

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

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

能源基地生态修复

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

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

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

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

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

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

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

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

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

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

个体与基础生态

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

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

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

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

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

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

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

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

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

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

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

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

种群、群落和生态系统

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

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

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

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

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

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

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

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

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

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

城乡与社会生态

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

江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

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

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

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



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

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201401130098

吴红军, 赵吕权, 曾杨, 朱道弘. 食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响. 生态学报, 2014, 34(11): 2963-2970.

Wu H J, Zhao L Q, Zeng Y, Zhu D H. Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2963-2970.

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响

吴红军, 赵吕权, 曾 杨, 朱道弘*

(中南林业科技大学昆虫行为与进化生态学实验室, 长沙 410004)

摘要: 前期研究表明, 在食物充足的条件下, 翅二型丽斗蟋雌成虫长、短翅型间存在着资源投入和收益的权衡关系 (trade-off); 而雄成虫长短翅型间不存在此类权衡关系。在自然条件下, 昆虫可能遭受食物缺乏的胁迫, 因而进一步就食物胁迫对丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响进行了研究。结果表明, 在食物胁迫的条件下, 长翅雌虫仍维持飞行肌的发育, 但繁殖发育受到显著的抑制; 而短翅雌虫飞行肌显著降解, 繁殖发育亦维持在较高水平。说明即使是营养缺乏时, 其雌成虫长、短翅型也依然存在资源配置的差异, 具飞行肌和繁殖发育的权衡关系。长翅雄虫飞行肌的重量与食物充足组并无显著差异, 但精巢的干重显著降低; 而短翅雄虫在食物胁迫条件下飞行肌显著降解, 但其精巢重量与食物充足组并无显著差异。可以认为, 丽斗蟋雌虫的长、短翅型间也存在飞行肌和繁殖发育的权衡关系。

关键词: 翅二型; 飞行肌; 卵巢; 精巢; 附腺; 丽斗蟋

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*

WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, ZHU Daohong*

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

Abstract: The cricket species *Velarifictorus ornatus* displays distinct wing dimorphism—individuals are either micropterous with much degenerate wings or macropterous with fully developed wings. In previous study, we found that there was a trade-off between flight muscle and reproductive development in female *V. ornatus*, but not in male, when insects were provided with sufficient food. However, insects may not be able to get enough food in natural condition, and suffer from food stress. Thus, we investigated effect of food stress on flight muscle and reproductive development of *V. ornatus* in this study to understand whether long-winged (LW) adults preferentially allocate limited resources in flight muscle development, while short-winged (SW) adults allocate them in reproductive development firstly. The results showed that food stress significantly suppressed flight muscle development of SW female, but did not affect flight muscle development of LW female. By contrast, ovarian development of LW female was inhibited dramatically by food stress, but ovarian development of SW female maintained at high level when food supply was reduced. It was suggested that there was a trade-off between flight muscle and reproductive development in female *V. ornatus*. Like the female, food stress also significantly inhibited flight muscle development in SW male, but not in LW male. Fresh weight of testis did not change significantly in both of LW and SW male when different amount of food was given. However, dry weight of testis was significantly decreased in LW male, while dry weight of testis of SW male did not change significantly when food supply was reduced. This result indicated that trade-off between flight muscle and reproductive development also existed in male *V. ornatus*.

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (31200494); 湖南省高校创新平台开放基金项目 (12K068)

收稿日期: 2014-01-18; **修订日期:** 2014-04-28

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

Key Words: wing dimorphism; flight muscle; ovary; testis; accessory gland; *Velarifictorus ornatus*

昆虫成虫的迁移扩散行为即使是种内也存在着显著的变异,即存在着扩散多型现象,扩散多型现象实质上指的是影响飞行能力的多型性^[1]。昆虫的飞行能力主要包含3个要素,即翅、飞行肌和飞行行为,而这3个要素都存在种内多型现象,即翅多型、飞行肌多型和飞行行为多型^[2-3]。翅多型广泛存在于各类昆虫中,在鞘翅目、双翅目、半翅目、同翅目、膜翅目、直翅目、鳞翅目、缨翅目等10目的昆虫中均有发现^[4-10],如蚜虫类具有翅型和无翅型,飞虱类、蟋蟀类及水龟类等具有飞行能力的长翅型和不具飞行能力的短翅型。这些昆虫的翅长变化呈不连续变异,亦称为翅二型现象。一些昆虫,如东方长蜡 *Cavelerius saccharivorus*^[11]、小翅稻蝗 *Oxya yezoensis*^[6],相对翅长的频度分布呈连续的双模态分布,长翅型和短翅型以外还存在着中间型。

昆虫之所以能飞行,是由于具发达的翅和飞行肌。Roff^[12]的研究表明飞行肌占虫体重量的比例达10%—20%,可见飞行肌的形成需消耗很大的能量。Dixon等^[13]亦指出蚜虫类的有翅型由于飞行器官的形成,卵巢比短翅型小20%。Zera和Mole^[14]通过对蟋蟀 *Gryllus rubens* 和 *G. firmus* 的研究,指出飞行燃料物质的合成及飞行肌的维持所耗能量比飞行肌的形成更高。因此,在具翅多型的昆虫种类中,短翅型产卵前期间短、产卵量大,这是因为短翅型个体不需飞行,可将飞行器官(组织)发育和维持的能量及时用于繁殖发育^[6, 9, 15-16]。尽管翅的获得,为昆虫在扩散、觅食、求偶等方面带来了极大的利益,但以付出巨大的能耗为代价。因此,飞行肌的发育、维持与繁殖发育间存在着一种资源投入和收益的权衡关系(trade-off)^[8-9, 12, 16-18]。

