ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 33 卷 第 21 期 Vol.33 No.21 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 21 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究..... 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等 (6747)
- 气候变化对传染病爆发流行的影响研究进展..... 李国栋,张俊华,焦耿军,等 (6762)
- 好氧甲烷氧化菌生态学研究进展 负娟莉,王艳芬,张洪勋 (6774)
- 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响..... 张云海,何念鹏,张光明,等 (6786)
- 世界蜘蛛的分布格局及其多元相似性聚类分析..... 申效诚,张保石,张 锋,等 (6795)
- 风向因素对转基因抗虫棉花基因漂移效率的影响..... 朱家林,贺 娟,牛建群,等 (6803)

个体与基础生态

- 长江口及东海春季底栖硅藻、原生动物和小型底栖生物的生态特点 孟昭翠,徐奎栋 (6813)
- 长江口横沙东滩围垦潮滩内外大型底栖动物功能群研究..... 吕巍巍,马长安,余 骥,等 (6825)
- 沔阳沿岸土壤和优势植物重金属富集特征和潜在生态风险..... 杨 阳,周正朝,王欢欢,等 (6834)
- 盐分和底物对黄河三角洲区土壤有机碳分解与转化的影响..... 李 玲,仇少君,檀菲菲,等 (6844)
- 短期夜间低温胁迫对秋茄幼苗碳氮代谢及其相关酶活性的影响..... 郑春芳,刘伟成,陈少波,等 (6853)
- 32 个切花菊品种的耐低磷特性 刘 鹏,陈素梅,房伟民,等 (6863)
- 年龄和环境条件对泥蚶富集重金属镉和铜的影响..... 王召根,吴洪喜,陈肖肖,等 (6869)
- 角倍蚜虫瘿对盐肤木光合特性和总氮含量的影响..... 李 杨,杨子祥,陈晓鸣,等 (6876)
- 多噬伯克霍尔德氏菌 WS-FJ9 对草甘膦的降解特性 李冠喜,吴小芹,叶建仁 (6885)
- 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应..... 李为争,杨 雷,申小卫,等 (6895)

种群、群落和生态系统

- 白洋淀生态系统健康评价..... 徐 菲,赵彦伟,杨志峰,等 (6904)
- 珠海鹤洲水道沿岸红树林湿地大型底栖动物群落特征 王 卉,钟 山,方展强 (6913)
- 典型森林和草地生态系统呼吸各组分间的相互关系..... 朱先进,于贵瑞,王秋凤,等 (6925)
- 抚育间伐对油松人工林下大型真菌的影响..... 陈 晓,白淑兰,刘 勇,等 (6935)
- 百山祖自然保护区植物群落 beta 多样性 谭珊珊,叶珍林,袁留斌,等 (6944)
- 土霉素对堆肥过程中酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈智学,谷 洁,高 华,等 (6957)

景观、区域和全球生态

- 兴安落叶松针叶解剖结构变化及其光合能力对气候变化的适应性 季子敬,全先奎,王传宽 (6967)
- 盐城海滨湿地景观演变关键土壤生态因子与阈值研究..... 张华兵,刘红玉,李玉凤,等 (6975)

半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应 马赞花,张铜会,刘新平 (6984)

SWAT 模型融雪模块的改进 余文君,南卓铜,赵彦博,等 (6992)

科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应..... 常学礼,赵学勇,王 玮,等 (7002)

贝壳堤岛 3 种植被类型的土壤颗粒分形及水分生态特征..... 夏江宝,张淑勇,王荣荣,等 (7013)

三峡库区古夫河着生藻类叶绿素 a 的时空分布特征及其影响因素..... 吴述园,葛继稳,苗文杰,等 (7023)

资源与产业生态

煤炭开发对矿区植被扰动时空效应的图谱分析——以大同矿区为例..... 黄 翌,汪云甲,李效顺,等 (7035)

学术信息与动态

《中国当代生态学研究》新书推介 刘某承 (7044)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2013-11

封面图说: 百山祖保护区森林植物群落——百山祖国家级自然保护区位于浙西南闽浙交界处,由福建武夷山向东北伸展而成,主峰海拔 1856.7m,为浙江省第二高峰。其独特的地形和水文地理环境形成了中亚热带气候区中一个特殊的区域,保存着十分丰富的植物种质资源以及国家重点保护野生动植物种,尤其是 1987 年由国际物种保护委员会列为世界最濒危的 12 种植物之一的百山祖冷杉,是第四纪冰川的孑遗植物,素有“活化石”之称。随着海拔的升高,其植被为常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林、山地矮林和山地灌草丛。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201207080959

李为争, 杨雷, 申小卫, 袁莹华, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹. 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应. 生态学报, 2013, 33(21): 6895-6903.

Li W Z, Yang L, Shen X W, Yuan Y H, Yuan G H, Luo M H, Guo X R. Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6895-6903.

金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应

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:为了探明金龟甲偏爱选择有害非寄主植物蓖麻的原因,应用触角电位(EAG)仪和“Y”型嗅觉仪,分别测定了华北大黑鳃金龟、暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟雌、雄虫对 5 种蓖麻叶挥发物的触角电位和选择行为反应。EAG 测定结果表明,3 种金龟甲雄虫对各处理挥发物的 EAG 反应值均比参照挥发物顺-3-己烯-醇强。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,暗黑鳃金龟对苯甲醇的 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。选择行为反应测定结果表明,当顺-3-己烯-醇与其他挥发物配对测试时,华北大黑鳃金龟对邻苯二甲酸二丁酯和肉桂醛 2 种蓖麻叶挥发物表现出明显的选择偏好,暗黑鳃金龟对蓖麻叶挥发物苯甲醇表现出明显的选择偏好,铜绿丽金龟则更偏好选择蓖麻的绿叶气味物质顺-3-己烯-醇。总之,蓖麻叶的挥发性物质与引诱金龟甲偏爱选择密切相关,且偏爱的挥发物因金龟甲的种类而异。

