

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 10 期 Vol.33 No.10 **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 10 期 2013 年 5 月 (半月刊)

## 目次

### 福建长汀水土保持专题

- 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言 ..... 徐涵秋 (2945)
- 福建省长汀县河田盆地近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 ..... 徐涵秋 (2946)
- 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应 ..... 徐涵秋, 何 慧, 黄绍霖 (2954)
- 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态 ..... 何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 等 (2964)
- 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地土壤侵蚀定量研究 ..... 杨冉冉, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2974)
- 南方红壤水土流失区土地利用动态变化——以长汀河田盆地为例 ..... 林 娜, 徐涵秋, 何 慧 (2983)
- 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例 ..... 黄绍霖, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2992)
- 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变——以福建省长汀县为例 ..... 陈志强, 陈志彪 (3002)

### 前沿理论与学科综述

- 土壤有机质转化及 CO<sub>2</sub> 释放的温度效应研究进展 ..... 沈征涛, 施 斌, 王宝军, 等 (3011)
- 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展 ..... 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 等 (3020)

### 个体与基础生态

- 岩溶区不同植被下土壤水溶解无机碳含量及其稳定碳同位素组成特征 ..... 梁 轩, 汪智军, 袁道先, 等 (3031)
- 黄脊雷鳉越冬卵的滞育发育特性 ..... 朱道弘, 陈艳艳, 赵 琴 (3039)
- 香港巨牡蛎与长牡蛎种间配子兼容性 ..... 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等 (3047)

### 种群、群落和生态系统

- 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区鸟类群落结构与多样性 ..... 王 斌, 彭波涌, 李晶晶, 等 (3056)
- 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响 ..... 齐 麟, 于大炮, 周旺明, 等 (3065)
- 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性 ..... 徐宾铎, 曾慧慧, 薛 莹, 等 (3074)
- 黄河口盐地碱蓬湿地土壤-植物系统重金属污染评价 ..... 王耀平, 白军红, 肖 蓉, 等 (3083)
- 不同起始状态对草原群落恢复演替的影响 ..... 杨 晨, 王 炜, 汪诗平, 等 (3092)
- 施肥梯度对高寒草甸群落结构、功能和土壤质量的影响 ..... 王长庭, 王根绪, 刘 伟, 等 (3103)
- 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理 ..... 高福元, 赵成章 (3114)
- 藏东南色季拉山西坡土壤有机碳库研究 ..... 马和平, 郭其强, 刘合满, 等 (3122)
- 灵石山不同海拔米槠林优势种叶片  $\delta^{13}\text{C}$  值与叶属性因子的相关性 ..... 王英姿 (3129)
- 西门岛人工秋茄林恢复对大型底栖生物的影响 ..... 黄 丽, 陈少波, 仇建标, 等 (3138)
- 喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物特性对植被和坡位的响应 ..... 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 等 (3148)
- 青藏高原高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系 ..... 徐满厚, 薛 娴 (3158)

景观、区域和全球生态

近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化..... 赵 亮,刘吉平,田学智 (3169)

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析..... 陈海滨,唐海萍 (3177)

资源与产业生态

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响..... 韩迎春,王国平,范正义,等 (3185)

低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应..... 姜丽娜,杨文斌,卢 琦,等 (3192)

不同土地利用方式土下岩溶溶蚀速率及影响因素..... 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等 (3205)

农地保护的外部效益测算——选择实验法在武汉市的应用 ..... 陈 竹,鞠登平,张安录 (3213)

研究简报

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响 ..... 孙 明,董 婧,柴 雨,等 (3222)

内蒙古达赉湖西岸地区大鸕巢穴特征和巢址选择..... 张洪海,王 明,陈 磊,等 (3233)

红外相机技术在鼠类密度估算中的应用..... 章书声,鲍毅新,王艳妮,等 (3241)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 304 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-05



**封面图说:** 色季拉山的长苞冷杉和高山杜鹃林——色季拉山高海拔处的植被主要有长苞冷杉、林芝云杉和高山杜鹃等,再高海拔地区则分布有高山灌丛、草甸等。长苞冷杉为我国特有种,属松科常绿乔木,分布于西藏东南部高山地带。树高可达 40m,树皮暗褐色,针叶较短;其球果圆柱形,直立。长苞冷杉的形态独特,与分布区内多种冷杉有密切的亲缘关系,和云杉、杜鹃的分布也彼此交叠。随着色季拉山体海拔的升高,区域气候对于山地土壤从黄壤至棕色森林土、直至高山草甸土的完整发育,以及对森林生态系统类型的形成都产生直接而深刻的影响。

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/stxb201202200231

朱道弘, 陈艳艳, 赵琴. 黄脊雷莴蝗越冬卵的滞育发育特性. 生态学报, 2013, 33(10): 3039-3046.

Zhu D H, Chen Y Y, Zhao Q. The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 3039-3046.

## 黄脊雷莴蝗越冬卵的滞育发育特性

朱道弘<sup>1,2,\*</sup>, 陈艳艳<sup>1</sup>, 赵 琴<sup>3</sup>

(1. 中南林业科技大学昆虫行为与进化生态学实验室, 长沙 410004;  
2. 湖南第一师范学院动物学实验室, 长沙 410205; 3. 贺州市林业局, 贺州 542800)

**摘要:**黄脊雷莴蝗 *Rammeacris kiangsu* Tsai 是我国竹林的重要害虫, 1 年发生 1 代, 以卵越冬。为弄清其卵滞育发育特性, 调查了卵期温度及低温处理对其卵孵化的影响, 检测了恒温条件下胚胎的发育进度及卵粒含水量、过冷却点的变化。结果表明, 在不同的卵期温度条件下黄脊雷莴蝗卵的孵化前期均较长, 且孵化不整齐、孵化期间长; 低温处理 30、60 或 90 d 可显著促进其卵的孵化, 低温处理的时间越长效果越明显。说明黄脊雷莴蝗的卵存在滞育现象, 低温能明显降低其卵滞育强度。胚胎头幅、触角长度及体长的测量结果显示, 25 °C 温度条件下的黄脊雷莴蝗的胚胎发育可划分为 3 个阶段, 即前期的持续发育阶段、中期的发育延迟阶段和后期的发育恢复阶段。产卵后 40 d 左右卵进入滞育, 40—75 d 为卵的深度滞育期。黄脊雷莴蝗的卵粒产下后水分含量较低, 在 25 °C 的温度条件下, 于产卵后 25 d 前后有一快速的吸水过程, 其后卵粒的含水量增加缓慢, 可见其卵粒的吸水发生在进入滞育状态之前。在 25 °C 的条件下, 黄脊雷莴蝗卵粒过冷却点的变化亦包含 3 个阶段, 即胚胎发育初期的较高阶段、中期持续而稳定的较低阶段及后期的提升阶段, 可以认为黄脊雷莴蝗越冬卵耐寒性的提高与其滞育的发生密切相关。

