

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

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 34 卷 第 3 期

2014 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 刘孝富,王文杰,李京,等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 庞明月,张力小,王长波 (537)

个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 马璐,曹文清,张文静,等 (546)
- 鲢鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)
- 环境温度对白头鹇代谢产热和蒸发失水的影响 林琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 朱凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 潘延鑫,罗纨,贾忠华,等 (597)

种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 刘雨芳,李菲,桂芳艳,等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 马威,孙军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 张雷,王琳琳,张旭东,等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 侯鹏,申文明,王桥,等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 黄辉,孟平,张劲松,等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2 , CH_4 和 N_2O 通量特征 贺桂香,李凯辉,宋韦,等 (674)

景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 董林林,杨浩,于东升,等 (690)
- 自养微生物同化 CO_2 的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 吴小红,简燕,陈晓娟,等 (701)

资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 孙玉峰,郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 252 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-02



封面图说: 云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

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/stxb201209061259

林琳, 曹梦婷, 胡益林, 黄丽丽, 李洲, 柳劲松. 环境温度对白头鹀代谢产热和蒸发失水的影响. 生态学报, 2014, 34(3): 564-571.

Lin L, Cao M T, Hu Y L, Huang L L, Li Z, Liu J S. Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*). Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 564-571.

环境温度对白头鹀代谢产热和蒸发失水的影响

林 琳¹, 曹梦婷¹, 胡益林¹, 黄丽丽¹, 李 洲¹, 柳劲松^{1,2,*}

(1. 温州大学生命与环境科学学院, 温州 325035; 2. 温州大学应用生态研究所, 温州 325035)

摘要:基础代谢率(BMR)是恒温动物维持正常生理机能的最小产热速率,是动物在清醒时维持身体各项基本功能所需的最小能量值。“能量需求”假设认为,鸟类短期 BMR 的调整可以通过改变内部器官的大小来适应能量需求。以白头鹀(*Pycnonotus sinensis*)为研究对象,分别在 10℃ 和 30℃ 的不同环境中适应 4 周后,测定了其 BMR、蒸发失水(EWL)和内部器官(心、肝、肾、胃、小肠和整体消化道)的重量,同时分析了白头鹀内部器官的变化及与 BMR 的关系。驯化 4 周后,白头鹀暖温组(30℃)的体重有明显降低的趋势;经协方差校正体重后,低温组(10℃)单位体重 BMR 与整体 BMR 明显高于暖温组,同时两组间 EWL 表现出显著差异。协方差分析表明,低温组白头鹀的肝脏、肾脏、小肠及总消化道重量显著高于暖温组。低温引起白头鹀能量需求增加,内部器官发生相应改变,要求摄入更多的氧气以维持代谢平衡,导致散失更多的蒸发水。

关键词:白头鹀;环境温度;基础代谢率;蒸发失水

Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*)

LIN Lin¹, CAO Mengting¹, HU Yilin¹, HUANG Lili¹, LI Zhou¹, LIU Jinsong^{1,2,*}

1 School of Life and Environmental Sciences, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China

2 Institute of Applied Ecology, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China

Abstract: Studies examining an organism's response to environment change can yield insight into the adaptive value of phenotypic adjustments. It has been well believed that flexibility in a certain trait is adaptively and functionally important for organisms to cope with environment change. Basal metabolic rate (BMR) plays an important role in energy balance regulation in both small mammals and birds. The hypotheses of 'energy demand' of short-term adjustments in BMR proposes that birds are able to adjust the size of internal organs to cope with changes in food intake. In the present study, we examined the effect of temperature on BMR and evaporative water loss (EWL) in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*). Birds were housed individually in cages (60 cm×60 cm×30 cm) under a 12L:12D photoperiod at room temperature. Food and water were provided *ad libitum*. Subjects were adapted to the cages for at least one week, and then randomly assigned into either cold group, birds were exposed to 10 °C for 28 days or warm group, during which birds were exposed to 30 °C for 28 days. Metabolic rates (MR) and water content of air were measured using an open-circuit respirometry system (AEI technologies S-3A/I, USA) before and after the experiment. A 'U' tube (containing silica gel) was connected in series following the respiratory chamber and was weighed before the start and at the end of each measurement. After BMR measurements, birds were killed by decapitation and heart, liver, kidneys, gizzard, small intestine and total digestive tract were removed separately and weighed (to 0.1 mg). These organs were dried at 60 °C for 2 days to constant mass and

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31070366);浙江省新苗人才计划项目部分资助

收稿日期:2012-09-06; **修订日期:**2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ljs@wzu.edu.cn

weighed again (to 0.1 mg). BMR were (4.42 ± 0.16) mL $O_2/g \cdot h$ at 10 °C and (3.75 ± 0.16) mL $O_2/g \cdot h$ at 30 °C. Difference in BMR after corrected for body mass was significant. When expressed as total BMR per bird (O_2/h) it was also significant between the two groups. EWL averaged (0.30 ± 0.02) (g H_2O/h) at 10 °C and (0.22 ± 0.03) (g H_2O/h) at 30 °C, and birds at 10 °C showed 36.4% EWL higher than at 30 °C ($P < 0.05$). In addition, birds at 10 °C had significantly larger sizes in liver, kidney, small intestine and total digestive tract than at 30 °C. It suggests that energy requirements significantly increase in Chinese bulbuls at cold compared with birds at warm, which is likely associated with the increased sizes in the internal organs and digestive tracts. A significant elevation of evaporative water at cold may be partly due to the increase in oxygen consumption.

