ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第34卷 第10期 Vol.34 No.10 **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 10 期 2014 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 景观可持续性与景观可持续性科学..... 赵文武,房学宁 (2453)
- 生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 朱文博,王 阳,李双成 (2460)
- 湿地植物根表铁膜研究进展..... 刘春英,陈春丽,弓晓峰,等 (2470)
- 水生生态环境中捕食信息素的生态学效应..... 覃光球,卢豪良,唐振柱,等 (2481)
- 脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 潘 扬,罗 芳,鲁长虎 (2490)

个体与基础生态

- 中亚热带天然林土壤 CH_4 吸收速率对模拟 N 沉降的响应 陈朝琪,杨智杰,刘小飞,等 (2498)
- 塔里木盆地南缘早生芦苇生态特征与水盐因子关系..... 贡 璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等 (2509)
- 黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (2519)
- 亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应..... 余再鹏,万晓华,胡振宏,等 (2529)
- 施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性..... 王 伟,张月玲,苏建伟,等 (2539)
- 高浓度 O_3 及太阳辐射减弱对冬小麦 PS II 光合活性及光能耗散的影响 孙 健,郑有飞,吴荣军,等 (2548)
- 蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果 黄秋斌,张 颖,刘凤英,等 (2559)
- 有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究..... 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等 (2567)
- 抗真菌转基因水稻生态适合度评价..... 李 伟,郭建夫,袁红旭,等 (2581)
- 花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 杜照奎,李钧敏,钟章成,等 (2589)
- 南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成..... 刘华雪,柯常亮,李纯厚,等 (2599)
- 年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响..... 袁芳凯,李言阔,李凤山,等 (2608)
- [树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 杨志宏,吴庆明,杨 渺,等 (2617)
- 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 李 锐,李 娜,刘 佳,等 (2629)
- 空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能..... 刘雨芳,王秀秀,李 菲,等 (2638)
- ### 种群、群落和生态系统
- 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响..... 李言阔,钱法文,单继红,等 (2645)
- 不同退耕年限下菜子湖湿地土壤磷素组分特征变化..... 刘文静,张平究,董国政,等 (2654)

查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析	李然然,章光新,张 蕾 (2663)
闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性.....	曾志华,杨民和,余晨兴,等 (2674)
环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响.....	郑 颖,温仲明,宋 光,等 (2682)
衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变.....	杨 宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价.....	李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
中国南方3种主要人工林生物量和生产力的动态变化.....	杜 虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
杉木人工林土壤真菌遗传多样性.....	何苑擘,周国英,王圣洁,等 (2725)
科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应.....	张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律.....	申家朋,张文辉 (2746)
景观、区域和全球生态	
南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应.....	刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响.....	徐建文,居 辉,刘 勤,等 (2765)
资源与产业生态	
基于GIS的山西省矿产资源规划环境影响评价	刘 伟,杜培军,李永峰 (2775)
基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例	赵丹丹,刘俊国,赵 旭 (2787)
学术信息与动态	
全球土地计划第二次开放科学大会(GLP 2 nd Open Science Meeting)会议述评	段宝玲,卜玉山 (2796)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 36 * 2014-05

封面图说: 鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90% 以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

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/stxb201304150715

李言阔, 钱法文, 单继红, 李佳, 袁芳凯, 缪泸君, 谢光勇. 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响. 生态学报, 2014, 34(10): 2645-2653.

Li Y K, Qian F W, Shan J H, Li J, Yuan F K, Miao L J, Xie G Y. The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(10): 2645-2653.

气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响

李言阔¹, 钱法文^{2,*}, 单继红^{3,4}, 李 佳¹, 袁芳凯¹, 缪泸君¹, 谢光勇¹

(1. 江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022;

2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091;

3. 东北林业大学野生动物资源学院, 哈尔滨 150040; 4. 江西省野生动植物保护管理局, 南昌 330038)

