烯基乙酸酯 Dibutyl phthalate+linalool+(Z)-3-hexenyl acetate	11.1+100.0+100.0
7	邻苯二甲酸二丁酯+芳樟醇+顺-3-己烯基异丁酸酯 Dibutyl phthalate+linalool+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	11.1+100.0+300.0
8	邻苯二甲酸二丁酯+苯甲醇+顺-3-己烯基乙酸酯 Dibutyl phthalate+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl acetate	11.1+11.1+100.0
9	邻苯二甲酸二丁酯+苯甲醇+顺-3-己烯基异丁酸酯 Dibutyl phthalate+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	11.1+11.1+300.0
10	邻苯二甲酸二丁酯+顺-3-己烯基乙酸酯+顺-3-己烯基异丁酸酯 Dibutyl phthalate+(Z)-3-hexenyl acetate+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	11.1+11.1+300.0
11	肉桂醛+芳樟醇+苯甲醇 Cinnamaldehyde+linalool+benzyl alcohol	33.3+100.0+11.1
12	肉桂醛+芳樟醇+顺-3-己烯基乙酸酯 Cinnamaldehyde+linalool+(Z)-3-hexenyl acetate	33.3+100.0+100.0
13	肉桂醛+芳樟醇+顺-3-己烯基异丁酸酯 Cinnamaldehyde+linalool+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	33.3+100.0+300.0
14	肉桂醛+苯甲醇+顺-3-己烯基乙酸酯 Cinnamaldehyde+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl acetate	33.3+11.1+100.0
15	肉桂醛+苯甲醇+顺-3-己烯基异丁酸酯 Cinnamaldehyde+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	33.3+11.1+300.0

续表 2 Continued

配方编号 Formula no.	成分 Composition	含量/mg Content
16	肉桂醛+顺-3-己烯基乙酸酯+顺-3-己烯基异丁酸酯 Cinnamaldehyde+(Z)-3-hexenyl acetate+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	33.3+100.0+300.0
17	芳樟醇+苯甲醇+顺-3-己烯基乙酸酯 Linalool+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl acetate	100.0+11.1+100.0
18	芳樟醇+苯甲醇+顺-3-己烯基异丁酸酯 Linalool+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	100.0+11.1+300.0
19	芳樟醇+顺-3-己烯基乙酸酯+顺-3-己烯基异丁酸酯 Linalool+(Z)-3-hexenyl acetate+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	100.0+100.0+300.0
20	苯甲醇+顺-3-己烯基乙酸酯+顺-3-己烯基异丁酸酯 Benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl acetate+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	11.1+100.0+300.0
21	1-己醇+邻苯二甲酸二丁酯+肉桂醛 1-hexanol+dibutyl phthalate+cinnamaldehyde	33.3+11.1+33.3
22	1-己醇+邻苯二甲酸二丁酯+芳樟醇 1-hexanol+dibutyl phthalate+linalool	33.3+11.1+100.0
23	1-己醇+邻苯二甲酸二丁酯+苯甲醇 1-hexanol+dibutyl phthalate+benzyl alcohol	33.3+11.1+11.1
24	1-己醇+邻苯二甲酸二丁酯+顺-3-己烯基乙酸酯 1-hexanol+dibutyl phthalate+(Z)-3-hexenyl acetate	33.3+11.1+100.0
25	1-己醇+邻苯二甲酸二丁酯+顺-3-己烯基异丁酸酯 1-hexanol+dibutyl phthalate+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	33.3+11.1+300.0
26	1-己醇+肉桂醛+芳樟醇 1-hexanol+cinnamaldehyde+linalool	33.3+33.3+100.0
27	1-己醇+肉桂醛+苯甲醇 1-hexanol+cinnamaldehyde+benzyl alcohol	33.3+33.3+11.1
28	1-己醇+肉桂醛+顺-3-己烯基乙酸酯 1-hexanol+cinnamaldehyde+(Z)-3-hexenyl acetate	33.3+33.3+100.0
29	1-己醇+肉桂醛+顺-3-己烯基异丁酸酯 1-hexanol+cinnamaldehyde+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	33.3+33.3+300.0
30	1-己醇+芳樟醇+苯甲醇 1-hexanol+linalool+benzyl alcohol	33.3+100.0+11.1
31	1-己醇+芳樟醇+顺-3-己烯基乙酸酯 1-hexanol+linalool+(Z)-3-hexenyl acetate	33.3+100.0+100.0
32	1-己醇+芳樟醇+顺-3-己烯基异丁酸酯 1-hexanol+linalool+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	33.3+100.0+300.0
33	1-己醇+苯甲醇+顺-3-己烯基乙酸酯 1-hexanol+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl acetate	33.3+11.1+100.0
34	1-己醇+苯甲醇+顺-3-己烯基异丁酸酯 1-hexanol+benzyl alcohol+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	33.3+11.1+300.0
35	1-己醇+顺-3-己烯基乙酸酯+顺-3-己烯基异丁酸酯 1-hexanol+(Z)-3-hexenyl acetate+(Z)-3-hexenyl isobutyrate	33.3+100.0+300.0

