

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

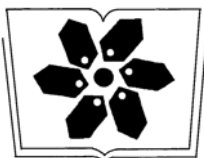
## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

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 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

### 能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 ..... 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 ..... 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

### 个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 ..... 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于  $\delta^{15}\text{N}$  稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 ..... 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 ..... 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 ..... 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 ..... 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

### 种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 ..... 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)

基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 ..... 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 ..... 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)

黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)

三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)

三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)

江西省自然保护区发展布局空缺分析 ..... 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 ..... 黄和平,彭小琳 ,孔凡斌,等 (3107)

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 328 \* zh \* P \* ￥90.00 \* 1510 \* 35 \* 2014-06



**封面图说：**三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

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/stxb201309172294

林健, 刘文波, 孟昭军, 严善春. 缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响. 生态学报, 2014, 34(11): 2978-2985.

Lin J, Liu W B, Meng Z J, Yan S C. Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2978-2985.

## 缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及 落叶松主要防御蛋白的影响

林 健<sup>1</sup>, 刘文波<sup>2</sup>, 孟昭军<sup>1</sup>, 严善春<sup>1,\*</sup>

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 2. 东北林业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040)

**摘要:**单萜类植物挥发物能够影响昆虫行为,为了延长其作用时间并初步测定特定单一的单萜类挥发物是否为生物间的信号物质,选取落叶松挥发物  $\alpha$ -蒎烯、月桂烯和莰烯,进行缓释处理后施用于兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 苗木并进行生测。将 3 种挥发物倒入缓释瓶中,挂于 2 年生落叶松苗木中下部;以用 3 种挥发物直接喷施落叶松苗为对照。通过室内 Y 形管嗅觉仪和室外苗木罩笼产卵试验,测定不同处理的落叶松苗对落叶松毛虫 (*Dendrolimus superans*) 雌成虫产卵寄主选择行为的影响。测定落叶松针叶内与抗虫相关的几种主要防御蛋白的活力。Y 管嗅觉仪测定结果显示,用  $\alpha$ -蒎烯和月桂烯喷施及缓释处理的落叶松对雌成虫有显著引诱作用;缓释处理的效果可持续 5d;施用莰烯有显著驱避作用,缓释处理的效果可持续 4d。室外笼罩试验结果表明,在分别施用  $\alpha$ -蒎烯或月桂烯的树苗上,落叶松毛虫雌成虫产卵量显著高于对照,缓释处理的效果可持续 3d;施用莰烯的树苗上,落叶松毛虫雌成虫产卵量显著低于对照,缓释处理的效果可持续 3d。表明挥发物装于缓释瓶内与挥发物具有相同的作用效果,并可以有效延长挥发物的作用时间。各处理落叶松针叶内 POD、CAT、PAL、PPO、CI 和 TI 的活性均无显著变化,说明这 3 种单萜类挥发物不是兴安落叶松的预警信号物质,单一施用不能系统诱导增强落叶松的抗虫性,只起到落叶松毛虫行为干扰剂的作用。

**关键词:**兴安落叶松;单萜类挥发物;缓释效果;落叶松毛虫;行为反应;防御蛋白

## Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles

LIN Jian<sup>1</sup>, LIU Wenbo<sup>2</sup>, MENG Zhaojun<sup>1</sup>, YAN Shanchun<sup>1,\*</sup>

1 College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Material Science and Engineering College, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

**Abstract:** Plant terpene volatiles of influence insect behaviors with many monoterpenes being highly volatile. In order to control release of such active volatile compounds, and to maintain a certain active duration, three major *Larix gmelinii* needle related volatiles  $\alpha$ -pinene, myrcene and camphene were poured into the slow-release bottles. The slow-release bottles of each volatile compound were suspended onto the lower part of 2-year old *L. gmelinii* seedlings in comparison with those sprayed with the corresponding solutions made straight from the volatile compounds. The attraction and oviposition behaviors of *Dendrolimus superans* female adults and on these volatile treated larch seedlings were studied in an indoor Y-tube olfactometer and an outdoor caging bioassay, respectively, at each day for six days, and the activities of several major defense protein in larch needle were measured. Our results from lab Y-tube bioassay showed that  $\alpha$ -pinene and myrcene from the solutions were significantly attractive to *D. superans* female adults at day one. Seedlings suspended with the slow-release bottles of  $\alpha$ -pinene and myrcene also showed significant attraction to *D. superans* female adults for five days. Camphene from

**基金项目:**国家林业公益性行业科研专项课题(201104069); 黑龙江省重点科技攻关项目(GA09B203-5)

**收稿日期:**2013-09-07; **网络出版日期:**2014-03-07

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

the synthetic solution showed significant repellency at day one, and seedlings suspended with the slow-release bottles also showed significant repellency effect for four days. The outdoor caging bioassays showed that slow-release bottles of  $\alpha$ -pinene and myrcene significantly increased female oviposition (number of eggs) whilst the slow-release bottles of camphene significantly reduced the number of eggs laid on treated seedlings. These effects from these slow-release bottles lasted for three days. Our data suggest that slow-release bottles with these highly volatile compounds may provide a feasible control release formulation to extend their effective life-span (duration). The activities of POD, CAT, PAL, PPO, CI and TI were not significantly different. This shows that a single  $\alpha$ -pinene, myrcene or limonene does not make activities of several major defense protein in larch needle change, and does not enhance induced resistance of larch.