关键词:金龟甲;蓖麻;植物挥发物;触角电位(EAG);“Y”型嗅觉仪

Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles

LI Weizheng, YANG Lei, SHEN Xiaowei, YUAN Yinghua, YUAN Guohui*, LUO Meihao, GUO Xianru

College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: *Holotrichia obliqua*, *H. parallela* and *Anomala corpulenta* are important pests in the dry land areas of North China, which feed roots or stems of plants in larvae stage and leaves of variety of plants in adult stage. Most interestingly, three species all prefer to feeding on leaves of *Ricinus communis*, a non-host plant, despite that the extract of *R. communis* leaf is toxic to their larvae and adults. In order to elucidate the mechanisms behind this phenomenon, in the present study, the electroantennographic and behavioural responses of the male and female adults of three scarab beetle species to five components of *R. communis* leaf volatiles were tested using the electroantennogram (EAG) and a Y-typed olfactometer, respectively. The EAG bioassay showed that the relative EAG values of three species male scarab beetles were higher to four components, i.e., dibutyl phthalate, cinnamaldehyde, 2-phenylethanol and benzyl alcohol, than that to control volatile (*Z*)-3-hexene-1-ol, especially the males of *H. obliqua* exhibited strong responses to dibutyl phthalate and 2-phenylethanol, with 200.34% and 168.43% relative EAG values, respectively. Corresponding females of *H. obliqua* responded strongly to cinnamaldehyde and dibutyl phthalate with the 146.01% and 135.12% relative EAG values, respectively. The relative EAG values of *H. parallela* to benzyl alcohol arrived 149.95% (male) and 167.86% (female). *A. corpulenta* exhibited responses to dibutyl phthalate with about 144% the relative EAG values. The response of *A. corpulenta* male to benzyl alcohol is strong with the 143.70% relative EAG values. The results of behavioural bioassay indicated the preference to volatiles derived from

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31071972);国家公益性行业(农业)专项资助项目(201203036)

收稿日期:2012-07-08; 修订日期:2012-11-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hnmndygh@126.com

R. communis is species-dependent, that is, *H. oblita* exhibited significant preferences to dibutyl phthalate and cinnamaldehyde, with the choice response percentages of 64% and 63% in females and 76% and 65% in males, significantly higher than that to (*Z*)-3-hexene-1-ol. Females and males of *H. parallela* showed significant preference to benzyl alcohol, with the 66% and 56% mean choice response percentages, respectively. *A. corpulenta* was most preferred to a green leaf volatile (*Z*)-3-hexene-1-ol, and the average choice response percentages of males and females to (*Z*)-3-hexene-1-ol were 88%, 87% and 89% in the controls of dibutyl phthalate, cinnamaldehyde and 2-phenylethanol, respectively. The results of comparison between *R. communis* volatiles and the female-produced sex pheromones of the tested scarab beetle species, found that *R. communis* leaves emitted abundant dibutyl phthalate, while the major components of *H. oblita* female-produced sex pheromone were glycine methyl ester and proline methyl ester, and the major component of *H. parallela* female-produced sex pheromone was methyl *L*-isoleucinate. Therefore, “sex pheromone misleading” may possibly answer for the preferences of two *Holotrichia* species to *R. communis*. The green leaf volatile (*Z*)-3-hexene-1-ol may possibly be the main attractant of *A. corpulenta* to *R. communis*.

Key Words: scarab beetle; *Ricinus communis*; plant volatile; electroantennogram (EAG); “Y”-typed olfactometer

精确定位寄主植物对植食性昆虫的种群繁衍具有重要的生物学意义^[1]。通常将寄主植物分为取食寄主和产卵寄主两大类,植食性昆虫的成虫主要从取食寄主中获得生长发育所需的营养物质,而在产卵寄主上繁殖其后代^[2]。一般来说,植食性昆虫的取食寄主和产卵寄主的种类十分有限,两者的范围往往也不完全一致。因此,植食性昆虫适时寻找到合适的取食寄主和产卵寄主,是其生命历程中尤为重要的环节^[3]。在长期的进化过程中,植食性昆虫已经发展出了一系列特殊的行为和生理机制来识别和选择满足自身及其后代需要的植物,通过其灵敏的嗅觉、视觉、触觉和味觉系统感知寄主植物或非寄主植物的存在,从而做出趋向寄主植物或逃避非寄主植物的选择行为^[4]。然而,也有一些例外,有些植食性昆虫会取食不适合自己的非寄主植物,或者将卵产在不适合其后代生存的非寄主植物上^[5-6],这种“错误”选择非寄主植物的现象有何特殊的生物学意义?

华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita*、暗黑鳃金龟 *H. parallela* 和铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* 是北方旱作区重要的农林地下害虫,成虫在植物或杂草的根际土壤中产卵,幼虫(蛴螬)在土壤中取食植物的地下部分^[7]。我国农民在生产实践中发现,种植于田间的蓖麻 *Ricinus communis* 可大量诱杀多种金龟甲成虫^[8],而从严格意义上说,蓖麻并不是金龟甲的寄主植物。进一步研究表明,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^[9-11]。但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^[12]。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*^[13]、斜纹夜蛾 *Prodenia litura* 和菜蛾 *Plutella xylostella*^[14]、菜青虫 *Pieris rapae*^[15]、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*^[16] 和瓜绢螟 *Diaphania indica*^[17] 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^[18],且蓖麻碱主要存在于蓖麻植株上部的新鲜叶片中^[19]。金龟甲为什么会有这种趋向蓖麻叶片的“自杀行为”?金龟甲趋向这种有害非寄主植物的行为机制是什么?显然,探明这些问题不仅对于深入了解植食性昆虫与非寄主植物的关系,全面解析植食性昆虫与植物的关系等具有重要的理论意义,而且可以为发展金龟甲行为调控技术和创制成虫仿生行为调控产品,变地下害虫的地下防治幼虫为地上防治成虫等提供科学依据。