表3 华北大黑鳃金龟雌、雄成虫对35个植物源引诱剂配方的触角电位反应相对值
Table 3 Relative values of antennal potential response of 35 formulas of attractants of plant origin
in male and female adults of *Holotrichia oblitera*

配方 编号 Formula no.	触角电位反应相对值/% Relative value of antennal potential response		配方 编号 Formula no.	触角电位反应相对值/% Relative value of antennal potential response	
	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult		雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
1	227.45±49.13 defg	378.43±20.36 d	19	86.27±16.23 jklm	217.65±19.18 ef
2	180.49±25.02 ghi	423.53±31.15 cd	20	43.14±13.96 lmn	266.67±11.25 e
3	490.20±22.18 a	560.78±34.44 ab	21	211.76±26.88 efgh	133.33±6.45 hi
4	188.24±20.96 fghi	84.31±18.11 ijk	22	435.29±50.96 ab	52.94±17.99 jkl
5	270.59±18.35 cde	515.69±43.16 b	23	198.04±18.23 fgh	16.00±4.33 kl
6	329.41±22.21 c	580.39±44.87 a	24	11.76±5.79 n	127.45±6.27 hi
7	131.37±36.45 ij	374.51±84.35 d	25	13.73±2.02 n	62.75±10.69 jkll
8	109.80±15.88 jk	411.76±31.28 cd	26	39.22±22.13 lmn	25.49±8.44 kl
9	7.84±4.04 n	264.71±12.23 e	27	427.45±29.28 ab	15.69±1.98 kl
10	19.61±2.16 mn	450.98±8.06 c	28	47.06±5.35 klmn	5.88±0.00 l
11	315.69±23.69 c	380.39±17.33 d	29	11.76±6.34 n	11.76±3.25 l
12	33.33±10.45 mn	201.96±21.38 efg	30	31.37±1.93 mn	94.12±11.92 hij
13	243.14±8.06 defg	56.86±2.46 jkl	31	413.73±18.09 b	203.92±28.37 efg
14	250.98±16.13 def	60.78±4.92 jkl	32	15.69±5.19 n	152.94±9.78 fgh
15	101.96±5.34 jkl	5.88±0.00 l	33	21.57±3.06 mn	203.92±4.31 efg
16	241.18±24.86 defg	31.37±8.08 jkl	34	286.27±30.25 cd	141.18±13.65 ghi
17	149.02±8.02 hij	3.92±2.32 l	35	441.18±55.86 ab	370.59±58.47 d
18	49.02±13.28 klmn	213.73±16.35 ef			

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在P<0.05水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at P<0.05 level by Duncan's new multiple range test.