**Key Words:** *Larix gmelinii*; terpene volatiles; slow-release effect; *Dendrolimus superans*; behavioral response; defense protein

寄主植物挥发物在昆虫与寄主关系当中起着重要的作用,能干扰害虫对寄主的定位行为从而控制其危害。将从植物中提取和分离的挥发性生物活性物质用于害虫控制,已成为害虫综合治理的一个世界性的趋势<sup>[1]</sup>。但是这些活性物质挥发性较强,在生长季节必要时间段内,要实现对害虫危害情况的监测和诱杀,需要能够长时间释放有效成分的装置,以保证在昆虫活跃期内活性物质的缓慢释放,并且保持释放速率相对不变<sup>[2-4]</sup>。

植物的挥发性有机物(VOCs)组成丰富,根据挥发性有机物的合成途径、代谢类型和所具有的功能可分为3大类:萜类、苯基/苯丙烷类和脂肪酸衍生物。这些挥发性有机物并非均是信号物质,但只要具有传递信息并被感知的功能,就可成为信号化合物。研究发现,植物信号化合物主要是萜烯类和C<sub>6</sub>绿叶挥发物<sup>[5-6]</sup>。虫害植物通过改变挥发物的组分和相对比例,作为信息来进行交流。很多研究是就单一的VOCs对植物防御系统的影响,也有研究表明,在植物间相互作用中是VOCs的混合组分起作用。所以,目前对于植物自身信息传递或是植物间的相互作用的研究就集中在这个问题上:到底是单独的一种VOCs起作用,还是VOCs混合物起作用<sup>[7]</sup>?

落叶松毛虫(*Dendrolimus superans*)是兴安落叶松(*Larix gmelinii*)重要的食叶害虫。落叶松在遭受落叶松毛虫取食危害后,其气味挥发物的组成及其相对比例改变很大, $\alpha$ -蒎烯、月桂烯和桉烯的释放量增加4—8倍<sup>[8]</sup>,干扰松毛虫的产卵选择行为,降低其在落叶松上的产卵量<sup>[9]</sup>。落叶松毛虫危害后,落叶松针叶内几种主要防御蛋白的活力会显著增加<sup>[10-11]</sup>。Baranchikov研究发现在遭受落叶松毛虫

危害较重的落叶松植株针叶内 $\alpha$ -蒎烯的含量比那些抗虫较强的植株少8倍左右,因此认为单萜缺乏是导致松毛虫大面积繁殖的原因。那么,单萜类释放量增加使落叶松减少被害的实质是什么?外源施用单萜类挥发物对落叶松能否起到保护作用?本研究在筛选出对落叶松毛虫雌成虫产卵寄主选择有活性的挥发物的基础上,将活性挥发物 $\alpha$ -蒎烯、月桂烯和桉烯施用于健康落叶松苗木上,旨在探究确定:1)缓释处理是否会影响活性挥发物对落叶松松毛虫的嗅觉趋向和产卵寄主选择行为的作用?2)缓释处理能否延长活性物质的作用时间?3)外源施用这3中挥发物能否诱导增强落叶松针叶内抗虫相关主要防御蛋白<sup>[12-13]</sup>的活力?能否系统诱导增强落叶松的抗虫性,是否为兴安落叶松的预警信号物质?

## 1 材料与方法

### 1.1 供试植物及昆虫

4月末,将2年生的兴安落叶松苗盆栽,严格管理幼苗,避免人为机械损伤和病虫害危害,选择健康、长势相似的苗木用于嗅觉、产卵试验及针叶内防御蛋白活力的测定。

落叶松毛虫蛹采自黑龙江省佳木斯市桦南县兴安落叶松林内,带回室内,待其羽化后雌雄分开备用。

### 1.2 供试挥发物及缓释处理

本研究选取落叶松挥发物 $\alpha$ -蒎烯、月桂烯和桉烯(哈尔滨市圣林化工有限公司,均为工业级,纯度 $\geq 90\%$ ),各配制成不同浓度,分别装入缓释瓶(北京中捷生物公司)中,挂于落叶松苗中下部,进行落叶松毛虫行为反应及产卵选择预实验,最终每种挥发物选用一种合适浓度装瓶悬挂于苗木。以在苗木上

直接喷施挥发物的处理为对照,分析其缓释效果。

1.3 兴安落叶松苗处理

将兴安落叶松随机分为 9 个处理(表 1),每处理 90 株。对缓释组、喷施组及空白对照组做嗅觉反应和产卵选择的预实验,并对比分析这 3 组对照的正式试验结果,此 3 组数据结果均无差异,因此结果分析中的对照均选用空白对照的数据。经对比分析这 3 组对照的落叶松针叶内几种主要防御蛋白活力的正式试验结果,此 3 组数据结果同样均无差异,结果分析中的对照选用空白对照的数据。

