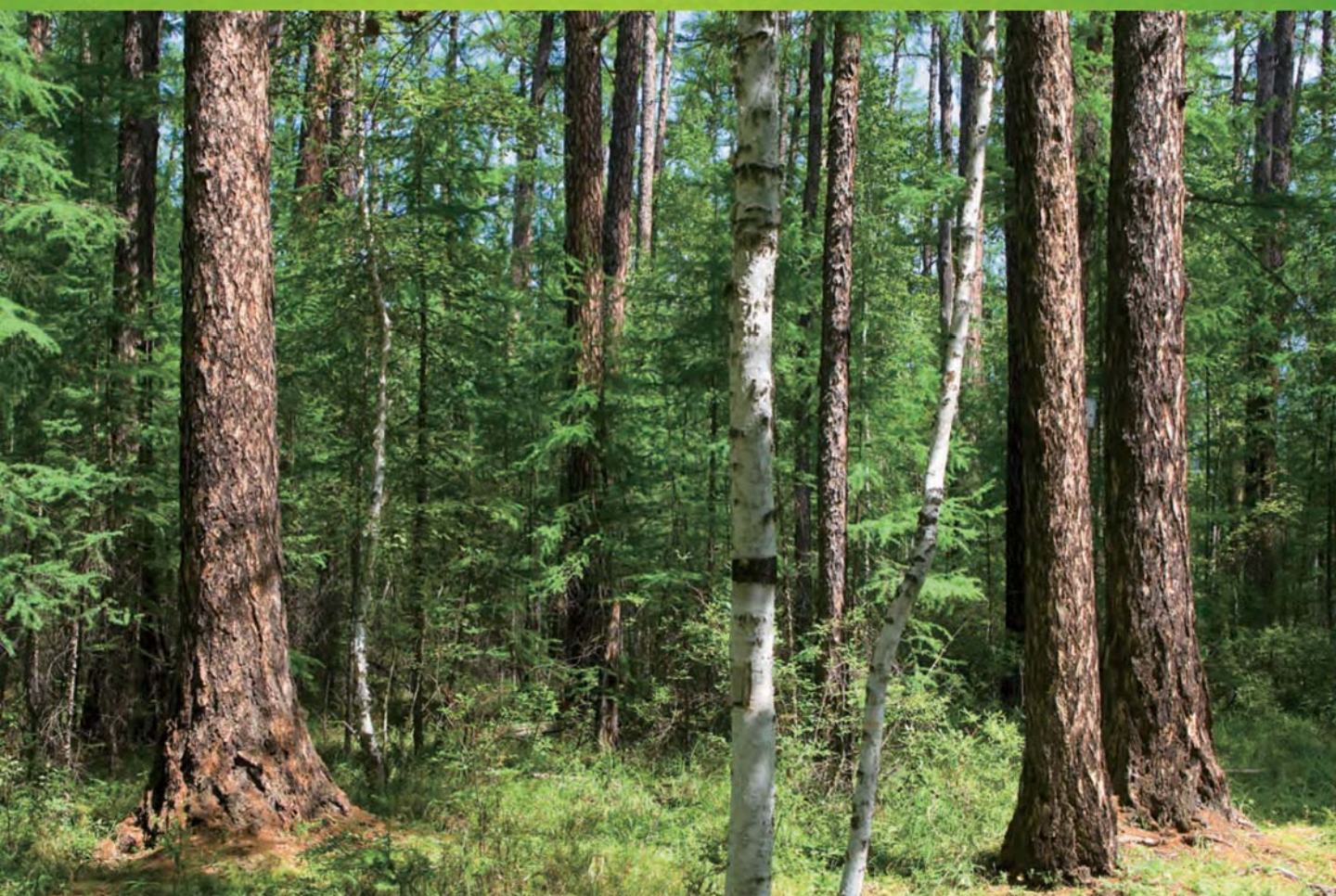


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **2013**

中国生态学会  
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 23 期 2013 年 12 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究..... 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例..... 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响..... 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响..... 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

### 个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响..... 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系..... 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化..... 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响..... 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量..... 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响..... 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 ..... 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用..... 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 ..... 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.....  
..... 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

### 种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.....  
..... 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征..... 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估..... 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

### 景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响..... 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响..... 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类..... 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH<sub>4</sub> 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应..... 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征..... 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化..... 周小平,王效科,张红星,等 (7525)

不同排放源周边大气环境中 NH<sub>3</sub> 浓度动态..... 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)

施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N<sub>2</sub>O 排放的影响 ..... 罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

资源与产业生态

基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测..... 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)

应用支持向量机评价太湖富营养化状态..... 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

研究简报

亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 ..... 徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)

青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 ..... 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)

NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 ..... 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)

基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法..... 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)

施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 ..... 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

学术信息与动态

未来地球——全球可持续性研究计划..... 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 292 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-12



封面图说: 兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO<sub>2</sub> 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

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/stxb201208201173

王琪,严善春,严俊鑫,徐波.健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.生态学报,2013,33(23):7437-7444.

Wang Q, Yan S C, Yan J X, Xu B. Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp.. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7437-7444.

## 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟 及其寄生蜂寄主选择行为的影响

王 琪<sup>1,2,3</sup>, 严善春<sup>1,\*</sup>, 严俊鑫<sup>1</sup>, 徐 波<sup>4</sup>

(1. 东北林业大学林学院林木遗传育种国家重点实验室, 哈尔滨 150040;

2. 黑龙江省森林保护研究所, 哈尔滨 150040; 3. 黑龙江省林科院博士后科研工作站, 哈尔滨 150040;

4. 国家林业局森林病虫害防治总站, 北京 110034)