Key Words: chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*); environmental temperature; basal metabolic rate (BMR); evaporative water loss (EWL)

陆生内温动物 (Endotherms) 需花费大量的能量用于维持生命所需的化学进程 (生理活动), 并通过呼吸、皮肤及粪便等途径丢失水分。人们发现即使在标准的实验室条件下, 内温动物依然表现出较大的能量花费及失水量的变化^[1]。在鸟类中, 能量花费水平与失水量受到环境^[2-3]、季节^[4]及生存压力^[5]变化的影响, 温度就是其中重要的影响因子之一^[6]。

基础代谢率 (BMR) 和蒸发失水 (EWL) 是被广泛用于测定不同环境条件或不同时间段内鸟类种内和/或种间能量花费和失水量的两个重要指标^[7]。目前已有许多研究证明, 鸟类 BMR 水平会随外界环境温度的改变而做出相应变化, 其中低温环境中鸟类的 BMR 较高温环境条件高^[8-9]。鸟类 EWL 包括呼吸失水 (RWL) 与皮肤失水 (CWL), 是水代谢中失水的重要途径^[10]。研究发现戴胜百灵 (*Alaemon alaudipes*)、漠百灵 (*Ammomanes deserti*) 和角百灵 (*Eremophila alpestris*) 等小型鸟类在环境温度为 25 °C 条件下的 EWL 可高达 70%—80%^[11-12]。而水分的丢失往往伴随着热量的散发, 使得 EWL 在鸟类的热量平衡中起着重要作用, 尤其是对生活在高温、水资源匮乏的地区的鸟类及一些迁徙鸟类来说显得更为重要^[7]。一些日间活动的沙漠鸟类通过呼吸道和皮肤散失水分调节体温低于致死温度, 获得生存^[13]。目前有关鸟类的 EWL 研究主要以沙漠等高温干燥地区鸟类为主, 且以自然生存条件进行的实验居多, 而以实验室条件下环境因子控制影响的研究相对较少^[6, 14-15]。

动物的 BMR 是肝脏、心脏及肾脏等代谢活性器官及肌肉组织等代谢率的总和^[16-17]。从生物进化角度来说, 一个器官的功能结构应与能量需求相匹配,

回应能量需求变化而做出适应调节^[18]。Swanson^[19]指出动物 BMR 的变化可由身体组分或特定组织的代谢强度的调节所导致身体组分或器官大小 (重量) 与代谢特征这种灵活变化是其成功应对在多变的环境条件而获得生存的重要手段, 器官的这种表型可塑性 (phenotypic flexibility) 也是脊椎动物适应环境的普遍及典型的适应方式^[20]。根据这一假设, 基础代谢反映了那些产生高代谢率的组织或器官的维持消耗, 这些器官可能包括把能量转化为可利用形式的器官——肝脏, 能量运输器官——心脏和排泄最终废物的器官——肾脏等^[21]。

白头鹀 (*Pycnonotus sinensis*) 为留鸟, 属雀形目 (Passeriformes) 鹀科 (Pycnonotidae)。世界分布于欧亚大陆及非洲北部、中南半岛。在我国主要分布于东南沿海地区、太平洋诸岛屿。西起四川、云南东北部; 东至沿海一带, 包括海南和台湾; 北达陕西南部及河南; 南及广西西南等地。白头鹀在浙江省是一种最常见的雀形目鸟类之一^[22]。已发现白头鹀具有较高的体温、较低的 BMR 和较宽的热中性区^[23], 其代谢产热存在明显的昼夜节律和季节性变化^[24-25]。内部器官 (如肝脏、心脏、肾脏和消化道) 及肌肉重量都与 BMR 的大小呈正相关, 肝脏和肌肉的线粒体呼吸, 肝脏和肌肉的细胞色素 C 氧化酶 (cytochrome c oxidase, COX) 活力及甲状腺激素冬季明显高于夏季, 显示出白头鹀在季节性驯化过程中从整体、器官到生理和生化的可塑性变化^[26-29]。伴随全球气候的变暖, 白头鹀有向北方扩散的趋势, 目前发现白头鹀以扩散至东北等地^[30]。

目前国外已有较多关于鸟类 EWL 的报道^[7, 14, 31-33], 但国内有关动物 EWL 的研究主要见于

小型啮齿动物领域^[34-38],而在鸟类中尚未见有这方面的研究报道。为进一步了解环境因子对鸟类 EWL 影响,本研究以小型鸟类白头鹎为实验对象,测定不同环境温度下的 BMR、EWL 和器官重量,试图揭示白头鹎在适应不同环境温度过程中产热调节与 EWL、内部器官变化与产热代谢之间存在的可能联系及对体温调节的意义。我们推测,低温可能引起白头鹎能量需求增加,相应的引起内部产热器官发生改变,要求摄入更多的氧气以维持平衡,使白头鹎通气量增加,导致散失更多的蒸发水。

1 实验材料与方法

1.1 实验动物

16 只白头鹎(5♂, 11♀)于 2010 年 3 月捕自浙江省温州地区(27°29'N, 120°51'E)。将白头鹎标记并单笼(60 cm×60 cm×30 cm)饲养于温州大学动物实验房,进行自然光照、室温的环境条件下自由取食及饮水。该地区气候温暖,年平均降雨量可达 1700mm,每季均有降雨,其中以春、冬两季降雨量较高。冬季(1 月)和夏季(7 月)的气温分别为 8℃ 和 32℃。适应 1 周待体重稳定后,将白头鹎随机分为低温组(10℃)与暖温组(30℃)(与冬季和夏季相近的两个温度),每组 8 只,分别于温州大学人工气候室中驯化 4 周(其中光照时间为:12L:12D)。

