

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

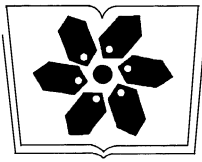
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **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 4 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例 林川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林生,顾继光,等 (1186)
- 菹草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王芸,欧阳志云,郑华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 赞,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

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/stxb201204200570

刘金龙, 荆小院, 杨美红, 宗世祥, 骆有庆, 范丽华, 刘红霞, 张金桐. 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律. 生态学报, 2013, 33(4): 1126-1133.

Liu J L, Jing X Y, Yang M H, Zong S X, Luo Y Q, Fan L H, Liu H X, Zhang J T. Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1126-1133.

六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律

刘金龙¹, 荆小院¹, 杨美红¹, 宗世祥², 骆有庆², 范丽华¹, 刘红霞¹, 张金桐^{1,*}

(1. 山西农业大学化学生态研究所, 太谷 030801; 2. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 六星黑点豹蠹蛾 *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) 是一种重要的园林害虫。为研究利用其性信息素防控六星黑点豹蠹蛾, 在光周期 L:D = 14:10、温度 19—32℃、相对湿度 75%—85% 条件下, 对雌蛾求偶行为进行了观察; 采用腺体提取法和瓶内收集法分别制备了不同日龄在同一时辰、同日龄在不同时辰的雌性性信息素粗提物, 然后测定雄蛾触角对各种性信息素提取物的触角电位反应; 以雄蛾对腺体提取物的 EAG 值表示性信息素的产生量, 对瓶内收集物的 EAG 值表示释放量, 检测性信息素产生与释放的时辰节律。结果表明: 雌蛾求偶均发生在暗期; 雌蛾求偶率与日龄有关, 其中 2 日龄雌蛾求偶率最高, 平均为 86.7%; 不同日龄雌蛾求偶高峰期均在进入暗期 4—6h 期间; 随着虫龄的增加, 求偶高峰期前移。雌蛾羽化当晚体内即可产生性信息素, 并且向体外释放, 但量较少; 2 日龄雌蛾产生和释放的性信息素量最大; 雌蛾腺体中性信息素含量从进入暗期后逐渐增加, 在暗期 5h 含量最高, 随后逐渐减少; 雌蛾释放性信息素从暗期 4h 开始, 至暗期 6h 释放量最大。通过林间处女雌蛾诱捕试验证明了六星黑点豹蠹蛾的求偶行为与性信息素产生和释放在时辰节律上具有一致性。

关键词: 六星黑点豹蠹蛾; 求偶行为; 性信息素; 产生与释放; 时辰节律

Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae)

LIU Jinlong¹, JING Xiaoyuan¹, YANG Meihong¹, ZONG Shixiang², LUO Youqing², FAN Lihua¹, LIU Hongxia¹, ZHANG Jintong^{1,*}

1 Institute of Chemical Ecology, Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi 030801, China

2 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) is one of the most damaging pests on forestry in northern China in recent years. Because its larvae cause damage by tunneling into tree trunks, it is very difficult to control by cutting off the damaged branches or applying insecticides. In order to find a pollution-free and efficient controlling method, we have already begun a series of studies on the sex pheromone of the pest. It is necessary to know the character of calling behavior and the circadian rhythm of sex pheromone production and release by female *Z. leuconotum*.

In this paper, the female moth calling behavior and characters were investigated through observation in the insectariums under the condition of (19—32)℃, 75%—85% RH and 14L:10D photoperiod. And the circadian rhythm of sex pheromone production and release by the female moth was researched in detail by determining the electrophysiological (EAG) responses. The crude extracts of sexual pheromone were prepared by the two methods. One of the methods was to

基金项目: 山西省自然科学基金项目(2010011042-2); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD19B07)

收稿日期: 2012-04-20; 修订日期: 2012-10-23

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

directly extract pheromone from female sexual gland by hexane, and another was to collect pheromone from air in the bottle which filled with a female moth. The Former reflected the sex pheromone production, and the latter reflected the sex pheromone release.

The results showed that the calling behavior of all female moths occurred during the scotophase. Some females (43.3%) called on the first night after eclosion and called mainly during the second half of the scotophase. Calling varied with age of female. The percentage of females calling increased from 1 to 2-d-old and decreased from 3 to 6-d-old gradually. The percentage of 2-d-old females calling was the biggest (86.7%, average), significantly bigger than 1 or 4, 5, 6-d-old females ($P < 0.05$). The old females (5 to 6-d-old) called earlier than younger in the scotophase. The calling peak occurred in 4–6 h of scotophase.

The EAG response of males to different extracts reflected that only a few females could produce and release sex pheromone on the first night after eclosion. The sex pheromone production and release of females varied with age, which regulation was the same as that of calling. The sex pheromone production and release of 2-d-old females were the highest, significantly higher than those of other age females ($P < 0.05$). The sex pheromone production of the female gland increased with the time into scotophase, but very slowly from the onset to 4 h, and sharply from 4 to 5 h, and peaked. After the peak, the production decreased greatly during 6 to 8 h. At 4 h into scotophase, sex pheromone release began to increase, and quickly reached the peak. In a word, there was a circadian rhythm in the production and release of sex pheromone by *Z. leuconotum*. The peak of production occurred on 5 h into scotophase, but that of release occurred on 6 h of entering scotophase.