表 1 对兴安落叶松苗的处理  
Table 1 Different treatments on *Larix gmelinii*

| 缓释组<br>Slow-release group | 喷施组<br>Volatiles group | 空白对照组<br>CK |
|---------------------------|------------------------|-------------|
| α-蒎烯挂瓶 8μL/mL             | α-蒎烯喷施 1μL/mL          | 对落叶松苗未做任何处理 |
| 月桂烯挂瓶 10μL/mL             | 月桂烯喷施 1μL/mL           |             |
| 桉烯挂瓶 20μL/mL              | 桉烯喷施 2μL/mL            |             |
| 对照 1 挂瓶等量溶剂               | 对照 2 喷施等量溶剂            |             |
|                           |                        |             |

1.4 落叶松毛虫雌成虫对各处理苗木的嗅觉反应

在处理后的第 1、2、3、4、5 天和第 6 天,进行 Y 管嗅觉反应试验。Y 管嗅觉仪内径为 5cm,夹角为 75°。Y 形管两侧臂依次连接大气采样仪、气味源和装有活性炭的空气过滤管。以罩着有机玻璃罩的松苗作为处理或对照气味源。当雌蛾爬至超过某臂的 3cm 处,并持续 1 min 以上或到达该臂出口处者,记该蛾对该臂的气味源作出选择;雌蛾引入后 5min,仍不作出选择,则结束对该蛾的行为观察,并记为不反应。每个处理 3 个重复,每个重复至少测 2 组,5 头雌成虫为一组。每组测定前更换 Y 形管的两侧臂,以免残留的气味对结果产生影响。每个重复测定前都要更换各处理树苗及 Y 形管。换下的 Y 形管先用乙醇擦洗,再用水冲洗,晾干待用。

1.5 落叶松毛虫雌成虫对各处理苗木的产卵选择

在处理后的第 1、3 天和第 5 天,将松苗间隔 50cm 摆放到一个笼罩里,每个处理 3 盆。每个笼内放入羽化小于 24h 的 30 对未交尾的落叶松毛虫成虫。每个笼罩为 1 个重复,每个处理 3 次重复,即 3 个笼罩。隔 1d 调查 1 次,取出成虫,调查各处理树苗及网上的产卵量。每次调查后,更换各处理树苗,放入

新羽化未交尾的成虫。

1.6 落叶松针叶内几种主要防御蛋白活力的测定

1.6.1 试验材料

分别于处理后第 1、第 3 天和第 5 天采集兴安落叶松幼苗健康针叶,每处理采集 30 株,每 6 株为一个重复,重复 5 次。将新鲜针叶放置于夹链袋内,低温密封保存,带回实验室,冰箱冷冻保存待用。

1.6.2 POD、CAT 活性测定

POD 活性测定参照鲁艺芳<sup>[14]</sup>的愈创木酚法,以 1 min 内 OD470 变化 0.01 的酶量为 1 个酶活力单位(U/g 鲜重)。CAT 活性测定参照鲁艺芳<sup>[14]</sup>的过氧化氢氧化法,以 1 min 内 OD240 减少 0.1 的酶量为 1 个酶活力单位(U/g 鲜重)。

1.6.3 PAL、PPO 活性测定

PAL 活性测定采用苯丙氨酸比色法<sup>[15]</sup>,以 1 min 内 OD290 变化 0.01 为 1 个酶活力单位(U/g 鲜重)。PPO 活性测定采用咖啡酸比色法<sup>[16]</sup>,以 1 min 内 OD470 变化 0.01 为 1 个酶活力单位(U/g 鲜重)。

1.6.4 TI、CI 活性测定

TI、CI 活力测定参照徐伟<sup>[17]</sup>的方法,以 1min 内蛋白酶抑制剂活力降低 0.001 为 1 个酶活力单位(U/g 鲜重)。

1.7 数据统计及分析

测得数据应用 Excel 表格处理、绘图,SPSS17.0 统计分析软件进行方差分析、差异显著性检验采用 LSD 方法。

2 结果与分析

2.1 落叶松挥发物缓释处理对落叶松毛虫嗅觉反应的影响

1μL/mL α-蒎烯和月桂烯及挂瓶处理的落叶松对松毛虫都有显著的诱引作用,2μL/mL 桉烯及挂瓶处理对松毛虫有显著的驱避作用。

处理 1d 后,α-蒎烯和月桂烯对落叶松毛虫都有显著的诱引作用( $P<0.01$ ),桉烯对松毛虫有显著的驱避作用( $P<0.01$ ),喷施挥发物和缓释处理之间无显著差异(图 1)。

处理第 2、3、4 天,α-蒎烯和月桂烯缓释处理对松毛虫都有显著的诱引作用( $P<0.01$ ),桉烯缓释处理对松毛虫有显著的驱避作用( $P<0.01$ )。喷施 3 种挥发物的落叶松与对照相比,无显著差异( $P>0.05$ )

(图 1)。

处理第 5 天,  $\alpha$ -蒎烯缓释处理对松毛虫有显著的诱引作用( $P<0.05$ ), 月桂烯缓释处理对松毛虫有极显著的诱引作用( $P<0.01$ ), 茨烯缓释处理及喷施