1.2 体温和体重的测定

测定驯化前(第 0 天)及其后每周的第 7 天白头鹎的体温和体重。体温采用北京师范大学司南仪器厂生产的便携式数字式温度测量仪测定(TH-212,精确度为 0.1℃)。将温度计插入白头鹎泄殖腔内约 1.5cm 处,待温度计示数稳定后记录其体温。体重的测定采用梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司生产的电子天平(PL3001-S,精确度为 0.1g)。

1.3 基础代谢率(BMR)的测定

代谢率以每小时单位体重的耗氧量[mL O₂ g⁻¹ h⁻¹]及每小时整体耗氧量[mL O₂/h]表示。耗氧量采用开放式氧气分析仪测定(S-3A/I,美国)。呼吸室体积为 3.6 L,人工气候箱(BIC-250,北京)控制呼吸室实验温度(30±0.5)℃^[24]。BMR 的测定每天在 9:00—19:00 时间进行。动物实验前禁食 3 h,放入呼吸室内适应 1 h 后开始测定耗氧量,共测定 1 h,选择一段连续的,稳定的最低值计算 BMR。每次实验

前后称量鸟的体重并测定泄殖腔温度。

1.4 蒸发失水(EWL)测定

在测定 BMR 的同时测定 EWL,待 BMR 出现稳定值后,将预先称重(精确至 0.1mg)并装有干燥硅胶的“U”型管接在呼吸室后,连续测定 1 h,实验前后干燥剂重量差即为 EWL。若鸟在测定期间有排泄现象,则数据作废。

1.5 器官重量的测定

BMR 测定结束后,隔日将动物断颈处死,迅速取出心、肝、肺、肾及消化道,并将消化道各部小心分离,剔除肠系膜和脂肪组织,然后纵剖,用生理盐水洗净内容物,滤纸吸干,用电子天平(瑞士梅特勒,0.1mg)称取重量记为湿重。然后将各器官、组织置于 60℃ 烘箱内烘至恒重,称量记为干重。

1.6 数据

利用 SPSS 统计软件包进行相关数据统计分析。组间体重比较采用 *t* 检验分析,组间代谢率、EWL 及内部器官重量均采用协方差分析(体重为协变量);组内各变量差异均采用单因素方差分析;EWL 与单位体重代谢率相关性采用线性回归分析。文中数据均以平均值±标准误(Mean±SE)表示,*P*<0.05 即认为差异显著。

2 结果

2.1 体温和体重

实验期间低温组(10℃)和暖温组(30℃)白头鹎的体温分别为(40.7±0.4)和(40.9±0.2)℃,二者无显著差异(*t*=0.392, *P*>0.05)。实验前,低温组和暖温组白头鹎的体重分别为(28.8±0.8)和(28.5±0.9)g,二者无显著差异(*t*=0.223, *P*>0.05)。随着驯化时间的延长,低温组白头鹎组内体重基本保持稳定,而暖温组体重却表现出明显的下降趋势(*r*²=0.481, *P*<0.02),第 28 天暖温组体重(25.6±0.6)g 较实验前下降了 10.1%。两组白头鹎组间体重在第 28 天出现显著差异(*t*=2.371, *P*<0.05),其中低温组白头鹎体重(27.7±0.6)g 较暖温组高出 8.2%(图 1)。

2.2 基础代谢率(BMR)

温度驯化 4 周后,白头鹎单位体重 BMR 与整体 BMR 经协方差校正体重后,均出现显著差异(单位体重 BMR: *F*_{1,13}=7.706, *P*<0.05;整体 BMR: *F*_{1,13}=6.762, *P*<0.05)。其中低温组单位体重 BMR(4.42±

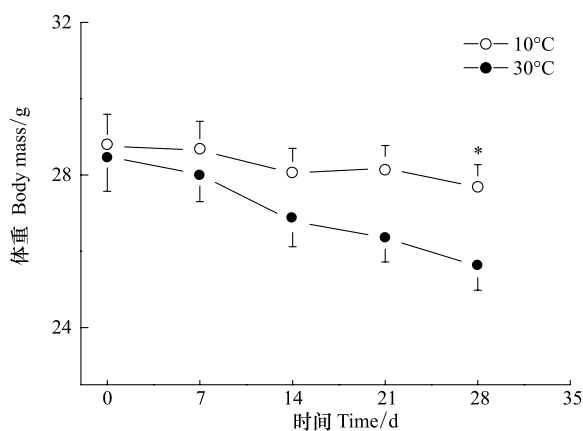


图1 环境温度对白头鹇体重的影响

Fig.1 Effects of environmental temperature on body mass in Chinese bulbul

数据为平均值±标准误; * $P < 0.05$

0.16) ($\text{mL O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) 和整体 BMR (119.58 ± 4.45) ($\text{mL O}_2/\text{h}$) 分别较暖温组单位体重 BMR (3.75 ± 0.16) ($\text{mL O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) 与整体 BMR (101.86 ± 4.45) ($\text{mL O}_2/\text{h}$) 分别高出 17.8% 与 17.4% (图 2)。

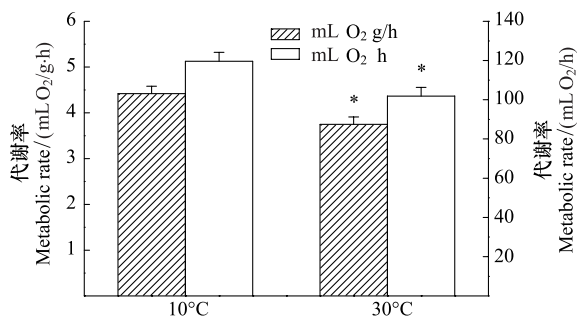


图2 温度对白头鹇代谢率的影响

Fig.2 Effects of temperature on metabolic rate in Chinese bulbul

数据为平均值±标准误; * $P < 0.05$

2.3 蒸发失水(EWL)