In the field test, it was found that the percentage of males trapped by using 2-d-old virgin females had the same regularity as mentioned above. Therefore, it was confirmed that the calling behavior, sex pheromone production and release of *Z. leuconotum* were synchronized.

Key Words: *Zeuzera leuconotum* Butler; calling behavior; sex pheromone; circadian rhythm; production and release

六星黑点豹蠹蛾 *Zeuzera leuconotum* Butler 是一种重要的园林害虫^[1], 俗称截杆虫。主要危害花灌木和乔木的枝梢, 可造成林木死亡^[2], 严重影响园林绿化效果。许多昆虫的发育、行为和代谢均受时辰节律的控制^[3], 与其内分泌系统有关^[4-7], 其中昆虫性信息素的产生和释放是昆虫繁殖过程中产生性行为的重要环节, 因此研究其时辰节律对于性信息素的提取和鉴定有重要的参考价值, 也是利用其性信息素监测和防治害虫研究中的重要内容。目前, 关于六星黑点豹蠹蛾的性信息素产生与释放的时辰节律尚未见报道, 近年来, 作者对其生殖行为进行了全面观察^[8], 并利用腺体提取, 瓶内收集、触角电位技术以及林间处女蛾引诱试验等方法, 对六星黑点豹蠹蛾产生和释放性信息素的时辰节律进行了研究, 为进一步开展性信息素化学组分的提取、鉴定, 以及应用研究奠定了基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

六星黑点豹蠹蛾的老熟幼虫和蛹采自山东东营市黄河路两旁绿化带白蜡树。剪下白蜡树受害枝条, 保留长度为 30—60 cm 的有虫树枝, 带回养虫室 (2 m × 2.5 m × 2 m), 绑缚于横挂的铁丝上, 模拟树体状态饲养, 养虫室光周期 L:D = 14:10, 光期 5:00 开始, 19:00 结束, 温度 19—32℃, 相对湿度 75%—85%, 保持自然通风, 待其羽化, 鉴别雌雄后分别置于养虫笼 (50 cm × 50 cm × 60 cm), 保证雌蛾全部为处女蛾, 并且明确虫龄 (成虫羽化后至第 1 个暗期结束视为 1 日龄)。

1.2 六星黑点豹蠹蛾求偶行为及其时辰节律的观察

在自然条件下的养虫室内, 将 10 头同日龄处女雌蛾放养于同一纱罩养虫笼 (80 cm × 80 cm × 80 cm) 中, 笼内置插在水瓶中的新鲜白蜡树枝, 底部铺一层白蜡树叶, 供雌蛾飞舞或爬行, 观察雌蛾的求偶行为及其时辰节

律。据观察,六星黑点豹蠹蛾交配均在暗期^[8],故只在暗期观察和记录雌蛾求偶情况,以红色灯为观察光源。重复3次。在暗期每隔1h观察1次,连续观察6d,记录求偶头数,按每2h的求偶率进行统计分析。

1.3 性信息素产生与释放时辰节律的测定

利用雄蛾的触角电位反应(EAG)检测雌蛾性信息素产生和释放的时辰节律。性信息素提取物的制备分为腺体提取和瓶内收集两种方法。以雄蛾对腺体提取物的EAG值表示性信息素的产生量;对瓶内收集物的EAG值表示性信息素的释放量。

1.3.1 腺体提取

通过对雌蛾腹尖的扫描电镜与组织切片的观察,得知其性信息素分泌腺位于第8—9腹节之间的节间膜上。根据其生殖行为特征^[8],六星黑点豹蠹蛾在进入暗期5—8h交配率最高,故选择在暗期5h提取其腺体。提取时,用手轻轻挤压雌蛾腹部,待其第8—9腹节完全伸出腹尖,用眼科手术剪快速剪下,放入5mL的具塞尖底试管中,加入0.5mL重蒸正己烷,盖紧瓶塞,室温下浸泡1h后,抽取提取液并转移至样品管中,密封,置于冰箱内(-4℃以下)贮存备用。

1.3.2 瓶内收集

参照张金桐^[9]和李连昌^[10]报道的方法收集雌蛾释放的性信息素。将不同处理下的处女雌蛾放入具磨口玻璃塞的25 mL洁净干燥的鸡心瓶中,1瓶1虫,瓶塞与磨口之间加一细铜丝,既可保障瓶内雌蛾正常呼吸,又可防止瓶中雌蛾释放的性信息素向外扩散。按照实验设计要求,在不同的时辰将鸡心瓶从培养条件下取出,立刻放入冰箱(-10℃),冷冻15min,小心取出雌蛾,向瓶内加入2mL重蒸正己烷,加塞后反复摇动,以便将瓶壁上和空气中的性信息素充分洗脱。每一处理,重复5头雌蛾。合并收集液,经氮吹浓缩至一定体积后转移到样品管中,密封,置于冰箱内(-4℃以下)贮存备用。