2.3 华北大黑鳃金龟对10个配方的趋势行为反应

在经触角电位反应试验筛选出的10个植物源引诱剂配方中,配方5、14、27和35引诱的华北大黑鳃金龟雌成虫数量分别为53、54、53和61头,均显著高于其对照引诱的雌成虫数量(32、32、35和11头, $P<0.05$),其中配方35引诱的雌成虫数量极显著高于对照($P<0.01$);配方11、22和34这3个植物源引诱剂

配方引诱的雌成虫数量显著低于其对照($P<0.05$,图1-A)。雌成虫对这10个配方的反应率均高于79.41%;其选择反应率介于25.25%~85.13%之间,其中对配方35的选择反应率最高,达85.13%,显著高于对其它配方的选择反应率($P<0.05$),其次为配方5、14和27,雌成虫的选择反应率分别达62.09%、62.79%、60.22%(表4)。

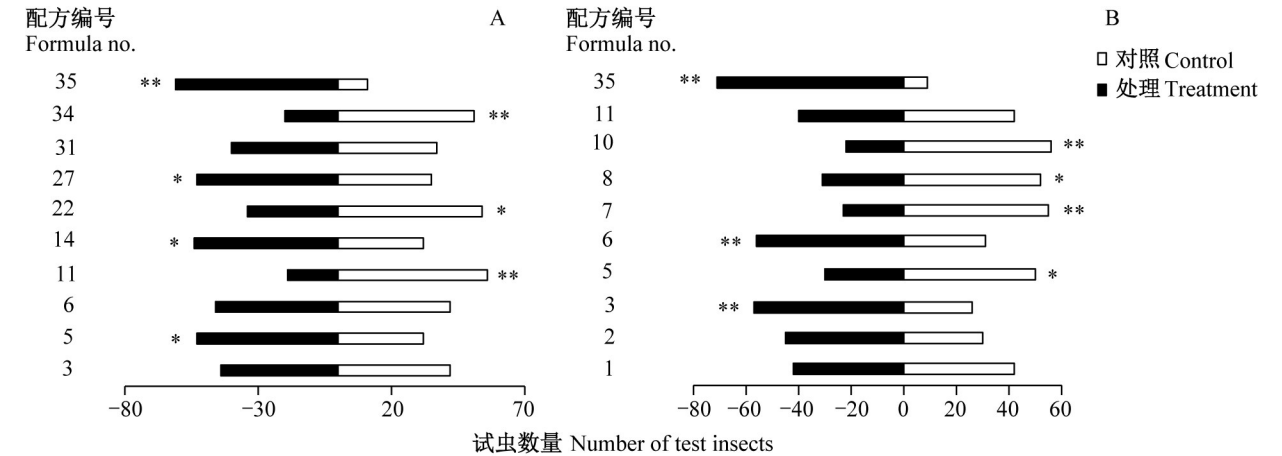


图1 华北大黑鳃金龟雌(A)、雄(B)成虫对10个植物源引诱剂配方的趋势行为反应

Fig. 1 Tropism response of female (A) and male (B) adults of *Holotrichia oblitata* to ten formulas of attractants of plant origin
*、**分别表示处理与对照之间经 χ^2 检验在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平差异显著。*, ** indicate significant differences between treatment and control at $P<0.05$ or $P<0.01$ level by χ^2 test, respectively.

表4 华北大黑鳃金龟雌成虫对10个植物源引诱剂配方的反应率和选择反应率

Table 4 Differences in the tropism response of female adults of <i>Holotrichia oblitata</i> to ten formulas of attractants of plant origin		
配方编号 Formula no.	反应率 Response rate/%	选择反应率 Selection response rate/%
3	95.68±12.06 ab	51.16±6.42 bcd
5	94.34±11.34 abc	62.09±1.78 bc
6	98.22±6.13 a	52.27±6.29 bcd
11	83.25±6.58 abc	25.25±16.43 e
14	96.33±11.87 ab	62.79±1.62 bc
22	97.23±9.01 ab	39.12±7.43 cde
27	98.08±5.32 ab	60.22±2.45 bc
31	86.41±18.21 abc	51.68±6.34 bcd
34	79.41±6.81 c	28.15±8.67 de
35	79.75±5.22 bc	85.13±5.03 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

在经触角电位反应筛选的10个植物源引诱剂配方中,配方3、6和35引诱的华北大黑鳃金龟雄成虫数量分别为57、56和71头,均极显著高于其对照引诱的雄成虫数量(26、31和9头, $P<0.01$);配方5、7、8和10引诱的雄成虫数量显著低于其对照引诱的雄成虫数量($P<0.05$,图1-B)。雄成虫对这10个植