**关键词:**卵滞育; 低温处理; 胚胎发育; 过冷却点; 黄脊雷莴蝗

## The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae)

ZHU Daohong<sup>1,2,\*</sup>, CHEN Yanyan<sup>1</sup>, ZHAO Qin<sup>3</sup>

1 Laboratory of Insect Behavior & Evolutionary Ecology, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China

2 Laboratory of Zoology, Hunan First Normal University, Changsha 410205, China

3 Hezhou Forestry Bureau, Hezhou 542800, China

**Abstract:** The bamboo grasshopper, *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae), is an important pest attacking various species of bamboos including *Phyllostachys pubescens* and *Bambusa textilis*. It is widely distributed in many provinces of China, including Jiangsu, Zhejiang, Anhui, Sichuan, Hubei, Hunan, Fujian, Guangdong and several others. It is known to be univoltine across its range of distribution and overwinters as eggs. In this article, we investigated the characteristics of its diapause development, including effects of constant temperatures and low-temperature treatments on egg hatching, and embryonic development, water content, supercooling point of the eggs. The results showed that the species has a prolonged pre-hatching period of eggs and an irregular hatching under different constant temperatures. Chilling at 8 °C for 30, 60, or 90 days had an increasingly evident effect promoting egg development, resulting in increasingly shorter pre-hatching period of eggs. These results indicated that egg diapause occurred in *R. kiangsu* and low temperature could decrease the intensity of diapause. When egg pods produced by adults reared in wood-framed cages at 25 °C and LD 16: 8 h in a greenhouse were incubated at 25 °C, the embryos showed continuous development, as measured by embryonic

基金项目: 科技部科技合作与交流项目 (2009FDA32930)

收稿日期: 2012-02-20; 修订日期: 2012-06-14

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: daohongzhu@yeah.net

head width, antennae and body length, within the first 40 days, followed by a period of obvious developmental stagnation, and resumed from about day 80 after deposition. The results suggested that the embryonic development *R. kiangsu* could be divided into three stages, *i. e.* pre-diapause developmental stage, diapause stage and post-diapause developmental stage under 25°C. Eggs entered diapause about 40 days after deposition and reached a deep-diapause stage from 40 to 75 days. The eggs had very low water content immediately after spawning, experienced a quick water absorption period about 25 days after deposition, and showed no obvious water content increase subsequently, indicating water absorption of eggs takes place before diapause. The supercooling point varied depending on the developmental stages of the eggs, being about -20°C in pre-diapause developmental stage, decreasing remarkably in diapause stage, and resuming in post-diapause stage, suggesting that cold tolerance of overwintering eggs was closely related to diapause in *R. kiangsu*.

**Key Words:** egg diapause; chilling; embryonic development; supercooling point; *Rammeacris kiangsu*

黄脊雷菴蝗 *Rammeacris kiangsu* Tsai 属直翅目 (Orthoptera) 网翅蝗科 (Arcypteridae) 竹蝗亚科 (Ceracrinae) 雷菴蝗属 *Rammeacris* Willemse, 该属仅已知 2 种, 分布于我国和缅甸<sup>[1]</sup>。Tsai 曾将黄脊雷菴蝗归为竹蝗属, 并命名为黄脊竹蝗 *Ceravris Kiangsu* Tsai<sup>[2]</sup>。Willemse 根据形态特征, 认为应将其归入雷菴蝗属 *Rammeacris* Willemse<sup>[3]</sup>。郑哲民和夏凯龄将其移至该属, 并更名为黄脊雷菴蝗 *Rammeacris kiangsu* Tsai<sup>[1]</sup>。黄脊雷菴蝗分布于江苏、浙江、安徽、四川、重庆、湖北、湖南、江西、广东、广西、福建、云南等省, 主要危害毛竹 *Phyllostachys pubescens*、青皮竹 *Bambusa textilis* 等, 是我国的重要森林害虫, 给竹业生产造成严重的危害<sup>[1, 4-5]</sup>。

滞育是昆虫应对环境条件季节性变化的一种“时间逃避”的适应策略, 在昆虫生活史中具有重要的进化意义。一些昆虫进行兼性滞育, 在适宜的条件下可连续发育一至数代, 而在不宜的条件下进入滞育; 也有一些昆虫对周期性变化的环境形成了高度的适应, 完全失去了季节节律调控的可塑性, 每一世代的特定虫期均进入滞育, 为专性滞育<sup>[6-10]</sup>。滞育可发生在卵期、幼虫期、蛹期或成虫期, 卵滞育表现为卵产下后在胚胎期的某个发育阶段的发育停滞, 而进入延期发育阶段, 或称为滞育发育阶段, 这种发育停滞通常是昆虫对母代成虫期或卵期环境条件的反应<sup>[11-13]</sup>。虽然也有一些分布于温带和亚热带的蝗虫种类以滞育成虫越冬, 如 *Nomadacris succincta* 和 *Nomadacris japonica*<sup>[14]</sup>, 长角直斑腿蝗 *Stenocatantops splendens*<sup>[15]</sup>, 但多数种类以滞育卵越冬, 如中华稻蝗 *Oxya chinensis*<sup>[16-17]</sup>, 飞蝗 *Locusta migratoria*<sup>[18]</sup>。

黄脊雷菴蝗在其分布区域均 1a 发生 1 代, 以卵在 1—2 cm 深的土表下越冬<sup>[4-5]</sup>。在湖南黄脊雷菴蝗一般成虫于 8—9 月产卵, 翌年 5—6 月若虫孵化, 卵期长达 8 个月以上<sup>[4]</sup>。虽然其生物学及防治技术等已有大量的研究, 但尚未见有关其胚胎发育及卵滞育特性的报道。本文调查了黄脊雷菴蝗卵期温度及低温处理对其卵孵化的影响, 检测了恒温条件下胚胎的发育进度及卵粒含水量、过冷却点的变化, 以期弄清其卵滞育发育特性。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验昆虫与饲养方法

