

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **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 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)

- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)

不同生境和去趋势方法下的祁连圆柏径向生长对气候的响应..... 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局..... 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)

生态环境移动数据采集系统研究与实现..... 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)

基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析..... 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)

两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制..... 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)

北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响..... 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说:黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

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/stxb201301180117

张晓, 李秀玲, 李新岗, 杨立军, 陈辉. 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用. 生态学报, 2013, 33(24): 7651-7660.

Zhang X, Li X L, Li X G, Yang L J, Chen H. Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7651-7660.

松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用

张 晓, 李秀玲, 李新岗*, 杨立军, 陈 辉

(西北农林科技大学林学院/国家林业局黄土高原重点实验室, 杨凌 712100)

摘要:以松果梢斑螟(*Dioryctria pryeri*)-油松(*Pinus tabulaeformis*)(2年生球果和新梢)为研究对象,探讨梢斑螟幼虫对油松球果小卷蛾(*Gravata margarotana*)先期虫害诱导寄主防御的抑制作用,以及虫害诱导的负防御机制。结果表明,双萜松脂酸作为油松球果和新梢的主要组成和诱导性防御物质,梢斑螟虫害后球果双萜松脂酸极显著增加,10 d后降低到正常水平;而新梢虫害后,松脂酸显著增加,后随新梢基础含量而增加,10 d后虫害新梢松脂酸显著高于球果。梢斑螟幼虫以小卷蛾虫害球果、健康球果和新梢等部位为食料,均为梢斑螟5龄幼虫下唇腺葡萄糖氧化酶(Glucose oxidase, GOX)活性最高,极显著高于4龄和3龄幼虫;且同一龄期,小卷蛾虫害球果中的梢斑螟幼虫GOX活性最高,显著高于新梢和健康球果中幼虫酶活性。研究发现,虫害后萜类防御物质随幼虫GOX活性升高呈下降趋势。梢斑螟幼虫RNA和P含量比较发现,取食小卷蛾虫害球果、健康球果和新梢3种食料,均为梢斑螟3龄幼虫最高,5龄幼虫最小,差异极显著;但同一龄期,3种食料发育的幼虫,其RNA和P含量间无显著差异。这些结果说明,小卷蛾幼虫的先期危害,诱导了寄主防御,但后来的梢斑螟幼虫通过下唇腺GOX抑制了寄主的诱导防御,使其生长率与健康球果和新梢中的幼虫基本一致。

关键词:松果梢斑螟;油松;虫害诱导;直接防御;抑制作用

Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis*

ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang*, YANG Lijun, CHEN Hui

College of Forestry, Northwest Agriculture of Forestry University, Key Laboratory of Silviculture on the Loess Plateau of State Forestry Administration, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: Pine coneworm, *Dioryctria pryeri* Ragonot (Lepidoptera: Pyralidae), as an important insect pest of the cones and shoots in Chinese pine, *Pinus tabulaeformis* Mill., tends to select the cones previously damaged by *Gravata margarotana* (Heinemann) for feeding and oviposition. In the present study, the inhibition of pine coneworm on larvae *G. margarotana* induced defenses of *P. tabulaeformis* and mechanism of the herbivore-induced negative defenses was explored in the pine coneworm and Chinese pine (two years old cone and shoot). The result indicated that diterpene resin acid was mainly constructive and induced defense compounds, and it increased significantly in both cones and shoots after damaged by the coneworm. The concentration of resin acid dropped to its normal state after 10 days in the infested cones, whereas it remained in the same high level in the infested shoots after 10 days. We also compared the activity of glucose oxidase (GOX) in salivary gland of larvae *D. pryeri* among three groups: the cones previously infested by *G. margarotana*, the cones and shoots. The activity of GOX is significantly higher in the 5th instars than it in the 4th and 3rd instars. In the same instars, the activity of GOX of larvae *D. pryeri* is the highest in the cones previously infested by *G. margarotana* group, and the lowest in the shoots group. These result revealed that host terpene defense response was suppressed gradually by the

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30972372); 教育部长江学者和创新团队发展计划资助项目(IRT1035)

收稿日期:2013-01-18; **修订日期:**2013-09-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xingangle@nwsuaf.edu.cn

GOX enzyme of pine coneworm. By comparing of the RNA and P content, we found significant difference among the 3rd, 4th and 5th instars. The 3rd instars had the highest RNA and P content, whereas the 5th had the lowest. Within the same instars, there was no significant difference in the larvae *D. pryeri* intake of infested cone by *G. margarotana*, the cone or shoot. All those results showed that larvae *G. margarotana* induced host defense responses in the early stage, then larvae *D. pryeri* suppressed the resin acid defense of Chinese pine by using the GOX enzyme. As the result, there are no significantly difference in the growth rate among the larvae *D. pryeri* intake of in the cones previously infested by *G. Margarotana*, the cones and the shoots.

Key Words: *Dioryctria pryeri* Ragonot; *Pinus tabulaeformis*; herbivore-induction; direct defense; inhibition

松果梢斑螟(*Dioryctria pryeri* Ragonot)和油松球果小卷蛾(*Gravarmata margarotana* (Heinemann))是我国松属针叶树重要的球果和枝梢害虫,一年一代,以幼虫钻蛀危害,长期以来对我国针叶树的正常生长、自然更新和种子生产造成很大影响^[1]。特别是北方油松(*Pinus tabulaeformis* Mill.)良种基地,受害更为严重^[2-3]。由于球果小卷蛾对油松球果的先期危害,引诱松果梢斑螟趋向虫害球果产卵和取食,即诱导负防御^[3-5]或诱导敏感性^[6]。小卷蛾幼虫危害时间比梢斑螟幼虫早 7—10 d,并且小卷蛾幼虫的先期危害诱导了油松球果的直接防御和间接防御^[2-4];如显著增加了蛋白酶抑制剂(Pis)、多酚氧化酶(PPO)和松脂含量,特别是双萜松脂酸^[2-3]。梢斑螟幼虫在油松上,发育快、个体较大、活跃、竞争能力强,可在虫害球果中正常发育^[1]。但高含量松脂(松脂酸)球果(如华山松球果)严重影响梢斑螟幼虫的生长与存活,松脂酸也成为梢斑螟幼虫的直接防御物质^[1,3,5]。