**摘要:**为了研究红松球果害虫赤松梢斑螟 *Dioryctria sylvestrella* 及其寄生蜂的寄主趋向机理,用 Y 型嗅觉仪测定了赤松梢斑螟成虫及其寄生蜂长距茧蜂 *Macrocentrus* sp. 对红松健康和梢斑螟幼虫危害的球果、主梢及侧枝的昼夜行为反应;并用 GC-MS 分析了健康和虫害球果、主梢及侧枝昼夜所释放挥发物的组份及含量变化。结果表明,赤松梢斑螟雌蛾、交尾雌蛾和雄蛾在夜晚对健康球果及主梢有较强的趋性。雌雄长距茧蜂白天对虫害红松球果、主梢有较强的趋性。红松各部位挥发物成分及含量在健康与虫害、白天与夜晚之间存在显著差异,主要表现为单萜类物质相对含量显著变化,如  $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -水芹烯、 $\beta$ -蒎烯、3-蒎烯、罗勒烯、 $\beta$ -月桂烯、柠檬烯,以及产生特异性倍半萜类挥发物,如乙酸龙脑酯、石竹烯等。其中红松各部位单萜类挥发物含量变化是影响赤松梢斑螟及其寄生蜂的寄主选择行为的主要原因;而特异性倍半萜单体或组合,是否能够作为产卵刺激剂,协同单萜类挥发物调控二者的产卵行为,还需要试验的进一步证明。

**关键词:**红松;挥发物;赤松梢斑螟;长距茧蜂;行为反应;化学分析

## Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of

## *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp.

WANG Qi<sup>1,2,3</sup>, YAN Shanchun<sup>1,\*</sup>, YAN Junxin<sup>1</sup>, XU Bo<sup>4</sup>

1 Key Laboratory of Forestry Tree Genetic Improvement and Biotechnology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Forest Protection Institute in Heilongjiang Province, Harbin 150040, China

3 Heilongjiang Academy of Forestry Postdoctoral Scientific Research Stations, Harbin 150040, China

4 General Station of Forest Pest Management, State Forestry Administration, Beijing 110034, China

**Abstract:** *Dioryctria sylvestrella* (Lepidoptera: Noctuidae) is a serious pest of the Korean pine (*Pinus koraiensis*) which is the precious tree species in northeast China. It is a specialist feeder on the Korean pine and can't complete its life circle on tree species other than *Pinus koraiensis*. Common pest control measures such as spraying insecticides are normally not effective because their larvae feed inside the pine cones and shoots. Once outbreak, more than 85% trees could be damaged, which might result in significant reduction in seed production. Until now, there is no efficient and environment friendly pest control method to reduce the economic losses caused by this serious pest insect. *Macrocentrus* sp. is a key larval parasitoid of *D. sylvestrella* and might play an important role in regulating its host population dynamics as a natural control

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30972375);黑龙江省杰出青年基金资助项目(JC200802);黑龙江省重点科技攻关资助项目(GA09B203-5)

**收稿日期:**2012-08-20; **修订日期:**2013-04-01

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

agent.

Chemical signals play a major role in the orientation of insects to mates and suitable hosts. In this paper, we describe the diurnal behavioral responses of the adult moths and their parasitoid wasps to *P. koraiensis* cones, shoots and branches by using a Y tube olfactometer. Volatiles released during day and night from cones, shoots and branches of healthy and *D. sylvestrella* larvae-damaged pine trees were collected and analyzed by GC-MS. The aim of the present study was to determine the diurnal pattern of volatiles released from cones, shoots and branches, and its potential effect on host-finding behavior of *D. sylvestrella* and the its parasitoid *Macrocentrus* sp..

Y tube bioassay indicated that virgin, mated female moths and male moths responded strongly to volatiles released from the healthy pine cones and shoots during night. Mated females seemed also to respond to the larvae-damaged cones at night. Whereas the parasitic wasps (both sexes) were more responsive to volatiles released from *D. sylvestrella* larvae-damaged pine cones and shoots during the daytime. GC-MS analyses showed significant diurnal variations in volatile compositions and contents between healthy and damaged pine samples, and among the cones, shoots and branches, especially in the relative contents of major monoterpenes, including,  $\alpha$ -Pinene, Camphene,  $\beta$ -Phellandrene  $\beta$ -Pinene, 3-Carene, Ocimene, Myrcene and D-limonene. D-limonene was only volatilized from lateral branches of *P. koraiensis*, and the response ratio for males, virgin and mated females of *D. sylvestrella* to lateral branches were significant lower than cones and tips. Thus, we assumed that D-limonene should play a special function on *D. sylvestrella* host location of the adult moths. This function would be an important reason of *Dioryctria* evading the lateral branches of *P. koraiensis*. Some specific sesquiterpenes such as Bornylacetate and Caryophyllene were present mainly from the *D. sylvestrella* larvae-damaged pine samples, which might function as repellent volatiles for the moth or attractant volatiles (synomone) for the parasitoid wasps. The host selection behaviors of *D. sylvestrella* and their parasitic wasps seemed to be regulated or influenced by the variations of monoterpene contents in the pine cones, shoots or branches. The exact functionality of these specific sesquiterpenes (individuals or in combinations) is not known; however, further study is surely needed to determine if these sesquiterpenes with or without monoterpenes might play a role in oviposition behaviors of both *D. sylvestrella* and their parasitoid wasps.

**Key Words:** *Pinus koraiensis*; volatiles; *Dioryctria sylvestrella*; *Macrocentrus* sp.; behavioral response; chemical analysis

红松 (*Pinus koraiensis*) 是我国东北长白山和小兴安岭一带的珍贵树种,具有保持水土、改良气候的作用,其针叶、花粉、种子也具有极高的经济价值和保健作用。近几年,因各地区大力种植红松人工林,改变了林分组成,扩大了红松纯林分布面积,赤松梢斑螟 (*Dioryctria sylvestrella*) 的危害也日趋严重。赤松梢斑螟主要危害红松主梢和球果,常导致红松种子的质量和产量大幅下跌、树干分叉,材质和出材率明显下降。由于赤松梢斑螟幼虫生活隐蔽,且成虫羽化不整齐,目前尚无有效方式对其进行防治<sup>[1]</sup>。

以挥发物为基础的植食性昆虫与植物相互关系,是当前昆虫学较活跃的研究领域之一,并已经成为害虫危害习性中不可缺少的一部分<sup>[2]</sup>。虫害诱导的植物挥发物多具有明显的昼夜变化,或仅表现为白天释放的特点<sup>[3-4]</sup>。烟草受烟芽夜蛾 (*Heliothis virescens*) 危害后,白天和夜间挥发物的组成和含量显著不同<sup>[5]</sup>。