丽斗蟋 *Velarifictorus ornatus* 具明显的翅二型现象。长翅型雌成虫的飞行肌显著发达于短翅型,而早期的产卵量显著低于短翅型,人工脱翅可改变其飞行肌与卵巢的发育模式,即雌成虫长、短翅型间存在着飞行和繁殖发育的的权衡关系;雄成虫长翅型虽然飞行肌的发育程度显著高于短翅型,但二者的精巢和繁殖附腺发育并无显著差异,而推测雄成虫长短翅型间不存在此类权衡关系^[9]。对翅多型昆虫飞行和繁殖发育间权衡关系的研究大多是在食物充

足条件下进行,而食物胁迫条件下或许更能清晰地探究其资源分配的方式。本文通过比较丽斗蟋长、短翅型雌、雄成虫在食物胁迫条件下飞行肌和繁殖发育的差异,以期更清晰地解释其权衡关系。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫与饲养方法

丽斗蟋若虫于2005年4月采自株洲市郊(N 27.8°, E 113.2°),于实验室饲养,建立实验种群,本研究所用昆虫为实验种群的子代。蟋蟀置于塑料容器(13cm×13cm×8.5cm)内,于人工气候室(光周期为LD 16:8h,温度为25℃)(宁波江南仪器厂, GX-HE302-300)饲养。塑料容器顶部开孔,并粘以纱网,利于通风和透光,并防止昆虫逃逸。容器内放一定数量折叠的滤纸,以增加蟋蟀的活动空间。以昆虫饲料(Oriental Yeast Co., Japan)饲养,并辅以胡萝卜片,饲料每2d更换1次,确保食物充足及新鲜。每个容器内放一装满水的小塑料管(直径4.3cm,长5.5cm),塞以脱脂棉,作为蟋蟀的水源及成虫的产卵基质,每5d更换1次。成虫产卵时每5d取出脱脂棉,收集卵粒,置于25℃下进行孵化。

丽斗蟋以滞育若虫越冬,初孵若虫置于短日条件饲养后,再转移至长日条件继续饲养,能够明显促进若虫发育,缩短若虫发育历期^[19]。因此,为加快实验进程,本研究将孵化当日的丽斗蟋若虫先置于25℃、LD 12:12h条件下饲养,30d后再转移至25℃、LD 16:8h条件下继续饲养,成虫羽化后备用。

1.2 丽斗蟋成虫食物消耗量的检测

为检测丽斗蟋雌、雄成虫的取食量,羽化当日的成虫分别单独置于塑料容器(径10cm,高10cm)内,于人工气候室饲养(光周期为LD 16:8h,温度为25℃)。每2d更换1次昆虫饲料,并以电子天平(Mettler-Toledo Group, Switzerland, 0.0001g)分别称量初始饲料重量(控制在200mg左右)和饲料残渣重量。在称量饲料残渣重时,仔细清除虫粪(黑色颗粒状,易于分离)。分别计算每2d雌、雄成虫的食物消耗量。

1.3 食物胁迫对成虫飞行肌及繁殖发育的影响

成虫羽化后分别单独饲养,饲养条件同1.2。供

试的雌、雄分别分为 4 组,依据 1.2 每 2 d 食物消耗量的实验结果,分别按每 2 d 的食物消耗量,给予 (1) 充足的饲料; (2) 3/4 的饲料; (3) 1/2 的饲料; (4) 1/4 的饲料,各处理初始样本数均为 15。饲养至羽化后 12 d,将昆虫置于 -20°C 冷冻 24 h (经冷冻处理后,飞行肌易于剥离),然后在常温下解冻 15 min。解冻后先称其体重,再用解剖剪从其腹部背面开始直至前胸背板处剪开,置于腊盘中,用解剖针固定,在体视显微镜 (Olympus, Japan, SZX7) 下,用镊子仔细取出飞行肌 (背纵肌)、雌成虫的卵巢、雄成虫的精巢和生殖附腺,以电子天平分别称重,并对卵巢内的卵粒进行计数。为检测飞行肌、卵巢、精巢及生殖附腺干重,分别将其放入塑料离心管 (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°C 烘干 12 h。待干燥箱内温度降至室温后,取出以电子天平称其干重。

1.4 统计方法

对长、短翅型成虫每 2 日内食物消耗量的比较采用 t 检验 (Student's t -test), 食物胁迫对飞行肌和繁殖发育的影响分析采用方差分析 (ANOVA), 所用软件为 SPSS 13.0。

2 结果与分析

2.1 雌、雄成虫的食物消耗量

为给后续实验提供依据,雌、雄成虫羽化后均进行单独饲养,每 2 d 的食物消耗量如表 1 所示。短翅型雌成虫羽化后第 0—2、2—4、4—6、6—8 天的食物消耗量均显著高于长翅型 (T -test, $P<0.05$), 短翅型雄成虫第 0—2、2—4、8—10d 的食物消耗量亦高于长翅型 (T -test, $P<0.05$)。长短翅型雌、雄成虫在羽化后前 4 d 内有一食物消耗量大的过程。