物源引诱剂配方的反应率均高于83.11%;其选择反应率介于28.08%~89.05%之间,其中对配方35的选择反应率最高,达89.05%,显著高于对其它配方的选择反应率($P<0.05$),配方3和6次之,雄成虫的选择反应率分别达69.12%和64.22%(表5)。

表 5 华北大黑鳃金龟雄成虫对 10 个植物源引诱剂配方的反应率和选择反应率

Table 5 Differences in tropism response of male adults of *Holotrichia obliqua* to ten formulas of attractants of plant origin

配方编号 Formula no.	反应率 Response rate/%	选择反应率 Selective response rate/%
1	92.69±4.21 ab	50.13±7.68 bcd
2	83.11±11.36 b	60.31±48.03 bc
3	92.35±20.21 ab	69.12±5.05 b
5	88.74±8.21 ab	38.06±6.69 cd
6	97.43±8.17 a	64.22±10.13 b
7	87.05±2.95 b	29.69±10.35 d
8	91.88±12.26 ab	37.16±2.84 cd
10	87.26±0.00 b	28.08±8.25 d
11	90.59±4.33 ab	49.17±8.82 bcd
35	89.37±2.24 ab	89.05±6.37 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.5 6 个配方对华北大黑鳃金龟的笼罩引诱效果

经趋性行为反应试验筛选的植物源引诱剂配方 5、14、27、35、3 和 6 中,配方 3 和 6 引诱的华北大黑鳃金龟雄成虫数量分别为 42 头和 39 头,显著高于引诱

的雌成虫数量(19 头和 22 头, $P<0.05$),其中配方 3 引诱的雄成虫数量与雌成虫数量之间达到极显著差异($P<0.01$),其它配方引诱的雌成虫与雄成虫数量之间均无显著差异(图 2)。

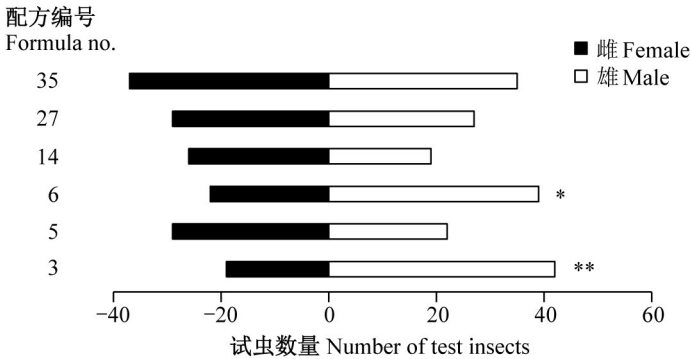


图 2 6 个植物源引诱剂配方对华北大黑鳃金龟雌、雄成虫的笼罩引诱效果

Fig. 2 Effects of six formulas of plant origin attractants on enveloping and trapping of male and female adults of *Holotrichia obliqua*

*, ** 分别表示引诱的雌成虫数量与雄成虫数量之间经 χ^2 检验在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平差异显著。*, ** indicate significant difference between the number of female and male adults attracted at $P<0.05$ or $P<0.01$ level by χ^2 test, respectively.

配方 3、6 和 35 引诱的华北大黑鳃金龟成虫(雌雄共计)数量分别为 61、61 和 72 头,均显著高于其对照引诱的成虫数量(29、40 和 30 头, $P<0.05$),其中配方 3 和 35 引诱的成虫数量与对照之间差异极显著($P<0.01$,图 3);配方 5、14、27 引诱的成虫数量与对照之间差异不显著。华北大黑鳃金龟成虫对 6 个配方的反应率均高于 74.68%;其选择反应率介于 47.41%~70.59% 之间,其中对配方 35 的选择反应率最高,达 70.59%,其次是配方 3 和 6,华北大黑鳃金龟成虫的选择反应率分别达 68.16% 和 60.24%,且其对这 3 个配方的选择反应率均显著高于对其它配方的选择反应率($P<0.05$,表 6)。