3 种挥发物的落叶松与对照相比, 均无显著差异( $P>0.05$ ) (图 1)。

处理第 6 天, 喷施 3 种挥发物和缓释处理的落叶松与对照相比, 无显著差异( $P>0.05$ ) (图 1)。

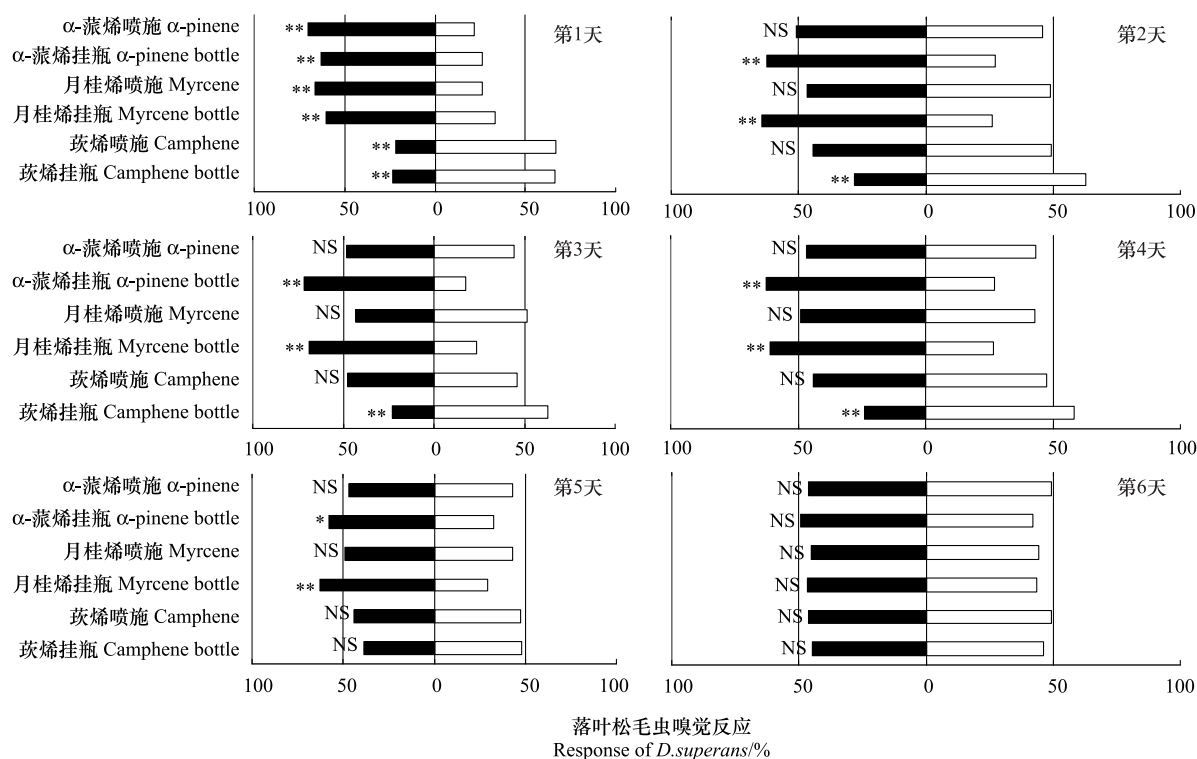


图 1 缓释及喷施处理后第 1—6 天落叶松毛虫的嗅觉反应

Fig.1 Response results of female moths to *L. gmelinii* seedlings after sprayed with volatiles or hung with slow-release bottles from first day to sixth day

黑色柱表示各处理, 白色柱表示对照; NS:  $P>0.05$ , \*:  $P<0.05$ , \*\*:  $P<0.01$

## 2.2 落叶松挥发物缓释处理对落叶松毛虫产卵选择的影响

由图 2 可见, 落叶松毛虫在喷施  $\alpha$ -蒎烯和月桂烯及相应的缓释处理 1d 后的落叶松上的产卵量明

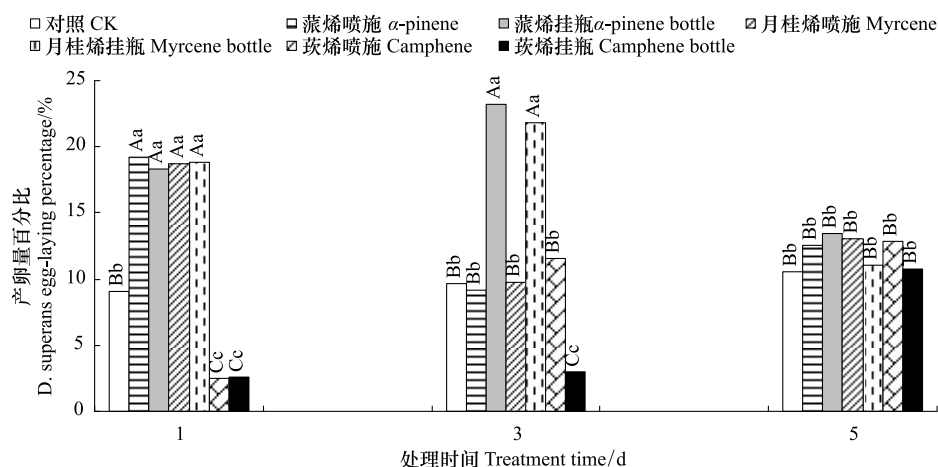


图 2 缓释及喷施处理对落叶松毛虫产卵选择的影响

Fig.2 Influences on oviposition when sprayed with volatiles and slow-release bottles