近年来,关于虫害诱导负防御的研究已经很多,主要是引诱成虫产卵或幼虫取食的报道,并集中在虫害诱导挥发物的引诱方面^[6-9]。虫害诱导负防御是植物诱导防御的一种形式^[5-6],不但松果梢斑螟趋向虫害球果,梢斑螟属(*Dioryctria*)和其它类群的昆虫也都有趋向虫害寄主或组织的习性^[6-8]。但趋向虫害寄主取食的害虫,如何克服或适应虫害的诱导防御,可能涉及一些科学问题,如转基因抗虫植物被更严重的害虫适应或克服、诱抗剂应用后引起潜在害虫的严重危害等。Karban 和 Baldwin 认为,虫害寄主(诱导挥发物)暗示着竞争者和天敌的存在、植物营养质量的下降,也代表着潜在寄主的存在^[6]。

害虫取食危害与其激发子一起,激活植物防御基因,使植物产生诱导防御物质对付昆虫。但葡萄糖氧化酶(glucose oxidase, GOX)是多食性或具强竞争性鳞翅目幼虫下唇腺中抑制植物诱导防御的“激发子”,可抑制植物的防御,提高害虫自身的适应性^[6,10-18]。采用分光光度计法可测定昆虫下唇腺 GOX 活性^[18-20],且同一昆虫不同寄主组织或不同质量的饲料对昆虫 GOX 活性影响很大^[14,18-19]。据生长率理论,昆虫的生长率和虫体 RNA 含量与 P 含量高度耦合^[21],测定同一龄期不同组织梢斑螟幼虫 RNA 和 P 含量^[21-22],就可反映取食组织对梢斑螟幼虫生长发育的影响。为了进一步探讨小卷蛾危害引起油松球果的负防御机制,以及梢斑螟幼虫对寄主防御的适应和抑制作用^[3],本文研究了不同组织梢斑螟幼虫 GOX 活性和虫害组织中的萜类防御物质变化,以及不同组织中梢斑螟幼虫的 RNA 和 P 含量。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 材料来源

油松球果和新梢采自甘肃省正宁县中湾油松良种基地,位于子午岭西部,海拔 1300—1500 m,1983—1985 年营建,树龄 30a,树高约 6 m,405 株/hm²,郁闭度 0.5—0.6,坡度 10—20°。采样时间为 2009 和 2010 年 5 月,正是松果梢斑螟幼虫的危害期,通过田间接虫标记,并选择虫害第 1 天、第 5 天、第 10 天和第 15 天(分别为 3、4、5 龄和老熟幼虫)的球果和新梢,以健康球果和新梢为对照,每个处理 3 个重复。球果的取样部位为 2 年生球果的鳞片,分别从蛀孔左侧、右侧及后方取样;新梢的取样部位为当年生新梢顶部,约 2 cm,三分法取样。球果、新梢取样均为 0.3g,置于-80℃用于防御物质的分析^[3,23]。

1.1.2 供试昆虫

松果梢斑螟幼虫采样地点和时间同上。采集正在取食球果和新梢的梢斑螟幼虫,每两天采样 1 次。按取食部位,将其分为危害球果的 1 果 1 虫、1 果多虫、与小卷蛾共生和危害新梢 4 个处理。每个处理分别取 3 龄、4 龄和 5 龄取食活跃期和脱皮期幼虫,以及老熟幼虫各 30—60 头,共 3 份材料,置于-80℃ 分别用于测试幼虫下唇腺 GOX 活性、RNA 和 P 含量。

1.2 梢斑螟幼虫葡萄糖氧化酶活性测定

1.2.1 幼虫下唇腺提取液的制备

分别解剖 1 果 1 虫、1 果多虫、与小卷蛾共生和危害新梢 4 个处理的梢斑螟幼虫,取出下唇腺,在 pH 7.0 的磷酸缓冲液(0.05 mol/L)中冰浴研磨,4℃ 12000×g 离心 15 min,取上清液为下唇腺提取液。3 龄幼虫每样品中有 10 头幼虫的下唇腺,其他龄期每样品中有 5 头幼虫下唇腺,重复 6 次^[13,19]。

1.2.2 下唇腺葡萄糖氧化酶活性测定

GOX 活性测定参照 Bergmeyer 等方法^[24],用 UV-1240(uv mini)分光光度计测定。35℃ 条件下,反应混合物包括:0.17 mmol/L 邻联茴香胺(Sigma),1.72% D-葡萄糖缓冲溶液(pH 7.0)2.9 mL,60 U/mL 辣根过氧化物酶(Roche)溶液和下唇腺提取液各 0.1 mL。用 0.1 mL 缓冲液代替下唇腺提取液为对照。在 500 nm 下连续记录 5 min 反应混合物的光吸收,计算每分钟的光吸收变化并作图,取线性变化范围内每分钟变化值。蛋白质浓度测定以牛血清蛋白为标准蛋白,用考马斯亮蓝染色法测定^[19,25]。

$$\text{酶活力} = \frac{\Delta A \times N}{A_0 \times W \times T \times V} \times 50\%$$

式中, ΔA 表示线性变化范围内每分钟变化值; N 表示酶液总体积; W 表示蛋白质含量(mg/mL); T 表示光反应时间(min); V 表示加入的酶液体积。 A_0 表示邻联茴香胺在 500 nm 下的摩尔消光系数,为 7.5。

1.3 寄主萜类化合物的提取与分析

1.3.1 萜类成分的提取

根据 Miller 等的叔丁基甲基醚(TBME)浸提并甲酯化法(简称甲酯化法),选取 0.3g 球果或新梢样品,加入 1.5 mL 叔丁基甲基醚(加 150 $\mu\text{g/mL}$ 异丁基苯为内标),震荡浸提 14 h,过滤,用 0.3 mL 0.1 mol/L 的 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (pH8.0)洗脱,取 0.4 mL 洗脱后的醚提取物,加 0.16 mL 甲醇和 0.15 mL 三甲基硅基重氮甲烷、密封,在室温下放置 30 min,再加入 0.6 mL 洗脱提取物,用装有 0.3g 硅胶和 0.2g 无水硫酸镁的巴斯德滴管过滤,用 1 mL 乙醚洗脱硅胶柱,所得样品置于-20℃ 冰箱中待分析^[23]。