1 材料与方法

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3种金龟甲作为供试昆虫。每年6—8月金龟甲成虫发生高峰期,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11 cm×

w 10 cm $\times$ h 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。

1.2 供试挥发物

供试挥发物共 5 种。包括邻苯二甲酸二丁酯(莱阳市双双化工有限公司)、肉桂醛(武汉盛世精细化学品有限公司)、顺-3-己烯-醇(北京舒伯伟化工仪器有限责任公司)、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),均是作者在前期研究中从蓖麻叶二氯甲烷索氏提取物中鉴定出的主要成分^[20]。其中顺-3-己烯-醇也是其他植物中常见的绿叶气味,在昆虫与植物关系中具有重要作用^[21],且已证明对多种金龟甲具有引诱活性^[22-24]。因此,本研究将顺-3-己烯-醇作为触角电位和行为反应测定的参照挥发物,另外 4 种挥发物作为处理挥发物。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 溶液,密封保存于 4℃ 下备用。

1.3 触角电位测定

采用触角电位仪测定。触角电位仪(MY-15)由微电极交/直流放大器(Syntech AC/DC UN-06)、刺激气流控制器(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。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,然后调试仪器,待基线平稳后进行测定。

测定时取处理挥发物 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,连续洁净空气的流量为 80 mL/min,刺激气体流量为 30 mL/min,每次刺激时间为 0.2 s,两次刺激间隔 30 s 以上。随机抽取供试挥发物样品进行测试,均以 20 μ L 石蜡油为对照,以顺-3-己烯-醇为标准参照物。共测试 3 种金龟甲,每种金龟甲均按雌、雄虫分别进行测试,每种挥发物测试 10 根触角,同一挥发物在每根触角上重复测试 3 次。

1.4 行为反应测定

采用“Y”型嗅觉仪测定。嗅觉仪主臂和侧臂长均为 20 cm,内径 4 cm,两侧臂夹角 75°。主臂端与循环水真空抽气泵连接,抽气速度调节为 600 mL/min。用硅胶管将两侧臂分别与盛放样品的玻璃管、活性炭管串联起来。两个玻璃管分别放置滴有处理和对照挥发物的滤纸条,作为气味刺激源。根据金龟甲昼伏夜出的活动习性,全部测定安排在 20:00—23:00 进行。测定室空气洁净,温度为 (25 $\pm$ 2)℃,相对湿度为 70% $\pm$ 5%,用红光作为观察光源。

测定时取处理挥发物 20 μ L 滴加在上述长形滤纸条上,放入处理玻璃管内,对照玻璃管则放入滴加有 20 μ L 石蜡油和顺-3-己烯-醇的滤纸条,分别作为对照和参照。然后在距主臂端口 3 cm 处放入 1 头饥饿 24 h 的金龟甲,连续观察 10 min。若金龟甲进入任一侧臂内并停留 1 min 以上则记为已选择,若滞留在主臂内则记录为无选择。共测试 3 种金龟甲,每种金龟甲均按雌、雄虫分别进行测试,每种挥发物重复测试 100 头金龟甲。

1.5 数据分析

用 Syntech 公司提供的软件对不同处理的触角电位反应值进行标准化校正,然后按下列公式计算触角电位反应相对值:

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

按下列公式计算金龟甲对不同挥发物的选择反应频率:

$$\text{选择反应频率} = \frac{\text{选择处理气味源的虫量}}{\text{选择处理气味源的虫量} + \text{选择参照气味源的虫量}} \times 100\%$$

采用 Duncan's 多重比较法分析金龟甲对不同挥发物触角电位反应的差异显著性。用 χ^2 测验分析金龟甲对 Y 形管两支臂样品选择频率的差异,无效假设为两支臂装载的气味化合物活性相当时,金龟甲进入两支臂的概率相等。因自由度为 1,故计算 χ^2 值时需进行连续性矫正,公式如下:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^2 \frac{(|O_i - E_i| - 0.5)^2}{E_i}$$

式中, χ^2 是实测卡方值, O_i 表示支臂 i 实际被选择频率, E_i 表示支臂 i 理论选择频率, 比较 χ^2 值与自由度为 1 时的卡方临界值的大小, 确定是否达到显著性差异 ($\chi_{0.05}^2 = 3.84$; $\chi_{0.01}^2 = 6.63$)。

2 结果与分析

2.1 金龟甲对不同挥发物的触角电位反应

华北大黑鳃金龟对蓖麻不同挥发物的触角电位反应见图 1。从图 1 可以看出, 雌虫对不同挥发物的 EAG 反应相对值均低于雄虫, 其中雌虫对肉桂醛的 EAG 反应相对值最高, 达 146.01%, 其次为邻苯二甲酸二丁酯, 达 135.12%, 两者差异不显著, 但与其他处理的差异均达到显著水平。雄虫对邻苯二甲酸二丁酯的 EAG 反应相对值最高, 达 200.34%, 其次为 2-苯乙醇, 达 168.43%, 它们与苯甲醇和顺-3-己烯-醇处理的差异均达到显著水平。雌雄虫平均相对 EAG 反应值最高的是邻苯二甲酸二丁酯, 其次是肉桂醛, 而对两种芳香族醇类化合物苯甲醇和 2-苯乙醇的 EAG 反应则存在着性别差异, 雄虫的反应远强于雌虫。

暗黑鳃金龟对蓖麻不同挥发物的触角电位反应见图 2。从图 2 可以看出, 雌雄虫对同一挥发物的 EAG 反应相对值没有明显差别, 但同一性别对不同挥发物的反应值却明显不同, 苯甲醇能激发雌虫和雄虫最高的 EAG 反应相对值。其中, 雌虫对苯甲醇的 EAG 反应相对值达 167.86%, 与其他挥发物处理的差异均达到显著水平, 其次为肉桂醛 (136.95%); 雄虫对苯甲醇的 EAG 反应相对值为 149.95%, 与其他挥发物处理的差异均达到显著水平, 其次为肉桂醛 (125.31%) 和邻苯二甲酸二丁酯 (123.31%)。