图中不同大写字母表示在 0.01 水平下差异显著, 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著; 若相同则表示差异不显著

显高于对照 ( $P < 0.01$ ), 在喷施萜烯的落叶松上的产卵量明显低于对照 ( $P < 0.01$ )。3d 后,  $\alpha$ -萜烯和月桂烯缓释处理落叶松上的产卵量明显高于对照 ( $P < 0.01$ ), 喷施萜烯的落叶松上产卵量明显低于对照 ( $P < 0.01$ ), 喷施 3 种挥发物处理上的产卵量均与对照相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。5d 后, 所有处理落叶

松上的产卵量与对照相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

## 2.3 各处理落叶松针叶内主要防御蛋白活力变化

### 2.3.1 各处理落叶松针叶内保护性酶活性变化

由图 3 可见, 各处理落叶松针叶内 POD 和 CAT 活性在处理第 1、3 天和第 5 天差异不显著。

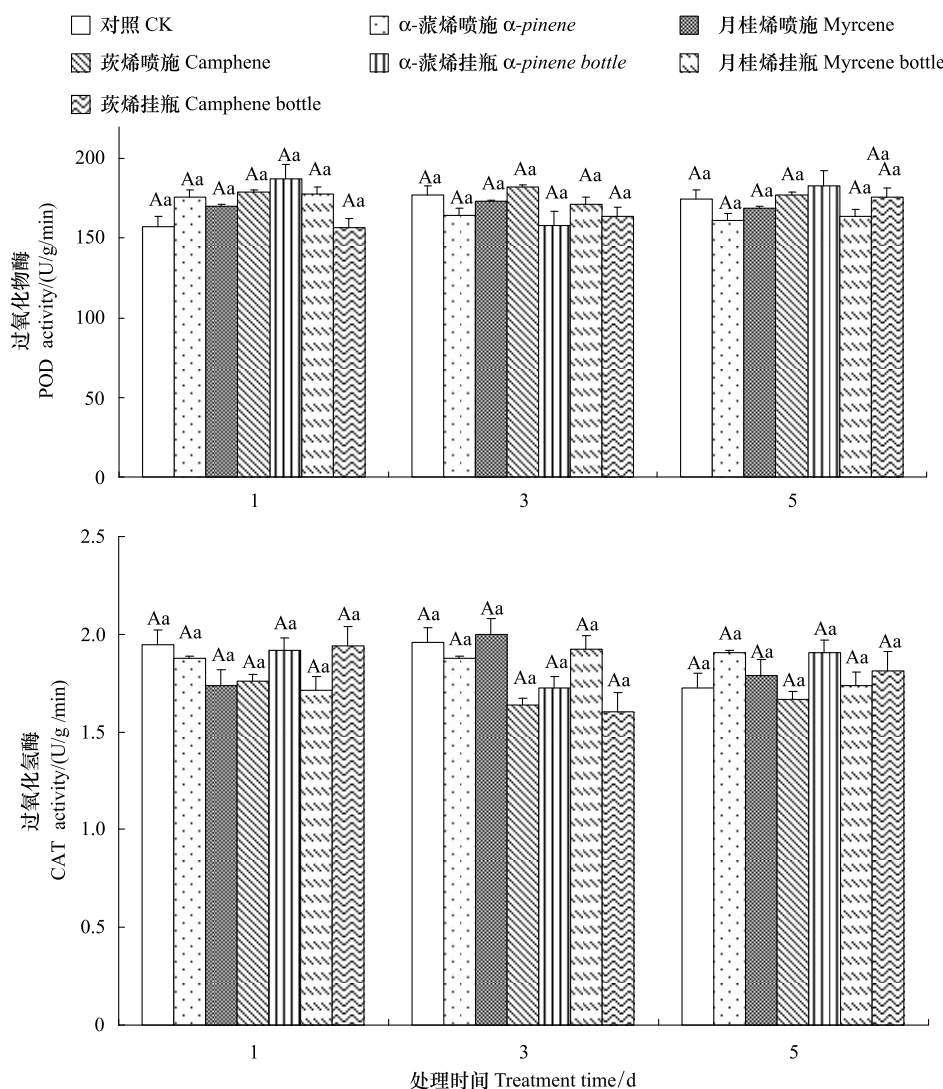


图 3 各处理兴安落叶松针叶内保护酶活性变化

Fig.3 Variation of the activities of protective enzymes in larch needles under different treatments