黄脊雷菴蝗的卵块于 2005 年 3 月采自湖南桃江 (28.5°N, 112.1°E), 其孵化若虫置于养虫笼 (长×宽×高: 30 cm×22 cm×30 cm) 内 (60 头/笼), 于温度为 (25±1) °C、光周期为 LD 16: 8 h 的人工气候室 (宁波江南仪器厂, GX-HE302-300) 饲养, 以栽培的扁穗雀麦 *Bromus catharticus* Vahl. 和毛竹的叶片饲养。扁穗雀麦和毛竹枝条插入盛水的广口瓶 (100 mL), 隔日更换 1 次。成虫羽化后于相同条件下集团饲养 (20—30 对/笼), 并于养虫笼内放置盛有消毒后河沙的塑料盒 (直径 16 cm, 高 9 cm) 供成虫产卵。更换饲料时收集所产卵块, 获得的卵块作为后续实验的虫源。

### 1.2 不同温度条件下黄脊雷菴蝗卵的孵化及低温对其孵化的影响

将黄脊雷菴蝗 45 卵块分为 3 组, 产卵当日以卵块为单位转移至垫放有脱脂棉和滤纸的培养皿 (直径 9 cm) 内, 分别置于 20、25 °C 和 30 °C 的光照培养箱 (韶关科力实验仪器厂, PYX2250G2C) 内, 定期用洗瓶加水,

以保持卵块的湿度。每日检查 1 次卵的孵化情况,直至产卵后 210 d,获得不同温度条件下的孵化曲线。

为调查低温对黄脊雷菟蝗卵孵化的影响,获得的卵块于 25 ℃ 保存 30 d 后,转移至 8 ℃ 的培养箱内,低温处理 30、60、90 d,然后,再转移至 25 ℃。每日检查孵化情况,观察周期为转移至 25 ℃ 后 100 d。

### 1.3 母代光周期和温度对黄脊雷菟蝗卵滞育的影响

将黄脊雷菟蝗的若虫和成虫置于(1)温度为 25 ℃,光周期为 LD 16:8 h 或 LD 12:12 h;(2)光周期为 LD 12:12 h,温度为 25 ℃ 或 30 ℃ 的条件下按 1.1 的方法饲养,收集成虫所产卵块。将获得的卵块置于 25 ℃ 的温度条件下,每日检查卵的孵化情况,调查母代光周期和温度对其卵滞育的影响。

### 1.4 黄脊雷菟蝗胚胎的发育进度

产卵当日将卵块置于 25 ℃ 的温度条件下,每隔 5 日从不同卵块随机剥离卵粒 20 粒,以沸腾的 Bouin 液固定 24 h 后,以 50% 的  $C_2H_5OH$  洗涤 3 次,于 70% 的  $C_2H_5OH$  中保存。取固定好的卵粒于脱壳液(80% 的  $C_2H_5OH$  10 mL, KOH 2 g, 30% 的  $H_2O_2$  3 mL)内浸泡 3—4 min,再以 80% 的  $C_2H_5OH$  洗涤,于体视显微镜(Olympus, Japan, SZX-7)下用解剖针仔细去除卵壳和细胞基质,获得的胚胎以酒精硼砂洋红染色。取染色后的胚胎于体视显微镜下分别测量胚胎的头幅(两复眼间距离)、触角长度及胚胎体长。

### 1.5 黄脊雷菟蝗卵鲜质量和相对含水量的测定

每隔 5 d 自产卵后保存于 25 ℃ 的不同的卵块随机选取卵粒 60 粒,室温风干卵粒表面的水分后,以 10 粒卵为一组用电子天平(Mettler-Toledo Group, Switzerland, 0.1 mg)称其鲜质量。然后,将卵粒放入塑料离心管(1.5 mL)中,以数显鼓风干燥箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂, GZX-9240MBE)95 ℃ 烘干 12 h。待干燥箱内温度降至室温后,取出卵粒用电子天平称其干质量,计算相对含水量,相对含水量 = [(鲜质量 - 干质量) / 鲜质量] × 100%。每组 6 个重复。

### 1.6 黄脊雷菟蝗卵过冷却点的测定

卵块产下后置于 25 ℃ 的温度条件下,每隔 10 d 自不同的卵块中取出卵粒 30 粒,利用热敏电阻测温探头(江苏森意经济发展有限公司, E 型)测定卵粒的过冷却点。测定方法:将单个卵粒固定于热敏测温探头上,置于低温冰箱((-28±0.5) ℃)内,冰箱内温度以约 1 ℃/min 的速度下降,卵粒温度的变化导致探头电阻值随之变化,而获得变化的电压降,经过冷却点测定仪采集数据,计算机自动记录卵粒的温度变化,获得其过冷却点数据。

### 1.7 数据的统计分析

对各处理孵化前期的数据分析采用 *t* 检验(Student's *t* Test);对胚胎头幅、触角长度和体长,卵粒含水量和鲜质量,卵粒的过冷却点的数据采用 StatView 6.0 软件分别进行 Tukey-Kramer 多重比较。

## 2 结果与分析

黄脊雷菟蝗的卵块于产卵当日置于不同的温度条件下,温度为 20 ℃ 时于产卵后 156 d 开始出现若虫孵化,其后若虫孵化断断续续,在 210 d 的观察周期内孵化率为 77.9%;温度为 25 ℃ 时,产卵后 97 d 开始孵化,孵化缓慢且不整齐,至 173 d 孵化率为 92.5%,其后未见若虫孵化;在 30 ℃ 的温度条件下,产卵后 72 d 开始孵化,至 93 d 孵化率为 66.0%,未孵化的卵粒经解剖均已死亡(图 1)。在 3 个温度条件下,特别是 20 ℃ 和 25 ℃ 的温度下,卵的孵化前期长,且若虫孵化不整齐,孵化期间长,可以认为黄脊雷菟蝗存在卵滞育现象。

为了检测低温对黄脊雷菟蝗卵孵化的影响,将其卵块于 25 ℃ 保存 30 d 后,转移至 8 ℃ 低温处理 30、60 或 90 d,再于 25 ℃ 加温,其孵化率如图 2 所示。低温处理 30 d 时,转移至 25 ℃ 后 48 d 开始孵化,其后若虫孵化虽然断断续续,但至转移后 85 d 孵化率达 92.5%;低温处理 60 d 时,转移后 29 d 开始孵化,至 95 d 孵化率为 79.5%;低温处理 90 d 时,转移后 27 d 开始孵化,若虫孵化快速而集中,至 39 d 孵化率即达 83.8%(图 2)。低温处理 30、60、90 d,卵的孵化前期分别为(70.7±7.2), (53.9±17.2) 和 (31.9±2.7) d(平均±SD),即使包含低温处理前的 25 ℃ 预处理的 30 d,其孵化卵的孵化前期亦显著短于图 1 中 25 ℃ 下的孵化前期(124.0 ± 20.4) (*t*-test, 各自 *P*<0.001)(图 1,图 2)。可见低温处理可显著促进黄脊雷菟蝗卵的孵化,更清晰地证实了