本研究测定了赤松梢斑螟及其寄生蜂长距茧蜂 (*Macrocentrus* sp.) 成虫对红松健康球果、主梢、侧枝及梢斑螟幼虫危害后的球果、主梢、侧枝的行为反应,并利用动态顶空取样法收集了红松健康及被害后各部位昼夜释放的挥发物,并用 GC-MS 分析了挥发物的成份及其相对含量。以期探明球果、主梢、侧枝挥发物的昼夜变化,以及挥发物对梢斑螟及其寄生蜂寄主选择的影响,从而进一步明确梢斑螟及其寄生蜂在寻找寄主过程中所利用的挥发性信息化合物的来源及其作用。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试昆虫及红松样品

2010 年 4 月末,在牡丹江林口林业局刁翎林场 40 年生红松人工林采集带有赤松梢斑螟、长距茧蜂的红

松枝条,于 $(27\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 室温条件下置于 60 目养虫网内水培,湿度控制在 $(60\pm 5)\%$ ,2010 年 6 月中旬待赤松梢斑螟成虫羽化后以 5%蜂蜜水补充营养,控制其交尾备用。长距茧蜂成虫羽化后不进行营养补充即交尾<sup>[6]</sup>,取交尾后雌雄蜂用于行为反应试验。6 月末,在红松人工林内随机选择红松样树,分别在 7:00,19:00,采集健康及被害红松球果、主梢、侧枝,用于挥发物成分鉴定及生物测定。

## 1.2 行为生物测定

### 1.2.1 “Y”型嗅觉仪生物测定

取羽化 3 d 的处女雌蛾、交尾雌蛾、未交尾雄蛾,及长距茧蜂交尾后的雌雄成虫,测试其对红松昼夜挥发物的行为反应,生物测定装置参照刘英胜等<sup>[7]</sup>改进,“Y”型管两侧臂等长 20 cm,夹角  $75^{\circ}$ ,内径 2.5 cm;适应臂长 20 cm,内径 3 cm;两侧臂磨砂口连接三角形陷阱,陷阱底部直径 8 cm。用硅胶管依次连接三角形陷阱、气体采样仪(QC-1 B 型,北京市劳动保护科学研究所)及活性炭空气过滤装置。整个试验温度为 28—30  $^{\circ}\text{C}$ 、光强 4—6 lx,气体采样仪的气体流量为 400 mL/min。

生测行为标准参照 Natale 等<sup>[8]</sup>和 Tooker 等<sup>[9]</sup>。在 7:00,19:00 开始进行梢斑螟行为测定,均持续 3 h。取成虫从引虫口单只引入。在 5 min 内成虫进入处理臂或对照臂超过 2.5 cm,并保持 1 min,则判定对臂内挥发物有趋向或驱避反应,否则为无反应。每一次测试完成后测试臂和对照臂互换。所有供试的成虫只使用 1 次,红松每个部位共测试 15 头成虫,每 5 头为 1 个重复,设 3 个重复。每个重复测试完成后,用无水乙醇清洗嗅觉测定仪内壁,然后用蒸馏水冲洗,自然晾干以消除残留气味,进行下一组试验。长距茧蜂行为测定方法同上。

### 1.2.2 数据分析

诱捕率 = (处理臂内总虫数/测试总虫数)  $\times 100\%$ <sup>[10]</sup>,以 Duncan's 多重比较,分别分析红松不同部位诱捕的同种同一性别成虫诱捕率的差异显著性,分析红松同一部位所诱捕的,不同性别成虫诱捕率的差异显著性。

## 1.3 挥发物的采集与分析

### 1.3.1 挥发物的采集

试验所需采样罐为容积 3.2 L 内壁硅烷化的 Silonite<sup>TM</sup>采样罐(美国 ENTECH 公司),以高纯氮清洗 3 遍,后抽成真空。用硅胶管依次连接苏玛罐,聚四氟乙烯塑料袋密封的植物材料,气体采样仪(QC-1 B 型,北京市劳动保护科学研究所)及活性炭空气过滤装置。将采下的健康及被害红松主梢、侧枝、球果,用聚四氟乙烯塑料袋套在取样部位(避开植物创口),先将袋内的空气吸出,后利用气体采样仪将过滤后的新鲜空气充入袋内,平衡 10 min,打开采样罐阀门,待挥发物气体充满采样罐后关闭阀门,标记后带回实验室待测,每一部位设 3 个重复。挥发物采集时间与 Y 型嗅觉仪行为测定时间保持一致。

### 1.3.2 挥发物的分析

将收集有红松挥发物的采样罐连接到 7100A 预浓缩仪上(美国 ENTECH 公司),浓缩后的样品进入 GC17A/5973N(MS)气质联用仪,色谱柱为 DB-5 石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ );载气为高纯氮气,柱前压 6 kPa,进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ,接口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ,分流比 10:1,进样量 0.2  $\mu\text{L}$ ;程序升温:初始温度 40  $^{\circ}\text{C}$ ,以 5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的升温速率升至 90  $^{\circ}\text{C}$ ,再以 8  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的升温速率升至 250  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 10 min。MS 条件:EI 电离,电子能量 70 eV,离子源温度 200  $^{\circ}\text{C}$ ,扫描范围  $m/z$  为 10—400 amu,扫描时间 0.14 s。

### 1.3.3 挥发物数据分析

将分离所得的红松挥发性物质总离子流图,采用 Xcalibur 软件,通过查询 NIST 98.L 谱库,结合色谱保留时间,进行成分鉴定。通过面积归一化法计算每种挥发物的相对百分含量。以 Duncan's 多重比较分析红松不同部位释放的同种挥发物挥发量的差异显著性。以配对  $t$  检验分析白天、夜晚之间同种挥发物挥发量的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 赤松梢斑螟及其寄生蜂对红松不同部位挥发物的趋向反应