### 2.3.2 各处理兴安落叶松针叶内防御性酶活性变化

由图 4 可见, 各处理落叶松针叶内 PPO 和 PAL 活性在处理第 1、3 天和第 5 天差异不显著。

### 2.3.3 各处理兴安落叶松针叶内蛋白酶抑制剂活性变化

由图 5 可见, 各处理落叶松针叶内 TI 和 CI 活性在处理第 1、3 天和第 5 天差异不显著。

## 3 结论与讨论

本研究结果表明, 寄主植物上悬挂 3 种挥发物的缓释瓶, 可以达到直接喷施挥发物的效果, 即悬挂  $\alpha$ -萜烯和月桂烯缓释瓶对雌虫有引诱作用, 悬挂萜烯缓释瓶对雌虫的有显著的驱避作用。松毛虫在喷施  $\alpha$ -萜烯和月桂烯的落叶松上的产卵量明显高于对照 ( $P < 0.01$ ), 在喷施萜烯的落叶松上产卵量明显低

于对照 ( $P < 0.01$ )。缓释瓶可将  $\alpha$ -蒎烯和月桂烯的作用时间延长至 5d, 将莰烯的作用时间延长至 4d。以往研究表明, 雌蛾选择合适的寄主植物作为产卵场所时对寄主植物挥发物有一定的偏好<sup>[18-19]</sup>, 与本

研究结果一致。这表明悬挂挥发物缓释瓶可以达到喷施挥发物的作用效果, 并可以有效的延长挥发物的作用时间。

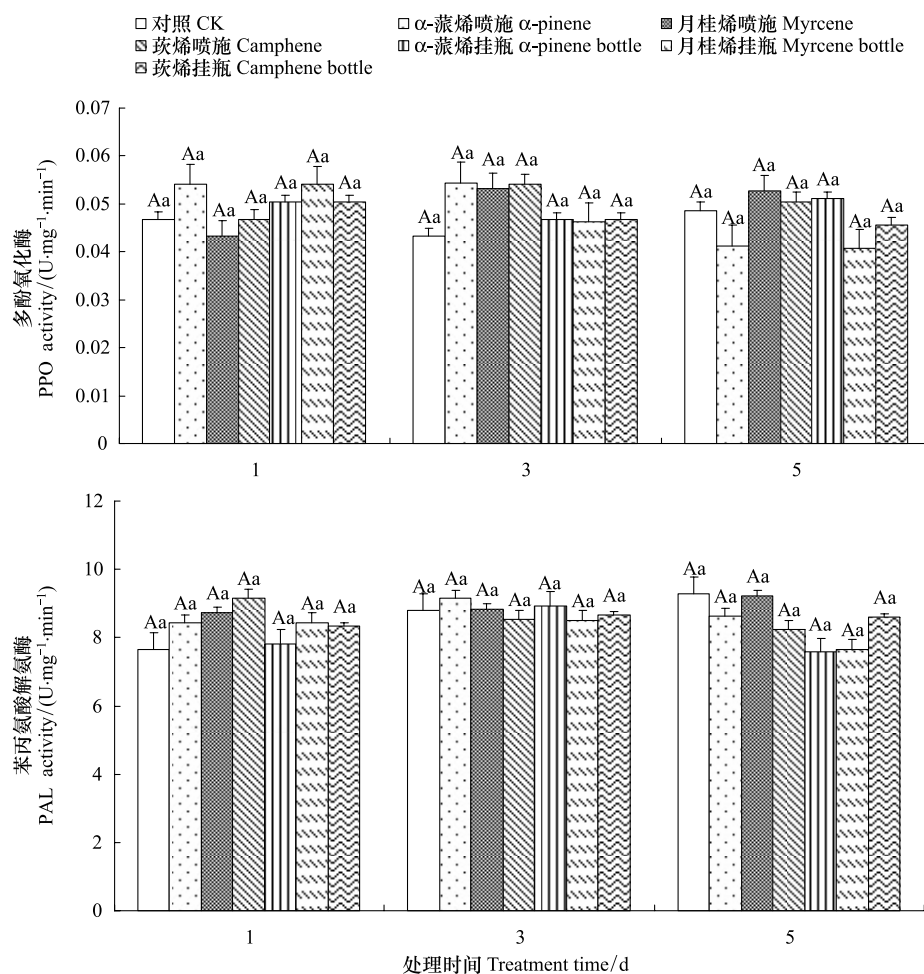
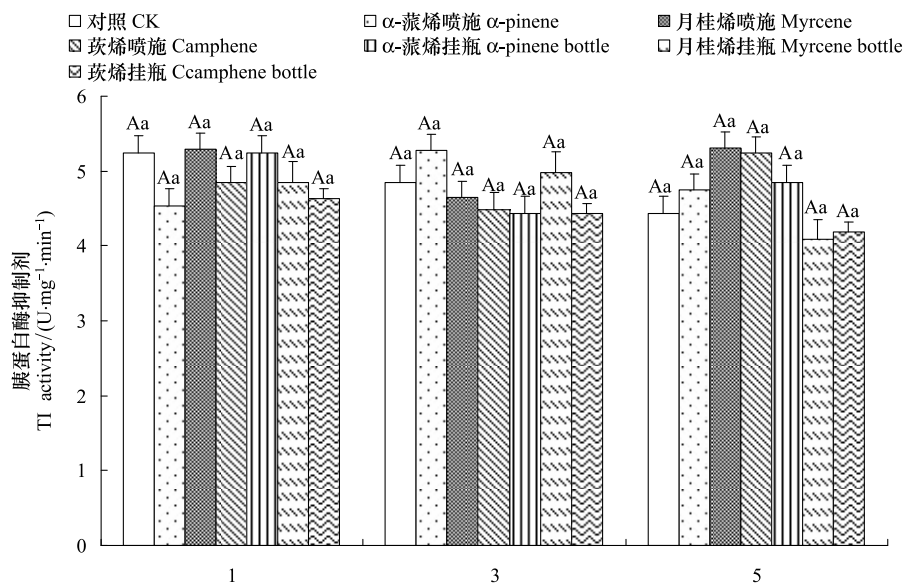