摘要: 分析了 1983—2011 年鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量的年际变化趋势, 检验了白鹤种群动态与繁殖地和越冬地气候变化的相关性, 气候变量包括月平均气温、月平均最高气温、月平均最低气温和月降水量。研究表明, 鄱阳湖国家级自然保护区内的白鹤年最大数量平均为 $(2\,130 \pm 153)$ 只, 呈显著地线性增长趋势 ($R^2 = 0.454$, $F = 22.441$, $df = 28$, $P = 0.000$), 但年际波动较大。在越冬地, 越冬当年 10 月、11 月、12 月的气候变量与白鹤种群数量没有显著的相关性, 但越冬初期 10 月份和越冬后期翌年 3 月份的气温变量与第 4 年、第 5 年、第 6 年及第 7 年的白鹤种群数量存在显著的正相关, 表明越冬地气候对白鹤种群大小的影响存在时滞效应。越冬初期和末期可能是白鹤补充能量的关键阶段, 而且越冬初期的气候可能也与冬季食物的数量或质量相关, 因此这两个阶段的适宜气温可能有利于个体尤其是幼鹤的存活, 使更多的个体参加繁殖, 由于白鹤的性成熟年龄在 3—5a, 因此其对白鹤种群增长的有利影响会在 3a 以后表现出来。白鹤种群数量变化与繁殖地繁殖期的降水量没有显著的相关性, 而与 7 月份的气温变量存在显著的正相关。多元线性回归分析结果表明, 6a 前的 10 月份平均最低温度、2a 前的 10 月最高温度及 5a 前的 10 月平均气温是白鹤种群数量变化的显著预测因子, 共同解释了鄱阳湖国家级自然保护区白鹤种群数量变化的 74.8% ($F = 23.807$, $df = 27$, $P = 0.000$)。

关键词: 白鹤; 鄱阳湖; 种群数量; 气候变化

The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake

LI Yankuo¹, QIAN Fawen^{2,*}, SHAN Jihong^{3,4}, LI Jia¹, YUAN Fangkai¹, MIAO Lujun¹, XIE Guangyong¹

1 College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China

2 Key Laboratory of Forestry Protection of State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry Sciences, Beijing 100091, China

3 College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

4 Wildlife Service of Jiangxi Province, Nanchang 330038, China

Abstract: Siberian crane (*Grus leucogeranus*) is a critically endangered species and has been a bird species under second class protection. In recent years, almost the entire population winters at or very near Poyang Lake, China. Based on the annual maximum population size of Siberian crane wintering in the Poyang Lake National Nature Reserve during 1983 and 2011, we tested the correlation between population size and the climate variables of its wintering and breeding areas. The climate variables included monthly average air temperature, monthly average maximum air temperature, monthly average minimum air temperature and monthly precipitation. The results showed that the annual maximum population size of Siberian

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31000196); 国家级自然保护区生态环境十年变化调查与评估 (环保重大专项, STSN-7); 鄱阳湖科学考察之鸟类资源及其生境动态变化考察 (20114ABG01100-1-03)

收稿日期: 2013-04-15; **网络出版日期:** 2014-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cranenw@caf.ac.cn

crane in the Poyang Lake National Nature Reserve was 2130 ± 153 , with a significant linear increase ($R^2 = 0.454$, $F = 22.441$, $df = 28$, $P = 0.000$) and drastic annual fluctuation. The Pearson correlation analysis results indicated that there were no significant correlations between the population size and the climate variables in the same year. However, the air temperature variables of October and March of the following year during a wintering period showed a significant positive correlation with the population size of the Siberian crane after 3, 4, 5 and 6 years, which indicated that the influence of the wintering area climate on the Siberian crane population size has a time-lag effect. October and March were the early and late periods of winter when the Siberian crane finishes and starts its long-distance migration, respectively. We speculated that early and late winter may be key stages for the crane to replenish energy. The climate in these two months may be correlated with the quantity or quality of winter food, therefore, presumably a suitable temperature in these periods could improve individuals, especially encouraging young crane's survival, allowing more individuals to participate in breeding. Furthermore, the age of sexual maturity of the Siberian crane is usually 3—5 years, therefore, the increase in population numbers caused by the suitable temperature during wintering periods becomes obvious after 3—5 years. As for the climate in breeding areas, there was no significant correlation between Siberian crane population size and precipitation during the breeding period. However, the population size of Siberian crane in the Poyang Lake National Nature Reserve was significantly positively correlated with the air temperature variables in July in its breeding area during the same year. The air temperature in July in breeding areas may be correlated with the food availability for Siberian crane, which is especially important for bringing up young cranes. The stepwise linear regression result showed that the average minimum air temperature in October before the 6th year, the average maximum air temperature in October before the 2nd year, and the average air temperature in October before the 5th year were significant predictive factors for the population size fluctuation of the Siberian crane and accounted for 74.8% of the total population size change ($R^2 = 0.748$, $F = 23.807$, $df = 27$, $P = 0.000$). The climate-related prediction model for the Siberian crane population size was $Y = -18101 + 53.150X_1 + 29.610X_2 + 22.363X_3$, where Y was the annual maximum population size of the Siberian crane in the Poyang Lake National Nature Reserve, X_1 was the average minimum air temperature in October before the 6th year, X_2 was the average maximum air temperature in October before the 2nd year, and X_3 was the average air temperature in October before the 5th year. Only considering the climate factor, the model predicted that the population size of Siberian crane will show an obvious decrease in 2016.