白天赤松梢斑螟成虫行为反应较弱,红松各部位对其诱捕率均在 30% 以下。夜晚时,3 种赤松梢斑螟的

选择性较强,诱捕率均显著高于白天( $P < 0.05$ ) (图 1)。夜晚健康球果和健康主梢对处女雌蛾、交尾雌蛾的诱捕率最高,且两个部位对两种雌蛾的诱捕率无显著差异。受害球果对处女雌蛾、交尾雌蛾的诱捕率显著低于健康的球果和主梢,且对处女雌蛾的诱捕率显著低于交尾雌蛾。被害主梢、健康及被害侧枝对两种雌蛾的诱捕率均在 30% 以下 (图 1)。在所测试的 6 个部位中,健康主梢对雄蛾的诱捕率最高,其次为健康球果,其它部位对雄蛾的诱捕率均在 30% 以下。雌雄长距茧蜂在白天时的选择性均显著高于夜晚( $P < 0.05$ ) (图 1)。白天时,除健康主梢外,雌雄茧蜂对红松各部位的选择性无显著差异。其中,雌雄茧蜂对受害球果、主梢及侧枝的选择性均较高,最高为受害主梢,其次为受害球果;对健康部位的选择性显著低于受害部位。夜晚时,雌雄茧蜂对红松 6 个部位的选择性均在 30% 以下 (图 1)。

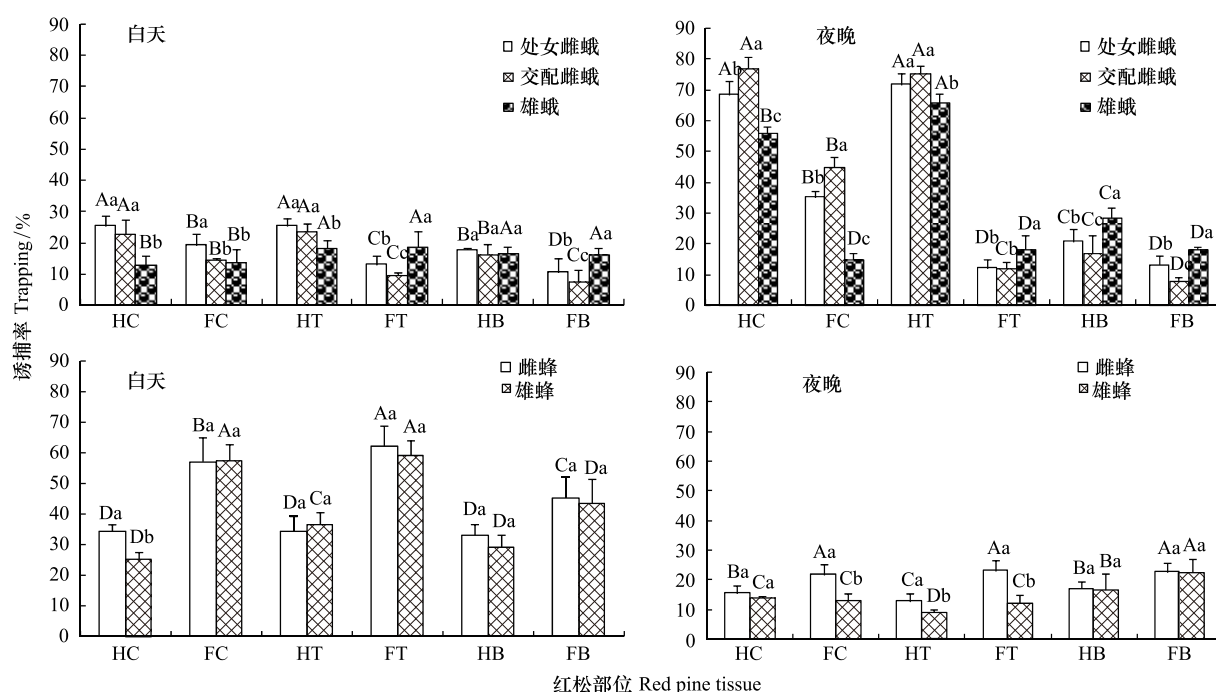


图 1 赤松梢斑蛾、长距茧蜂昼夜对红松各部位的选择行为

Fig. 1 Behavioral response of *D. sylvestrella* and *Macrocentrus* sp. to different part of *P. koraiensis* during day and night

HC:健康球果;FC:虫害球果;HT:健康主梢;FT:虫害主梢;HB:健康侧枝;FB:虫害侧枝;图中不同大写字母表示红松不同部位对同一性别成虫诱捕率的差异显著性  $P < 0.05$ ;不同小写字母表示相同部位对不同性别成虫诱捕率的差异显著性  $P < 0.05$

## 2.2 健康、被害红松各部位挥发物种类及挥发量的昼夜差异

健康、被害红松球果、主梢、侧枝共鉴定出 23 种挥发物,但由表 1 可见,白天和夜晚,各部位挥发物的种类及挥发量存在差异,尤其是萜烯类挥发物的变化较显著。夜晚,健康球果鉴定出 20 种挥发物组份, $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -水芹烯、 $\beta$ -蒎烯、3-蒎烯的挥发量显著高于白天,蒎烯、罗勒烯、 $\beta$ -月桂烯、1,3-环己二烯、环己烯挥发量显著低于白天;健康主枝夜间检测到挥发物种类最少,只检测到 12 种, $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、罗勒烯、1,4-环己二烯、1,3-环己二烯挥发量显著低于白天,蒎烯、 $\beta$ -水芹烯、环己烯挥发量显著高于白天,3-蒎烯无显著变化;健康侧枝夜间检测到 17 种挥发物, $\beta$ -月桂烯、罗勒烯挥发量显著高于白天, $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -水芹烯、 $\beta$ -蒎烯、3-蒎烯,以及侧枝特有挥发物柠檬烯,其挥发量均显著低于白天。

由表 1 可见,与健康红松相比,被害红松各部位释放的萜烯类挥发物,除挥发量发生显著变化外,还检测到特异性挥发物组分。白天时,受害后球果所释放的 1,3,5-环庚三烯、 $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、1,3-环己二烯、环己烯挥发量显著升高,罗勒烯、3-蒎烯挥发量显著下降。被害主梢 1,3,5-环庚三烯、罗勒烯、3-蒎烯挥发量下降, $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、1,3-环己二烯挥发量增加。此外,被害球果、主梢均检测到乙酸龙脑酯、 $\alpha$ -毕澄茄

烯、古巴烯、萘、石竹烯等健康球果、主枝所没有的倍半萜组分。被害侧枝  $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -水芹烯挥发量增加,罗勒烯、 $\beta$ -蒎烯、 $\beta$ -月桂烯、3-蒎烯挥发量下降,但并没有检测到特异性倍半萜。