1.3.2 GC-MS 分析

萜类分析利用美国 Thermo-Finnigan 公司的 TraceDSQ 气相色谱-质谱仪(GC-MS),色谱柱利用 DB-WAX 毛细管柱(30 m×0.25 mm ID,膜厚 0.25 μm),载气氢气;流速 2 mL/min,FID 温度 300℃,进样口温度 220℃,进样 1 μL ,分流比 10:1。起始温度 40℃,停留 3 min,以 3℃/min 速率升温至 110℃,然后以 10℃/min 速率升温至 180℃,再以 15℃/min 速率升温至 250℃,保留 10 min。质谱条件:EI 离子源,电离能 70eV。各成分通过与谱库(NISTZOOZ 版)标准化化合物的质谱图核对并分析后,进行定性,根据内标法进行定量^[2-4,23]。

1.4 梢斑螟幼虫 RNA 和 P 含量测定

1.4.1 RNA 提取和含量测定

采用显微荧光测定法测试 RNA 含量。取 3 龄、4 龄和 5 龄取食活跃期幼虫各 30 头(见 1.1.2 虫源),每组虫体的 RNA 用 Trizol Reagent(Invitrogen)提取。RNA 含量测定以酵母 RNA 为标准,采用对 RNA 有高度特异性的荧光试剂 Ribo-Green 测定。具体方法(Ribo Green RNA quantitation reagent and Minicell Adaptor Kit (P/N 3800-928))为:将 RNA 样品用 TE 稀释后取 1 mL 与等体积 1:2000 稀释的 RiboGreen 试剂混匀,黑暗中放置 5 min 后在激发和发射波长分别为 500 nm 和 525 nm 条件下测定并记录。所有 RNA 的含量均为占虫体干重的百分比^[21]。

1.4.2 P 含量测定

标准曲线的制作:取磷酸二氢钾 0.4407g 配置标准品溶液(每 1mL 含磷 10.05 μ g)。取标准品溶液 0、0.3、0.6、0.9、1.2 和 1.5 mL 分别置试管中,各加水至 3 mL,摇匀;再分别加入定磷试剂(2.5% 钼酸铵溶液:3 mol/L 硫酸溶液:水:10%抗坏血酸=1:1:2:1,用前配制)3 mL,摇匀;在 50℃ 水浴中反应 25 min。以 0 号管作为空白对照,用 UV-1240(uv mini)分光光度计在 650 nm 测定各样品液的吸光度。以溶液吸光度对其浓度作图,得标准曲线。

P 含量的测定:采用抗坏血酸-钼蓝显色定磷法测定虫体中总 P 含量。取 3 龄、4 龄和 5 龄取食活跃期幼虫各 30 头,将虫体在 50℃ 烘 48 h 后经浓硫酸、浓硝酸硝化。样品溶液与定磷试剂混合摇匀,测定样品溶液的吸光度。利用磷标准曲线计算总磷含量,样品 P 含量为其占虫体干重的百分比^[21-22]。

1.5 数据统计

数据用 SPSS 10.0 单因素方差(ANOVA)分析样品间的差异显著性,用 a、b 表示差异显著($P<0.05$);用 A、B 表示差异极显著($P<0.01$)。采用 Sigmaplot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 松果梢斑螟下唇腺葡萄糖氧化酶活性变化

图 1 为不同组织中松果梢斑螟幼虫下唇腺 GOX 活性。可以看出,幼虫发育期内 GOX 活性呈动态变化,1 果 1 虫、1 果多虫、与小卷蛾共生和新梢 4 个处理梢斑螟幼虫 GOX 活性随虫龄而增加,有相同的变化趋势。但在幼虫脱皮期(每龄第 4 天)酶活性较低,取食活跃期(每龄第 2 天)酶活性显著增加。3 龄、4 龄和 5 龄取食活跃期 GOX 活性依次极显著升高($P<0.001$),在 5 龄取食活跃期 GOX 活性最高,老熟幼虫 GOX 活性最低。

新梢、1 果 1 虫、1 果多虫、与小卷蛾共生等不同部位,其同一龄期梢斑螟幼虫 GOX 活性不同。3 龄幼虫中,与小卷蛾共生的幼虫酶活性 > 1 果 1 虫和 1 果多虫的幼虫酶活性 > 取食新梢的幼虫酶活性,但差异不显著。4 龄幼虫中,与小卷蛾共生的幼虫酶活性最高(0.62 ± 0.04),取食新梢的幼虫酶活性最低(0.42 ± 0.08),取食球果(1 果 1 虫和 1 果多虫)居中,三者差异显著。但 1 果多虫(0.50 ± 0.02)和 1 果 1 虫(0.55 ± 0.05)的幼虫酶活性差异不显著。5 龄幼虫中,与小卷蛾共生的幼虫酶活性最高(0.81 ± 0.07),显著高于新梢(0.57 ± 0.05),其余之间差异不显著。

2.2 虫害球果和新梢萜类含量的变化

图 2 为虫害油松球果和新梢单萜、倍半萜和双萜含量变化。可以看出,单萜、倍半萜和双萜含量呈现先增加后降低的趋势,球果的萜类含量随虫害时间延长而明显下降。虫害 1 d 时,新梢和球果单萜总含量均显著增加($P<0.01$),随虫害时间而逐渐降低,虫害 15 d 时,单萜含量最低。作为新梢和球果单萜主要成分的 1R- α -蒎烯和 D-柠檬烯含量与单萜总含量有一致的变化趋势,即虫害后先升后降,最后与对照水平接近(图 1,表 1,表 2)。

表 1 虫害油松球果主要单萜成分含量随时间的变化/(mg/g 鲜重)