低温组与暖温组白头鹇的 EWL 分别为 (0.30 ± 0.02) $\text{g H}_2\text{O}/\text{h}$ 与 (0.22 ± 0.03) $\text{g H}_2\text{O}/\text{h}$, 其中低温组较暖温组高出 36.4%。经体重协方差分析, 两组间 EWL 表现出显著差异 ($F_{1,13} = 7.577, P < 0.05$) (图 3)。

具有较高的单位体重 BMR 白头鹇趋向于具有较高的 EWL, 其中单位体重 BMR 与 EWL 的线性回归方程为: $\text{EWL} = -0.089 + 0.125\text{BMR}$ ($r^2 = 0.362, P < 0.05$) (图 4)。

2.4 器官重量

方差分析表明肝脏重量在温度驯化中发生显著

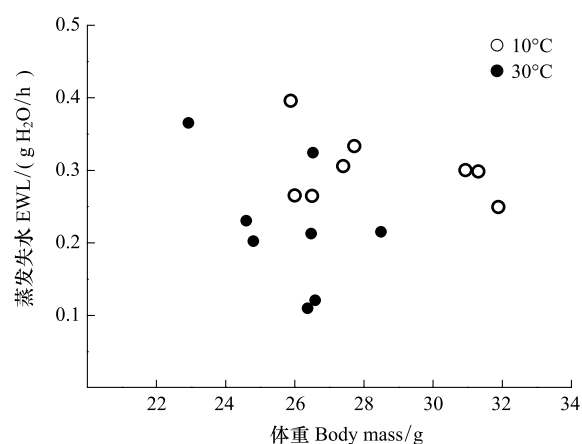


图3 温度对白头鹇蒸发失水的影响

Fig. 3 Effects of temperature on evaporative water loss in Chinese bulbul

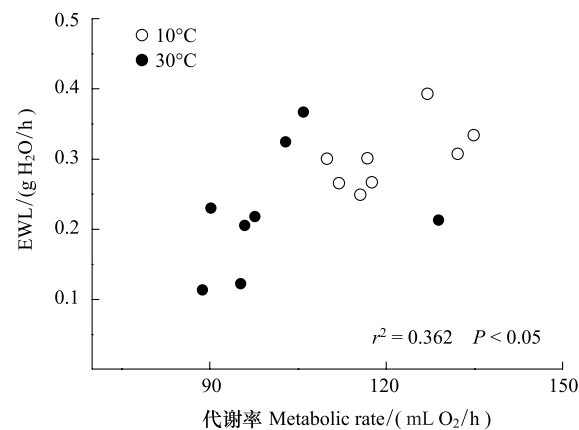


图4 白头鹇蒸发失水与代谢率的相关性

Fig.4 The relationship between evaporative water loss ($\text{g H}_2\text{O}/\text{h}$) and basal metabolic rate ($\text{mL O}_2/\text{h}$) of Chinese bulbul in temperature acclimation

变化 ($F_{1,13} = 8.328, P < 0.05$), 低温组肝脏的重量是暖温组的 1.3 倍, 但相关分析表明肝脏的重量与 BMR 之间相关不显著 ($r^2 = 0.174, P > 0.05$) (图 5)。

肾脏受温度驯化的影响也较大 ($F_{1,13} = 9.557, P < 0.01$), 低温组肾脏重量显著高于暖温组, 相关分析显示肾脏重量与 BMR 显著相关 ($r^2 = 0.311, P < 0.05$) (图 5)。

温度驯化对小肠重量有显著影响 ($F_{1,13} = 16.061, P < 0.01$), 低温组白头鹇的小肠重量是暖温组的 1.4 倍。小肠重量与 BMR 显著相关 ($r^2 = 0.507, P < 0.01$) (图 5)。