表 1 健康及虫害红松各部位挥发物昼夜含量变化

Table 1 The day and night volatiles variation released from different parts of health and damaged Korean pine

| 主要组分<br>Main components              | 保留时间<br>Retention<br>time/min | 采样时间<br>Sampling<br>time | 相对百分比 Relative percentage/% |               |               |               |               |               |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                      |                               |                          | HC                          | FC            | HT            | FT            | HB            | FB            |
| 乙醇 Ethanol                           | 1.591                         | 白天                       | 1.93±0.02b                  | 0.24±0.03c    | 2.65±0.22a *  | 0.36±0.11c    | 0.48±0.09c    | 0.24±0.06c    |
|                                      |                               | 夜晚                       | 1.47±0.13a                  | 1.02±0.26b *  | 0.87±0.17c    | 1.58±0.43a *  | 0.36±0.03d    | 0.36±0.07d    |
| 戊烷 Pentane                           | 2.350                         | 白天                       | 0.22±0.08a                  | 0.23±0.03a    | 0.06±0.00b    | 0.09±0.01b    | —             | —             |
|                                      |                               | 夜晚                       | 0.20±0.01a                  | 0.23±0.07a    | 0.06±0.01b    | 0.06±0.00b    | —             | —             |
| 正己烷 Hexane                           | 2.729                         | 白天                       | 0.07±0.02c                  | 0.40±0.03b *  | 0.57±0.08b *  | —             | —             | 1.97±0.24a *  |
|                                      |                               | 夜晚                       | 0.05±0.01a                  | —             | —             | —             | —             | —             |
| 正庚烷 Heptane                          | 3.151                         | 白天                       | 0.72±0.09b                  | 0.60±0.06b    | 0.16±0.02d    | 1.36±0.23a *  | 0.46±0.13c *  | 0.10±0.04d    |
|                                      |                               | 夜晚                       | 0.88±0.08a                  | 0.79±0.24a    | 0.28±0.03b    | 0.19±0.04b    | 0.09±0.01c    | 0.08±0.00c    |
| 1,3,5-环庚三烯<br>1,3,5-Cycloheptatriene | 3.992                         | 白天                       | 2.70±0.17a                  | 0.43±0.06b *  | 0.30±0.09b    | —             | 0.09±0.06d    | 0.15±0.04c    |
|                                      |                               | 夜晚                       | 2.77±0.35a                  | 0.18±0.05c    | 0.78±0.09b *  | 0.78±0.13b *  | 0.09±0.00d    | 0.06±0.01d    |
| $\alpha$ -蒎烯<br>Alpha-pinene         | 6.621                         | 白天                       | 0.43±0.09d                  | 2.22±0.33b    | 1.33±0.13c *  | 1.86±0.23c *  | 2.85±0.11b *  | 4.33±0.91a *  |
|                                      |                               | 夜晚                       | 1.71±0.25b *                | 6.36±0.18a *  | —             | 0.16±0.01d    | 0.55±0.07c    | 1.07±0.11b    |
| 蒎烯 Camphene                          | 7.196                         | 白天                       | 3.98±0.29d *                | 9.48±0.66c    | 2.11±0.57d    | 7.04±0.54c    | 11.91±0.87b * | 21.65±2.2a *  |
|                                      |                               | 夜晚                       | 2.96±0.37d                  | 10.74±0.86b * | 5.27±0.94c *  | 10.19±0.81b * | 9.65±0.31b    | 14.08±1.40a   |
| 罗勒烯 Ocimene                          | 7.318                         | 白天                       | 63.24±4.45a *               | 23.33±0.58c * | 47.80±8b *    | 24.21±3.84c * | 43.04±2.45b   | 14.12±1.79d   |
|                                      |                               | 夜晚                       | 31.74±3.10b                 | 19.49±0.96d   | 24.65±0.86c   | 12.89±0.69e   | 46.06±6.64a * | 47.99±3.60a * |
| $\beta$ -水芹烯<br>beta-phellandrene    | 7.608                         | 白天                       | 0.65±0.08b                  | —             | 0.33±0.13b    | —             | —             | 7.85±0.80a *  |
|                                      |                               | 夜晚                       | 2.69±0.75a *                | 0.83±0.17b *  | 0.64±0.03b *  | 0.46±0.11b *  | —             | —             |
| $\beta$ -蒎烯 beta-pinene              | 7.715                         | 白天                       | 4.67±0.39c                  | 9.18±0.33b    | 10.00±1.00b * | 11.40±1.30b * | 19.72±1.06a * | 11.14±1.08b * |
|                                      |                               | 夜晚                       | 19.14±4.07a *               | 17.21±1.41a * | 2.71±0.12b    | 1.75±0.1bc    | 1.41±0.52c    | 0.80±0.00d    |
| $\beta$ -月桂烯<br>beta-myrcene         | 7.880                         | 白天                       | 2.08±0.27b *                | —             | 0.33±0.13c    | —             | 3.53±0.91a    | 0.06±0.03d    |
|                                      |                               | 夜晚                       | 1.22±0.01c                  | 3.12±0.13b *  | 0.30±0.00d    | 3.72±0.17ab * | 4.80±0.34a *  | 3.44±0.61b *  |
| 1,3-环己二烯<br>1,3-Cyclohexadiene       | 7.889                         | 白天                       | 1.32±0.37a *                | 1.54±0.14a    | 0.26±0.10b    | 1.26±0.14a    | 0.98±0.19a    | —             |
|                                      |                               | 夜晚                       | 0.21±0.05b                  | 0.46±0.01b    | —             | 0.34±0.07b    | 1.17±0.18a    | —             |
| 环丁烷<br>Cyclobutane                   | 8.168                         | 白天                       | 7.11±0.26a *                | —             | 7.21±0.70a *  | —             | 4.99±0.12b    | —             |
|                                      |                               | 夜晚                       | 4.17±0.99d                  | 12.97±0.70a   | 0.09±0.02e    | 4.08±0.13d    | 6.02±1.23c    | 9.69±0.21b    |
| 3-蒎烯 3-Carene                        | 8.255                         | 白天                       | 1.18±0.10c                  | 0.90±0.26d    | 2.86±0.58b    | 0.54±0.17d    | 8.40±0.60a *  | 0.36±0.06d    |
|                                      |                               | 夜晚                       | 9.38±0.77a *                | 0.78±0.17d    | 3.22±0.28c    | 0.61±0.08d    | —             | 5.87±0.62b *  |
| 反柠檬烯<br>D-Limonene                   | 9.144                         | 白天                       | —                           | —             | —             | —             | 0.49±0.11a *  | 0.24±0.06b *  |
|                                      |                               | 夜晚                       | —                           | —             | —             | —             | 0.25±0.00a    | 0.01±0.00b    |
| 1,甲基-4(1-甲基亚<br>乙基)-1,4-环己二烯         | 9.632                         | 白天                       | —                           | —             | 0.19±0.08b *  | 0.54±0.02a *  | 0.35±0.08ab   | —             |
|                                      |                               | 夜晚                       | 0.63±0.26a *                | 0.08±0.02c *  | —             | 0.19±0.03b    | 0.48±0.07a    | —             |
| 环己烯 Cyclohexene                      | 9.632                         | 白天                       | 1.20±0.09b *                | 10.89±0.97a * | —             | 1.46±0.12b *  | —             | —             |
|                                      |                               | 夜晚                       | 0.63±0.08b                  | —             | 0.77±0.07b *  | —             | 1.77±0.70a *  | 0.82±0.02b *  |
| 十一烷 Undecane                         | 9.928                         | 白天                       | 0.13±0.03c                  | 0.70±0.13a *  | 0.02±0.01d *  | 0.43±0.23b *  | 0.17±0.02c    | —             |
|                                      |                               | 夜晚                       | 0.08±0.02b                  | 0.11±0.02b    | —             | —             | 0.32±0.08a *  | 0.23±0.02a *  |
| 乙酸龙脑酯<br>Bornyl acetate              | 12.552                        | 白天                       | —                           | 0.37±0.10a *  | —             | 0.29±0.03a *  | —             | —             |
|                                      |                               | 夜晚                       | 9.70±0.37a *                | 0.11±0.03b    | —             | 0.12±0.02b    | 0.13±0.03b *  | 0.05±0.00c *  |
| $\alpha$ -蒎烯                         | 13.667                        | 白天                       | —                           | 0.07±0.01a *  | —             | 0.06±0.03a    | —             | —             |