表 1 丽斗蟋长、短翅型个体羽化后 12 d 内平均每 2 日食物摄取量

Table 1 Comparison of food consumption of long-winged and short-winged *Velarifictorus ornatus* in each 2 days during first 12 days of adulthood

翅型 Wing morph	每 2 日食物摄取量 Food consumption in 2 days/mg					
	0—2 d	2—4 d	4—6 d	6—8 d	8—10 d	10—12 d
雌虫 Female						
长翅型 Long winged (LW)	34.7±26.6a*	32.5±23.7a	23.1±13.8a	7.9±5.1a	7.4±4.3a	6.8±6.3a
短翅型 Short winged (SW)	41.7±11.5b	53.2±6.5b	37.2±31.7b	12.3±4.6b	4.6±3.8a	4.7±2.6a
雄虫 Male						
长翅型 LW	9.9±3.3a	9.1±3.8a	8.5±3.5a	8.0±5.6a	6.9±3.9a	9.8±4.2a
短翅型 SW	13.6±3.7b	12.8±5.4b	7.3±3.3b	6.8±2.9b	9.6±4.4b	5.4±3.8b

* 平均数±标准偏差, $n=15$, 不同字母表示不同翅型组间具有显著性差异, T -test, $P<0.05$

2.2 食物胁迫对长、短翅型雌成虫飞行肌及繁殖发育的影响

丽斗蟋雌成虫羽化后,于不同程度的食物胁迫条件下饲养,第 12 天进行解剖,检测了飞行肌、卵巢的重量及其怀卵量 (图 1—图 2)。

长翅型雌成虫羽化后第 12 天的飞行肌湿重,在提供足量食物的条件下为 (18.2 ± 5.8) mg, 供给 3/4、1/2 或 1/4 的所需食物量时分别为 (12.5 ± 5.6) , (11.1 ± 5.6) 和 (11.2 ± 4.8) mg, 发育程度无显著差异 (ANOVA, $P>0.05$) (图 1)。飞行肌干重的检测结果亦相同 (图 1)。食物充足时卵巢的湿重达 (35.9 ± 6.6) mg, 而取食所需食物量 3/4、1/2 或 1/4 个体的卵巢湿重仅为 (16.5 ± 9.4) , (11.6 ± 6.9) 和 (16.9 ± 23.5) mg, 其卵巢发育程度显著降低 (ANOVA, 各自

$P<0.05$) (图 1)。卵巢干重的结果亦类似 (图 1)。同时,还解剖了雌成虫的卵巢,检测了其卵巢内的卵粒数。食物充足的饲养条件下,丽斗蟋雌成虫羽化后第 12 天的怀卵量为 (91.3 ± 26.3) 粒/♀, 显著高于食物胁迫条件下雌成虫的怀卵量 (ANOVA, 各自 $P<0.05$)。而供给 3/4、1/2 或 1/4 的所需食物时,怀卵量分别为 (41.7 ± 29.9) 、 (34.8 ± 23.2) 和 (25.1 ± 18.1) 粒/♀, 虽然随着胁迫强度的加大怀卵量有所降低,但相互间无显著差异 (ANOVA, $P>0.05$) (图 1)。

短翅型雌成虫羽化后第 12 天,在食物充足的饲养条件下飞行肌的湿重为 (5.7 ± 1.7) mg, 与提供所需食物量 3/4 的处理组 (5.1 ± 1.9) mg 无显著差异 (ANOVA, $P>0.05$), 但显著高于提供 1/2 (3.2 ± 1.3) mg 和 1/4 (3.8 ± 1.4) mg 所需食物量的处理组

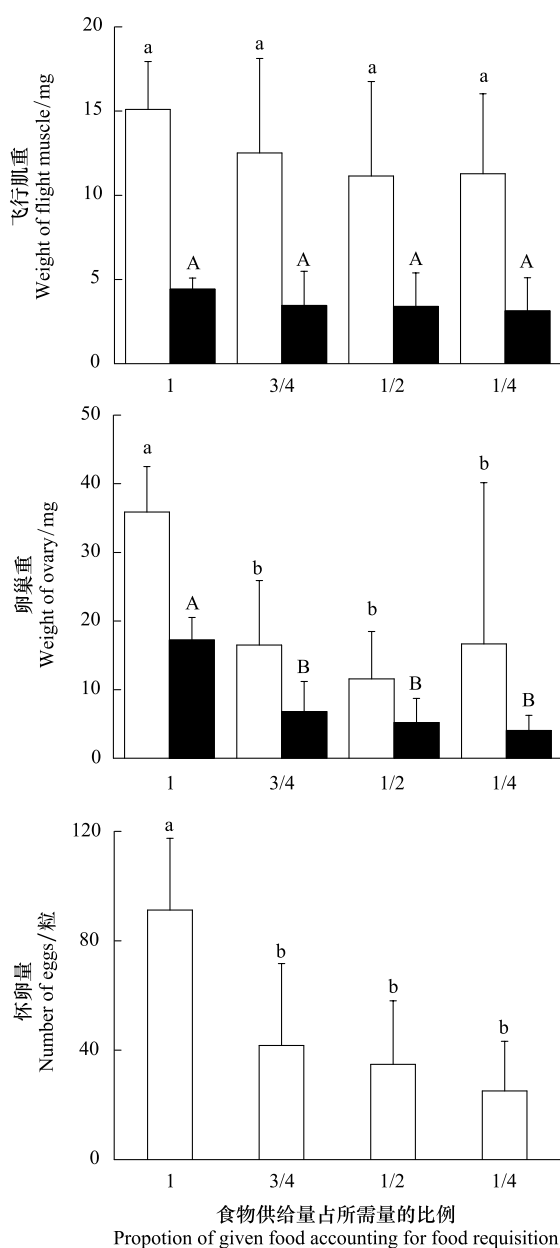


图1 食物胁迫对长翅雌虫飞行肌、卵巢和怀卵量的影响

Fig.1 Effect of food stress on development of flight muscle and ovary, and egg maturation in long-winged females