3 讨论

本研究结果表明,肉桂醛、芳樟醇、苯甲醇等 7 种植物挥发物单体在某一特定浓度下对华北大黑鳃金龟均可表现出一定的引诱效果。植物挥发物为植物次生代谢产物,在植物内含量很低,当其浓度很低时就可有引诱作用,相反,当浓度过高时可能无有引诱作用。龚东风等(2016)利用植物挥发物单体进行诱虫试验,各化合物单体使用量相同,浓度均较高,未对各单体进行低浓度的梯度设置,故得出植物挥发物肉桂醛、芳樟醇、苯甲醇对华北大黑鳃金龟无引诱作用的结果。在确定引诱剂配方中各组分时,李

为争等(2013b)以植物挥发物单体在叶片内的相对含量为配比依据;李雪等(2018)则对2种化合物单体设置混配比例梯度,通过对各梯度间引诱活性的比较来最终确定二者的混配比例;而本研究结果根据各植物挥发物单体对华北大黑鳃金龟的最佳引诱浓度来确定配方中各组分的含量。

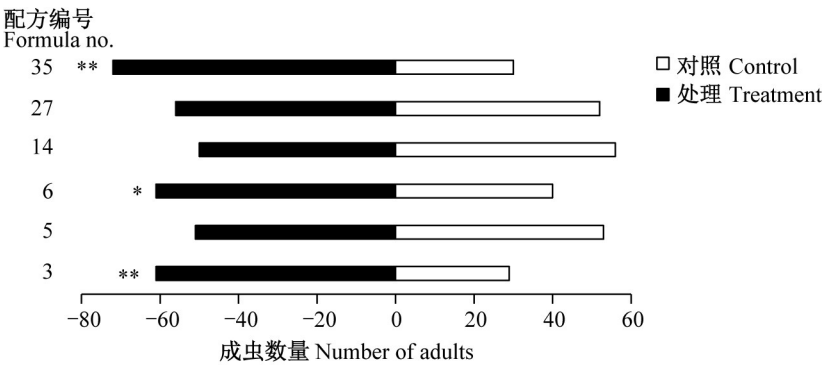


图3 6个植物源引诱剂配方对华北大黑鳃金龟成虫的笼罩引诱效果

Fig. 3 Effects of six formulas of attractants of plant origin on enveloping and trapping of adult of *Holotrichia oblitra*
*、**分别表示处理与对照之间经 χ^2 检验在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平差异显著。*, ** indicate significant difference between treatment and control at $P<0.05$ or $P<0.01$ levels by χ^2 test, respectively.

表6 华北大黑鳃金龟成虫对6个植物源引诱剂配方的反应率和选择反应率

配方编号 Formula no.	反应率 Response rate/%	选择反应率 Selective response rate/%
3	74.68±1.73 b	68.16±2.40 ab
5	87.41±1.33 a	48.82±2.73 c
6	84.03±4.91 ab	60.24±2.00 b
14	88.35±2.67 a	47.41±3.00 c
27	90.12±4.00 a	52.59±1.76 c
35	85.00±6.08 a	70.59±3.38 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

在触角电位反应试验中,配方3(邻苯二甲酸二丁酯+肉桂醛+顺-3-己烯基乙酸酯)、配方6(邻苯二甲酸二丁酯+芳樟醇+顺-3-己烯基乙酸酯)中的单一成分均为榆树挥发物成分,雄成虫对配方3、配方6的触角电位反应值大于雌成虫;李娅娅等(2018)通过华北大黑鳃金龟对榆树、桃树、梨树、山楂、丁香和金银木粗挥发物的触角电位反应试验发现,华北大黑鳃金龟对榆树粗挥发物反应值最大,但雌成虫反应值大于雄成虫,与本研究结果有差异;说明雌成虫对榆树挥发物单体有更大的电生理活性,而雄成虫对榆树挥发物单体混合物有更强的电生理活性,因此在华北大黑鳃金龟引诱剂配方中可适当增加使雄成虫生理活性增强的挥发物成分,从而达到更好的引诱效果。热孜宛古丽·阿卜杜克热木(2018)发现顺-3-己烯基乙酸酯、邻苯二甲酸二丁酯、顺-3-己烯基异丁酸酯等是榆树、苘麻、蓖麻对华