整体消化道重量也存在显著变化 ($F_{1,13} = 16.291, P < 0.01$), 低温组整体消化道重量显著高于

暖温组。相关分析显示整体消化道重量对 BMR 的

大小有显著影响($r^2 = 0.384, P < 0.05$) (图 5)。

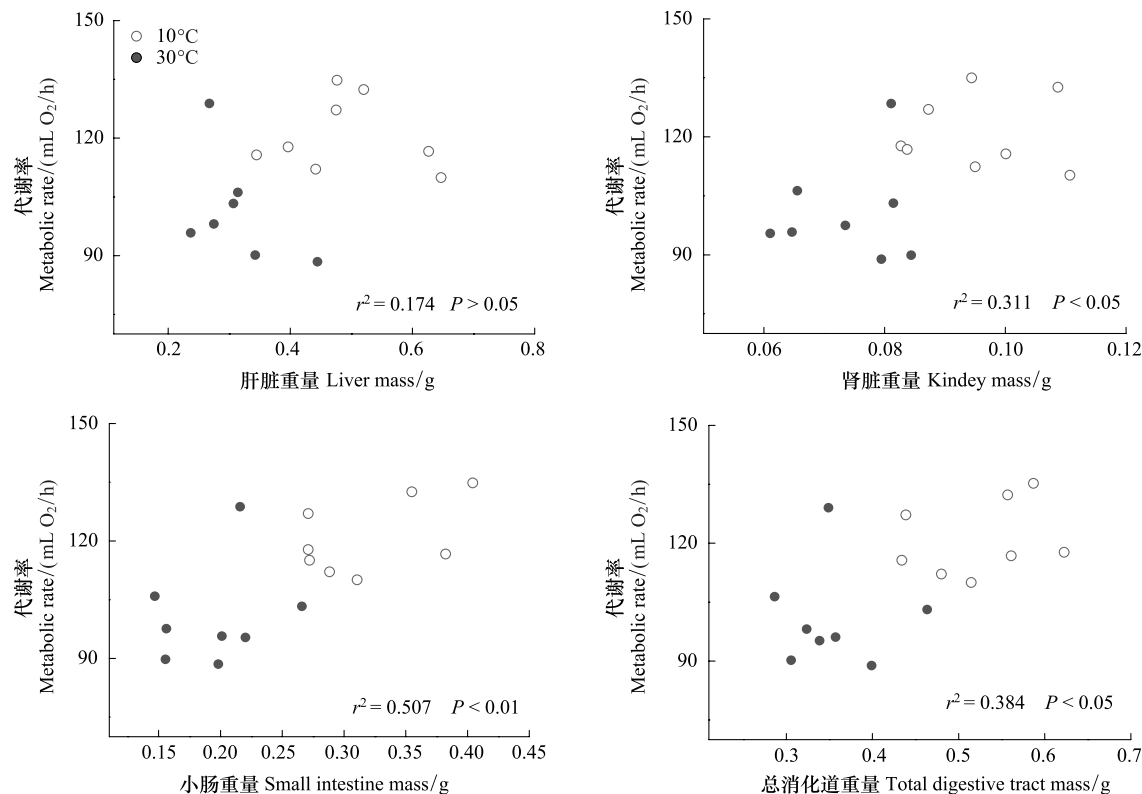


图 5 温度驯化中白头鹎 BMR 与各器官重量的相关性

Fig.5 The relationship between basal metabolic rate and organ mass of Chinese bulbul in temperature acclimation

3 讨论

体重是反映动物能量储备及营养状态的综合指标,与动物 BMR 都存在异速增长关系^[3]。本次实验发现,随驯化时间的延长,低温组白头鹎体重保持不变,而暖温组体重逐渐降低,并在第 28 天出现显著差异(低温组比暖温组高出 8.2%)。另外,低温组白头鹎单位体重 BMR 及整体 BMR 经体重校正后显著高于暖温组(分别高出 17.8% 与 17.4%),表明温度影响了白头鹎 BMR 水平,在低温条件下白头鹎具有更高的 BMR。低温条件下,为维持高且恒定的体温,提高能量代谢水平是小型鸟类的重要适应策略,这在很多鸟类如棕斑鸠(*Streptopelia Senegalensis*)、黑喉石鹇(*Saxicola torquata*)、云雀(*Alauda arvensis*)和林百灵(*Lullula arborea*)的温度驯化实验研究中得到证实^[39-41]。在自然环境中,冬季是小型鸟类一个高能量消耗与高压力的时期,相应的 BMR 也呈现出较高的水平,一般较夏季高出 15%—25%^[42-43],出现类似于生活在寒冷地带地区的小型鸟类 BMR 往往较热

带地区高的现象^[3,44-45]。

肝脏是动物最重要的产热器官之一,消化道是食物消化吸收和能量转换活跃的代谢场所,肾脏是维持体内稳定、排泄代谢废物和促使新陈代谢正常进行的部位,在鸟类中这些代谢器官具有较高的单位质量代谢率,从而使得鸟类表现出较高的单位质量 BMR^[46]。本研究中,发现白头鹎代谢活性器官(肝脏、肾脏、小肠等)受到温度的显著影响,在低温条件下,白头鹎代谢活性器官重量较高,这一结果与张国凯等^[28]和郑蔚虹等^[29]报道的结果相一致,认为白头鹎体内存在代谢活性器官,这些器官组织具有很高的代谢活性,是白头鹎 BMR 的主要决定因素之一相一致。Williams 和 Tieleman 报道了拟戴胜百灵(*Alaemon alaudipes*)在低温环境中表现出肝脏、肾脏及小肠重量的增加^[6]。低温环境中,白头鹎需要较高的 BMR 水平以维持恒定的高体温,而高的代谢活性器官促成了 BMR 的提高,最终 BMR 变化表现出了与器官重量变化相一致的水平^[17]。促进鸟类基础代谢产热增加的机制可以表现为多个层次,包括

代谢器官的调整 (adjustments in organ masses)、底物转运能力的调整 (adjustments in transport capacities for substrates) 和特殊器官的代谢强度的调整 (adjustments in metabolic intensities of specific organ) 等^[19,41]。冬季白头鹀可以通过形态、生理和生化的改变来适应外界环境,可以通过增加肝脏和肌肉的线粒体呼吸及 COX 活力来提高产热能力以适应冬季的环境条件^[28-29]。本文研究结果显示白头鹀肝脏及肌肉线粒体的状态 4 呼吸及细胞色素 C 氧化酶 (cytochrome c oxidase, COX) 在温度驯化中也表现出类似的变化,其中低温组肝脏线粒体状态 4 呼吸 ($(43.94 \pm 3.09) \text{ nmol O}_2 / \text{min} \cdot \text{mg mitochondrial protein}$) 及 COX ($(57.25 \pm 4.96) \text{ nmol O}_2 / \text{min} \cdot \text{mg mitochondrial protein}$) 分别是暖温组线粒体状态 4 呼吸 (34.74 ± 2.05) 及 COX (44.15 ± 2.76) 的 1.26 和 1.29 倍;低温组肌肉线粒体状态 4 呼吸 ($(94.74 \pm 15.50) \text{ nmol O}_2 / \text{min} \cdot \text{mg mitochondrial protein}$) 及 COX ($79.04 \pm 6.28 \text{ nmol O}_2 / \text{min} \cdot \text{mg mitochondrial protein}$) 分别是暖温组线粒体状态 4 呼吸 (82.26 ± 10.86) 及 COX (57.26 ± 7.03) 的 1.15 和 1.38 倍,可以从生理和生化水平部分解释温度对白头鹀 BMR 的影响。