续表

| 主要组分<br>Main components | 保留时间<br>Retention<br>time/min | 采样时间<br>sampling<br>time | 相对百分比 Relative percentage/% |               |               |               |               |               |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                         |                               |                          | HC                          | FC            | HT            | FT            | HB            | FB            |
| Alpha-cubebene          | 14.083                        | 夜晚                       | —                           | —             | —             | 0.04±0.01a    | —             | —             |
| 古巴烯 Copaene             |                               | 白天                       | —                           | 0.18±0.06a *  | —             | 0.10±0.08a    | 0.06±0.03b    | —             |
| 萘 Naphthalene           | 14.665                        | 夜晚                       | —                           | —             | —             | 0.19±0.03a    | 0.07±0.00b    | 0.13±0.01a *  |
|                         |                               | 白天                       | —                           | 0.05±0.04a *  | —             | 0.10±0.09a *  | —             | —             |
| 石竹烯 Caryophyllene       | 14.801                        | 夜晚                       | 0.85±0.23a *                | —             | —             | —             | —             | —             |
|                         |                               | 白天                       | —                           | 0.67±0.06a *  | —             | 0.29±0.04b *  | 0.19±0.06b    | —             |
|                         |                               | 夜晚                       | 1.72±0.25a *                | 0.08±0.01d    | —             | —             | 0.21±0.09c    | 0.78±0.11b *  |
|                         |                               | 白天                       | 91.63±3.77a                 | 61.48±0.76c * | 76.18±9.55b * | 51.39±4.69d * | 97.71±4.71a * | 62.21±4.58c * |
|                         |                               | 夜晚                       | 92.20±4.81a                 | 74.56±1.64c   | 39.65±1.92d   | 37.35±2.10d   | 73.43±7.91c   | 85.46±4.66a   |

HC:健康球果;FC:虫害球果;HT:健康主梢;FT:虫害主梢;HB:健康侧枝;FB:虫害侧枝;不同小写字母表示红松不同部位释放的同种挥发物挥发量的差异显著性;\*表示同种挥发物白天、夜晚之间挥发量的差异显著性

夜间,对单萜类挥发物而言,被害红松与健康红松的挥发量存在差异,但其多种单萜类挥发物释放量的变化趋势,与白天健康及被害红松之间单萜类对比的变化趋势相同,只有少数几种组分与之存在差异。如被害球果、主梢释放的β-蒎烯、β-月桂烯,被害侧枝所释放的罗勒烯、3-葑烯的变化趋势,与白天相比存在差异。与白天被害红松挥发物相比,夜间被害球果、主梢所检测到的特异性倍半萜组分较少,球果只检测到乙酸龙脑酯和石竹烯,主梢只检测到α-毕澄茄烯和古巴烯,且除古巴烯外释放量均小于白天。此外,被害侧枝白天并没有检测到特异性倍半萜,但夜间却检测到乙酸龙脑酯、古巴烯和石竹烯3种倍半萜组分。

3 讨论

梢斑螟幼虫取食红松,属专食性植食昆虫。结果可见,梢斑螟不但能够准确识别寄主,并且能够区分出寄主的不同部位。赤松梢斑螟处女雌蛾、交尾雌蛾和雄蛾,对寄主红松的选择性较高,并且明显趋向于健康红松球果和主梢。据研究报道,专食性植食昆虫是根据特定的化学指纹图谱对寄主植物进行准确定位<sup>[11]</sup>。本研究在测定健康及被害红松球果、主梢和侧枝的挥发物后发现,各部位挥发物的种类及挥发量存在差异,尤其是α-蒎烯、蒎烯、β-水芹烯、β-蒎烯、3-葑烯、罗勒烯、β-月桂烯、柠檬烯等单萜烯类挥发物的变化较显著。许多研究表明它们都是影响和调节松科害虫取食和产卵行为最为重要的信号物质<sup>[12-14]</sup>。因此推测,单萜类挥发物含量变化,能够明显影响赤松梢斑螟寄主选择行为。如柠檬烯是红松侧枝的特有成分,其挥发量较小。而行为反应测定也表明,雌雄赤松梢斑螟对侧枝的选择率均较低。在许多情况下正是这些少量的特异性挥发物,作为引诱或驱避剂调节植食性害虫的行为反应<sup>[15]</sup>。柠檬烯很有可能作为驱避剂,调节梢斑螟成虫的寄主选择行为。