北大黑鳃金龟成虫均具有显著引诱作用的共同挥发物。本研究的笼罩引诱测试结果也表明,配方3、配方6和配方35对华北大黑鳃金龟均具有较强的引诱效果,配方3和配方6均含有邻苯二甲酸二丁酯和顺-3-己烯基乙酸酯这2种植物挥发物,配方35含有顺-3-己烯基乙酸酯和顺-3-己烯基异丁酸酯这2种成分,进一步证明邻苯二甲酸二丁酯、顺-3-己烯基乙酸酯、顺-3-己烯基异丁酸酯以及芳樟醇是对华北大黑鳃金龟成虫均具有引诱作用的植物挥发物。徐伟等(2018)研究结果表明,芳樟醇对中华弧丽金龟甲 *Popillia quadriguttata* 有较强的电生理活性及行为反应活性,本研究的配方6同样含有芳樟醇成分。
本试验筛选出华北大黑鳃金龟的最佳引诱配方,该配方是否对暗黑鳃金龟、铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* 等其它优势种金龟甲有引诱效果还需要进一步研究。将植物挥发物与性信息素、聚集信息

素联用作为下一步的工作重点,从而更有效地对华北黑鳃金龟成虫进行防控。

参考文献 (References)

- ABDUKERIM R, CAO YZ, ZHANG S, YIN J, LI X, LI KB. 2018. Feeding preference and taxis behavior of adult *Holotrichia obliqua* (Coleoptera: Scarabaeidae) on three plants. *Acta Entomologica Sinica*, 61(5): 585–595 (in Chinese) [热孜宛古丽·阿卜杜克热木, 曹雅忠, 张帅, 尹姣, 李雪, 李克斌. 2018. 华北黑鳃金龟成虫对三种植物的取食选择及趋性行为反应. 昆虫学报, 61(5): 585–595]
- CHENG SL, DING YQ, ZHOU Q, WANG QD, XING XM, ZHANG W. 2008. Reason of peanut grubs occurrence in Laixian and its control strategy. *Journal of Peanut Science*, 37(2): 38–40 (in Chinese) [程松莲, 丁永青, 周群, 王庆东, 邢小妹, 张伟. 2008. 花生蛴螬发生原因及防治方法. 花生学报, 37(2): 38–40]
- CUNNINGHAM JP, ZALUCKI MP, WEST SA. 1999. Learning in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): a new look at the behavior and control of a polyphagous pest. *Bulletin of Entomological Research*, 89(3): 201–207
- DENG SS, YIN J, CAO YZ, LUO ZX, WANG W, LI KB. 2011. Electroantennographic and behavioral responses of *Holotrichia obliqua* to plant volatiles. *Plant Protection*, 37(5): 62–66 (in Chinese) [邓思思, 尹姣, 曹雅忠, 罗宗秀, 王伟, 李克斌. 2011. 华北黑鳃金龟对20种植物源挥发物的电生理和行为反应. 植物保护, 37(5): 62–66]
- FAN SQ, ZHENG WY, XIE WS, CAO YP. 2008. Prediction models of grub population dynamics in wheat lands of South Shanxi Province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16(4): 929–932 (in Chinese) [范绍强, 郑王义, 谢咸升, 曹亚萍. 2008. 山西晋南麦区蛴螬种群动态预测模型研究. 中国生态农业学报, 16(4): 929–932]
- GONG DF, LI WZ, ZHUANG L, ZHANG HF, GUO XR, GUO SS, TENG XH, YUAN GH. 2016. Screening of floral attractants of key scarab species in North China. *Journal of Henan Agricultural University*, 50(6): 748–752 (in Chinese) [龚东风, 李为争, 庄丽, 张鸿飞, 郭线茹, 郭帅帅, 滕小慧, 原国辉. 2016. 华北关键金龟甲种类花香引诱剂配方的筛选. 河南农业大学学报, 50(6): 748–752]
- GONG J, CHEN L, WANG SS. 2017. Electroantennogram responses of female and male adults of *Potosia brevitasis* Lewis to volatile alcohols and aldehydes. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 54(6): 1085–1092 (in Chinese) [龚健, 陈立, 王少山. 2017. 白星花金龟对醇和醛类植物挥发物的触角电位反应. 新疆农业科学, 54(6): 1085–1092]
- HALITSCHKE R, STENBERG JA, KESSLER D, KESSIER A, BALDWIN IT. 2008. Shared signals- 'alarm calls' from plants increase apparency to herbivores and their enemies in nature. *Ecology Letters*, 11(1): 24–34