其存在卵滞育现象;8℃处理30 d即可明显降低其卵滞育强度,低温处理的时间越长滞育解除的效果越明显,8℃处理90 d可基本解除其滞育。

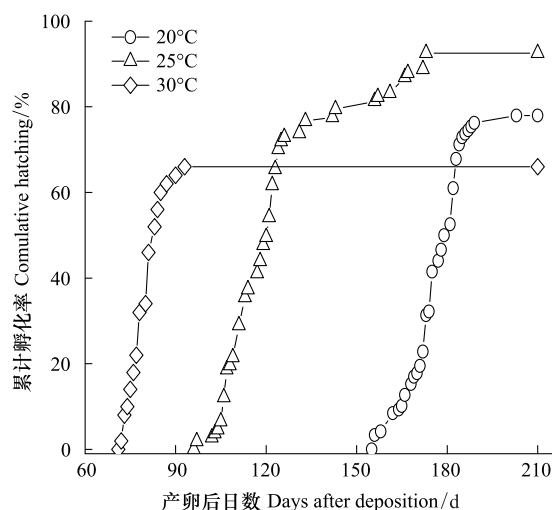


图1 20℃、25℃和30℃温度条件下黄脊雷菟蝗卵的孵化

Fig.1 Egg hatching at 20℃, 25℃, and 30℃ in *Rammeacris kiangsu*

N=156—229

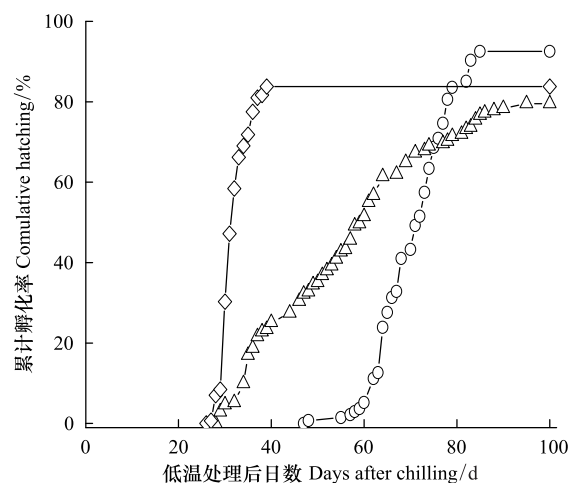


图2 黄脊雷菟蝗卵低温处理(8℃)处理30 d(圆圈)、60 d(三角)和90 d(菱形)后25℃温度下的孵化率

Fig.2 Egg hatching of *Rammeacris kiangsu* incubated at 25℃ after chilling at 8℃ for 30 days (circles), 60 days (triangles), and 90 days (diamonds)

N=108—230

## 2.2 母代光周期和温度对黄脊雷菟蝗卵滞育的影响

若虫和成虫于温度为25℃,光周期为LD 16:8 h或LD 12:12 h的条件下饲养,其所产卵的孵化如图3所示。在长日条件(LD 16:8 h)和短日条件(LD 12:12 h)下,分别于产卵后98 d和97 d开始孵化,在150 d的观察周期内其孵化率分别为81.8%和79.4%,孵化卵粒的孵化前期分别为 $(118.4 \pm 10.9)$ 和 $(116.4 \pm 9.5)$  d,不存在显著差异( $t$ -test,  $P > 0.05$ )。由于母代光周期不影响黄脊雷菟蝗子代卵滞育的发生,进而将若虫和成虫于光周期为LD 12:12 h,温度为25℃或30℃的条件下饲养,调查了母代温度对其子代卵滞育的影响。在25℃和30℃的条件下,所产卵在150 d的观察周期内的孵化率分别为79.1%和79.4%,其产卵前期也无显著差异( $t$ -test,  $P > 0.05$ ) (图3)。说明母代光周期和温度不影响黄脊雷菟蝗子代的卵滞育发生。

## 2.3 黄脊雷菟蝗产卵后胚胎头幅、触角长度及其体长的变化

将黄脊雷菟蝗的卵块置于25℃的条件下,其胚胎头幅、触角长度及体长的变化如图4所示。产卵后25 d在体视显微镜下能清晰观察到胚胎,此时胚胎头幅为 $(0.56 \pm 0.03)$  mm ( $N=6$ ),其后持续增长,至40 d时胚胎头幅达 $(1.14 \pm 0.11)$  mm ( $N=15$ ),显著大于25 d时的头幅(Tukey's-test,  $P < 0.05$ )。此后头幅的增长有一明显的停滞期,产卵后40—75 d的头幅无显著变化(Tukey's-test,  $P > 0.05$ ),至产卵80 d之后头幅再度开始增长。胚胎发育早期未能观察到其触角的分化,产卵后30 d时胚胎的触角长度为 $(0.25 \pm 0.10)$  mm ( $N=10$ ),在75 d之前触角长度增长缓慢。产卵80 d之后触角长度恢复增长,至85 d时达 $(1.84 \pm 0.73)$  mm ( $N=12$ ),显著长于此前三各观察时点的触角长度(Tukey's-test,  $P < 0.05$ )。与胚胎头幅和触角长度的变化类似,胚胎体长在产卵后75 d之前增长缓慢,有明显的停滞期,80 d之后胚胎长度的增长显著加快(Tukey's-test,  $P < 0.05$ ) (图4)。

## 2.4 黄脊雷菟蝗产卵后卵的含水量及鲜质量的变化

在25℃的温度条件下,黄脊雷菟蝗产卵后10 d内卵粒的含水量稳定在43%左右,无明显的变化(Tukey's-test,  $P > 0.05$ )。此后其卵粒有一快速的吸水阶段,至产卵后25 d卵粒的含水量达 $(64.1 \pm 2.3)$ %,含水量显著提高(Tukey's-test,  $P < 0.05$ )。尔后,卵粒的含水量缓慢提高(图5)。黄脊雷菟蝗产卵后卵粒的鲜质量变化与含水量类似,产卵后10 d内卵粒的鲜质量为10 mg/卵粒左右,其后与卵粒吸水量快速增加相对