寄主挥发物不但能够影响植食性昆虫的寄主选择,还会影响其寄生蜂的选择定位<sup>[16-19]</sup>。本研究中,长距茧蜂在白天对红松挥发物较敏感,健康、被害红松对雌蜂的诱捕率均在30%以上,尤其是受梢斑螟幼虫危害的红松,诱捕率达50%以上,说明红松挥发物对长距茧蜂的寄主选择行为有显著影响。研究发现,健康桑枝对桑天牛长尾啮小蜂(*Aprostocetus prolixus*)有显著的引诱作用,其释放的挥发物可以帮助长尾啮小蜂找到其寄主栖境,但桑天牛危害的挥发物对其寄主定向的指导作用更大<sup>[20-21]</sup>。松毛虫赤眼蜂(*Trichogramma dendrolim*)明显选择被马尾松毛虫(*Dendrolimus punctatus*)危害的马尾松(*Pinus massoniana*)针叶,且倾向于选择被害程度严重的松针<sup>[22]</sup>。在对挥发物成分的进一步分析中发现,在受害红松的球果、主梢挥发物中,多种单萜类物质挥发量发生显著变化,并增加了乙酸龙脑酯、石竹烯、α-毕澄茄烯和古巴烯等倍半萜成分。因此推测,长距茧蜂除了受到单萜类挥发物的影响之外,还会根据受害红松的特异性挥发物定位植食性昆虫的栖境,从而找到幼虫寄生。

植物挥发物的释放具有一定的昼夜节律<sup>[3-4,23]</sup>。昆虫嗅觉识别系统与其特定的生态位是相互吻合的<sup>[22]</sup>。

因此,植物昼、夜挥发物差异对植食性昆虫、寄生蜂的寄主选择具有显著影响。烟草受烟芽夜蛾(*Heliothis virescens*)危害后,白天和夜间挥发物的组成和含量显著不同,白天烟草挥发物吸引天敌前来寄生,夜间烟草挥发物调控同种成虫的寄主选择<sup>[5]</sup>,这与本研究的结果一致。赤松梢斑螟主要在夜晚活动,在此期间健康球果、主梢挥发物中也检测到了乙酸龙脑酯、石竹烯等倍半萜等成分。乙酸龙脑酯为美洲棉铃虫产卵定向物质之一<sup>[24]</sup>,且郭予元<sup>[25]</sup>认为,植物特异性的单萜类化合物主要吸引成虫取食,而倍半萜类则有吸引成虫产卵的作用。这些倍半萜类挥发物,是否与单萜类协同影响着梢斑螟的产卵选择和寄生蜂的寄主定位,还需行为选择试验的进一步验证。

## Reference:

- [ 1 ] Li H W, Zang R H, Kong J B. Control against main pest insects in the cone and seed of *Pinus koraiensis*. Forest Pest and Disease, 2003, 22(6): 20-22.
- [ 2 ] Bruce T J A, Wadhams L J, Woodcock C M. Insect host location: a volatile situation. Trends in Plant Science, 2005, 10(6): 269-274.
- [ 3 ] Arimura G, Huber D P W, Bohlmann J. Forest tent caterpillars (*Malacosoma disstria*) induce local and systemic diurnal emissions of terpenoid volatiles in hybrid poplar (*Populus trichocarpa* × *deltoids*): cDNA cloning, functional characterization, and patterns of gene expression of (-)-germacrene D. synthase. The Plant Journal, 2004, 37(4): 603-616.
- [ 4 ] Miller B, Madilao L L, Ralph S, Bohlmann J. Insect-induced conifer defense. White pine weevil and Methyl jasmonate induce traumatic resinosis, de novo formed volatile emissions, and accumulation of terpenoid synthase and putative octadecanoid pathway transcripts in sitka spruce. Plant Physiology, 2005, 137(1): 369-382.
- [ 5 ] Turlings T C J, Tumlinson J H, Eller F J, Lewis W J. Larval-damaged plants: source of volatile synomones that guide the parasitoid *Cotesia marginiventris* to the micro-habitat of its hosts. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1991, 58(1): 75-82.
- [ 6 ] Zhao J N, Chen S. *Macrocentrus* sp. (Hemiptera: Braconidae)-An important natural enemy of *Dioryctria rubella* and *D. pryeri*. Natural Enemies of Insects, 1990, 12(4): 164-166.
- [ 7 ] Liu Y S, Yan S C, Cheng H, Wang Q, Wen P, Wang Y J. Behavioural responses of *Dendrolimus superans* to Dahurin Larch and its nine volatiles. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(4): 72-77.
- [ 8 ] Natale D, Mattiacci L, Hern A, Pasqualini E, Dorn S. Bioassay approaches to observing behavioural responses of adult female *Cydia molesta* to host plant odour. Journal of Applied Entomology, 2004, 128(3): 182-187.
- [ 9 ] Tooker J F, Crumrin A L, Hanks L M. Plant volatiles are behavioral cues for adult females of the gall wasp *Antistrophus rufus*. Chemoecology, 2005, 15(2): 85-88.
- [ 10 ] Yan S C, Yang H, Gao L L, Wang Z B, Mao H B. Responses of *Coleophora obducta* to larch volatile compositions. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(5): 95-101.
- [ 11 ] Yan S C, Zhang D D, Chi D F. Advances of studies on the effects of plant volatiles on insect behavior. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(2): 310-313.
- [ 12 ] Zhao T, Li L S, Zhou N. The attraction of Yunnan pine to pine shoot beetle and tree volatile compositions. Journal of northeast forestry university, 2002, 30(4): 47-49.
- [ 13 ] Ning T, Fan J T, Fang Y L, Sun J H. Changes in contents of host volatile terpenes under different damaged states and electroantennogram response of *Monochamus alternatus* hope to these volatiles. Acta Entomologica Sinica, 2006, 49(2): 179-188.
- [ 14 ] Zhao C H, Yan Y H. Oviposition behaviour of the pine caterpillar moth, *Dendrolimus punctatus* influenced by needle volatiles of *Pinus massoniana*. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39(6): 91-93.
- [ 15 ] Kong C H, Lou Y G. Frontiers of Chemical Ecology. Beijing: Higher Education Press, 2010: 57-101.
- [ 16 ] Orre G U S, Wratten S D, Jonsson M, Hale R J. Effects of an herbivore-induced plant volatile on arthropods from three trophic levels in brassicas. Biological Control, 2010, 53(1): 62-67.
- [ 17 ] Jones V P, Steffan S A, Wiman N G, Horton D R, Miliczky E, Zhang Q H, Baker C C. Evaluation of herbivore-induced plant volatiles for monitoring green lacewings in Washington apple orchards. Biological Control, 2011, 56(1): 98-105.
- [ 18 ] Li X G, Liu H X, Huang J. Molecular mechanisms of insect pests-induced plant defense. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(4): 893-900.
- [ 19 ] Sobhy I S, Erb M, Sarhan A A, El-Husseini M M, Mandour N S, Turlings T C J. Less is more: treatment with BTH and Laminarin reduces herbivore-induced volatile emissions in maize but increases parasitoid attraction. Journal of Chemical Ecology, 2012, 38(4): 348-60