不同字母表示不同处理组间具有显著性差异 (ANOVA, $P < 0.05$), 空心柱代表鲜重, 实心柱代表干重

(ANOVA, 各自 $P < 0.05$) (图2)。食物胁迫条件下, 处理组飞行肌的干重无显著差异 (ANOVA, $P > 0.05$), 但均低于食物充足的个体 (ANOVA, 各自 $P < 0.05$) (图2)。就卵巢的湿重而言, 足量取食的处理组 (53.2 ± 10.2 mg) 显著高于提供 1/2 (40.6 ± 4.6) mg 和 1/4 (33.2 ± 5.8) mg 所需食物量的处理组 (ANOVA, 各自 $P < 0.05$), 但与提供 3/4 所需食物量的处理组 (45.4 ± 9.2) mg 无显著差异 (ANOVA, $P >$

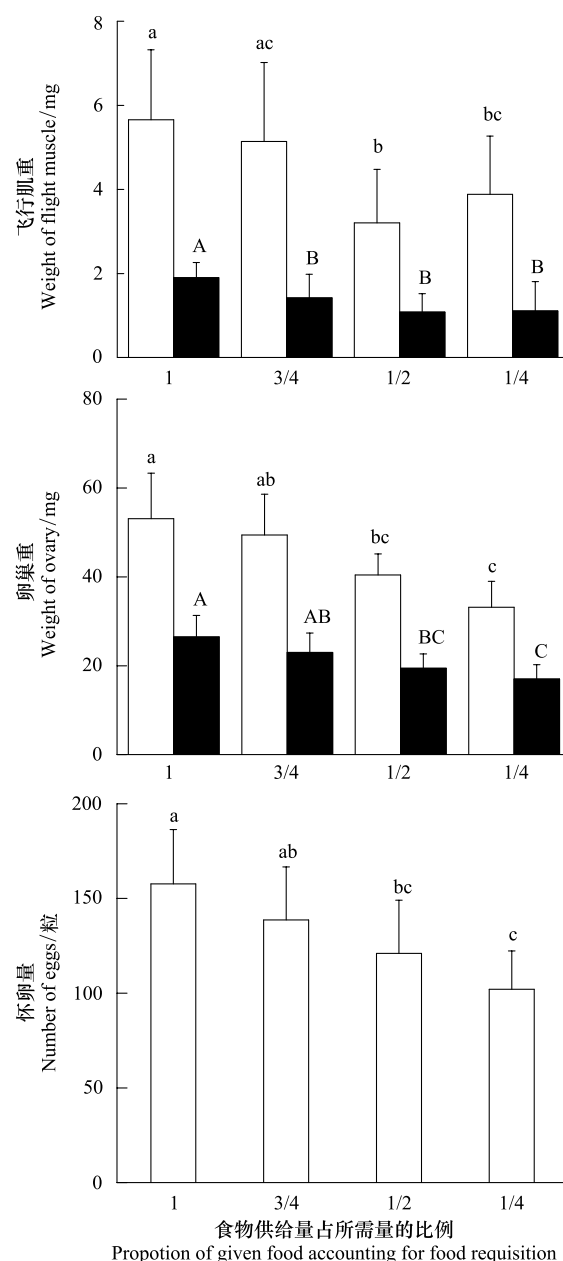


图2 食物胁迫对短翅雌虫飞行肌、卵巢和怀卵量的影响

Fig.2 Effect of food stress on development of flight muscle and ovary, and egg maturation in short-winged females

不同字母表示不同处理组间具有显著性差异 (ANOVA, $P < 0.05$), 空心柱代表鲜重, 实心柱代表干重

0.05)。卵巢干重的结果完全一致 (图2)。短翅型雌成虫羽化后第12天的怀卵量, 在食物充足的条件下为 (157.6 ± 28.6) 粒/♀, 与提供 3/4 所需食物量的处理组 (138.6 ± 28.0) 粒/♀ 无显著差异 (ANOVA, $P > 0.05$), 但显著高于提供 1/2 (121.0 ± 28.0) 粒/♀ 和 1/4 (102.0 ± 20.2) 粒/♀ 所需食物量的处理组 (ANOVA, 各自 $P < 0.05$) (图2)。

上述结果清晰地表明, 在食物胁迫的条件下, 丽

斗蟋长翅型雌成虫仍维持飞行组织的发育,但繁殖发育受到显著的抑制,而短翅型雌成虫飞行肌显著降解,提供 3/4 的所需食物量时并不影响其繁殖发育,即使食物仅为所需量的 1/4,繁殖发育亦维持在较高水平。