1.3.3 触角电位测定

触角电位测定仪由荷兰Syntech公司生产。测定条件:连续气体流量为124mL/min,刺激气体流量为20mL/min,刺激时间为0.1s,刺激间隔60s。

参照张金桐报道的方法^[9],取2日龄未交配雄蛾,将触角从基部剪下,用刀片去掉触角两端的角质层后,用Beadle-Ephrussi生理液将其两端湿润,分别与参比电极和记录电极相连,使电路导通,微调触角与电极之间的连接使基线平稳,即可开始测定。先将滤纸条(2cm×0.5cm)纵折一下,部分插入巴斯德管端口,用微量注射器吸取一定量待测试液,滴在滤纸条上,待溶剂挥发后将其完全推入,进行触角电位测定。

测定时,各处理提取液的测定顺序是随机的。为消除触角因适应而导致的偏差,在每一样品测定前后,均以20μL正己烷为空白对照,分别测量空白值,取其平均值为该样品的平均空白值,以样品的平均反应值减去平均空白值,得触角对样品的绝对反应值。样品均在同一根触角上平行测定3次,计算测定的平均值。每只雄蛾只取用1根触角。共测试6根触角为重复,进行统计分析。

1.3.4 雄蛾对不同性信息素浓度的反应曲线的测定

按1.3.1方法,选取20头处女雌蛾,将腺体依次剪下,置于5mL具塞尖底试管中,加入1mL重蒸正己烷浸泡1h后,抽取750μL提取液于另一试管,氮吹浓缩至300μL,得浓度为1FE/20μL(FE: female equivalent, 雌当量)正己烷溶液。以此为母液分别配制10, 1, 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵FE/20μL的样品溶液,其中10FE/20μL是将200μL母液氮吹浓缩至20μL制成。以20μL正己烷为对照,按照浓度由低到高的顺序进行触角电位测定。

1.3.5 性信息素产生与释放的日动态规律

通过检测不同日龄处女雌蛾进入暗期后5h所产生和释放的性信息素量来确定日动态节律。腺体提取时,以100μL正己烷提取5头同一日龄雌蛾的腺体,得浓度为1FE/20μL的性信息素提取液。同时取5头处女雌蛾分别进行单虫瓶内收集,亦制备成1FE/20μL的性信息素收集液。每个处理重复3次。以正己烷为对照。

1.3.6 性信息素产生与释放的时辰节律

通过检测 2 日龄处女雌蛾在不同时辰所产生和释放的性信息素量来确定时辰节律。分别于光期 2, 6, 10, 14h 和暗期 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9h 选取 5 头 2 日龄处女雌蛾进行腺体提取, 同上制备成 1FE/20 μ L 的性信息素提取液。同时在各个时辰选取 5 头雌蛾分别进行单虫瓶内收集, 同上制备成 1FE/20 μ L 的性信息素收集液。每个处理重复 3 次。以正己烷为对照。

1.4 林间处女蛾诱蛾试验

在山东东营市黄河路绿化带进行林间诱蛾试验。采用三角形诱捕器(黑色塑料瓦楞板制成, 截面 30cm $\times$ 30cm $\times$ 30cm, 棱长 40cm), 将涂有粘虫胶的蜡纸板插入诱捕器内。将 1 头 2 日龄处女雌蛾装入自制小纱笼(5cm $\times$ 5cm $\times$ 5cm)内, 由细铁丝从诱捕器上棱中间垂下, 距粘胶面约 2cm。诱捕器悬挂在白蜡树枝上, 距地面 3—4m, 以仅有粘虫胶板的诱捕器为对照, 设 3 个重复, 诱捕器间距 20m 以上, 随机顺序布置。每 2h 记录 1 次所诱捕的雄蛾数量, 计算占全天诱蛾总量的百分率, 并统计分析。

1.5 数据分析

数据采用 SPSS17.0 统计软件中单因素方差分析(One-Way ANOVA)进行分析处理, 用 Duncan 法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 六星黑点豹蠹蛾求偶行为及其时辰节律

2.1.1 雌蛾的求偶行为

经过林间及观测笼内的观察, 六星黑点豹蠹蛾于暗期进行求偶和交配活动, 其余时间在树干或树枝隐蔽处静伏。静伏时, 雌蛾翅呈屋脊状覆盖于腹部, 腹尖偶尔套缩于第 7 腹节内, 而大部分时间腹尖暴露于体外。在暗期 5—7h, 雌蛾出现求偶行为, 求偶过程表现为: 雌蛾由静伏变为在枝干上四处爬动, 两翅微向两侧外伸且伴随轻微振动; 爬行片刻后, 两翅振动速度明显加快, 但不起飞, 爬行范围也逐渐减小, 腹部末端翘起, 第 8 腹节和产卵器伸直; 原地剧烈振翅, 第 8—9 腹节继续伸直, 最终向上翘起或左右摆动, 第 8—9 腹节节间膜已完全伸展, 若无干扰或交配, 可保持 30min 左右。在此期间, 被隔离的雄蛾表现为: 触角竖立, 腹部摆动, 或迅速爬行, 或定向飞往雌蛾, 在雌蛾周围振翅、爬行, 腹部侧向左右弯曲, 不时伸出抱握器, 作出企图交配的姿态。表明求偶是雌性成虫的一种自发性行为, 也是完成其生殖交配的必需过程, 同时求偶也具有一定的时间性。因此本研究以腹部上翘、产卵器伸直并伴随着振翅作为标准, 判断雌蛾是否求偶。