Table 1 Changes of major monoterpene content with time in the infested cones

单萜化合物 Monoterpenes	处理 Treatment	虫害天数 Days after insect-infected/d			
		1	5	10	15
1R- α -蒎烯	健康球果 Control	0.21 $\pm$ 0.02a ^①	0.45 $\pm$ 0.05a	0.14 $\pm$ 0.01A	0.28 $\pm$ 0.04a
1R- α -pinene	虫害球果 Infested cones	0.47 $\pm$ 0.04b	0.77 $\pm$ 0.07b	0.44 $\pm$ 0.06B	0.33 $\pm$ 0.04a
s α -香叶烯	健康球果 Control	0.47 $\pm$ 0.03A	0.51 $\pm$ 0.04a	0.29 $\pm$ 0.04A	0.27 $\pm$ 0.01 A
α -myrcene	虫害球果 Infested cones	0.63 $\pm$ 0.08B	0.48 $\pm$ 0.02a	0.03 $\pm$ 0.01B	0.04 $\pm$ 0.006B
D-柠檬烯	健康球果 Control	0.38 $\pm$ 0.02a	0.73 $\pm$ 0.02a	0.20 $\pm$ 0.01A	0.49 $\pm$ 0.08a
D-limonene	虫害球果 Infested cones	0.60 $\pm$ 0.05b	0.84 $\pm$ 0.03b	0.48 $\pm$ 0.06B	0.32 $\pm$ 0.05a

①表中数据为均值 $\pm$ 标准差($n=3$),数值后标注不同大写和小写字母分别表示相应处理之间差异极显著($P<0.001$)和显著($P<0.05$)

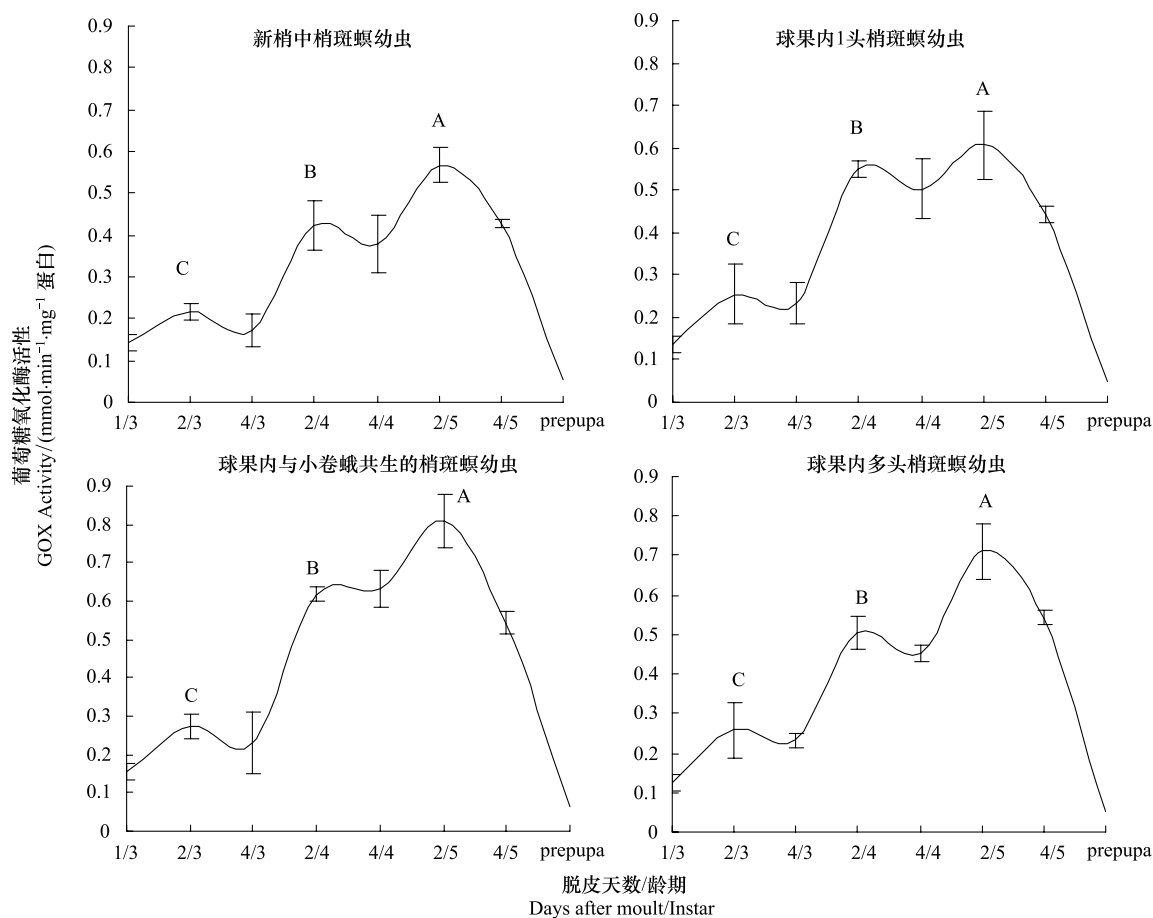


图1 不同组织中梢斑螟幼虫下唇腺葡萄糖氧化酶活性比较

Fig.1 Glucose oxidase (GOX) activity in labial salivary glands of *D. pryeri* developed in four host tissues

图中数据为均值±标准差($n=6$),数值后标注不同大写字母表示相应处理之间差异极显著($P<0.001$)

油松球果和新梢中倍半萜含量较少,虫害后倍半萜含量明显下降。虫害初期,球果中倍半萜含量没有变化,随后显著下降;而新梢虫害初期倍半萜含量略有增加,随后明显下降。倍半萜总含量,球果略高于新梢(图1)。球果和新梢中主要倍半萜均为石竹烯、 α -石竹烯和1-甲基-5-亚甲基-8-(1-异丙基)-1,6-环十二烯,其中石竹烯含量较大。在虫害球果,初期(第1天)石竹烯增加,随后显著下降;而其它2种成分虫害后显著降低(表3)。虫害后,新梢中的石竹烯显著增加,随后呈曲线波动; α -石竹烯虫害后显著增加,随后降低;1-甲基-5-亚甲基-8-(1-异丙基)-1,6-环十二烯在虫害初期含量变化不大,但在虫害10 d后,该成分检测不到(表4)。

表2 虫害新梢主要单萜成分随时间的变化/(mg/g 鲜重)