2.3 食物胁迫对长、短翅型雄成虫飞行肌及繁殖发育的影响

成虫羽化后于不同程度的食物胁迫条件下饲养,第 12 天进行解剖,检测了丽斗蟋长、短翅型雄成虫飞行肌和精巢、繁殖附腺的发育,结果如图 3—4 所示。

长翅型雄成虫飞行肌,在食物充足时为 (8.8 ± 3.0) mg,虽然供给 3/4 所需食物量处理组飞行肌的湿重高于食物充足组 (ANOVA, $P < 0.05$),但其干重并无显著差异 (ANOVA, $P > 0.05$),供给 1/2、1/4 所需食物量的处理组,无论是飞行肌的湿重还是干重均与食物充足组无显著差异 (ANOVA, 各自 $P > 0.05$) (图 3)。羽化后 12 d 雄成虫精巢湿重,食物充足组与各食物胁迫组无显著差异 (ANOVA, 各自 $P > 0.05$),但食物充足时,其精巢干重显著高于各食物胁迫组 (ANOVA, 各自 $P < 0.05$) (图 3)。食物充足时,繁殖附腺湿重为 (7.6 ± 1.6) mg,显著高于提供 3/4 (6.3 ± 1.5) mg 和 1/2 (4.6 ± 1.2) mg 所需食物量的处理组 (ANOVA, 各自 $P < 0.05$),而与提供 1/4 (6.4 ± 1.7) mg 所需食物量的处理组无显著差异 (ANOVA, $P > 0.05$)。其干重的结果与湿重基本一致 (图 3)。

对于短翅型的雄成虫,饲料充足时飞行肌湿重为 (6.0 ± 2.6) mg,显著高于提供 3/4 (3.8 ± 1.7) mg、1/2 (4.0 ± 1.2) mg 和 1/4 (3.3 ± 1.2) mg 所需食物量的处理组 (ANOVA, 各自 $P < 0.05$),而各食物胁迫条件下处理组间无显著差异 (ANOVA, $P > 0.05$)。飞行肌干重的结果亦然 (图 4)。羽化后 12 d,雄虫精巢无论是湿重还是干重,食物充足组与各食物胁迫处理组均无显著差异 (ANOVA, $P > 0.05$) (图 4)。短翅型雄成虫羽化后 12 d,食物充足时繁殖附腺的湿重为 7.7 ± 1.4 mg,显著高于提供所需 3/4 食物的胁迫组 (6.3 ± 2.4) mg (ANOVA, $P < 0.05$),与提供所需 1/2 (4.8 ± 1.1) mg 和 1/4 (4.8 ± 1.2) mg 食物胁迫组的差异更为显著 (ANOVA, $P = 1.19 \times 10^{-4}$ 或 $P = 2.57 \times 10^{-4}$)。提供充足食物处理组附腺干重显著高于各食物胁迫组 (ANOVA, $P < 0.05$) (图 4)。

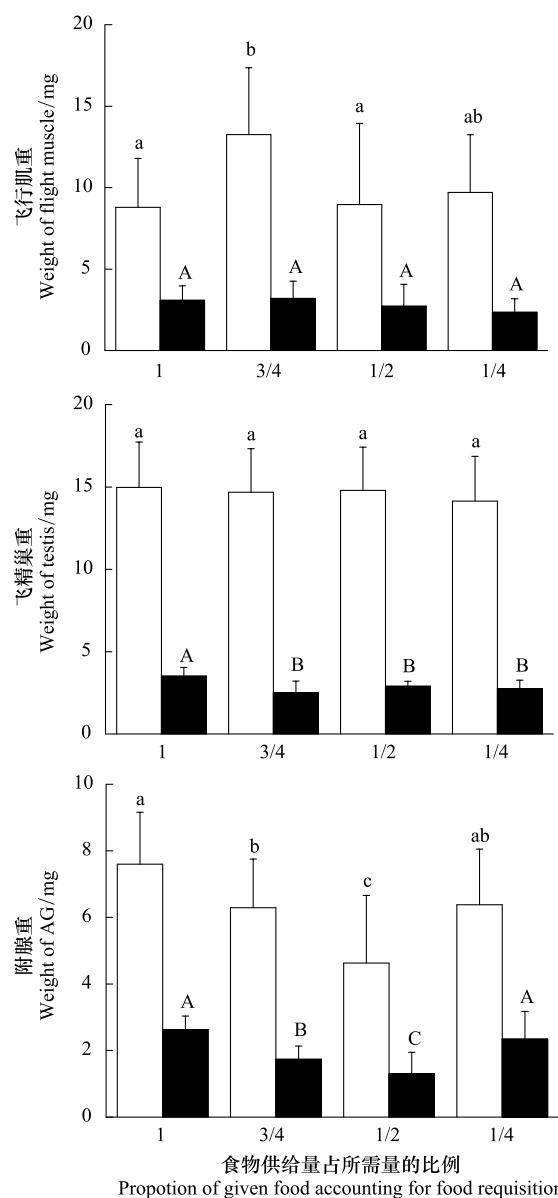


图 3 食物胁迫对长翅雄虫飞行肌、精巢和附腺发育的影响

Fig.3 Effect of food stress on development of flight muscle, testis, and accessory gland in long-winged males