2.1.2 六星黑点豹蠹蛾日龄与求偶率的关系

在自然条件下的养虫室内, 不同日龄雌蛾求偶率的统计结果如图 1 所示。

可以看出, 雌蛾在羽化当天即可发生求偶行为, 求偶率为 43.3%; 2—3 日龄雌蛾求偶率最高, 分别为 86.7% 和 73.3%, 与其它日龄求偶率相比差异显著($P < 0.05$); 4 日龄求偶率明显下降, 到 6 日龄仅有 6.7% 的雌蛾出现求偶行为。表明雌蛾在羽化 1d 后达性成熟, 求偶行为在羽化后 1—3d 表现强烈, 雌蛾日龄对求偶率有影响。六星黑点豹蠹蛾雌蛾成虫期平均为 6d, 由此可推测求偶行为与雌蛾的生理活力相关, 雌蛾的发育状况是求偶行为的内在制约因子^[11]。

2.1.3 求偶行为的时辰节律

六星黑点豹蠹蛾的求偶率不仅受到日龄的影响, 而

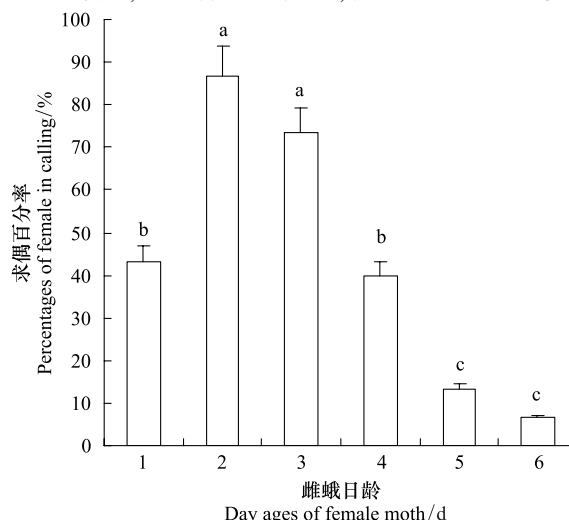


图 1 不同日龄雌蛾的求偶百分率

Fig. 1 The percentages of calling female *Z. leuconotum* of different ages

柱上方不同字母表示差异显著 Bar with different letter are of significant difference ($P < 0.05$)

且在同一天内不同时辰求偶率也不一致。经观察其求偶行为仅在暗期,而且有时辰规律,因此在暗期观察和记录各日龄处女雌蛾的求偶行为,按每 2h 的求偶率进行统计分析,分析结果列于表 1。

表 1 六星黑点豹蠹蛾雌蛾求偶行为的时辰节律
Table 1 The calling rhythm of female *Z. leuconotum*

暗期/h Scotophase	求偶百分率 Percentage of calling female/%					
	1 日龄 1 day old	2 日龄 2 day old	3 日龄 3 day old	4 日龄 4 day old	5 日龄 5 day old	6 日龄 6 day old
D 1—3	0.00±0.0b	0.00±0.0c	6.67±6.7b	3.33±3.3b	3.33±3.3a	3.33±3.3a
D 3—5	3.33±3.3ab	20.00±5.3b	16.67±6.7b	23.33±6.7ab	3.33±3.3a	3.33±3.3a
D 5—7	23.33±12.0a	53.33±3.3a	43.33±6.7a	13.33±6.7a	6.67±3.3a	0.00±0.0a
D 7—9	16.67±6.7ab	13.33±3.3b	6.67±6.7b	0.00±0.0b	0.00±0.0a	0.00±0.0a
D 9—L	0.00±0.0b	0.00±0.0c	0.00±0.0b	0.00±0.0b	0.00±0.0a	0.00±0.0a

表中数据为雌蛾求偶率的平均值±标准误,同列中不同字母表示差异显著($P<0.05$); D 1—3:暗期 1—3h; D 3—5:暗期 3—5h; D 5—7:暗期 5—7h; D 7—9:暗期 7—9h; D9—L:暗期 9h—光期

可以看出,雌蛾求偶行为最早发生在进入暗期 3h 内,主要是 3—6 日龄雌蛾;最晚发生在暗期 7—9h,主要是 1—2 日龄雌蛾;最大求偶率出现在第 2 和 3 日龄的暗期 5—7h 之间;各日龄雌蛾求偶率随时辰有所变化,从暗期开始到结束均表现为求偶率先低后高再逐渐减少的趋势,其中 1—3 日龄均在进入暗期 5—7h 期间求偶率最大,与其它时辰差异达到显著水平($P<0.05$),说明六星黑点豹蠹蛾求偶行为有一定的时辰节律。由表 1 还可以看出,求偶时间随日龄的增加逐渐提前,为进一步了解各日龄求偶时间的差异,经加权平均法计算出求偶高峰期,以进入暗期的时间(加权平均值±标准差)表示:1—6 日龄雌蛾求偶高峰期依次为(5.92±1.21)h, (5.68±2.22)h, (5.04±1.37)h, (4.79±0.68)h, (4.57±0.83)h, (4.50±0.58)h。表明,六星黑点豹蠹蛾的求偶行为存在时辰节律,而且与雌蛾日龄有关,这一点与其交配行为的时辰节律^[8]具有一致性。