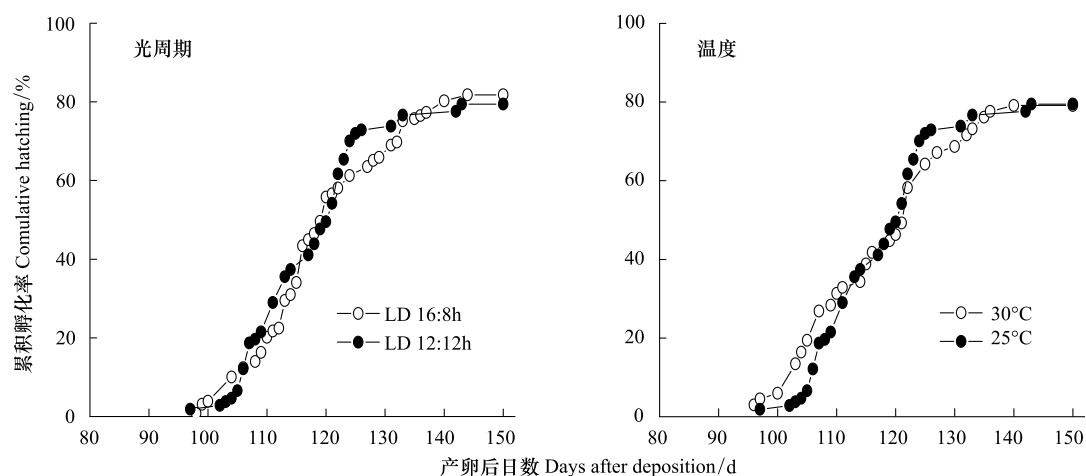


图3 母代光周期和温度对黄脊雷菟蝗卵滞育的影响

Fig.3 The effects of maternal photoperiods and temperatures on egg diapause in *Rammeacris kiangsu*