不同字母表示不同处理组间具有显著性差异 (ANOVA, $P < 0.05$),空心柱代表鲜重,实心柱代表干重

可见在食物胁迫的条件下,长翅型雄成虫仍维持飞行肌的发育,但精巢和繁殖附腺的发育受到抑制,而短翅型雄成虫的飞行肌显著降解,繁殖附腺的发育受到抑制,但仍维持精巢的发育。

3 讨论

丽斗蟋雌成虫长、短翅型的繁殖发育和飞行肌发育存在差异^[9]。在其他蟋蟀种类中亦存在此现象,如迷卡异针蟋 *Dianemobius mikado*^[20]、*Allonemobius*

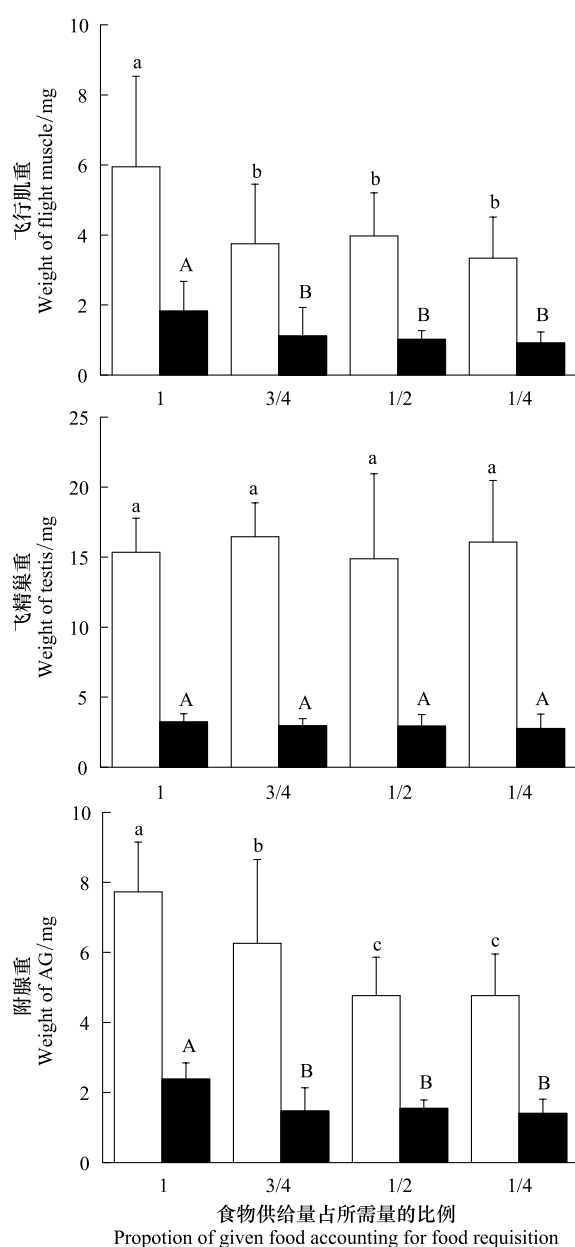


图4 食物胁迫对短翅雄虫飞行肌、精巢和附腺发育的影响

Fig.4 Effect of food stress on development of flight muscle, testis, and accessory gland in short-winged males

不同字母表示不同处理组间具有显著性差异 (ANOVA, $P < 0.05$), 空心柱代表鲜重, 实心柱代表干重

fasciatus^[21-22]、沙蟋 *G. firmus*^[21]、*G. rubens*^[23]、曲脉姬蟋 *Modicogryllus confirmatus*^[24] 及长颚斗蟋 *Velarifictorus asperses*^[16] 等, 其短翅型雌成虫较长翅个体产卵更早、繁殖量更大。在一些昆虫种类中, 食物短缺或食物质量下降可诱导其扩散, 如谷蠹 *Rhyzopertha dominica*^[25]、大谷蠹 *Prostephanus truncatus*^[26]、庆网蛱蝶 *Melitaea cinxia*^[27]、豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum*^[28] 等。而对于具翅多型性的昆虫, 如曲脉姬蟋的雌成虫羽化后 5 d

内不给食物的条件下, 短翅个体可形成一些卵粒, 而长翅个体无卵粒的形成, 可见前者优先将资源配置于繁殖发育, 而后者优先配置于飞行肌的发育与维持^[24]。Clark 等^[29]最近的研究发现, 在可选择的条件下, 沙蟋长翅型的雌成虫较短翅型更偏向于取食富含碳水化合物的饲料; 提供不同蛋白质/碳水化合物比率的食物时, 短翅型雌成虫通过饲料摄取均衡的蛋白质和碳水化合物, 而长翅型降低蛋白质/碳水化合物的摄取率。因而 Clark 等^[29]认为翅多型昆虫的扩散与食物的选择相关, 长翅个体更偏向促进飞行燃料物质(脂质)的积累, 而短翅个体为利于繁殖更偏向于积累蛋白质, 二型间发生营养调节的权衡关系。Zhao 等^[9]已证实丽斗蟋长、短翅型雌虫飞行肌和繁殖发育间的权衡关系。本文的结果显示, 在食物胁迫的条件下, 丽斗蟋长翅型雌成虫将资源优先配置于飞行肌的发育与维持, 而繁殖发育受到显著的抑制。反之, 短翅型雌成虫飞行肌显著降解, 提供 3/4 的所需食物量时并不影响其繁殖发育, 即使食物仅为所需量的 1/4, 繁殖发育亦维持在较高水平, 很显然是将资源优先配置于繁殖。可见丽斗蟋长、短翅型, 即使是营养缺乏时, 也依然存在资源配置的差异, 具明显的权衡关系(图 1—图 2)。