EWL 在鸟类的热量平衡中有着重要作用,其变化是调节鸟类体温平衡的重要措施之一。目前有关鸟类 EWL 的报道主要见于对生活在高温、干燥环境中的鸟类研究^[2,6,15,47]。水分是生命活动的必要因素,尤其对生活于沙漠及干燥等环境中动物的生存有着重要关键的作用^[48]。高温环境中,调节体温平衡成为鸟类生存的关键,当环境空气温度过高,EWL 调节无法满足维持体温恒定是导致一些沙漠鸟类死亡的重要原因,可见 EWL 在鸟类体温调节中占十分重要的地位^[49]。

在自然环境中,生活于干燥环境的鸟类代谢率往往要较潮湿环境鸟类低,可能是对减少水分蒸发,维持体温的一种生存适应^[14,48],如生活于炎热干燥地区的拟戴胜百灵 (*Alaemon alaudipes*) 与图氏沙百灵 (*Eremalauda dunni*) BMR 与 EWL 分别较潮湿地区云雀 (*Alauda arvensis*) 和林百灵分别低 43% 与 27%^[48],这些结果都表明鸟类代谢率与 EWL 存在着正相关联系。然而,也有研究表明,在一定范围的环境温度中,鸟类 EWL 会随着温度的升高而增加,如 Tieleman 和 Williams^[31] 发现阿拉伯沙漠地区拟戴胜

百灵、图氏沙百灵及木百灵在环境温度从最适温度升至 45℃ 时,百灵的 EWL 呈现明显增加,这可能与鸟类在过度高温环境下通过调节水分蒸发降低体温有关。在过度高温环境中,鸟类面临十分严峻的水分平衡问题,即使在水分供应短缺情况下,但为了防止体温过高,维持体温在恒定范围,鸟类仍会采取增加 EWL 来降低体温获得生存。

在本研究中,发现具有较高 BMR 水平的白头鹀同时呈现较高的 EWL 水平。然而目前有关 BMR 与 EWL 之间的关系尚不清楚,但有一种猜测认为,较高的代谢率会促使通气量增加,而伴随着呼吸频率的增加,引起 RWL 的增加,最终导致 EWL 升高^[6]。本实验中,白头鹀经不同环境温度驯化表现出不同的 EWL 水平,其中低温组白头鹀的 EWL 较暖温组高出 36.4%,同时我们还发现白头鹀单位体重 BMR 与 EWL 呈正相关性,说明温度影响了白头鹀 EWL,低温条件下白头鹀较高的代谢率可能是其具有较高 EWL 水平的原因之一。类似结果在其他鸟类的研究中也见有报道 Williams 和 Tieleman^[6] 在研究拟戴胜百灵时发现,15℃ 组百灵与 36℃ 组相比较,表现出较高的 BMR 水平和较大的 EWL 量。

鸟类的基础产热受其自身生理需要及环境各因子共同影响,有关器官水平、细胞水平及酶学水平的产热研究可以加深对鸟类基础代谢调节的理解,同时有助于人们了解鸟类适应外界环境变化的相关生理适应对策。不同环境温度对白头鹀 BMR、内部器官及 EWL 有明显影响,低温条件下可以提高白头鹀的代谢率、代谢活性器官与 EWL,较高的代谢率可能是导致较高水平 EWL 的原因,而暖温条件下 (30℃) 白头鹀逐渐降低代谢产热可能是其为减少水分蒸发,保持水分的一种适应方式,最终使得白头鹀达到体温平衡适应环境。

References:

- [1] Tieleman B I, Williams J B, Buschur M E, Brown C R. Phenotypic variation of larks along an aridity gradient: are desert birds more flexible? *Ecology*, 2003, 84 (7): 1800-1815.
- [2] Tieleman B I, Williams J B, Bloomer P. Adaptation of metabolism and evaporative water loss along an aridity gradient. *Proceeding of the Royal Society B*, 2003, 270 (1511): 207-214.
- [3] McNab B K. Ecological factors affect the level and scaling of avian BMR. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2009, 152 (1): 22-45.