- HOU ZY, CHEN X, ZHANG Y, YAN FS. 1996. The role and application prospect of plant volatile secondary substances in pest control. *Plant Protection Technology and Extension*, 16(5): 37–39 (in Chinese) [侯照远, 陈雄, 张瑛, 严福顺. 1996. 植物挥发性次生物质在害虫防治中的作用与应用前景. 植保技术与推广, 16(5): 37–39]
- HU QB, REN SX, HUANG Z. 2004. Research progress of the biological control for grub.//LI DM, WU YJ, WU CS, YANG GH, ZHANG JT. *Contemporary entomology research: Proceedings of the 60th Anniversary Congress and Symposium of Chinese Entomological Society*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, pp. 477–482 (in Chinese) [胡琼波, 任顺祥, 黄振. 2004. 蛴螬生物防治研究进展.//李典谟, 伍一军, 武春生, 杨冠煌, 张金桐. 当代昆虫学研究: 中国昆虫学会成立60周年纪念大会暨学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, pp. 477–482]
- JU Q, LI X, JIANG XJ, ZHAO ZQ, JIANG YL, QU MJ. 2014. Behavioral responses of three scarab beetles to host plants. *Plant Protection*, 40(4): 76–79 (in Chinese) [鞠倩, 李晓, 姜晓静, 赵志强, 姜玉兰, 曲明静. 2014. 3种金龟甲对寄主植物的行为反应研究. 植物保护, 40(4): 76–79]
- LADD TL, MCGOVERN TP. 1980. Japanese beetle: a superior attractant, phenethyl propionate+eugenol+geraniol, 3: 7: 3. *Journal of Economic Entomology*, 73(5): 689–691
- LEAL WS, ONO M, HASEGAWA M, SAWADA M. 1994. Kairomone from dandelion, *Taraxacum officinale*, attractant for scarab beetle *Anomala octiescostata*. *Journal of Chemical Ecology*, 20(7): 1697–1704
- LI WZ, YANG L, SHEN XW, YUAN YH, YUAN GH, LUO MH, GUO XR. 2013a. Prescription screening and field evaluation of broad spectrum attractants of scarab beetles from *Ricinus communis*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21(4): 480–486 (in Chinese) [李为争, 杨雷, 申小卫, 袁莹华, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹. 2013a. 金龟甲蓖麻源引诱剂的配方筛选及田间效果评价. 中国生态农业学报, 21(4): 480–486]
- LI WZ, YANG L, SHEN XW, YUAN YH, YUAN GH, LUO MH, GUO XR. 2013b. Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles. *Acta Ecologica Sinica*, 33(21): 6895–6903 (in Chinese) [李为争, 杨雷, 申小卫, 袁莹华, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹. 2013b. 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应. 生态学报, 33(21): 6895–6903]
- LI X, LI JY, CAO YZ, YIN J, LAN JQ, LI KB. 2018. Identification and bioassay of aggregation pheromone components of northern China scarab beetle *Holotrichia obliqua*. *Journal of Plant Protection*, 45(2): 257–265 (in Chinese) [李雪, 李建一, 曹雅忠, 尹姣, 兰建强, 李克斌. 2018. 华北黑鳃金龟聚集信息素的分离鉴定及其引诱效果. 植物保护学报, 45(2): 257–265]
- LI XL, ZHANG LH, CAO X, ZHUANG QY, YU Y, ZHOU XH. 2018. Preferences of adult *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang for 13 kinds of organic fertilizers. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(3): 474–480 (in Chinese) [李晓莉, 张利焕, 曹雪, 庄乾营, 于毅, 周仙红. 2018. 韭菜迟眼蕈蚊成虫对十三种有机肥的趋性研究. 应用昆虫学报, 55(3): 474–480]