铜绿丽金龟对蓖麻不同挥发物的触角电位反应见图 3。从图 3 可以看出, 除了苯甲醇处理外, 其他处理激发的雌虫和雄虫的触角电位反应值之间差别不大, 平均反应值最强的物质是邻苯二甲酸二丁酯, 雌雄虫 EAG 反应相对值分别为 144.45% 和 143.86%。此外, 雄虫对苯甲醇的反应值 (143.70%) 与邻苯二甲酸二丁酯相当, 且显著强于雌虫的反应值。其他处理间的反应值的差异则未达到显著性水平。

图 1 华北大黑鳃金龟对不同挥发物的触角电位反应

Fig.1 EAG responses of *Holotrichia obliua* to different volatiles

1: 邻苯二甲酸二丁酯; 2: 肉桂醛; 3: 2-苯乙醇; 4: 苯甲醇; 5: 顺-3-己烯-醇 (参照); 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

图 2 暗黑鳃金龟对不同挥发物的触角电位反应

Fig.2 EAG responses of *Holotrichia parallela* to different volatiles

图 3 铜绿丽金龟对不同挥发物的触角电位反应

Fig.3 EAG responses of *Anomala corpulenta* to different volatiles

综合比较供试挥发物可以看出, 触角电位活性最强的挥发物是蓖麻叶片中含量最高的邻苯二甲酸二丁酯, 尤其是雄虫的选择反应较强。综合比较供试金龟甲可以看出, 3 种金龟甲雄虫对各处理挥发物的 EAG 反应值均高于参照挥发物顺-3-己烯-醇, 雌虫的 EAG 反应值则因金龟甲或挥发物的不同而有所变化, 但绝大多数处理也高于参照挥发物顺-3-己烯-醇, 其中华北大黑鳃金龟雌雄虫对供试蓖麻挥发物的触角电位反应相对

较强,而暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟相对较弱。

2.2 金龟甲对不同挥发物的选择行为反应

华北大黑鳃金龟对蓖麻不同挥发物的选择行为反应见图 4。从图 4 可以看出,当参照和对照配对测试时,雌雄虫对参照的选择反应频率均极显著大于对石蜡油的选择($\chi^2_{\text{♀}} = 28.09, \chi^2_{\text{♂}} = 9.61$),雌雄虫的选择反应频率分别达 77% 和 66%,说明顺-3-己烯-醇对华北大黑鳃金龟两性均有显著的引诱作用。因此,其他 4 种化合物均以该物质为基准进行配对测试。结果表明,雌雄虫对邻苯二甲酸二丁酯的选择反应频率均极显著大于参照($\chi^2_{\text{♀}} = 7.29, \chi^2_{\text{♂}} = 26.01$),对肉桂醛的反应也表现出类似的趋势(尽管二者的显著性水平不同),对苯甲醇的反应均与参照差异不显著($\chi^2_{\text{♀}} = 0.81, \chi^2_{\text{♂}} = 0.01$)。对 2-苯乙醇的反应存在着较大的性别差异,雌虫对 2-苯乙醇的选择反应频率极显著低于对参照的选择($\chi^2_{\text{♀}} = 13.69$),而雄虫对 2-苯乙醇的选择反应频率却与参照没有显著性差异($\chi^2_{\text{♂}} = 0.01$)。总之,对雌虫和雄虫引诱活性较强的挥发物均为邻苯二甲酸二丁酯和肉桂醛,雌虫的选择反应频率分别达 64% 和 63%,雄虫的选择反应频率分别达 76% 和 65%。

图 4 华北大黑鳃金龟对不同挥发物的行为反应

Fig.4 Behavioral responses of *Holotrichia oblita* to different volatiles

条形图后的“*”和“**”分别表示两配对测试样品被选择频次的卡方测验结果在 1% 和 5% 水平上差异显著,“ns”表示卡方测验结果差异不显著

暗黑鳃金龟对蓖麻不同挥发物的选择行为反应见图 5。从图 5 可以看出,当参照和对照配对测试时,雌雄虫对参照的选择反应频率均极显著大于对石蜡油的选择($\chi^2_{\text{♀}} = 65.61, \chi^2_{\text{♂}} = 72.25$),雌雄虫的选择反应频率分别达 91% 和 93%,说明顺-3-己烯-醇对暗黑鳃金龟两性也有显著的引诱作用。当同一挥发物与参照配对测试时,雌雄虫间的选择反应频率差别不大。在供试挥发物中,苯甲醇对暗黑鳃金龟雌雄虫的引诱活性均为最强,与参照相比均达到极显著差异($\chi^2_{\text{♀}} = 0.81, \chi^2_{\text{♂}} = 0.01$),平均选择反应频率分别为 66% 和 56%。雌雄虫对邻苯二甲酸二丁酯和顺-3-己烯-醇的选择反应频率均没有显著性差异($\chi^2_{\text{♀}} = 0.09, \chi^2_{\text{♂}} = 0.01$)。肉桂醛和 2-苯乙醇处理的引诱活性则极显著低于顺-3-己烯-醇(对肉桂醛: $\chi^2_{\text{♀}} = 62.41, \chi^2_{\text{♂}} = 50.41$;对 2-苯乙醇: $\chi^2_{\text{♀}} = 62.41, \chi^2_{\text{♂}} = 53.29$),雌雄虫的平均选择反应频率只有 12% 左右,说明绿叶气味顺-3-己烯-醇对暗黑鳃金龟具有较强的引诱活性。