翅多型现象不仅仅存在于雌虫, 雄虫也有短翅(或无翅)和长翅的分化, 有关雄虫翅型分化的进化意义, 有两种不同的观点。其一, 遗传相关假说(genetic correlation hypothesis), Roff 和 Fairbairn^[30]及 Zera 和 Denno^[31]认为雄虫短翅化是源于雌雄的遗传相关性。也就是说, 雌虫为提高适合度出现了短翅型的进化, 雄虫短翅型是因为性间的遗传相关性而存在, 并无特别的生态意义。如灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 长翅型和短翅型雄虫的精巢发育、成虫寿命等均无显著差别^[32]; 豆无网长管蚜 *Acyrtosiphon pisum* 有翅雄虫与无翅雄虫的成虫寿命相似, 在交配竞争实验中, 无翅雄虫亦无交配优势^[33]。其二, 权衡假说(trade-off hypothesis), 雄虫飞行肌的发育、维持与生殖发育(如精巢、附腺发育等)间存在权衡关系。如无翅红蝽 *Pyrhocoris apterus* 无翅型雄虫较长翅型个体发育快、寿命长、具明显的交配竞争优势^[34]。Zeng 和 Zhu^[10]证实长颚斗蟋雄成虫长翅个体的飞行肌发达, 但附腺发育显著低于短翅个体, 而短翅个体较长翅个体交配更为频繁, 且形成的精包

显著重于长翅型,证实其存在权衡关系。然而,Zhao 等^[9]对丽斗蟋的研究,并未证实其长、短翅型雄虫飞行肌和繁殖发育间权衡关系的存在。本研究的结果显示,在食物胁迫的条件下,长翅型雄成虫飞行肌的重量与食物充足组并无显著差异,但繁殖附腺的发育受到抑制,虽然精巢的湿重未检测到差异,但干重显著降低(图 3)。虽然精巢的湿重也可作为其检测指标,但由于其差异较小,干重的结果更为精确。而短翅型雄成虫在食物胁迫条件下飞行肌显著降解,繁殖附腺的发育受到抑制,但其精巢与食物充足组并无显著差异(图 4)。可以认为,与雌虫一样,丽斗蟋雄虫的长、短翅型间也存在飞行肌和繁殖发育的权衡关系,雄成虫的翅型分化并非源于雌雄的遗传相关。有关雄虫短翅化的适应意义,雄虫的短翅化能否提高其适合度、飞行器官的发育和维持与繁殖(如精巢、附腺发育)之间是否存在权衡关系的报道尚不多。这或许是由于雄虫繁殖活动的能量分配较为分散,如包括求偶(如蟋蟀的求偶鸣叫)、交配竞争(如蟋蟀的打斗)、精巢发育、附腺发育等,而难于检测。

References:

- [1] Harrison R G. Dispersal polymorphism in insects. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 1980, 11(1): 95-118.
- [2] Solbreck C, Anderson D B, Forare J. Migration and the coordination of life cycles exemplified by Lygaeinae bugs // Gilbert F. Insect life cycles: Genetics, Evolution and Coordination. New York, Springer-Verlag, 1990: 197-214.
- [3] Zhu D H. Regulatory mechanism and evolution of insect wing polymorphism. Chinese Bulletin of Entomology, 2009, 46(1): 11-16.
- [4] Johnson C G. Migration and dispersal of insect by flight. London, Methuen, 1969.
- [5] Dingle H. Migration // Kerkut G A, Gilbert L I. Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology. Oxford, Pergamon, 1985: 375-415.
- [6] Zhu D H. The wing polymorphism in rice grasshopper, *Oxya yezoensis* Shiraki (Orthoptera: Catantopidae). Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(4): 624-628.
- [7] Roff D A. The evolution of wing dimorphism in insects. Evolution, 1986, 40(5): 1009-1020.
- [8] Zera A J. Wing polymorphism in *Gryllus*: Energetic, endocrine, and biochemical bases of morph specializations for flight vs. reproduction // Ananthakrishnan T N, Whitman D W. Insects and Phenotypic Plasticity. Science Publishers, Enfield, 2009: 609-653.
- [9] Zhao L Q, Zhu D H, Zeng Y. Physiological trade-offs between flight muscle and reproductive development in the wing-dimorphic cricket *Velarifictorus ornatus*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 135: 288-294.
- [10] Zeng Y, Zhu D H. Trade-off between flight capability and reproduction in male *Velarifictorus asperses* crickets. Ecological Entomology, 2012, 37(3): 244-251.
- [11] Fujisaki K. Wing form determination and sensitivity of stages to environmental factors in the oriental chinch bug, *Cavelerius saccharivorus*. Applied Entomology and Zoology, 1989, 24(3): 287-294.
- [12] Roff D A. The evolution of flightlessness in insects. Ecological Monographs, 1990, 60(4): 389-421.
- [13] Dixon A F G, Horth S, Kindlmann P. Migration in insects: cost and strategies. Journal of Animal Ecology, 1993, 62(1): 182-190.
- [14] Zera A J, Mole S. The physiological costs of flight capability in wing-dimorphic crickets // Proceedings of Memorial and International Symposium on Dispersal Polymorphism of Insects, Its Adaptation and Evolution. Okayama, Japan, 1994: 11-20.
- [15] Tanaka S. Effects of suppressed oviposition activity and flight muscle histolysis on food consumption and ovarian development in a wing-dimorphic cricket: an explanation for sporadic conclusions related to physiological trade-offs. Journal of Insect physiology, 2001, 47: 83-94.
- [16] Zeng Y, Zhu D H, Zhao L Q. Comparison of flight muscle development, fecundity and longevity between long-winged and short-winged female adults of *Velarifictorus asperses* (Orthoptera: Gryllidae). Acta Entomologica Sinica, 2012, 55(2): 241-246.
- [17] Roff D A, Fairbairn D J. The Evolution and Genetics of Migration in Insects. BioScience, 2007, 57: 155-164.
- [18] Zhang B C, Zhao Z W. The regulatory mechanisms of the wing-polymorphism in *Gryllus firmus*. Chinese Bulletin of Entomology, 2009, 46(1): 5-11.
- [19] Zhao L Q, Zhu D H, He Y Y, Yang Y P. Effects of changing photoperiod on nymphal development in a cricket (*Velarifictonus ornatus*). Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 253-259.
- [20] Tanaka S, Matsuka M, Sakai T. Effect of change in photoperiod on wing form in *Pteronemobius taprobanesis* Walker. Applied Entomology and Zoology, 1976, 11(1): 27-32.
- [21] Roff D A. The cost of being able to fly: a study of wing polymorphism in two species of crickets. Oecologia, 1984, 63: 30-37.
- [22] Tanaka S. De-alation, flight muscle histolysis and oocyte development in the striped ground cricket, *Allonemobius fasciatus*. Physiological Entomology, 1986, 11: 453-458.
- [23] Zera A J, Rankin M A. Wing dimorphism in *Gryllus rubens*, genetic basis of morph determination and fertility difference