Table 2 Changes of major monoterpene content with time in the infested branches

单萜化合物 Monoterpenes	处理 Treatment	虫害天数 days after insect-infected/d			
		1	5	10	15
1R- α -蒎烯	健康新梢	0.18±0.01a	0.19±0.03A	0.33±0.05a	0.11±0.03a
1R- α -pinene	虫害新梢	0.19±0.02a	0.42±0.05B	0.25±0.05a	0.17±0.01a
α -香叶烯	健康球果	0.29±0.02a	0.38±0.04a	0.18±0.04a	0.50±0.10a
α -myrcene	虫害球果	0.31±0.05a	0.18±0.03a	0.04±0.002b	0.06±0.01b
D-柠檬烯	健康新梢	0.48±0.03A	0.86±0.04a	0.88±0.05a	0.66±0.09a
D-limonene	虫害新梢	0.96±0.02B	1.24±0.06b	1.17±0.04b	0.71±0.01a

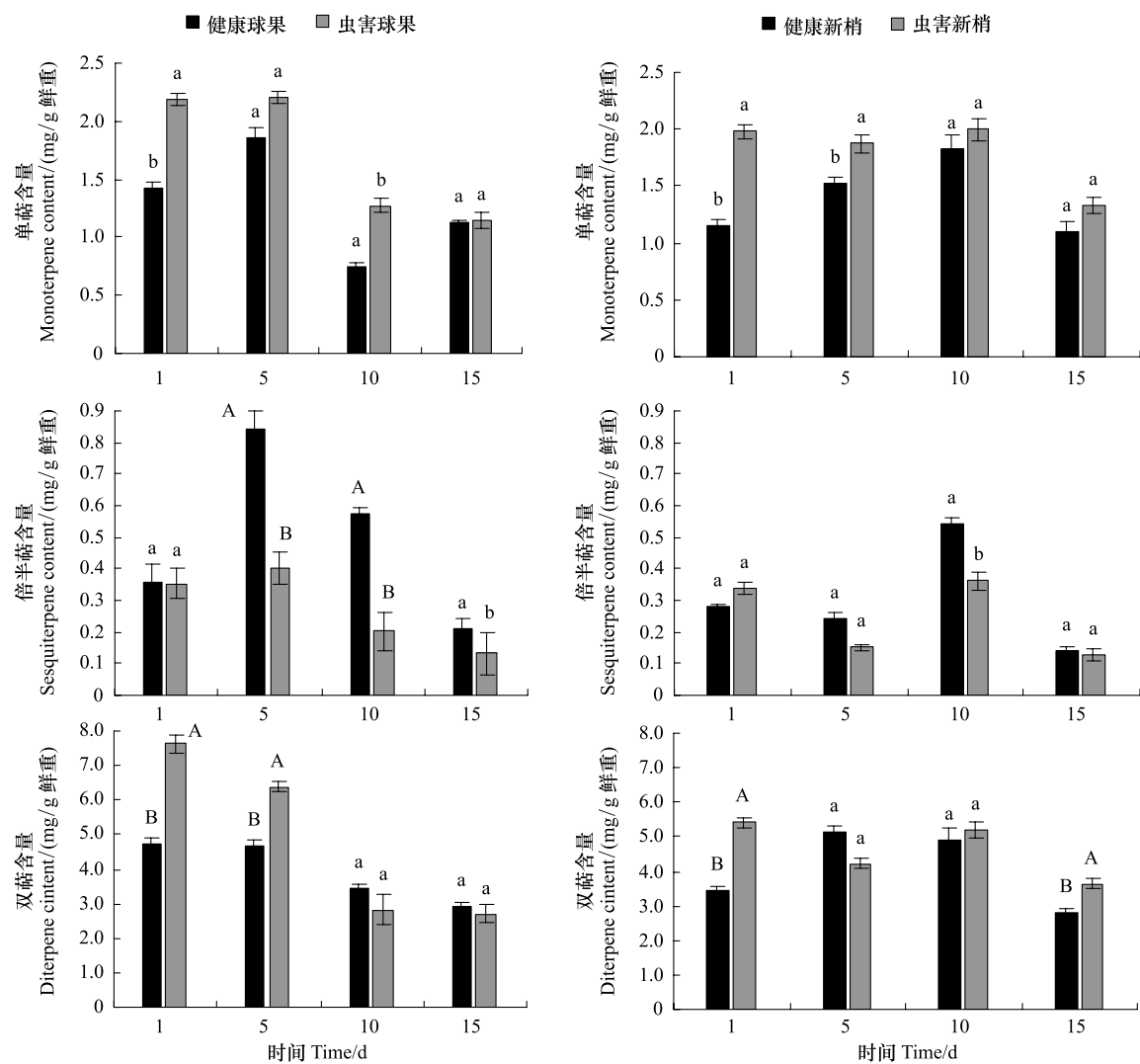


图2 松果梢斑螟幼虫危害后油松球果及新梢萜类含量随时间的变化

Fig.2 Changes of terpene content with time in fested cones and branches

图中数据为均值±标准差 (n=3), 数值后标注不同大写和小写字母分别表示相应处理之间差异极显著 (P<0.001) 和显著 (P<0.05)

表3 虫害球果主要倍半萜成分随时间的变化/(mg/g 鲜重)

Table 3 Changes of major sesquiterpene content with time in the infested cones

倍半萜化合物 Sesquiterpenes	处理 Treatment	虫害天数 days after insect-infected/d			
		1	5	10	15
石竹烯	健康球果	0.251±0.020a	0.408±0.020 a	0.318±0.030 A	0.215±0.020 a
Caryophyllene	虫害球果	0.290±0.030 a	0.292 ±0.050 a	0.140±0.010 B	0.196±0.030 a
α-石竹烯	健康球果	0.071±0.010 a	0.067±0.005 A	0.052±0.005 A	0.030±0.002 a
α-caryophyllene	虫害球果	0.041±0.010 a	0.050±0.004 B	0.019±0.002 B	0.028±0.004 a
1,6-环十二烯 ^①	健康球果	0.026±0.010 a	0.366±0.020 A	0.204±0.010 A	0.192±0.020A
1,6-Cyclodecadiene	虫害球果	0.019±0.010 a	0.030±0.001 B	0.053±0.010B	0.053±0.001B

①1-甲基-5-亚甲基-8-(1-异丙基)-1,6-环十二烯, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-1,6-Cyclodecadiene