- [4] Webster M D, Weathers W W. Seasonal changes in energy and water use by verdins, *Auriparus flaviceps*. Journal of Experimental Biology, 2000, 203 (21): 3333-3344.
- [5] Wiersma P, Salomons H M, Verhulst S. Metabolic adjustments to increasing foraging costs of starlings in a closed economy. Journal of Experimental Biology, 2005, 208 (21): 4099-4108.
- [6] Williams J B, Tieleman B I. Flexibility in basal metabolic rate and evaporative water loss among hoopoe larks exposed to different environmental temperatures. Journal of Experimental Biology, 2000, 203 (20): 3153-3159.
- [7] Versteegh M A, Helm B, Dingemanse N J, Tieleman B I. 2008. Repeatability and individual correlates of basal metabolic rate and total evaporative water loss in birds: A case study in European stonechats. Comparative Biochemistry and Physiology A, 2008, 150 (4): 452-457.
- [8] Nzama S N, Downs C T, Brown M. Seasonal variation in the metabolism- temperature relation of House Sparrow (*Passer domesticus*) in KwaZulu-Natal, South Africa. Journal of Thermal Biology, 2010, 35 (2): 100-104.
- [9] Song Z G, Wang D H. Basal metabolic rate and organ size in Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*): Effects of photoperiod, temperature and diet quality. Physiology and Behavior, 2006, 89 (5): 704-710.
- [10] Lee P, Schmidt-Nielsen K. 1971. Respiratory and cutaneous evaporation in the zebra finch: effect on water balance. American Journal of Physiology, 1971, 220 (6): 1598-1605.
- [11] Dawson W R, William R. Evaporative losses of water by birds. Comparative Biochemistry and Physiology A, 1982, 71 (4): 495-509.
- [12] Williams J B. A phylogenetic perspective of evaporative water loss in birds. The Auk, 1996, 113 (2): 457-472.
- [13] Williams J B, Tieleman B I. Physiological adaptation in desert birds. Bioscience, 2005, 55 (5): 416-426.
- [14] Michael H, Williams J B, Wertz P, Tieleman B I. Lipids of the stratum corneum vary with cutaneous water loss among larks along a temperature-moisture gradient. Physiological and Biochemical Zoology, 2003, 76 (6): 907-917.
- [15] Muñoz-García A, Williams B. Cutaneous water loss and lipids of the stratum corneum in Dusky antbirds, a lowland tropical bird. Condor, 2007, 109 (1): 59-66.
- [16] Klaassen M, Oltrogge M, Trost L. Basal metabolic rate, food intake, and body mass in cold- and warm- acclimated Garden Warblers. Comparative Biochemistry and Physiology A, 2004, 137 (4): 639-647.
- [17] Wang D H, Yang M, Liu Q S, Zhang Z Q, Zhang X Y, Chi Q S, Xu D L. Physiological ecology in small mammals and evolutionary theory. Acta Theriologica Sinica, 2009, 29 (4): 343-351.
- [18] Liu J S, Li M. Phenotypic flexibility of metabolic rate and organ masses among tree sparrows, *Passer montanus*, in seasonal acclimatization. Acta Zoologica Sinica, 2006, 52 (3): 469-477.
- [19] Swanson D L. Seasonal metabolic variation in birds: functional and mechanistic correlates// Thompson C F, ed. Current Ornithology Volume 17. Berlin: Springer + Business, 2010: 75-129.
- [20] Piersma T, Lindström A. Rapid reversible changes in organ size as a component of adaptive behaviour. Trend in Ecology and Evolution, 1997, 12 (4): 134-138.
- [21] Starck J M, Rahmaan G H A. Phenotypic flexibility of structure and function of the digestive system of Japanese quail. Journal of Experimental Biology, 2003, 206 (11): 1887-1897.
- [22] Zheng G M, Zhang C Z. Birds in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.
- [23] Zhang Y P, Liu J S, Hu X J, Yang Y, Chen L D. Metabolism and thermoregulation in two species of passerines from south-eastern China in summer. Acta Zoologica Sinica, 2006, 52 (4): 641-647.
- [24] Zhou W, Wang Y P, Chen D H, Liu J S. Diurnal rhythms of Chinese bulbul (*Pycnonotus sinensis*) body temperature, body mass, and energy metabolism. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29 (12): 2395-2400.
- [25] Zheng W H, Liu J S, Jiang X H, Fang Y Y, Zhang G K. Seasonal variation on metabolism and thermoregulation in Chinese bulbul. Journal of Thermal Biology, 2008, 33 (6): 315-319.
- [26] Peng L J, Tang X L, Liu J S, Meng H T. The effect of thyroid hormone on basal thermogenesis (*Pycnonotus sinensis*). Acta Ecologica Sinica, 2010, 30 (6): 1500-1507.
- [27] Ni X Y, Lin L, Zhou F F, Wang X H, Liu J S. Effect of photoperiod on body mass, organ masses and energy metabolism in Chinese bulbul (*Pycnonotus sinensis*). Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (6): 1703-1713.
- [28] Zhang G K, Fang Y Y, Jiang X H, Liu J S, Zhang Y P. Adaptive plasticity in metabolic rate and organ masses among *Pycnonotus sinensis*, in seasonal acclimatization. Chinese Journal of Zoology, 2008, 43 (4): 13-19.
- [29] Zheng W H, Fang Y Y, Jiang X H, Zhang G K, Liu J S. Seasonal character in thermogenesis of liver and muscle in Chinese bulbul *Pycnonotus sinensis*. Zoological research, 2010, 31 (3): 319-327.
- [30] Song Z M. 2006. A New bird record in Northeast: *Pycnonotus sinensis*. Journal of Mudanjiang Normal University: Natural Science, 54 (4): 1-2
- [31] Tieleman B I, Williams J B. Cutaneous and respiratory water loss in larks from arid and mesic environments. Physiological and Biochemical Zoology, 2002, 75 (6): 590-599.
- [32] Groff B, Muñoz-García A, Yamaguchi M, Williams J B. Development of skin structure and cutaneous water loss in nestling desert House Sparrows from Saudi Arabia. Comparative Biochemistry and Physiology A, 2007, 147 (2): 493-501.