N = 129—142

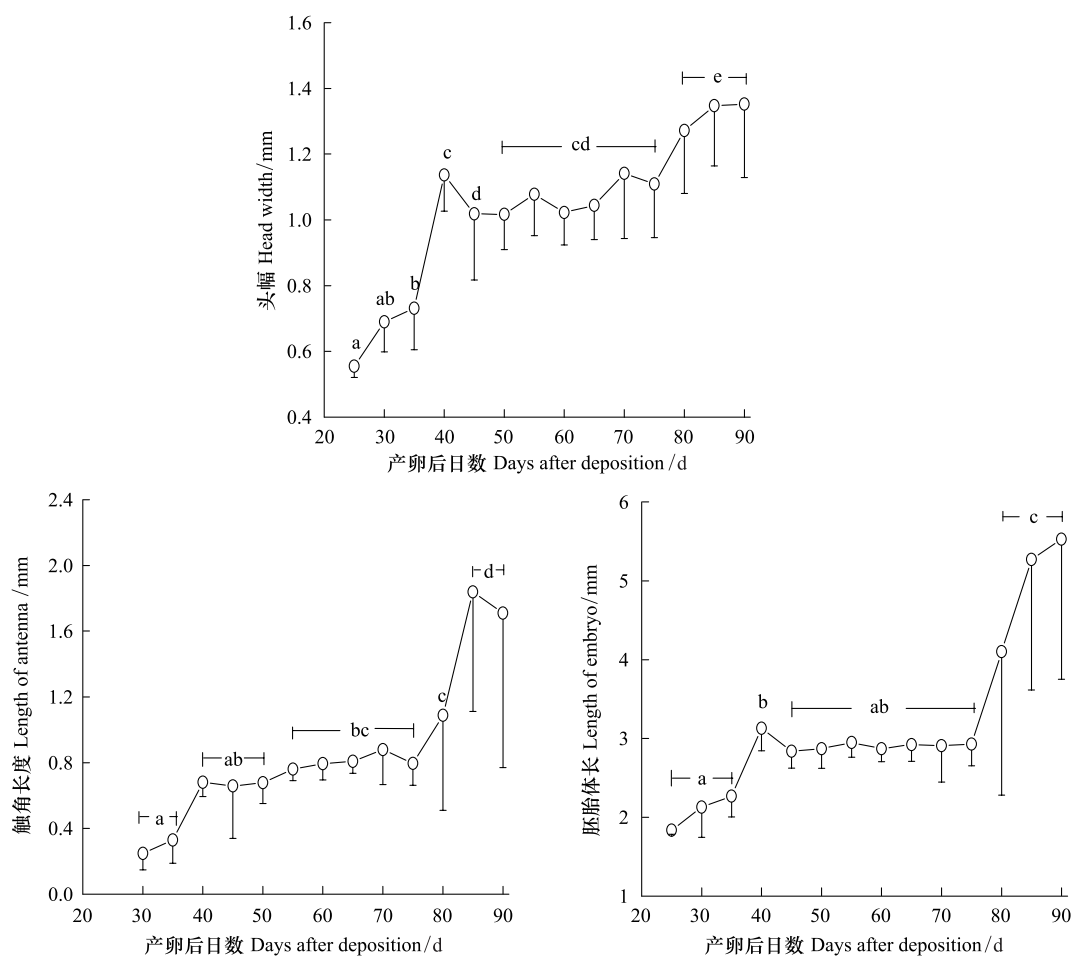


图4 25 °C的温度条件下黄脊雷菟蝗的胚胎发育

Fig.4 The embryo development in *Rammeacris kiangsu* at 25 °C

图中数据为平均数±标准差, N=6—20; 不同字母表示经 Tukey's 检验存在显著差异

应,卵粒的鲜质量亦快速增加,至产卵后 25 d 达  $(14.8 \pm 1.3)$  mg。此后,卵粒的鲜质量增加缓慢而不明显(图 5)。



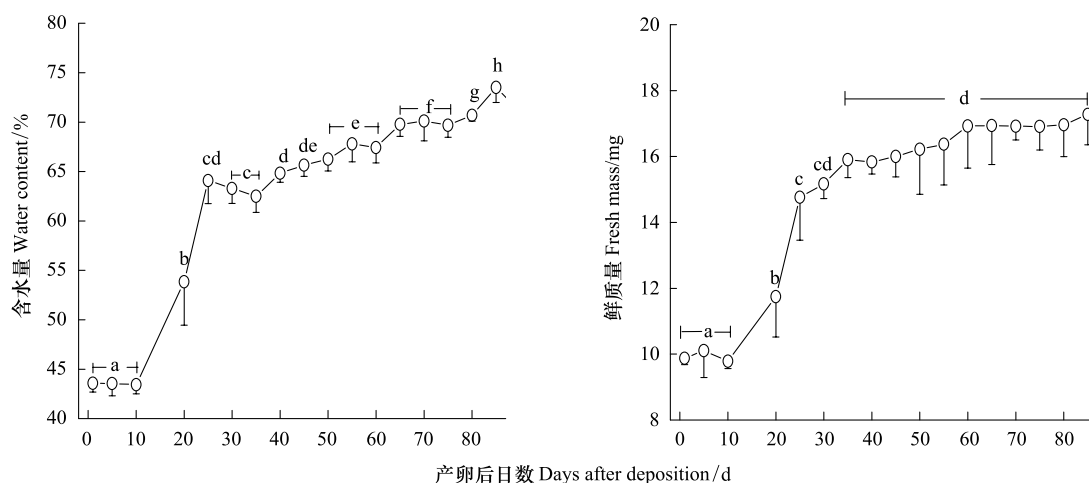


图 5 25 °C 的温度条件下黄脊雷莼蝗胚胎含水量和鲜质量的变化

Fig. 5 The changes of embryonic water content and fresh mass in *Rammeacris kiangsu* at 25 °C

图中数据为平均数±标准差,各自  $N=60$ ; 不同字母表示经 Tukey's 检验存在显著差异

## 2.5 黄脊雷莼蝗产卵后卵粒过冷却点的变化

将黄脊雷莼蝗的卵于产下当日置于 25 °C 的温度条件下,其过冷却点的变化情况如图 6 所示。产卵次日和产卵后 5 d 卵粒的过冷却点分别为  $(-20.7 \pm 5.1) ^\circ\text{C}$  ( $N=27$ ) 和  $(-20.0 \pm 5.0) ^\circ\text{C}$  ( $N=24$ ),二者间无显著差异 (Tukey's-test,  $P>0.05$ )。产卵后 10—60 d 卵粒的过冷却点介于  $-22.8 ^\circ\text{C}$  和  $-24.8 ^\circ\text{C}$  之间,较产卵初期显著降低 (Tukey's-test,  $P<0.05$ )。然而,产卵后 70 d 卵粒的过冷却点较 10—60 d 显著提高 (Tukey's-test,  $P<0.05$ ),达  $(-19.5 \pm 2.9) ^\circ\text{C}$ ,与产卵初期无显著差异 (Tukey's-test,  $P>0.05$ )。产卵后第 80 天卵粒的过冷却点进一步提高,为  $(-17.3 \pm 3.6) ^\circ\text{C}$ 。

## 3 讨论

黄脊雷莼蝗在其分布区域均为 1a 发生 1 代,以卵越冬<sup>[4-5]</sup>。本研究的结果显示,产卵后置于不同的温度条件下,黄脊雷莼蝗卵的孵化前期均较长,且孵化不整齐、孵化期间长。如 25 °C 的温度条件下,其孵化前期达 124 d,卵开始孵化至孵化 92% 需经 70 d 以上 (图 1)。昆虫进入滞育到滞育解除的过程,通常称为滞育发育,许多昆虫种类的滞育发育与温度有关,低于发育起点以下的温度有利于滞育发育的快速进行<sup>[11]</sup>。将黄脊雷莼蝗的卵块进行 30、60 或 90 d 的低温处理可显著促进其卵的孵化 (图 2)。可见黄脊雷莼蝗的卵存在滞育现象,低温能明显降低其卵滞育强度,低温处理的时间越长滞育解除的效果越明显。此外,其滞育发生不受母代光周期和温度的影响 (图 3),显然作为一化性的昆虫种类,黄脊雷莼蝗的卵滞育属于专性滞育。

将黄脊雷莼蝗的卵置于 25 °C 的温度条件下,产卵后 100 d 前后开始孵化。滞育卵长时间地置于不同于自然越冬条件的较高的温度条件下 (如 25 °C),其滞育强度会逐渐降低,而恢复发育,如中华稻蝗<sup>[17]</sup>,飞蝗<sup>[19]</sup>。对保存于 25 °C 的卵粒进行解剖,其胚胎头幅、触角长度及体长的测量结果显示,产卵后 40 d 前胚胎持续发育,其后有一明显的发育停滞期,至产卵后 80 d 胚胎再度开始发育 (图 4),与相同温度条件下卵的孵化

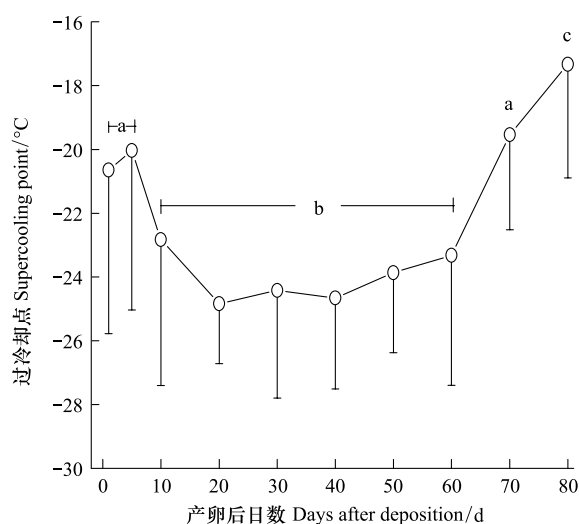


图 6 黄脊雷莼蝗卵期的过冷却点

Fig. 6 The supercooling points of egg stages in *Rammeacris kiangsu*

图中数据为平均数±标准差,各自  $N=24-30$ ; 不同字母表示经 Tukey's 检验存在显著差异

情况基本吻合。因此,25℃温度条件下的黄脊雷莼蝗胚胎发育可划分为3个阶段,即前期的持续发育阶段、中期的发育停滞阶段和后期的发育恢复阶段。在前期的发育阶段,其卵尚未进入滞育期(即胚胎仍处于发育阶段);产卵后40 d左右进入滞育,40—75 d的发育停滞阶段可视为卵的深度滞育期;产卵后80 d左右开始恢复发育,但卵粒间的胚胎发育程度差异较大,发育极不整齐,此时可称为后滞育期。许多产卵于土壤中的昆虫种类在胚胎发育过程中,卵粒需要吸收外界的水分。发生滞育的卵粒吸水可划分为3种类型:(1)卵粒本身含充足的水分进行胚胎发育,不需吸水,如家蚕 *Bombyx mori*; (2)于进入滞育前,吸收后滞育发育必要的大部分水分,如澳洲黑蟋蟀 *Teleogryllus commodus*; (3)滞育解除后吸水,如豆长刺萤叶甲 *Atrachya menetriesi*<sup>[20]</sup>。黄脊雷莼蝗的卵粒产下后水分含量较低,约为43%,在25℃的温度条件下于产卵后25 d前后有一快速的吸水阶段,其后卵粒的含水量增加缓慢(图4)。很显然,黄脊雷莼蝗卵粒的吸水发生在进入滞育之前。