铜绿丽金龟对不同挥发物的选择行为反应见图 6。从图 6 可以看出,当参照和对照配对测试时,雌雄虫对参照的选择反应频率均极显著大于对石蜡油的选择($\chi^2_{\text{♀}} = 82.81, \chi^2_{\text{♂}} = 68.89$),雌雄虫的选择反应频率分别达 96% 和 92%,说明顺-3-己烯-醇对铜绿丽金龟两性也有显著的引诱作用。当不同挥发物与参照配对测试时,雌雄虫对邻苯二甲酸二丁酯、肉桂醛和 2-苯乙醇 3 种物质的反应趋势相似,选择反应频率均极显著低于参照(对邻苯二甲酸二丁酯: $\chi^2_{\text{♀}} = 56.25, \chi^2_{\text{♂}} = 30.25$;对肉桂醛: $\chi^2_{\text{♀}} = 68.89, \chi^2_{\text{♂}} = 39.69$;对 2-苯乙醇: $\chi^2_{\text{♀}} = 62.41, \chi^2_{\text{♂}} = 56.25$),雌雄虫对 3 种挥发物的平均选择反应频率分别为 17%、13% 和 11%,说明顺-3-己烯-醇对

铜绿丽金龟雌雄虫均有较强的引诱作用。此外,雌雄虫对苯甲醇的反应存在着明显的性别差异,雄虫对苯甲醇的选择反应频率极显著大于参照,而雌虫对参照的选择反应频率极显著大于对苯甲醇的选择($\chi^2_{\text{♀}} = 12.25$, $\chi^2_{\text{♂}} = 12.25$)。

图5 暗黑鳃金龟对不同挥发物的行为反应

Fig.5 Behavioral responses of *Holotrichia parallela* to different volatiles

图6 铜绿丽金龟对不同挥发物的行为反应

Fig.6 Behavioral responses of *Anomala corpulenta* to different volatiles

综合比较金龟甲对5种蓖麻叶挥发物的选择行为反应可以看出,不同金龟甲对不同挥发物的选择偏好不同。就供试化合物的作用范围而言,苯甲醇和邻苯二甲酸二丁酯的引诱活性较为广谱,肉桂醛仅对华北大黑鳃金龟表现出较强的引诱活性,2-苯乙醇的综合表现最差。就金龟甲对不同供试挥发物的选择偏好看,华北大黑鳃金龟对邻苯二甲酸二丁酯和肉桂醛表现出明显的选择偏好,暗黑鳃金龟对苯甲醇表现出明显的选择偏好,而铜绿丽金龟则更偏好选择绿叶气味物质顺-3-己烯-醇。

3 讨论

植食性昆虫表现出对有害非寄主植物的偏爱选择是一类少见的现象。已有的报道多见于鳞翅目蛾类,如豆荚野螟 *Maruca testulalis* 喜欢将卵产在非寄主植物菝葜 *Crotalaria juncea* 上,但幼虫取食菝葜后死亡率达75%以上,可在田间种植菝葜诱杀豆荚野螟^[25]。欧洲山芥 *Barbarea vulgaris* 叶片中含有三萜皂角苷^[26],是一种对菜蛾幼虫有拒食活性的化合物^[27],但菜蛾雌成虫却喜欢选择在这种非寄主植物上产卵^[6]。香根草 *Vetiveria zizanioides* 在自然界很少遭受昆虫侵害,因为香根草油具有较强的驱虫活性^[28],但斑禾草螟 *Chilo partellus* 成虫非常喜欢在这种植物上产卵,而幼虫取食叶片后则大量死亡^[29]。通常将这种偏爱选择有害非寄主植物的现象称为消极的偏爱与表演^[30],将这类诱集植物称为致死性诱集植物,可直接用于害虫的诱杀防治^[31]。我国在田间种植蓖麻诱杀金龟甲已有数十年的历史,最近研究表明,以蓖麻作为伴生植物可作为实施地下害虫绿色防控的重要措施,但如何在田间科学配置蓖麻,还有很多问题需要深入研究^[32]。

有关植食性昆虫偏爱选择有害非寄主植物的原因目前还不明确。一般认为,当非寄主植物与寄主植物上的化学信息或物理信息极其相似时,有些昆虫会被这些非寄主植物的“假象”所“蒙骗”,从而做出“错误”判

断,将卵产在自己或其后代不适合生存的非寄主植物之上^[33]。研究表明,蓖麻叶的挥发性物质与引诱金龟甲偏爱选择密切相关,且偏爱的挥发物因金龟甲的种类而异,华北大黑鳃金龟偏爱选择邻苯二甲酸二丁酯和肉桂醛,暗黑鳃金龟偏爱选择苯甲醇,铜绿丽金龟偏爱选择顺-3-己烯-醇,但究竟蓖麻中哪种或哪些挥发物起着关键的“蒙骗”作用还有待进一步探讨。由于蓖麻对金龟甲具有毒性,金龟甲趋向蓖麻不是为了取食^[9-11],初步推测金龟甲偏爱选择蓖麻可能与其求偶、交配等繁殖行为有关。综合分析已经鉴定出的齿爪鳃金龟属 *Holotrichia* 雌性信息素可以发现,华北大黑鳃金龟雌性信息素的主要成份为甘氨酸甲酯和脯氨酸甲酯^[34],暗黑鳃金龟为 *L*-异亮氨酸甲酯^[35],而蓖麻叶片挥发物中也含有包括邻苯二甲酸二丁酯在内的大量酯类物质^[36]。此外,本试验结果还表明,雄虫对蓖麻挥发物的选择反应频率明显高于雌虫,而雄虫是感受性信息素的虫态^[8],这是否意味着“性信息素误导”是造成两种鳃金龟偏爱选择蓖麻的主要原因?有待进一步研究予以证实。丽金龟属 *Anomala* 的雌性信息素多具有呋喃类的母核结构,如铜绿丽金龟雌性信息素的主要成份为5-十四烷基二氢 2(3*H*)-呋喃酮^[37],因供试蓖麻挥发物中缺少该类物质,所以对铜绿丽金龟的引诱活性以顺-3-己烯-醇最强,是不是因为蓖麻中这一绿叶气味含量多于寄主植物所致,也有待进一步研究予以明确。至于金龟甲为什么表现出偏爱选择蓖麻的“自杀行为”,这种冒险行为是否可以通过提高交配成功率得到补偿?也值得进行深入研究。