图2可以看出,球果虫害后,双萜含量显著增加,后期明显降低到正常水平。虫害第1天双萜含量达到最大(7.993 mg/g 鲜重),是健康球果的1.7倍;虫害5 d时双萜含量是健康球果的1.4倍,第10天双萜含量开始下降,第15天时接近健康球果水平。新梢虫害后,其双萜含量初期显著增加,随后逐渐接近健康新梢,但虫害第15天时双萜含量又显著高于健康新梢(图1)。虫害球果和新梢显著增加双萜成分是松香酸甲酯、1-菲羧

酸甲酯类和贝壳杉-16-烯-18-酸酯,新梢中松香酸甲酯含量较少。双萜主要成分的变化趋势与总含量一致:虫害后显著增加,后逐渐降低(表 5,表 6)。

表 4 虫害新梢主要倍半萜成分随时间的变化/(mg/g 鲜重)
Table 4 Changes of major sesquiterpene content with time in the infested branches

倍半萜化合物 Sesquiterpenes	处理 Treatment	虫害天数 Days after insect-infected/d			
		1	5	10	15
石竹烯	健康新梢	0.128±0.010 a	0.181±0.05 A	0.085±0.020 a	0.492±0.080 a
Caryophyllene	虫害新梢	0.160±0.020 b	0.054±0.010B	0.142±0.010 b	0.313±0.010 a
α-石竹烯	健康新梢	0.037±0.010 a	0.027±0.010 a	0.013±0.003 a	0.068±0.010 a
α-caryophyllene	虫害新梢	0.080±0.010 b	0.009±0.001 a	0.020±0.001 a	0.052±0.005 a
1,6-环十二烯	健康新梢	0.117±0.030 a	0.035±0.001 a	0.018±0.005	0.046±0.010
1,6-Cyclodecadiene	虫害新梢	0.106±0.020 a	0.052±0.001 a	—	—

表 5 虫害球果主要双萜成分随时间的变化/(mg/g 鲜重)
Table 5 Changes of major diterpene content with time in the infested cones

双萜化合物 Diterpene	处理 Treatment	虫害天数 Days after insect-infected/d			
		1	5	10	15
1-萜酸甲酯 ^①	健康球果	0.647±0.02a	0.422±0.03a	0.191±0.07a	0.168±0.01a
1-PA, methyl ester	虫害球果	1.419±0.05b	0.295±0.07a	0.114±0.03a	0.099±0.04a
贝壳杉-16-烯-18-酸酯	健康球果	1.578±0.05a	1.513±0.42A	1.115±0.11a	0.979±0.07a
Kaur-16-en-18-OCDAME	虫害球果	2.561±0.08b	2.214±0.08B	1.048±0.18a	0.921±0.20a
双萜化合物	健康球果	1.021±0.01A	1.417±0.06A	1.168±0.11a	0.844±0.05a
Diterpene	虫害球果	2.010±0.05B	1.849±0.05B	0.677±0.06b	0.815±0.05a

①PA,phenanthrenecarboxylic acid;OCDAME,octadecadiynoic acid, methyl ester

表 6 虫害诱导新梢主要双萜成分随时间的变化/(mg/g 鲜重)
Table 6 Changes of major diterpene content with time in the infested branches

双萜化合物 Diterpene	处理 Treatment	虫害天数 Days after insect-infected/d			
		1	5	10	15
1-萜酸甲酯	健康新梢	0.259±0.02A	0.166±0.03a	0.085±0.007A	0.0689±0.01a
1-PA, methyl ester	虫害新梢	0.441±0.03B	0.272±0.07b	0.211±0.02B	0.205±0.03b
贝壳杉-16-烯-18-酸酯	健康新梢	1.728±0.05a	1.730±0.11a	2.077±0.23a	2.343±0.39a
Kaur-16-en-18-OCDAME	虫害新梢	2.570±0.10b	1.596±0.08a	1.599±0.13a	1.023±0.13b
双萜化合物	健康新梢	1.012±0.03a	1.096±0.08a	1.957±0.06a	1.089±0.01a
Diterpene	虫害新梢	1.465±0.06b	1.387±0.05b	2.080±0.003a	1.714±0.08b

2.3 取食寄主不同部位对梢斑螟幼虫 RNA 和 P 含量的影响

根据生长率和虫体 RNA 与 P 含量高度耦合的理论^[21],测定取食不同处理食物的梢斑螟幼虫 RNA 与 P 含量,可间接反映寄主食料对幼虫生长发育的影响。表 7 可以看出,取食 3 种不同处理寄主食物的梢斑螟幼虫,都以 3 龄幼虫的 RNA 含量和 P 含量最高,其次是 4 龄幼虫和 5 龄幼虫,差异极显著($P<0.01$)。说明梢斑螟 3 龄幼虫的生长率较快,之后逐渐变缓。

就取食部位来看,3 个龄期幼虫 RNA 含量均为:取食新梢幼虫 < 取食小卷蛾危害球果幼虫 < 取食球果(1 果 1 虫和 1 果多虫)幼虫,但无显著差异。就 P 含量来看,除 4 龄幼虫外,取食球果的梢斑螟幼虫 P 含量较高,取食新梢的幼虫 P 含量较低,差异不显著。说明 3 种处理食物对梢斑螟幼虫生长率影响无显著差异。

表 7 取食寄主不同部位梢斑螟幼虫 RNA 和 P 含量比较

Table 7 RNA and P content comparison of pine comeworm larvae in different host tissue

龄期 Instars	RNA 含量/干重 RNA content/dry body mass/%			P 含量/干重 P content/dry body mass/%		
	新梢 Branches	小卷蛾虫害果 Cone infested by <i>G. margarotana</i>	球果 Cones	新梢 Branches	小卷蛾虫害果 Cone infested by <i>G. margarotana</i>	球果 Cones
3 龄 3rd	3.50±0.02 A	3.53±0.05 A	3.85±0.02 A	1.05±0.02 A	1.12±0.04 A	1.11±0.03 A
4 龄 4th	1.57±0.04 B	1.66±0.10 B	1.86±0.04 B	0.57±0.05 B	0.64±0.03 B	0.62±0.04 B
5 龄 5th	0.99±0.02 C	1.11±0.04 C	1.20±0.05 C	0.38±0.01 C	0.41±0.02 C	0.43±0.07 C