2.2 性信息素产生与释放的时辰节律

2.2.1 雄蛾对性信息素提取物的 EAG 反应

以 2 日龄处女雌蛾和雄蛾为测试对象,进行触角电位测定。测得雄蛾对不同浓度性信息素分泌腺提取物的触角电位反应如图 2。

可以看出,六星黑点豹蠹蛾雄蛾对性信息素提取物有较强的触角电位反应,其中对样品溶液能产生触角电位的起始浓度为 10^{-4} FE/20 μ L,反应阈值在 10^{-4} — 10^{-2} FE/20 μ L 之间,而在 10^{-1} — 10^1 FE/20 μ L 之间触角电位反应较强,可见雄蛾触角对此浓度范围的提取物反应敏感。因此本研究选用 1FE/20 μ L 的腺体提取物作为标准刺激浓度,触角电位高于阈值,但也不太强,不会因多个样品的重复测试而引起触角敏感性降低。

2.2.2 性信息素产生与释放的日动态规律

由图 3 的触角电位测定结果可以看出,雄蛾对 1 日龄处女雌蛾的腺体提取物和瓶内收集物均有电生理反应;对 2 日龄处女雌蛾的反应最为强烈(5.1 mV, 3.9 mV),与其它日龄达差异显著水平($P<0.05$);对 3 日龄的反应也较高,但随后明显降低。结果表明:羽化当晚雌蛾体内即可产生性信息素,并向体外释放,但性信息

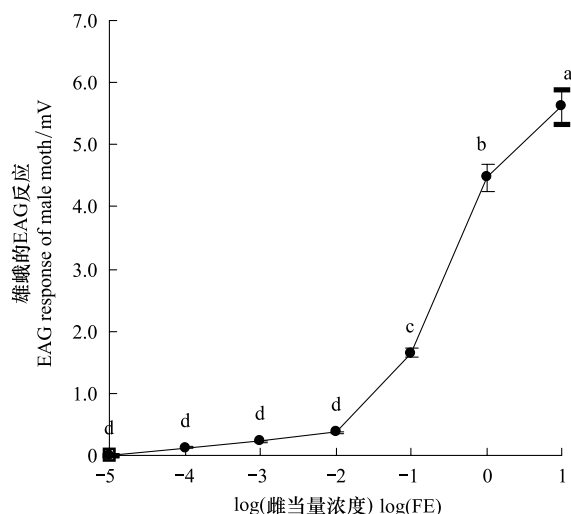


图 2 雄蛾对不同浓度性信息素粗提取物的 EAG 反应曲线

Fig. 2 EAG response (mean ± SD) of male to female sex pheromone content

数据点上方标不同字母表示差异显著; Data with different letters above are significantly different ($P<0.05$)

素量较少;羽化第2天产生和释放的性信息素量最多,以后逐日下降。这个结果与求偶率随日龄的变化规律是一致的,推测六星黑点豹蠹蛾羽化后即性成熟,在其召唤求偶时,通过释放体内产生的性信息素引诱雄蛾来完成交配行为。

2.2.3 性信息素产生与释放的时辰节律

雄蛾对不同时辰处女雌蛾的触角电位反应测试结果见图4,可以看出,雄蛾对暗期3h之前的腺体提取物反应逐渐增强,但是对瓶内收集物的反应很弱;雄蛾对暗期4h的腺体提取物反应明显增强,且对暗期5h时提取物的反应最为强烈,之后逐渐减弱。对暗期4h时瓶内收集物有反应,随后逐渐增强,而且对暗期6h时收集物的反应最为强烈,之后逐渐减弱。结果表明,雌蛾腺体中的性信息素含量从进入暗期后逐渐增加,在暗期5h时含量最大,随后逐渐减少,而雌蛾释放性信息素从暗期4h开始,至暗期6h时达到高峰,这也就说明了雌蛾腺体性信息素含量变化曲线(图4)在暗期4h时出现拐点以及从5h到9h逐渐减少的原因。由此可见,六星黑点豹蠹蛾雌蛾存在有性信息素产生和释放的时辰节律:产生量的峰值在暗期5h,而释放量的峰值在暗期6h,与求偶行为的时辰节律存在一致性。

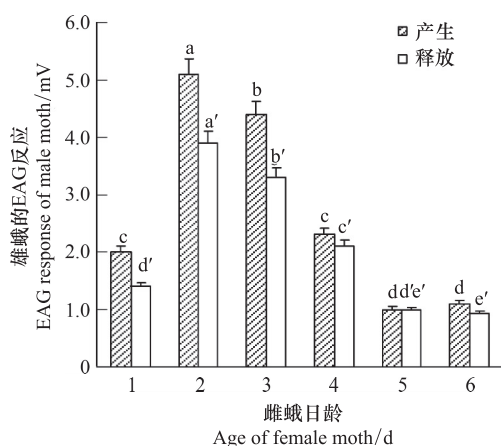


图3 雄蛾对不同日龄处女雌蛾的腺体提取物和瓶内收集物的触角电位反应(暗期5h)