触角电位和嗅觉行为反应测定是评价化学物质对昆虫生物活性的常用方法。前者测定的是昆虫触角对化学信号刺激的电生理反应,后者测定的是昆虫对化学信号的嗅觉定向行为表现^[38]。本研究综合采用触角电位和行为测定两种技术,比较了3种金龟甲雌雄虫对来自蓖麻的不同挥发物的反应,发现华北大黑鳃金龟和暗黑鳃金龟的电生理反应和行为选择反应的测试结果基本一致,而铜绿丽金龟两方面的测试结果一致性程度最低,除了雄虫对苯甲醇的电生理反应和行为活性吻合外,其他测试均是电生理测试中挥发物活性强于参照,但行为测试却不如顺-3-己烯-醇的引诱力。这可能是因为触角电位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,这3个过程均有可能造成神经电生理信号的重新整合。因此,通常情况下用触角电位技术初步筛选活性物质,用嗅觉仪评价这些活性物质的生物学作用。

References:

- [1] Bruce T J A, Wadhams L J and Woodcock C M. Insect host location: a volatile situation. *Trends in Plant Science*, 2005, 10(10): 269-274.
- [2] Schoonhoven L M, van Loon J J A and Dicke M. *Insect-plant biology* (2nd Edition). New York: Oxford University Press, 2005: 135-168.
- [3] Finch S and Collier R H. Host-plant selection by insects — a theory based on “appropriate/inappropriate landings” by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2000, 96(2): 91-102.
- [4] Bernays E A and Chapman R F. *Host-plant selection by phytophagous insects*. New York: Chapman and Hall, 1994: 61-94.
- [5] Thompson J N. Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1988, 47(1): 3-14.
- [6] Lu J H, Liu S S and Shelton A M. Laboratory evaluations of a wild crucifer *Barbarea vulgaris* as a management tool for the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research*, 2004, 94(6): 509-516.
- [7] Wu J X, Li Z H, Yuan G H. *Agricultural Entomology* (2nd Edition). Beijing: China Agriculture Press, 2011: 52-57.
- [8] Meng X Z, Yan X H and Han Y. Chemical communication and semiochemicals in scarab beetles. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 1999, 11(5): 230-234.
- [9] Li W Z, Yuan Y H, An S H, Yuan G H, Luo M H and Guo X R. Bioassays on selection and feeding responses of *Holotrichia oblita* adults to different plant species. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 293-296.
- [10] Li W Z, Yuan Y H, Yuan G H, Luo M H and Guo X R. Bioassays on selection and feeding responses of *Anomala corpulenta* adults to different plant leaves. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(9): 1905-1908.
- [11] Li W Z, Yuan Y H, Yuan G H, Luo M H and Guo X R. Selection and feeding responses of *Holotrichia parallela* adults to the leaves of non-host plant *Ricinus communis* and several host plants. *Journal of Henan Agricultural University*, 2010, 44(4): 438-442, 447.