- between morphs. *Oecologia*, 1989, 80: 249-255.
- [24] Tanaka S. Allocation of resources to egg production and flight muscle development in a wing dimorphic cricket, *Modicogryllus confirmatus*. *Journal of Insect Physiology*, 1993, 39 (6): 493-498.
- [25] Perez-Mendoza J, Dover B A, Hagstrum D W, Hopkins T L. Effect of crowding, food deprivation, and diet on flight initiation and lipid reserves of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1999, 91: 317-26.
- [26] Fadamiro H Y, Wyatt T D, Birch M C. Flight activity of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in relation to population density, resource quality, age, and sex. *Journal of Insect Behavior*, 1996, 9: 339-51.
- [27] Hanski I, Breuker C J, Schops K, Setchfield R, Nieminen M. Population history and life history influence the migration rate of female *Glanville fritillaria* butterflies. *Oikos*, 2002, 98: 87-97.
- [28] Tabadkani S M, Ahsaei S M, Hosseiniaveh V, Nozari J. Food stress prompts dispersal behavior in apterous pea aphids: Do activated aphids incur energy loss?. *Physiology & Behavior*, 2013, 110-111: 221-225.
- [29] Clark R M, McConnell A, Zera A J, Behmer S T. Nutrient regulation strategies differ between cricket morphs that trade-off dispersal and reproduction. *Functional Ecology*, 2013, 27(5): 1126-1133.
- [30] Roff D A, Fairbairn D J. Wing dimorphisms and the evolution of migratory polymorphisms among the insects. *American Zoologist*, 1991, 31(1): 243-251.
- [31] Zera A J, Denno R F. Physiology and ecology of dispersal polymorphism in insects. *Annual Review of Entomology*, 1997, 42: 207-230.
- [32] Mishiro K, Fujisaki K, Nakasuji F. Comparison of female reproductive effort and male mating success between macropterous and brachypterous forms of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae). *Applied Entomology and Zoology*, 1994, 29: 211-217.
- [33] Sack C, Stern D. Sex and death in the male pea aphid, *Acyrthosiphon pisum*: the life-history effects of a wing dimorphism. *Journal of Insect Science*, 2007, 7(45): 1-9.
- [34] Socha R. Decreased mating propensity of macropterous morph in a flightless wing-polymorphic insect, *Pyrrhocoris apterus* (Heteroptera). *European Journal of Entomology*, 2004, 101: 539-545.

参考文献:

- [3] 朱道弘. 昆虫翅型分化的调控及翅多型性的进化. *昆虫知识*, 2009, 46(1): 11-16.
- [6] 朱道弘. 小翅稻蝗 (*Oxya yezoensis*) 翅多型现象浅释. *生态学报*, 2001, 21(4): 624-628.
- [16] 曾杨, 朱道弘, 赵吕权. 长颚斗蟋长翅和短翅型雌成虫飞行肌发育、生殖力及寿命的比较. *昆虫学报*, 2012, 55(2): 241-246.
- [18] 张保常, 赵章武. 沙蟋翅多型性的调控机理. *昆虫知识*, 2009, 46(1): 5-11.
- [19] 赵吕权, 朱道弘, 贺一原, 阳艳萍. 变化光周期对丽斗蟋 (*Velarifictorus ornatus*) 若虫发育的影响. *生态学报*, 2008, 28(1): 253-259.

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

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

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

Ecological Restoration

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

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

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

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

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

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

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

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

Autecology & Fundamentals

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

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

编 辑	《生态学报》编辑部 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元