图 4 各处理兴安落叶松针叶内防御酶活性变化

Fig.4 Variation of the activities of defense enzymes in larch needles under different treatments



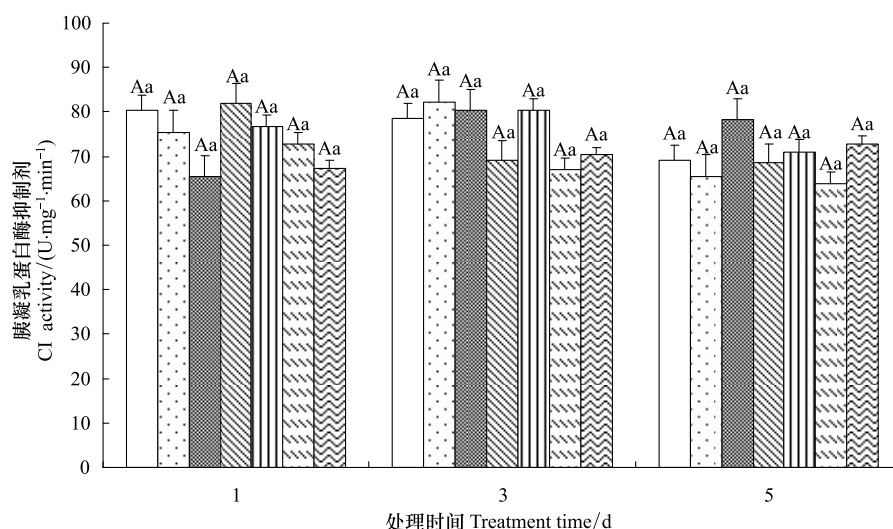


图5 各处理兴安落叶松针叶内蛋白酶抑制剂活性变化

Fig.5 Variation of the activities of protease inhibitors in larch needles under different treatments

植物在受到外界侵害时,可以利用 VOCs 信号将伤害信息传递给周围植物进行防御,除健康植物可以接受 VOCs 建立防御外<sup>[7]</sup>,害虫天敌也可以接收到信号,从而实现间接防御<sup>[20]</sup>。研究表明,植物释放 VOCs 信号可以系统诱导植株产生 PIs 实现主动防御<sup>[21]</sup>。本研究选取的 3 种落叶松挥发物  $\alpha$ -蒎烯、月桂烯和蒎烯,在落叶松毛虫取食后,释放量显著增加;并且 POD、CAT、PPO、PAL、TI、CI 都有显著的变化<sup>[17]</sup>,其中 PPO 和 PAL 是植物次生物质生成过程中的关键酶,其活性的改变在一定程度上表征着植物防御体系在变化。本试验结果表明,单一施用  $\alpha$ -蒎烯、月桂烯和蒎烯不能使兴安落叶松针叶内主要防御蛋白活力改变,说明三者不是落叶松的预警信号物质,没有系统诱导改变兴安落叶松的化学防御能力,而只是改变了落叶松的气味组成,干扰了落叶松毛虫的产卵选择行为,减少了其在落叶松上的落卵量,因而降低了落叶松的被害程度。落叶松释放的 VOCs 信号,可能是单一物质或者是混合物起作用,这 3 种挥发物是否是落叶松 VOCs 信号物质,还需要通过研究释放 VOCs 的单体或突变体植株来证实<sup>[6]</sup>。

#### References:

- [1] Light D M, Knight A L. Specificity of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) for the host plant kairomone, ethyl (2E, 4Z)-2, 4-decadienoate: field bioassays with pome fruit volatiles, analogue and isomeric compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(10): 4046-4053.
- [2] El-Sayed A M, Suckling D M, Wearing C H, Byers J A. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *Journal of Economic Entomology*, 2006, 99(5): 1550-1564.
- [3] Zada A, Falach L, Byers J A. Development of sol-gel formulations for slow release of pheromones. *Chemoecology*, 2009, 19(1): 37-45.
- [4] Kandimalla V B, Tripathi V S, Ju H X. Immobilization of biomolecules in sol-gels: biological and analytical applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2006, 36(2): 73-106.
- [5] Baldwin I T, Halitschke R, Paschold A, von Dahl C C, Preston C A. Volatile signaling in plant-plant interactions: talking trees in the genomics era. *Science*, 2006, 311(5762): 812-815.
- [6] Zuo Z J, Zhang R M, Gao Y. Research advances in volatile signals among plants. *Chinese Bulletin of Botany*, 2009, 44(2): 245-252.
- [7] Ueda H, Kikuta Y, Matsuda K. Plant communication Mediated by individual or blended VOCs? *Plant Signaling & Behavior*, 2012, 7(2): 222-226.
- [8] Guo T Q, Yue S K, Liu N, Guo X F, Guo X H, Teng W X, Ping G Y. Relations between odour of larch needles and the infection of *Dendrolimus Superans*. *Journal of Northeast Forestry University*, 1996, 24(4): 80-86.
- [9] Yan S C, Xu W, Yuan H E, Wang Q, Lu D. Effects of different elicitors on olfactory response and oviposition selection of *Dendrolimus superans* (Butler). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(7): 1583-1588.
- [10] Wang Q, Yan S C, Wang Y J, Zhang J, Yuan H E. Activities of proteinase inhibitors in *Larix gmelinii* seedlings under the stresses of cutting needles and herbivore feeding. *Acta Entomologica*