- [12] Shen X W, An J J, Yuan G H, Luo M H and Guo X R. Research on the contact effect of extracts of different plant parts of *Ricinus communis* (Euphorbiales: Euphorbiaceae) on grubs. Journal of Henan Agricultural University, 2008, 42(4): 427-429.
- [13] Zhao J X, Zhang S H, Sher G Z and Wu Y D L. Insecticidal effect of raw extracts of castor bean toxin. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2001, 22(4): 78-80.
- [14] Xu Q Y, Zhong G H, Hu M Y, Liu X Q and Zheng C. Study on insecticidal activity of extract of *Ricinus communis* L. to vegetable pests. Journal of Changjiang Vegetables, 2006, (11): 35-36.
- [15] He H G. Insecticidal and Anti-feeding effects of *Ricinus communis* L. extract on *Piers rapae*. Journal of Anhui Agricultural Science, 2010, 38(15): 7929-7930.
- [16] Ramos-López M A, Perez-G S, Rodríguez-Hernández C, Guevara-Fefer P, Zavala-Sánchez M A. Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). African Journal of Biotechnology, 9(9): 1359-1365.
- [17] Zhou F C, Gu A X, Zhou G S, Chen X H, Qi X H, Hong N N, Ren J and Shao J Z. Effect of castor leaf alcohol extract on *Diaphania indica*. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(5): 619-624.
- [18] Ju R, Xu H H, Zhou L J. Research and application of Euphorbiaceae plants in pesticides. Guangdong Agricultural Science, 2005, (6): 56-59.
- [19] Wen Y M, Feng Y F, Zheng M Z. Extraction and content of the ricinine for different parts of *Ricinus communis*. Agrochemicals, 2008, 47: 584-585, 606.
- [20] Yao Y S. Preliminary study on the positively taxis of *Anomala corpulenta* to castor bean and its female sex pheromone. Henan Agricultural University thesis, 2004.
- [21] Wei J N and Kang L. Roles of (Z)-3-hexenol in plant-insect interactions. Plant Signaling & Behavior, 2011, 6(3): 369-371.
- [22] Ruther J. Male-biased response of garden chafer, *Phyllopertha horticola* L., to leaf alcohol and attraction of both sexes to floral plant volatiles. Chemoecology, 2004, 14(3/4): 187-192.
- [23] Lu C K, Wang X Q, Zhang J S and Zhao T D. Electroantennographic and behavioral responses of *Proagopertha lucidula* (Faidermann) (Coleoptera: Scarabaeidae) to plant volatiles. Acta Entomologica Sinica, 2009, 52(12): 1379-1384.
- [24] Deng S S, Yin J, Cao Y Z, Luo Z X, Wang W and Li K B. Electroantennographic and behavioral responses of *Holotrichia oblita* (Faldermann) (Coleoptera: Scarabaeidae) to plant volatiles. Plant Protection, 2011, 37(5): 62-66.
- [25] Jackai L E N and Singh S R. Suitability of selected leguminous plants for development of *Maruca testulalis* larvae. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1983, 34(2): 174-178.
- [26] Shinoda T, Nagao T, Nakayama M, Serizawa H, Koshioka M, Okabe H and Kawai A. Identification of a triterpenoid saponin from a crucifer, *Barbarea vulgaris*, as a feeding deterrent to the diamond back moth, *Plutella xylostella*. Journal of Chemical Ecology, 2002, 28(3): 587-599.
- [27] Agerbirk N, Olsen C E, Bibby B M, Frandsen H O, Brown L D, Nielsen J K and Renwick J A A. A saponin correlated with variable resistance of *Barbarea vulgaris* to the diamondback moth *Plutella xyloaella*. Journal of Chemical Ecology, 2003, 29(6): 1417-1433.
- [28] Jain S C, Novicki S, Eisner T and Meinwald J. Insect repellents from vetiver oil: zizanal and epizizanal. Tetrahedron Letters, 1982, 23(45): 4639-4642.
- [29] Ndemah R, Gounou S and Schulthess F. The role of wild grasses in the management of Lepidopterous stem-borers on maize in the humid tropics of western Africa. Bulletin of Entomological Research, 2002, 92(6): 507-519.
- [30] Ellis A M. Incorporating density dependence into the oviposition preference-offspring performance hypothesis. Journal of Animal Ecology, 2008, 77(2): 247-256.
- [31] Shelton A M and Nault B A. Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Crop Protection, 2004, 23(6): 497-503.
- [32] Zhu D, Qin Y C, Zhu P X, Shi Y J and Zhang D W. Control effect of different trap and kill methods on peanut scarab beetles. China Plant Protection, 2012, 32(1): 38-41.
- [33] Shelton A M and Badenes-Perez F R. Concepts and applications of trap cropping in pest management. Annual Review of Entomology, 2006, 51: 285-308.
- [34] Hu Z Q, Kang J X, Zhao H Y and Shi W D. Bioassays of attracting substances to the *Holotrichia ablita*. Shanxi Agricultural Science, 2005, (4): 46-48.
- [35] Choi, M Y, Paik C H, Seo H Y, Lee G. H, Kim J D, Riotberg B D and Gries G. Attractiveness of sex pheromone of the large black chafer, *Holotrichia parallela* (Motschulsky) (Coleoptera: Scarabaeidae), in potato field. Korean Journal of Applied Entomology, 2006, 45(2): 169-172.
- [36] Sun F and Lu J H. Analysis of volatiles and wound-induced volatiles component of *Ricinus communis*. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(9): 140-141, 241.

- [37] Luo Z X. Investigation of scarab beetle and study on identification and application of sex pheromone of dominant species. Chinese Academy of Agricultural Sciences thesis, 2010.
- [38] Yan F M. Chemical Ecology (2nd Edition). Beijing: China Science Press, 2011: 237-399.

参考文献:

- [7] 仵均祥, 李照会, 原国辉. 农业昆虫学 (第二版). 北京: 中国农业出版社, 2011: 52-57.
- [8] 孟宪佐, 闫晓华, 韩艳. 金龟子化学通讯与信息化学物质. 生命科学, 1999, 11(5): 230-234.
- [10] 李为争, 袁莹华, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹. 铜绿丽金龟对不同植物叶片的选择和取食反应. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1905-1908.
- [11] 李为争, 袁莹华, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹. 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. 河南农业大学学报, 2010, 44(4): 438-442, 447.
- [12] 申小卫, 安靖靖, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹. 蓖麻植株不同部位粗提物对蛴螬的触杀作用研究. 河南农业大学学报, 2008, 42(4): 427-429.
- [13] 赵建兴, 张树怀, 余国珍, 乌云达来. 蓖麻毒素粗提物杀虫作用的研究. 内蒙古农业大学学报, 2001, 22(4): 78-80.
- [14] 徐齐云, 钟国华, 胡美英, 刘萱清, 郑成. 蓖麻提取物对蔬菜害虫的杀虫活性研究. 长江蔬菜, 2006, (11): 35-36.
- [15] 何恒果. 蓖麻提取液对菜青虫的生物活性研究. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 7929-7930.
- [17] 周福才, 顾爱祥, 周桂生, 陈学好, 齐晓花, 洪楠楠, 任佳, 邵久之. 蓖麻叶片粗提物对黄瓜瓜绢螟的作用. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 619-624.
- [18] 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. 广东农业科学, 2005, (6): 56-59.
- [19] 温燕梅, 冯亚非, 郑明珠. 蓖麻不同部位杀虫活性成分蓖麻碱的提取及含量. 农药, 2008, 47: 584-585, 606.
- [20] 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. 河南农业大学硕士学位论文, 2004.
- [23] 路常宽, 王晓勤, 张巨山, 赵铁栋. 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, 2009, 52(12): 1379-1384.
- [24] 邓思思, 尹姣, 曹雅忠, 罗宗秀, 王伟, 李克斌. 华北大黑鳃金龟对 20 种植物源挥发物的电生理和行为反应. 植物保护, 2011, 37(5): 62-66.
- [32] 朱栋, 秦玉川, 朱培祥, 时玉娟, 张佃文. 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, 2012, 32(1): 38-41.
- [34] 胡祖庆, 亢菊侠, 赵惠燕, 时卫东. 华北大黑鳃金龟引诱剂生物测定初探. 陕西农业科学, 2005, (4): 46-48.
- [36] 孙凡, 鲁继红. 蓖麻挥发物与创伤诱导挥发物组成成分分析. 林业科学, 2006, 42(9): 140-141, 241.
- [37] 罗宗秀. 金龟甲调查及其优势种性信息素鉴定与应用研究. 中国农业科学院硕士学位论文, 2010.
- [38] 阎凤鸣. 化学生态学 (第二版). 北京: 科学出版社, 2011: 237-399.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.21 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Gross ecosystem product: theory framework and case study OUYANG Zhiyun, ZHU Chunquan, YANG Guangbin, et al (6747)
- Advances in impacts of climate change on infectious diseases outbreak LI Guodong, ZHANG Junhua, JIAO Gengjun, et al (6762)
- Ecology of aerobic methane oxidizing bacteria (methanotrophs) YUN Juanli, WANG Yanfen, ZHANG Hongxun (6774)
- Nitrogen deposition and *Leymus chinensis* leaf chlorophyll content in Inner Mongolian grassland
..... ZHANG Yunhai, HE Nianpeng, ZHANG Guangming, et al (6786)
- Worldwide distribution and multivariate similarity clustering analysis of spiders
..... SHEN Xiaocheng, ZHANG Baoshi, ZHANG Feng, et al (6795)
- The influence of wind direction on pollen-mediated gene flow in transgenic insect-resistant cotton
..... ZHU Jialin, HE Juan, NIU Jianqun, et al (6803)