Fig.3 The EAG response (mean ± SD) of male to the gland extract and collection sex pheromone of 1—6 old virgin females at the 5th hour into scotophase

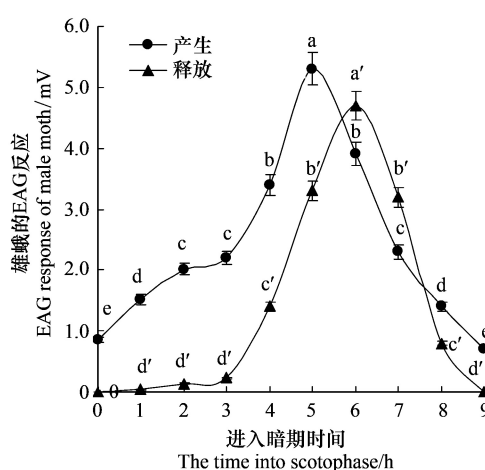


图4 六星黑点豹蠹蛾性信息素产生与释放的时辰节律(2日龄)

Fig.4 Circadian rhythm of the sex pheromone production and release(2-d-old)

2.3 林间诱捕试验结果

利用处女蛾不同时辰的诱蛾量也可以反映雌蛾释放性信息素的时辰节律。由2日龄处女雌蛾在林间不同时间的诱蛾百分率(表2)可以看出,在光期雌蛾不能诱到雄蛾,进入暗期诱蛾量逐渐增加,诱蛾高峰出现在0:00—2:00(暗期5—7h)期间。进一步证明六星黑点豹蠹蛾雌蛾产生和释放性信息素存在时辰节律,而且具有一致性。

3 结论与讨论

求偶是昆虫完成其生殖交配的必需过程,是一种自发行为,通常呈现出一定的昼夜节律性,并且这种节律受到外界因子的调节^[18]。对六星黑点豹蠹蛾求偶行为的研究表明,处女雌蛾求偶率受日龄的影响,其中2日龄雌蛾求偶率最高,平均为86.7%。同日龄雌蛾的求偶行为存在明显的时辰节律,求偶高峰期出现在进入暗期5—7h。从不同日龄求偶行为时辰节律的比较分析可知,雌蛾的求偶行为具有一定的时序性:随着虫龄的增加,其求偶时间逐渐提前,求偶高峰期前移,但求偶率逐渐减小。这一现象与其它鳞翅目昆虫,如小地老虎 *Agrotis ypsilon*^[12]、豆野螟 *Maruca vitrata*^[13]、榆木蠹蛾 *Holcocerus vicarius*^[14]、*Lonomia oblique*^[15]等的求偶行为相似,Swier认为老龄处女雌蛾通过提前求偶的时间来提高与幼龄处女蛾的竞争能力,以增加对雄蛾的引诱几

率^[16],六星黑点豹蠹蛾求偶行为也符合这种适应性的生殖策略。

表 2 2 日龄处女雌蛾在林间不同时间的诱蛾试验(山东东营,2011 年 6 月)

Table 2 Percentage of the male trapped by 2-day-old virgin female moth during different time of the day in the field (Dongying, Shandong; June, 2011)

时间 Time	单雌诱蛾量/头 Quantity of the male moth trapped by a female (mean $\pm$ SD)	诱蛾百分率/% Percentage of the male moth trapped (mean $\pm$ SD)
18:00—20:00	0.0 $\pm$ 0.0d	0.0 $\pm$ 0.0d
20:00—22:00	0.0 $\pm$ 0.0d	0.0 $\pm$ 0.0d
22:00—0:00	1.7 $\pm$ 0.6c	18.2 $\pm$ 3.9c
0:00—2:00	4.7 $\pm$ 1.2a	52.0 $\pm$ 6.7a
2:00—4:00	2.7 $\pm$ 0.6b	29.7 $\pm$ 3.2b
4:00—6:00	0.0 $\pm$ 0.0d	0.0 $\pm$ 0.0d
6:00—18:00	0.0 $\pm$ 0.0d	0.0 $\pm$ 0.0d

昆虫求偶时,通过向体外释放性信息素以引诱同种异性前去交配。许多鳞翅目昆虫性信息素的产生和释放存在时辰节律,如大袋蛾 *Clania variegata*^[19]、枣粘虫 *Ancylis sativa*^[10]、小线角木蠹蛾 *Holcocerus insularis*^[9]、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*^[21]、沙棘木蠹蛾 *Holcocerus hippophaecolus*^[20]等,这些蛾类的性信息素产生和释放仅在一天的某一个时间段。本文试验结果表明,六星黑点豹蠹蛾羽化当晚雌蛾体内即可产生性信息素,并且向体外释放,羽化第 2d 产生和释放的性信息素量最多,以后逐日下降;在一天中,雌蛾腺体中的性信息素从进入暗期后逐渐增加,在暗期 5h 时量最大,随后逐渐减少,而释放性信息素从暗期 4h 开始,至 6h 时达到高峰。处女雌蛾林间诱蛾试验表明:诱蛾高峰出现在暗期 5—7h 期间,而且 2 日龄处女雌蛾的诱蛾效果最好^[8],这些结果都验证了六星黑点豹蠹蛾性信息素的释放也存在着一定的时辰节律。