- LI YY, CHEN L, WEI HY. 2018. Host preference and EAG response of 4 scarab beetles to head space volatiles of host and non-host plants. *Journal of Environmental Entomology*, 40(6): 1328–1334 (in Chinese) [李娅娅, 陈立, 魏洪毅. 2018. 4种金龟甲的寄主偏好性及对不同植物挥发物的EAG反应. *环境昆虫学报*, 40(6): 1328–1334]
- LU CK, WANG XQ, ZHANG JS, ZHAO TD. 2009. Electroantennographic and behavioral responses of *Proagopertha lucidula* (Faidermann) (Coleoptera: Scarabaeidae) to plant volatiles. *Acta Entomologica Sinica*, 52(12): 1379–1384 (in Chinese) [路常宽, 王晓勤, 张巨山, 赵铁栋. 2009. 苹毛丽金龟对植物挥发物成分的触角电位及行为反应. *昆虫学报*, 52(12): 1379–1384]
- MA YH, LI X, CAO YZ, YIN J, ZHANG S, LI KB. 2018. Behavioral responses of *Holotrichia oblita* larvae to root exudates from three host plants. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 29(11): 3838–3846 (in Chinese) [马艳华, 李雪, 曹雅忠, 尹姣, 张帅, 李克斌. 2018. 华北大黑鳃金龟幼虫对3种寄主植物根系分泌物的趋性反应. *应用生态学报*, 29(11): 3838–3846]
- RUTHER J, TOLASCH T. 2004. Attraction of garden chafer, *Phyllopertha horticola*, to floral Japanese beetle lure. *Journal of Applied Entomology*, 128(2): 158–160
- XU W, MA YX, ZHANG YK, DONG YN, SUN XL. 2018. Electroantennographic and behavioral responses of four spotted beetle *Popillia quadriguttata* to 12 plant volatiles. *Journal of Plant Protection*, 45(5): 1028–1034 (in Chinese) [徐伟, 马延旭, 张益恺, 董亚南, 孙晓玲. 2018. 中华弧丽金龟甲对十二种常见植物挥发物的触角电位和嗅觉反应. *植物保护学报*, 45(5): 1028–1034]
- YAO YS. 2004. Preliminary study on the positively taxis of *Anomala corpulenta* to castor bean and it's female sex pheromone. Master Thesis. Zhengzhou: Henan agricultural university (in Chinese) [姚永生. 2004. 铜绿丽金龟对蓖麻的趋向作用及其雌性性信息素的初步研究. 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学]
- YU YT. 2013. Attraction of scarab beetles to plant volatiles. Master Thesis. Nanchang: Jiangxi Agricultural University (in Chinese) [余玉婷. 2013. 植物挥发物对金龟甲的引诱作用研究. 硕士学位论文. 南昌: 江西农业大学]
- ZHANG YL, YUAN YH, YUAN GH, GUO XR, LUO MH. 2006. A study on the attraction of *Holotrichia oblita* (Fadermann) to castor leaves. *Journal of Henan Agricultural University*, 40(1): 53–57 (in Chinese) [张艳玲, 袁莹华, 原国辉, 郭线茹, 罗梅浩. 2006. 蓖麻叶对华北大黑鳃金龟引诱作用的研究. *河南农业大学学报*, 40(1): 53–57]
- ZHOU LM, JU Q, QU MJ, ZHAO ZQ, HUANG SL, HAN SJ, YU SL. 2009. EAG and behavioral responses of *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeidae) to its sex pheromone. *Acta Entomologica Sinica*, 52(2): 121–125
- ZHU D, QIN YC, ZHU PX, SHI YJ, ZHANG DW. 2012. Control effect study of different methods of trapping and killing to peanut beetle. *China Plant Protection*, 32(1): 38–41 (in Chinese) [朱栋, 秦玉川, 朱培祥, 时玉娟, 张佃文. 2012. 不同诱杀方法对花生金龟子的防治效果研究. *中国植保导刊*, 32(1): 38–41]

(责任编辑: 张俊芳)