Autecology & Fundamentals

- Ecological characteristics of benthic diatoms, protozoa and meiobenthos in the sediments of the Changjiang Estuary and East China
Sea in spring MENG Zhaoxui, XU Kuidong (6813)
- Macrobenthic functional groups at the reclamation and natural tidal flats of Hengsha East Shoal, the Estuary of Changjiang River
..... LV Weiwei, MA Chang'an, YU Ji, et al (6825)
- Enrichment and ecological risk of heavy metal in soils and dominant plants in the riparian of the Fenghe River
..... YANG Yang, ZHOU Zhengchao, WANG Huanhuan, et al (6834)
- Effects of salinity and exogenous substrates on the decomposition and transformation of soil organic carbon in the Yellow River
Delta LI Ling, QIU Shaojun, TAN Feifei, et al (6844)
- Effects of short-term dark chilling on leaves carbon and nitrogen metabolism and involved activities of enzymes in mangrove *Kandelia
obovata* seedling ZHENG Chunfang, LIU Weicheng, CHEN Shaobo, et al (6853)
- Preliminary evaluation on tolerance to phosphorous deficiency of 32 cultivars of cut chrysanthemum
..... LIU Peng, CHEN Sumei, FANG Weimin, et al (6863)
- Effects of age and environmental conditions on accumulation of heavy-metals Cd and Cu in *Tegillarca granosa*
..... WANG Zhaogen, WU Hongxi, CHEN Xiaoxiao, et al (6869)
- Effects of Chinese gallnut on photosynthetic characteristics and total nitrogen content of *Rhus chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (6876)
- The characterization of glyphosate degradation by *Burkholderia multivorans* WS-FJ9 LI Guanxi, WU Xiaoqin, YE Jianren (6885)
- Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles
..... LI Weizheng, YANG Lei, SHEN Xiaowei, et al (6895)

Population, Community and Ecosystem

- Ecosystem health assessment in Baiyangdian Lake XU Fei, ZHAO Yanwei, YANG Zhifeng, et al (6904)
- Characteristics of macrobenthic communities in mangrove wetlands along the waterways of North Hezhou, Zhuhai, South China
..... WANG Hui, ZHONG Shan, FANG Zhanqiang (6913)
- The interaction between components of ecosystem respiration in typical forest and grassland ecosystems
..... ZHU Xianjin, YU Guirui, WANG Qiufeng, et al (6925)
- Effects of thinning on macro fungi and their relationship with litter decomposition in *Pinus tabulaeformis* plantations
..... CHEN Xiao, BAI Shulan, LIU Yong, et al (6935)

- Beta diversity of plant communities in Baishanzu Nature Reserve TAN Shanshan, YE Zhenlin, YUAN Liubin, et al (6944)
- Effect of Oxytetracycline (OTC) on the activities of enzyme and microbial community metabolic profiles in composting
..... CHEN Zhixue, GU Jie, GAO Hua, et al (6957)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Variations in leaf anatomy of *Larix gmelinii* reflect adaptation of its photosynthetic capacity to climate changes
..... JI Zijong, QUAN Xiankui, WANG Chuankuan (6967)
- The studying of key ecological factors and threshold of landscape evolution in Yancheng Coastal wetland
..... ZHANG Huabing, LIU Hongyu, LI Yufeng, et al (6975)
- Eco-physiological response of *Phragmites communis* to water table changes in the Horqin Sand Land
..... MA Yunhua, ZHANG Tonghui, LIU Xinping (6984)
- Improvement of snowmelt implementation in the SWAT hydrologic model ... YU Wenjun, NAN Zhuotong, ZHAO Yanbo, et al (6992)
- Responses of lake fluctuation to climate change in Horqin Sandy Land
..... CHANG Xueli, ZHAO Xueyong, WANG Wei, et al (7002)
- Water ecology and fractal characteristics of soil particle size distribution of three typical vegetations in Shell Island
..... XIA Jiangbao, ZHANG Shuyong, WANG Rongrong, et al (7013)
- Spatio-temporal distribution of epilithic algal chlorophyll a in relation to the physico-chemical factors of Gufu River in Three Gorges Reservoir WU Shuyuan, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (7023)

Resource and Industrial Ecology

- Graphic analysis of spatio-temporal effect for vegetation disturbance caused by coal mining: a case of Datong Coal Mine Area
..... HUANG Yi, WANG Yunjia, LI Xiaoshun, et al (7035)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 余新晓

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 21 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 21 (November, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元