- [33] Ro J, Williams J B. 2010. Respiratory and cutaneous water loss of temperate-zone passerine birds. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2010, 156 (2): 237-246.
- [34] Wang D H, Wang Z W. Body temperature regulation and evaporative water loss in root vole (*Microtus oeconomus*). *Acta Theriologica Sinica*, 2000, 20 (1): 37-47.
- [35] Wang D H, Sun R Y, Wang Z W. Evaporative water loss and thermoregulation in plateau pika (*Ochotona curzoniae*). *Acta Theriologica Sinica*, 1993, 13 (2): 104-113.
- [36] Zhu W L, Jia T, Lian X, Wang Z K. Evaporative water loss and energy metabolic in two small mammals, voles (*Eothenomys miletus*) and mice (*Apodemus chevrieri*), in Hengduan mountains region. *Journal of Thermal Biology*, 2008, 33 (6): 324-331.
- [37] Zhu W L, Yang Y H, Jia T, Lian X, Wang Z K, Gong Z D, Guo X G. Evaporative water loss and body temperature regulation in *Eothenomys miletus* and *Apodemus chevrieri*. *Acta Theriologica Sinica*, 2008, 28 (1): 65-74.
- [38] Zhu W L, Zhang L, Wang Z K. Thermogenic characteristics and evaporative water loss in the tree shrew (*Tupaia belangeri*). *Journal of Thermal Biology*, 2010, 35 (6): 290-294.
- [39] McKechnie A E, Chetty K, Lovegrove B G. Phenotypic flexibility in the basal metabolic rate of laughing doves: responses to short-term thermal acclimation. *Journal of Experimental Biology*, 2007, 210 (1): 97-106.
- [40] Tieleman B I. Differences in the physiological responses to temperature among stonechats from three populations reared in a common environment. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2007, 146 (2): 194-199.
- [41] McKechnie A E. Phenotypic flexibility in basal metabolic rate and the changing view of avian physiological diversity: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, 2008, 178 (3): 235-247.
- [42] Zheng W H, Li M, Liu J S, Shao S L. Seasonal acclimatization of metabolism in Eurasian tree sparrows (*Passer montanus*). *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2008, 151 (4): 519-525.
- [43] Liknes E T, Swanson D L. Phenotypic flexibility in passerine birds: Seasonal variation of aerobic enzyme activities in skeletal muscle. *Journal of Thermal Biology*, 2011, 36 (7): 430-436.
- [44] Liu J S, Wang D H, Sun R Y. Climatic adaptations in metabolism of four species of small birds in China. *Acta Zoologica Sinica*, 2005, 51 (1): 24-30.
- [45] Lin L, Wang L H, Liu J S. Metabolism and Thermoregulation in Crested Mynas (*Acridotheres cristatellus*). *Chinese Journal of Zoology*, 2010, 45 (5): 47-53.
- [46] Daan S, Masman D, Groenewold A. 1990. Avian basal metabolic rates: their association with body composition and energy expenditure in nature. *American Journal of Physiology*, 1990, 25 (2): R333-340.
- [47] Tieleman B I, Williams J B, Buschur M E. 2002. Physiological adjustments to arid and mesic environments in larks (*Alaudidae*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 2002, 75 (3): 305-313.
- [48] Muñoz-García A, Williams B. Cutaneous water loss and lipids of the stratum corneum in house sparrows *Passer domesticus* from arid and mesic environments. *Journal of Experimental Biology*, 2005, 208 (19): 3689-3700.
- [49] Serventy D L. Biology of desert birds // Farner D S, King J R, eds. *Avian Biology*. New York: Academic Press, 1971: 287-339.

参考文献:

- [17] 王德华,杨明,刘全生,张志强,张学英,迟庆生,徐德立.小型哺乳动物生理生态学研究与进化思想. *兽类学报*, 2009, 29 (4): 343-351.
- [24] 周围,王玉萍,陈德汉,柳劲松.白头鹀体温、体重及能量代谢的昼夜节律. *生态学杂志*, 2010, 29 (12): 2395-2400.
- [26] 彭丽洁,唐小丽,柳劲松,孟海涛.甲状腺激素对白头鹀基础产热的影响. *生态学报*, 2010, 30 (6): 1500-1507.
- [27] 倪小英,林琳,周菲菲,王小华,柳劲松.光周期对白头鹀 (*Pycnonotus sinensis*) 体重、器官重量和能量代谢的影响. *生态学报*, 2011, 31 (6): 1703-1713.
- [28] 张国凯,方媛媛,姜雪华,柳劲松,张永普.白头鹀的代谢率与器官重量在季节驯化中的可塑性变化. *动物学杂志*, 2008, 43 (4): 13-19.
- [29] 郑蔚虹,方媛媛,姜雪华,张国凯,柳劲松.白头鹀肝脏和肌肉冬夏两季的代谢产热特征比较. *动物学研究*, 2010, 31 (3): 319-327.
- [30] 宋泽明.东北鸟类新记录——白头鹀. *牡丹江师范学院学报: 自然科学版*, 2006, 54 (4): 1-2.
- [34] 王德华,王祖望.高寒地区根田鼠的体温调节与蒸发失水. *兽类学报*, 2000, 20 (1): 37-47.
- [35] 王德华,孙儒泳,王祖望.高原鼠兔蒸发失水的地位及热能调节. *兽类学报*, 1993, 13 (2): 104-113.
- [37] 朱万龙,杨永宏,贾婷,练硝,王政昆,龚正达,郭宪国.横断山两种小型哺乳动物的蒸发失水与体温调节. *兽类学报*, 2008, 28 (1): 65-74.
- [45] 林琳,王丽华,柳劲松.八哥的代谢产热特征及体温调节. *动物学杂志*, 2010, 45 (5): 47-53.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

Autecology & Fundamentals

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer
..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus*
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*)
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancuo (605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae)
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter
..... MA Wei, SUN Jun (621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis*
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS)
..... MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone
..... DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils
..... WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

Resource and Industrial Ecology

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach
..... SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan
..... SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

Urban, Rural and Social Ecology

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression
..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

Research Notes

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi
..... LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area
..... LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China
..... WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China
..... LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

《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 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 3 (February, 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