3 讨论

在北方油松良种基地,每年 7 月,羽化的松果梢斑螟成虫趋向虫害(干枯的)球果附近产卵;翌年 5 月,小卷蛾幼虫先期危害,引诱梢斑螟越冬幼虫趋向正在发育的虫害球果;同时,梢斑螟幼虫也危害健康球果和新梢^[1-2,4]。在林区条件下,本研究选择梢斑螟与小卷蛾一起危害(与小卷蛾共生)的球果、有 1 头梢斑螟幼虫(1 果 1 虫)的球果、有 2—3 头梢斑螟幼虫(1 果多虫)的球果和梢斑螟危害新梢等 4 种处理,取食不同食料的梢斑螟幼虫下唇腺 GOX 活性测试表明,4 种食料均以 5 龄幼虫 GOX 活性最高,显著高于 4 龄和 3 龄幼虫。并且,3 个龄期的幼虫均表现为:球果中与小卷蛾共生的梢斑螟幼虫 GOX 活性 > 球果中单一梢斑螟幼虫酶活性 > 新梢中幼虫酶活性,其中与小卷蛾共生的 4 龄和 5 龄幼虫 GOX 活性显著高于新梢内的幼虫。研究发现,多食性鳞翅目幼虫下唇腺 GOX 可显著抑制植物的防御。并且,人工饲料饲养的幼虫 GOX 活性显著高于寄主植物上发育的幼虫,同一昆虫不同寄主上幼虫 GOX 活性也显著不同,反映了食料质量(碳水化合物、蛋白等)影响幼虫 GOX 活性水平^[14,18-19],这与本研究结果一致。

双萜(松脂酸)是针叶树组成和诱导防御的主要物质,可作为植食性昆虫的有毒成分而起到直接防御作用^[26-28]。松脂萜类聚集在针叶树特化的松脂道中,虫害引起松脂道受损,伴有单萜挥发物的松脂在受害部位形成物理和化学障碍。而倍半萜在松脂中所占比例较小^[5,28]。本研究结果显示,双萜(松脂酸)的基础量最大(5.0 mg/g 鲜重左右),而倍半萜则很少(0.3—0.5 mg/g 鲜重),单萜在 1.5 mg/g 鲜重左右;虫害后,松脂酸变化在±2.5 mg/g 鲜重,虫害球果随时间逐渐减少,第 10 天后低于 2.7 mg/g 鲜重;而新梢虫害后,松脂酸初期显著增加,随后降低,最后显著高于健康梢。虫害后,单萜的情况类似双萜,而倍半萜在虫害球果和新梢中,总体是逐渐减少的。与球果比较,新梢的防御物质(松脂酸)逐渐增加。以前研究中,比较了油松球果小卷蛾幼虫危害后,虫害球果萜类的变化,以及其它防御物质的增加^[2-3],在本研究中没有比较 2 种害虫危害油松球果防御反应的差异。

与小卷蛾共生、油松球果和新梢 3 种食料的梢斑螟幼虫 RNA 和 P 含量显示,3 龄幼虫 RNA 和 P 含量最高,随后逐渐减少,差异极显著,说明前期幼虫发育快,后期幼虫发育慢,符合生长率与虫体 RNA 和 P 含量高度耦合的生长率理论^[21]。在 3 种食料中,3 个龄期幼虫 RNA 和 P 含量与食料密切相关,但 3 种食料间幼虫 RNA 和 P 含量(即生长率)无显著差异,说明梢斑螟幼虫可通过 GOX 调节和抑制植物的防御^[10-15,18-20]。但 3 种食料对梢斑螟存活、蛹重和生殖的影响还不清楚^[19]。下唇腺 GOX 的高抑制作用是多食性鳞翅目幼虫应对寄主诱导防御的对策^[18],而 GOX 及其产物 H₂O₂通过激发水杨酸(SA)途径而抑制茉莉酸-乙烯(JA-ET)调控的植物防御,改变了植物基因表达,所以 GOX 能抑制寄主的直接和间接防御^[12,20]。小卷蛾幼虫的先期危害,激发了 JA 途径调控的诱导防御,降低了食物质量^[3,5],但后来的梢斑螟幼虫用 GOX 抑制松脂酸等防御物质^[20],使其生长率与健康球果、新梢中的幼虫基本一致。

油松球果小卷蛾幼虫的先期危害,引诱梢斑螟越冬幼虫趋向球果取食^[2],造成 2 种害虫对食料的竞争。在竞争中,小卷蛾幼虫处于劣势而部分死亡,梢斑螟幼虫的死亡率却很低^[1]。但是,由于小卷蛾幼虫提前脱果下地,通过虫害球果挥发物(间接防御)而引诱寄生蜂,使受害球果内的梢斑螟幼虫寄生率提高,说明趋向受害球果的梢斑螟幼虫,面临着天敌的威胁^[1-2,6]。球果受害后,抗营养、抗消化酶类和防御物质增加,营养质

量下降^[2-3],但本研究表明,梢斑螟幼虫通过 GOX 活性抑制植物的防御,使不同食料的幼虫生长率基本一致。后来羽化的梢斑螟成虫,通过虫害挥发物,趋向虫害球果附近产卵^[4]。进一步证明,虫害寄主(诱导挥发物)暗示着竞争者和天敌的存在,寄主营养质量的下降,也代表着潜在寄主的存在^[6],说明后来者具有特殊的克服机制。

References:

- [1] Li X G. Research on the damage mechanism of the cone insects pests of Chinese pine in Shaanxi, China. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2002, 30(2): 78-82.
- [2] Li X G, Liu H X, Liu L P, Ma Y M. Study on host-plant volatiles affecting the host selection of *Dioryctria pryeri*. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(3): 71-78.
- [3] Li X G, Liu H X, Hou H B, Gao W H. Response of Chinese pine cones to induction of exogenous methyl jasmonate and *Gravimata margarotana* larvae. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(6): 66-72.
- [4] Li X G, Yang L J, Liu L P, Liu H X. Host selection of adult *Dioryctria pryeri*. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(2): 75-81.
- [5] 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.
- [6] Karban R, Baldwin I. Induced Responses to Herbivory. Chicago: University of Chicago Press, 1997: 104-165.
- [7] Carroll M J, Schmelz E A, Meagher R L, Teal P E A. Attraction of *Spodoptera frugiperda* larvae to volatiles from herbivore-damaged maize seedlings. Journal of Chemical Ecology, 2006, 32(9): 1911-1924.
- [8] Fidgen L L, Sweeney J D. Fir coneworm, *Dioryctria abietivorella* (Grote) (Lepidoptera: Pyralidae), prefer cones previously exploited by the spruce cone maggots *Strobilomyia neanthracina* Michelsen and *Strobilomyia appalachensis* Michelsen (Diptera: Anthomyiidae). Canadian Entomologist, 1996, 128(6): 1221-1224.
- [9] Landolt P J, Brumley J A, Smthhisler C L, Biddick L L, Hofstetter R W. Apple fruit infested with codling moth are more attractive to neonate codling moth larvae and possess increased amounts of (E,E)- α -farnesene. Journal of Chemical Ecology, 2000, 26(7): 1685-1699.
- [10] Musser R O, Hum-Musser S M, Eichenseer H, Peiffe M R, Ervin G, Murphy J B, Felton G W. Herbivory: Caterpillar saliva beats plant defenses: A new weapon emerges in the co-evolutionary arms race between plants and herbivores. Nature, 2002, 416(6881): 599-600.
- [11] Musser R O, Cipollini D, Hum-Musser S M, Williams S A, Brown J K, Felton G W. Evidence that the caterpillar salivary enzyme glucose oxidase provides herbivore offense in Solanaceous plants. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2005, 58(2): 128-137.
- [12] Musser R O, Hum-Musser S M, Lee H K, DesRochers B L, Williams S A, Vogel H. Caterpillar labial saliva alters tomato plant gene expression. Journal of Chemical Ecology, 2012, 38(11): 1387-1404.
- [13] Bede J C, Musser R O, Felton G W, Korth K L. Caterpillar herbivory and salivary enzymes decrease transcript levels of *Medicago truncatula* genes encoding early enzymes in terpenoid biosynthesis. Plant Molecular Biology, 2006, 60(4): 519-531.
- [14] Hu Y H, Leung D W M, Kang L, Wang C Z. Diet factors responsible for the change of the glucose oxidase activity in labial salivary glands of *Helicoverpa armigera*. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2008, 68(2): 113-121.
- [15] Peiffer M, Felton G W. The host plant as a factor in the synthesis and secretion of salivary glucose oxidase in larval *Helicoverpa zea*. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2005, 58(2): 106-113.
- [16] Ferry N, Edwards M G, Gatehouse J A, Gatehouse A M R. Plant-insect interactions: molecular approaches to insect resistance. Current Opinion in Biotechnology, 2004, 15(2): 155-161.
- [17] Roda A L, Baldwin I T. Molecular technology reveals how the induced direct defenses of plants work. Basic and Applied Ecology, 2003, 4(1): 15-26.
- [18] Eichenseer H, Mathews M C, Powell J S, Felton G W. Survey of a salivary effector in caterpillars: glucose oxidase variation and correlation with host range. Journal of Chemical Ecology, 2010, 36(8): 885-897.
- [19] Babic B, Poisson A, Darwish S, Lacasse J, Merckx-Jacques M, Despland E, Bede J C. Influence of dietary nutritional composition on caterpillar salivary enzyme activity. Journal of Insect Physiology, 2008, 54(1): 286-296.
- [20] Diezel C, Von Dahl C, Gaquerel E, Baldwin I T. Different lepidopteran elicitors account for cross-talk in herbivory-induced phytohormone signaling. Plant Physiology, 2009, 150(3): 1576-1586.
- [21] Elser J J, Watts T, Bitler B, Markow T A. Ontogenetic coupling of growth rate with RNA and P contents in five species of *Drosophila*. Functional Ecology, 2006, 20(5): 846-856.
- [22] Kyle M, Watts T, Schade J, Elser J J. A microfluorometric method for quantifying RNA and DNA in terrestrial insects. Journal of Insect Science,

2003, 3(1): 1-7.

- [23] 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.
- [24] Bergmeyer H U, Gawehn K, Grassl M. *Methods of Enzymatic Analysis*. 2nd ed. Vol. 1. New York: Academic Press, 1974: 457-458.
- [25] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72(7): 248-254.
- [26] Martin D, Tholl D, Gershenzon J, Bohlmann J. Methyl jasmonate induces traumatic resin ducts, Terpenoid resin biosynthesis, and terpenoid accumulation in developing Xylem of Norway spruce stems. *Plant Physiology*, 2002, 129(3): 1003-1018.
- [27] Byun-McKay A, Godard K A, Toudefallah M, Martin D M, Alfaro R, King J, Bohlmann J, Aine L. Wound-induced terpene synthase gene expression in Sitka spruce that exhibit resistance or susceptibility to attack by the white pine weevil. *Plant Physiology*, 2006, 140(3): 1009-1021.
- [28] Martin D, Fäldt J, Bohlmann J. Functional characterization of nine Norway spruce TPS genes and evolution of Gymnosperm terpene synthases of the *TPS-d* subfamily. *Plant Physiology*, 2004, 135(4): 1908-1927.

参考文献:

- [1] 李新岗. 油松球果害虫的危害机理研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(2): 78-82.
- [2] 李新岗, 刘惠霞, 刘拉平, 马养民. 影响松果梢斑螟寄主选择的植物挥发物成分研究. 林业科学, 2006, 42(6): 71-78.
- [3] 李新岗, 刘惠霞, 侯慧波, 高文海. 油松球果对外源茉莉酸甲酯和虫害诱导的生化反应. 林业科学, 2007, 43(3): 66-72.
- [4] 李新岗, 杨立军, 刘拉平, 刘惠霞. 松果梢斑螟成虫的寄主选择. 林业科学, 2009, 45(2): 75-81.
- [5] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)
- Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)
- Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

- Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)
- Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)
- Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)
- Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)
- Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)
- Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

- Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)
- Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)
- The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)
- Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)
- The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)
- Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)
- The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)
- Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)

Resource and Industrial Ecology

- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)

Urban, Rural and Social Ecology

- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)

Research Notes

- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《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 丁 平

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 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 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