Haynes 等^[6]和 Pope 等^[22]通过对于 *Platyptilia carduidoctyla* 和 *Heliothis zea* 的生殖行为生理学的研究证实,许多昆虫的羽化、交配和性信息素的产生与释放均存在协同性。Mazor & Dunkelblum 总结了许多鳞翅目昆虫的求偶交配行为与性信息素的产生和释放的关系^[17],都表现出这些方面节律上的一致性。六星黑点豹蠹蛾雄蛾对性腺体提取和瓶内收集性信息素所产生的 EAG 反应曲线(图 4)表明,2 日龄雌蛾性信息素产生量的峰值在暗期 5 h,释放量的峰值在暗期 6h,而求偶高峰期在进入暗期 5.68h,三者之间存在着一定的一致性。性信息素的产生略提前于释放,这个结果与 Delisle 等对 *Pseudaletia unipuncta* 以及 Snir 等对 *Chrisodeixis chalcites* 的研究结果相似^[23-24],推测形成这种差异的可能原因是,雌蛾求偶行为需要体内性信息素达到一定数量才可以启动,也反映出体内合成性信息素早于求偶交配行为。

不少学者认为昆虫生殖行为的时辰节律是通过内分泌系统进行控制的^[4-7]。本研究表明,雌蛾日龄对其时辰节律均有明显的影响。由于各日龄雌蛾个体发育状况和性成熟程度不一致,可见六星黑点豹蠹蛾的时辰节律首先是由其内在的生理因素决定的。值得注意的是昆虫的行为节律也受到环境温度、光周期、湿度等生态因子的影响^[25]。一天内雌蛾求偶和性信息素产生与释放的高峰期是由时间决定,还是由光周期或温度决定,或者是由这些生态因子协同作用决定的,尚需做进一步的研究。

了解性信息素产生和释放的时辰节律,有利于把握提取性信息素的最佳时机,为性信息素的化学鉴定提供可靠依据。六星黑点豹蠹蛾求偶行为及其性信息素的产生和释放的时辰节律是其生殖行为的重要环节,也是将来利用其性信息素进行防治实践所涉及的理论基础和依据。

致谢: 在采集试验用虫和林间试验期间,山东农业大学植保学院周成刚教授和山东东营胜利油田管理局公共事业部杨玉武先生提供帮助,特此致谢。

References:

- [1] Hua B Z, Zhou Y, Fang D Q, Chen S L. Chinese Cossidae (Lepidoptera: Cossidae). Xian: Tianze Publish House, 1990: 62-64.
- [2] Yin H G, Gao P, Guo S R, Li Y, Li Z B, Dong X. Investigate of life history about *Zeuzera leuconolum* Butler Tianjin. Journal of Hebei Forest