滞育的作用之一是提高昆虫耐受极端环境条件的能力,但在不同的昆虫种类中滞育和耐寒性的关联性存在差异<sup>[11, 21-22]</sup>。一些种类的耐寒性与滞育不存在相关性,二者为独立或部分独立进化的特征,如 *Achaearenea tepidariorum*<sup>[23]</sup> 和 *Calliphora vicina*<sup>[24]</sup>。一些种类耐寒性的提高与滞育发生密切相关,如 *Graphosoma lineatum* 滞育阶段的耐寒性显著提高<sup>[25]</sup>,而滞育是 *Pyrrhocoris apterus* 过冷却点降低的必备条件<sup>[26]</sup>。在25℃的温度条件下,黄脊雷莼蝗卵粒过冷却点的变化亦包含3个阶段,即胚胎发育初期的较高阶段、中期持续而稳定的较低阶段、后期的提升阶段(图6),与其滞育的发生基本吻合。因此,可以认为黄脊雷莼蝗越冬卵耐寒性的提高与其滞育的发生密切相关。

## References:

- [1] Zheng Z M, Xia K L. Fauna Sinica: Insecta, Volume 10 (Orthoptera: Acridoidea). Beijing: Science Press, 1998: 238-239.
- [2] Tsai P H. Descriptions of three new species of Acridids from China, with a list of the species hither to recorded. Journal of the College of Agriculture, Imperial University of Tokyo, 1929, 10(2): 139-149.
- [3] Willemse C. Synopsis of the Acridoidea of the indo-malayan and adjacent regions (Insecta, Orthoptera) part 1. Fam. Acridae, subfam. Acridinae. Publicaties van het Natuurhistorisch Genootschap in Limburg, 1951, 4: 41-114.
- [4] Lian Y M, Zhong W H, Liu X W, Wen J H, Hu Q H. An observation on fecundity of *Ceracris kiangsu* Tsai at Taojiang County in Hunan. Hunan Forestry Science and Technology, 2009, 36(4): 37-39.
- [5] Cheng J, Pan Y Z, Shu J P. The research and development of the *Ceracris kiangsu* Tsai. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2010, (2): 116-119.
- [6] Roff D. Optimizing development time in a seasonal environment-the ups and downs of clinal variation. Oecologia, 1980, 45(2): 202-208.
- [7] Tauber M J, Tauber C A, Obrycki J J, Gollands B, Wrought R J. Geographical variation in response to photoperiod and temperature by *Leotinetarsa decemlineata* during and after dormancy. Annals of the Entomological Society of America, 1988, 81(5): 764-773.
- [8] Hunter M D, McNeil J N. Geographic and parental influences on diapause by a polyphagous insect herbivore. Agricultural and Forest Entomology, 2000, 2(1): 49-55.
- [9] Schmidt P S, Matzkin L, Ippolito M, Eanes W F. Geographic variation in diapause incidence, life-history traits and climatic adaptation in *Drosophila melanogaster*. Evolution, 2005, 59(8): 1721-1732.
- [10] Nation J L. Insect Physiology and Biochemistry, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2008.
- [11] Tauber M J, Tauber C A, Masaki S. Seasonal Adaptations of Insects. New York: Oxford University Press, 1986.
- [12] Danks H V. Insect dormancy: an ecological perspective // Biological Survey of Canada Monograph Series No. 2, Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods). Ottawa, 1987.
- [13] Olvido A E, Busby S, Mousseau T A. Oviposition and incubation environmental effects on embryonic diapause in a ground cricket. Animal Behavior, 1998, 55(2): 331-336.
- [14] Tanaka S, Okuda T. Life cycles, diapause and developmental characteristics in subtropical locusts, *Nomadacris succincta* and *N. japonica* (Orthoptera: Acrididae). Japanese Journal of Entomology, 1996, 64(1): 189-201.
- [15] Zhu D H, Cui S S, Fan Y S, Liu Z W. Adaptive strategies of overwintering adults: Reproductive diapause and mating behavior in a grasshopper, *Stenocatantops splendens* (Orthoptera: Catantopidae). Insect Science, 2012, doi: 10.1111/j.1744-7917.2011.01493.x.
- [16] Zhao Q, Zhu D H, Yang Y P, Tan R H. Variation of embryonic diapause intensity and life-cycle pattern in five geographic populations of the

- Chinese rice grasshopper, *Oxya chinensis* (Orthoptera: Acridoidea: Catantopidae) from China. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(2): 183-190.
- [17] Zhu D H, Yang Y P, Liu Z W. Reversible change in embryonic diapause intensity by mild temperature in the Chinese rice grasshopper, *Oxya Chinensis* Thunberg (Orthoptera: Catantopidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2009, 133(1): 1-8.
- [18] Tanaka S, Zhu D H. Geographic variation in embryonic diapause, cold-hardiness and life cycles in the migratory locust, *Locusta migratoria*, (Orthoptera: Acrididae) in China. *Entomological Science*, 2008, 11(3): 327-339.
- [19] Ando Y. Thermal response and reversibility of diapause in the eggs of *Locusta migratoria*. *Physiological Entomology*, 1993, 18(1): 1-6.
- [20] Ando Y. Egg diapause and water absorption in the false melon beetle, *Atrachya menetriesi* Faldermann (Coleoptera: Chrysomelidae). *Applied Entomology and Zoology*, 1972, 7(3): 142-154.
- [21] Denlinger D L. Relationship between cold hardiness and diapause // Lee R E, Denlinger D L, eds. *Insects at Low Temperature*. New York: Chapman and Hall, 1991: 174-198.
- [22] Hodkova M, Hodek I. Photoperiod, diapause and cold-hardiness. *European Journal of Entomology*, 2004, 101(3): 445-458.
- [23] Tanaka K. Evolutionary relationship between diapause and cold hardiness in the house spider, *Achaearanea tepidariorum* (Araneae: Theridiidae). *Journal of Insect Physiology*, 1997, 43(3): 271-274.
- [24] Hayward S A, Saunders D S. Geographical and diapause-related cold tolerance in the blow fly, *Calliphora vicina*. *Journal of Insect Physiology*, 1998, 44(7/8): 541-551.
- [25] Šlachta M, Vambera J, Zahradníčková H, Košťál V. Entering diapause is a prerequisite for successful cold-acclimation in adult *Graphosoma lineatum* (Heteroptera: Pentatomidae). *Journal of Insect Physiology*, 2002, 48(11): 1031-1039.
- [26] Hodkova M, Hodek I. Temperature regulation of supercooling and gut nucleation in relation to diapause of *Pyrrhocoris apterus* (L.) (Heteroptera). *Cryobiology*, 1997, 34(1): 70-79.