- [20] Li J Q, Yang Y, Wang S X, Feng H C, Huang D Z, Jin Y J. Host selection and location behavior of *Aprostocetus prolixus* LaSalle et Huang (Hymenoptera: Eulophidae), an egg parasitoid of *Apriona germari* (Hope) (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50 (11): 1122-1128.
- [21] Yang Y, Zhang F J, Li J Q, Wang Y, Jin Y J, Zhang H. Attraction of volatiles from mulberry branches and *Apriona germari* faeces to *Aprostocetus fukutai*. *Science of Sericulture*, 2007, 33(3): 360-366.
- [22] Huang L L, Liu X P, Han R D, Wang G H, Sun J H, Ge F. The effect of damaged and non-damaged pine needle on the tropism selection of parasitoid *Trichogramma dendrolimi*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2006, 43(2): 215-219.
- [23] Arimura G, Kopke S, Kunert M, Volpe V, David A, Brand P, Dabrowska P, Maffei M E, Boland W. Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on Lima Bean Leaves: IV. Diurnal and nocturnal damage differentially initiate plant volatile emission. *Plant Physiology*, 2008, 146(3): 965-973.
- [24] Baur R, Feeny P, Stdler E. Oviposition stimulants for the black swallowtail butterfly: identification of electrophysiologically active compounds in carrot volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 1993, 19(5): 919-937.
- [25] Guo Y Y. *Researches on Cotton Bollworm*. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 82-128.

#### 参考文献:

- [1] 李宏伟, 张瑞华, 董金宝. 红松球果主要害虫的防治. *中国森林病虫*, 2003, 22(6): 20-22.
- [6] 赵锦年, 陈胜. 两种松梢斑螟的重要天敌——长距茧蜂. *昆虫天敌*, 1990, 12(4): 164-166.
- [7] 刘英胜, 严善春, 程红, 王琪, 文攀, 王艳军. 落叶松毛虫对兴安落叶松 9 种挥发性物质的行为反应. *林业科学*, 2009, 45(4): 72-77.
- [10] 严善春, 杨慧, 高璐璐, 王志波, 毛洪波. 兴安落叶松鞘蛾对寄主挥发物的反应. *林业科学*, 2009, 45(5): 95-101.
- [11] 严善春, 张丹丹, 迟德富. 植物挥发性物质对昆虫作用的研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 310-313.
- [12] 赵涛, 李丽莎, 周楠. 云南松对松小蠹的引诱能力及其挥发物组成. *东北林业大学学报*, 2002, 30(4): 47-49.
- [13] 宁眺, 樊建庭, 方宇凌, 孙江华. 不同危害状态下寄主萜烯挥发物含量的变化及松墨天牛对其组分的触角电位反应. *昆虫学报*, 2006, 49 (2): 179-188.
- [14] 赵成华, 阎云花. 马尾松针叶中的挥发物质对马尾松毛虫产卵行为的影响. *林业科学*, 2003, 39(6): 91-93.
- [15] 孔垂华, 娄永根. *生态化学前沿*. 北京: 高等教育出版社, 2010: 57-101.
- [18] 李新岗, 刘惠霞, 黄建. 虫害诱导植物防御的分子机理研究进展. *应用生态学报*, 2008, 19(4): 893-900.
- [20] 李继泉, 杨元, 王树香, 冯会藏, 黄大庄, 金幼菊. 桑天牛卵长尾啮小蜂的寄主选择定位行为. *昆虫学报*, 2007, 50(11): 1122-1128.
- [21] 杨元, 张凤娟, 李继泉, 王宇, 金幼菊, 张浩. 桑枝和桑天牛虫粪挥发物对桑天牛长尾啮小蜂的引诱作用. *蚕业科学*, 2007, 33(3): 360-366.
- [22] 黄丽莉, 刘兴平, 韩瑞东, 王国红, 孙江华, 戈峰. 松毛虫赤眼蜂对被害与未被害马尾松的趋性选择. *昆虫知识*, 2006, 43(2): 215-219.
- [25] 郭予元. *棉铃虫的研究*. 北京: 中国农业出版社, 1998: 82-128.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements ..... WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay ..... DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush ..... TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants ..... SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

### Autecology & Fundamentals

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China ..... XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ..... ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands ..... HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ..... ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China ..... LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation ..... GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zebrafish *Danio rerio* ..... XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* ..... HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene ..... MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. .... WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

### Population, Community and Ecosystem

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system ..... DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills ..... YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area ..... LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

### Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region ..... LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China ..... HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data ..... XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH<sub>4</sub> uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest ..... GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem ..... JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ..... ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources ..... LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N<sub>2</sub>O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method ..... SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ..... ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China ..... XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables ..... BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants ..... WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ..... ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton ..... MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

# 《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 王德利

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 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 2013)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel: (010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>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<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                  |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                 |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                          |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail: journal@cspg.net                         | Distributed by  | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel: (010)64034563<br>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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China                                                                                         |
| 广告经营<br>许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                     |                 |                                                                                                                                                                                   |



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元