- Sinica, 2008, 51(8): 798-803.
- [11] Wang Q, Yan S C, Jin H, Wang Y J. Systemic induction of defensive enzymes in needles of *larix gmelinii* seedlings in wounded conditions. *Journal of Northeast Forestry University*, 2012, 40(9): 77-80.
- [12] Kavitha R, Umesha S. Regulation of defense-related enzymes associated with bacterial spot resistance in Tomato. *Phytoparasitica*, 2008, 36(2): 144-159.
- [13] Ma Y H, Wei M, Wang X F. Dynamics of soil phenols in continuous cropping solar greenhouse and their effects on disease resistance-related enzyme activities in cucumber root. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(1): 79-82.
- [14] Lu Y F, Shi L, Yan S C. Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of *Larix gmelinii*. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3621-3627.
- [15] Zong N, Wang C Z. Larval feeding induced defensive responses in tobacco: comparison of two sibling species of *Helicoverpa* with different diet breadths. *Planta*, 2007, 226(1): 215-224.
- [16] Felton G W, Donato K K, Broadway R M, Duffey S S. Impact of oxidized plant phenolics on the nutritional quality of dietary protein to a noctuid herbivore, *Spodoptera exigua*. *Journal of Insect Physiology*, 1992, 38(4): 277-285.
- [17] Xu W. Study on the induced resistance of *larix gmelinii* to insects [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2006: 31-32.
- [18] Habita A, Lu Y Y, Zeng L. Deterrent effect of essential oil extracted from *Dolichandrone cauda-felina* on oviposition of *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae). *Journal of South China Agricultural University*, 2007, 28(1): 58-62.
- [19] Naves P M, de Sousa E M, Quartau J A. Feeding and oviposition preferences of *Monochamus galloprovincialis* for certain conifers under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2006, 120(2): 99-104.
- [20] Kost C, Heil M. The defensive role of volatile emission and extrafloral nectar secretion for Lima bean in nature. *Journal of Chemical Ecology*, 2008, 34(1): 2-13.
- [21] Karban R, Baldwin I T, Baxter K J, Laue G, Felton G W. Communication between plants; induced resistance in wild tobacco plants following clipping of neighboring sagebrush. *Oecologia*, 2000, 125(1): 66-71.

#### 参考文献:

- [6] 左照江, 张汝民, 高岩. 植物间挥发物信号的研究进展. *植物学报*, 2009, 44(2): 245-252.
- [8] 郭廷翹, 岳书奎, 刘宁, 郭雪飞, 郭秀华, 滕文霞, 平桂英. 落叶松针叶气味与松毛虫危害的关系. *东北林业大学学报*, 1996, 24(4): 80-86.
- [9] 严善春, 徐伟, 袁红娥, 杨慧, 卢丹. 不同诱导因子对落叶松毛虫嗅觉和产卵选择的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(7): 1583-1588.
- [10] 王琪, 严善春, 王艳军, 张健, 袁红娥. 剪叶及昆虫取食对兴安落叶松蛋白酶抑制剂的影响. *昆虫学报*, 2008, 51(8): 798-803.
- [11] 王琪, 严善春, 金虎, 王艳军. 叶损伤对兴安落叶松防御酶活性的系统诱导. *东北林业大学学报*, 2012, 40(9): 77-80.
- [13] 马云华, 魏珉, 王秀峰. 日光温室连作土壤酚类物质变化及其对黄瓜根系抗病性相关酶的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 79-82.
- [14] 鲁艺芳, 石蕾, 严善春. 不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响. *生态学报*, 2012, 32(11): 3621-3627.
- [17] 徐伟. 兴安落叶松诱导抗虫性研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006: 31-32.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil ..... GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

### Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China .....  
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol  
League, Inner Mongolia ..... WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model .....  
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China .....  
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia .....  
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia: a case study of Heidaigou  
open pit coal mining ..... KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk .....  
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

### Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity .....  
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes .....  
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils .....  
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil .....  
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains .....  
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus* .....  
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients .....  
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia .....  
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* ..... YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus* .....  
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck ..... YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles ..... LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area ..... HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) cultural ponds ..... YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology ..... LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO<sub>2</sub> emissions transfer embedded in inter-regional trade in China ..... LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years ..... YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed ..... LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area ..... PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir ..... ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis ..... TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province ..... HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone ..... HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences ..... LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

# 《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

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 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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