- Science and Technology, 2009(2):16-17.
- [3] Saunderson D S. Insect Clock. New York; Pergamon, 1982: 337-364.
- [4] Smith P H. Circadian control of spontaneous flight activity in the blowfly *Lucilia cuprina*. Physiological Entomology, 1983, 8(1): 72-73.
- [5] Webster R P, Conner W E. Effects of temperature, photoperiod and light intensity on the calling rhythm in arctiid moth. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1986, 40:239-245.
- [6] Haynes K F, Gaston L K, Pope M M Baker T C. Rate and periodical of pheromone release from individual female artichoke plume moths, *Platyptilia carduidactyla* (Lepidoptera: Pterophoridae). Environmental Entomology, 1983, 12: 1597-1600.
- [7] Giehlutwicz J N, Webb R E, Rsina A K. Effect of temperature and age on daily changes in pheromone titre in laboratory reared and wild gypsy moths, *Lymantria dispar*. Environmental Entomology, 1992, 21:822-826.
- [8] Liu J L, Zong S X, Zhang J T, Jing X Y, Liu H X, Lu Y L. Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae). Acta Ecologica Sinica. 2011, 31(17): 4919-4927.
- [9] Zhang J T, Meng X Z, Sexual behavior of *Holcocerus insularis* and circadian rhythm of its sex pheromone production and release. Acta Entomologica Sinica, 2001, 44(4):428-432
- [10] Li L C, Fan Y L, Ren Z L. Study on the sexual behavior circadian rhythm of jujube leaf roller moth *Ancylis sativa* Liu. Scientia silvae sinicae, 1991, 27(2): 145-148.
- [11] Blomquist G J, Dillwith J W. Pheromones: biochemistry and physiology. In: Downer RGH, Laufer H eds. Endocrinology of Insects. New York: Alan R Liss, Incorporation, 1983: 527-542.
- [12] Xiang Y Y, Yang M F, Li Z Z. Calling behavior and rhythms of sex pheromone production in the black cutworm moth in china. Journal of Insect Behavior, 2010, 23: 35-44.
- [13] Lu P F, Qiao H L, Wang X P, Zhou X M, Wang X Q, Lei C L. Adult behavior and circadian rhythm of sex pheromone production and release of the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera:Pyralidae). Acta Entomologica Sinica, 2007, 50(4): 335-342.
- [14] Yang M H, Zhang J T, Liu J L, Jing X Y, Luo Y Q, Zong S X, Cao C J, Li Y H. Reproductive behavior and circadian rhythm of sex pheromone production and release of *Holcocerus vicarius* Walker (Lepidoptera: Cossidae). Acta Entomologica Sinica, 2010, 53(11): 1273-1280.
- [15] Zarbin P H G, Lorini L M, Ambrogio B G, Vidal D M, Lima E R. Sex pheromone of *Lonomia obliqua*: daily rhythm of production, identification, and synthesis. J Chemical Ecology, 2007, 33: 555-565.
- [16] Swier S R, Rings R W, Musick G J. Age-related calling behaviour of the black cutworm *Agrotis ipsilon*. Annals of the Entomological Society of America, 1977, 70: 919-924.
- [17] Michal Mazorl, Ezra Dunkelblum. Circadian rhythms of sexual behavior and pheromone titers of two closely related moth species: *Autographa gamma* and *Cornutiplusia*. J Chemical Ecology, 2005, 31: 2153-2168.
- [18] Giehlutwicz J, Raina A K, Uebel E C. Two step regulation of sex pheromone decline in mated gypsy moth females. Arch Insect Biochem Physiol, 1991, 16: 95-105.
- [19] Zhao B G. Circadian rhythm and endocrine control of sex pheromone secretion in *Clania variegata* Snellen (Lepidoptera: Psychidae). Acta Entomologica Sinica, 1988, 31(3): 236-242.
- [20] Zong S X, Luo Y Q, Lu C K, Xu Z C, Zhang L S. Preliminary study on biological characteristic of *Holcocerus hippophaecolus*. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(1): 79-84.
- [21] Dong S L, Du J W. Effects of experience and temperature on sex pheromone production of beet armyworm, *Spodoptera exigua*. Chinese Journal of applied ecology. 2002, 13(12):1633-1636.
- [22] Pope M M, Gaston L K, Baker T C. Composition, quantification and periodicity of sex pheromone volatiles from individual *Heliothis zea* females. Journal of Insect Physiology, 1984, 30: 943-945.
- [23] Delisle J, Mcneil J N. Calling behavior and pheromone titer of the true armyworm *Pseudaletia unipuncta* (Haw.) (Lepidoptera: Noctuidae) under different temperature and photoperiod conditions. Journal of Insect Physiology, 1987, 33: 315-324.
- [24] Snir R, Dunkelblum E, Gothilf S, Harpaz I. Sexual behavior and pheromone titer in the tomato looper, *Plusia chalcites* (Esp.) (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Insect Physiology. 1986, 32: 735-739.
- [25] McNeil J N. Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. Annual Review of Entomology, 1991, 36: 407-430.

参考文献:

- [1] 花保祯, 周尧, 方德齐, 陈树良. 中国木蠹蛾志(鳞翅目: 木蠹蛾). 西安: 天则出版社, 1990: 62-64.
- [2] 尹鸿刚, 高鹏, 郭淑荣, 李燕, 李子博, 董晓. 天津地区六星黑点豹蠹蛾生活史调查. 河北林业科技, 2009, (2): 16-17.
- [8] 刘金龙, 宗世祥, 张金桐, 荆小院, 刘红霞, 吕玉里. 六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向. 生态学报, 2011, 31(17): 4919-4927.
- [9] 张金桐, 孟佐佐. 小木蠹蛾性行为与性信息素产生与释放的时辰节律. 昆虫学报, 2001, 44(4): 428-432.
- [10] 李连昌, 樊永亮, 任自立. 枣粘虫性行为与性节律的研究. 林业科学, 1991, 27(2): 145-148.
- [13] 陆鹏飞, 乔海莉, 王小平, 周兴苗, 汪细桥, 雷朝亮. 豆野螟成虫行为学特征及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 2007, 50(4): 335-342.
- [14] 杨美红, 张金桐, 刘金龙, 荆小院, 骆有庆, 宗世祥, 曹川健, 李月华. 榆木蠹蛾成虫生殖行为及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 2010, 53(11): 1273-1280.
- [19] 赵博光. 大袋蛾性信息素分泌的时辰节律和内分泌控制. 昆虫学报, 1988, 31(3): 236-242.
- [20] 宗世祥, 骆有庆, 路常宽, 许志春, 张连生. 沙棘木蠹蛾生物学特性的初步研究. 林业科学, 2006, 42(1): 79-84.
- [21] 董双林, 杜家伟. 交配和温度对甜菜夜蛾雌性性信息素产生的影响. 应用生态学报. 2002, 13(12): 1633-1636.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《生态学报》2013 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,探索自然奥秘,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,300 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 33 卷 第 4 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 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