#### 参考文献:

- [1] 郑哲民, 夏凯龄. 中国动物志: 昆虫纲 第十卷 直翅目蝗总科. 北京: 科学出版社, 1998: 238-239.
- [4] 练佑明, 钟武洪, 刘湘斌, 文介华, 胡庆华. 湖南桃江黄脊竹蝗产卵量观察与研究. *湖南林业科技*, 2009, 36(4): 37-39.
- [5] 程佳, 潘涌智, 舒金平. 黄脊竹蝗研究现状及进展. *山东林业科技*, 2010, (2): 116-119.
- [16] 赵琴, 朱道弘, 阳艳萍, 谭荣鹤. 中华稻蝗五地理种群的卵滞育强度及生活史模式变异. *昆虫学报*, 2009, 52(2): 183-190.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 10 May, 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Special Topics in Soil and Water Conservation of County Changting, Fujian Province

- Spatiotemporal dynamics of the bare soil cover in the Hetian basinal area of County Changting, China, during the past 35 years ..... XU Hanqiu (2946)
- Analysis of fractional vegetation cover change and its impact on thermal environment in the Hetian basinal area of County Changting, Fujian Province, China ..... XU Hanqiu, HE Hui, HUANG Shaolin (2954)
- Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area ..... HE Shengjia, XIE Jinsheng, ZENG Hongda, et al (2964)
- RUSLE-based quantitative study on the soil erosion of the Hetian basin area in County Changting, Fujian Province, China ..... YANG Ranran, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2974)
- Land use changes in a reddish soil erosion region of Southern China: Hetian Basin, County Changting ..... LIN Na, XU Hanqiu, HE Hui (2983)
- Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China ..... HUANG Shaolin, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2992)
- Mutation of soil fertility quality in the red eroded area of southern China: A case study in Changting County, Fujian Province ..... CHEN Zhiqiang, CHEN Zhibiao (3002)

### Frontiers and Comprehensive Review

- The temperature dependence of soil organic matter decomposition and CO<sub>2</sub> efflux: a review ..... SHEN Zhengtao, SHI Bin, WANG Baojun, et al (3011)
- Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes ..... MA Jianrong, DENG Jianming, QIN Boqiang, et al (3020)

### Autecology & Fundamentals

- Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetation in karst watershed ..... LIANG Xuan, WANG Zhijun, YUAN Daoxian, et al (3031)
- The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae) ..... ZHU Daohong, CHEN Yanyan, ZHAO Qin (3039)
- Analysis of gamete compatibility between *Crassostrea hongkongensis* and *C. gigas* ..... ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (3047)

### Population, Community and Ecosystem

- Avifaunal community structure and species diversity in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve, Tibet, China ..... WANG Bin, PENG Boyong, LI Jingjing, et al (3056)
- Impact of logging on carbon density of broadleaved-Korean pine mixed forests on Changbai Mountains ..... QI Lin, YU Dapao, ZHOU Wangming, et al (3065)
- Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay ..... XU Binduo, ZENG Huihui, XUE Ying, et al (3074)
- Assessment of heavy metal contamination in the soil-plant system of the *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River Estuary ..... WANG Yaoping, BAI Junhong, XIAO Rong, et al (3083)
- The effects of different original state on grassland community restoration succession ..... YANG Chen, WANG Wei, WANG Shiping, et al (3092)
- Effects of fertilization gradients on plant community structure and soil characteristics in alpine meadow ..... WANG Changting, WANG Genxu, LIU Wei, et al (3103)
- Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland ..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (3114)



- Soil organic carbon pool at the western side of the sygera mountains, southeast Tibet, China ..... MA Heping, GUO Qiqiang, LIU Heman, et al (3122)
- Correlation between foliar  $\delta^{13}\text{C}$  and foliar trait factors of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park ..... WANG Yingzi (3129)
- Influences of artificial *Kandelia obovata* mangrove forest rehabilitation on the macrobenthos in Ximen Island ..... HUANG Li, CHEN Shaobo, CHOU Jianbiao, et al (3138)
- Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area ..... FENG Shuzhen, SU Yirong, QIN Xinmin, et al (3148)
- Correlation among vegetation characteristics, temperature and moisture of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau ..... XU Manhou, XUE Xian (3158)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years ..... ZHAO Liang, LIU Jiping, TIAN Xuezhi (3169)
- Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics ..... CHEN Haibin, TANG Haiping (3177)
- Resource and Industrial Ecology**
- Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping ..... HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, et al (3185)
- The effect of low-covered sand-fixing forest belts on restoration of the soil and vegetation ..... JIANG Lina, YANG Wenbin, LU Qi, et al (3192)
- Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns ..... LAN Jiacheng, FU Wali, PENG Jingtao, et al (3205)
- Measuring external benefits of agricultural land preservation: an application of choice experiment in Wuhan, China ..... CHEN Zhu, JU Dengping, ZHANG Anlu (3213)
- Research Notes**
- Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye ..... SUN Ming, DONG Jing, CHAI Yu, LI Yulong (3222)
- The research on *Buteo hemilasius* nest-site selection on the west bank of Dalai Lake in Dalai Lake Natural Reserve ..... ZHANG Honghai, WANG Ming, CHEN Lei, et al (3233)
- Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology ..... ZHANG Shusheng, BAO Yixin, WANG Yanni, et al (3241)

# 《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

本期责任副主编 高玉葆

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 10 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 10 (May, 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