Key Words: Siberian crane; Poyang Lake; population size; climate change

在过去半个世纪里,气候及其变化对鸟类的影响一直是鸟类学家关注的焦点之一^[1-2],这些研究涉及气候变化对物种分布、物候、繁殖行为、种群数量以及群落组成与结构的影响^[3-4]。面对气温的升高,很多物种的分布区北移或向更高海拔地区转移^[4-5]。有些鸟类物种将它们的繁殖时间和迁徙日期等季节性节律提前,通过改变物候时间来适应气候变化^[4-5]。一些食物链高层的物种由于无法及时地适应气候的变化,导致繁殖时间与食物丰裕期不重叠,使其种群受到明显的不利影响^[6]。

由于自然种群在经历一个数量波动后通常会进行种群数量的调节,因此气候变化对种群数量的影响很容易被种群数量的密度制约性调节所掩盖^[3]。

但是近年来的研究表明,气候会对动物的种群动态有较强的影响^[7-8],例如极端气候事件可能会直接导致死亡率的迅速提高,甚至导致局部种群的灭绝^[9-10],也可能通过影响食物资源的数量和质量而施加间接的影响^[11]。天气的常规变化对动物种群的影响则没有极端天气的影响迅速和明显^[12],甚至存在时滞效应,即在动物生活史某一阶段的气候条件对动物种群的影响要经过一定的时间后才显现出来^[10]。在全球变化的背景下,理解一个迁徙物种某一生活史阶段的气候条件如何对其后来的存活施加影响,成为一个重要的研究议题^[14]。

白鹤(*Grus leucogeranus*)又名西伯利亚鹤,其全球种群现存仅约3 500—4 000只个体,被IUCN红皮

书列为极度濒危物种^[15],也被我国列为国家 I 级重点保护物种^[16],在我国长江中下游越冬,在西伯利亚繁殖。近年来,鄱阳湖越冬白鹤种群数量表现出较大的波动^[17]。本研究分析了鄱阳湖国家级自然保护区 1983 年到 2011 年共 29a 间保护区内越冬白鹤最大数量的年际变化,探讨了白鹤数量变化与其越冬地和繁殖地气候变化的关系,主要检验了:(1) 白鹤种群数量变化与其越冬地当年的气候变量是否存在显著的相关性;(2) 白鹤种群数量变化是否与白鹤繁殖地当年的气候变量存在显著相关性;(3) 白鹤越冬地气候条件对白鹤种群数量波动的影响是否存在时滞效应。

1 研究地区概况

鄱阳湖湿地是我国最大的淡水湖泊湿地,也是迁徙水鸟的重要越冬栖息地,位于长江南岸,江西北部,地理坐标为 115°49'—116°46'E, 28°11'—29°51'N,属亚热带湿润季风型气候,热量丰富,雨量充沛,无霜期长,四季分明。年平均气温 17—17.8℃,年际变化不大。南北相差 1℃左右。高值区在南部,低值区在北部。气温季节性变化明显,无霜期平均为 246—284 d,年平均降水量 1 636.4 mm,年平均日照 1 702 h,高于 10℃积温平均为 5 244—5 666℃,年辐射总量为 460—477 kJ/cm²^[18]。

鄱阳湖是季节性过水湖泊、连河湖,承接赣江、抚河、信江、饶河、修水五大河的来水,经调蓄后经湖口进入长江,流域面积 16.2×10⁴ km²,是一个完整的水系。同时,鄱阳湖水位也受到长江来水的影响,长江水时有倒灌入湖现象。洪水季节,鄱阳湖水位高涨、湖面宽阔、一望无际。枯水季节,鄱阳湖水位下降,洲滩出露,湖水归槽,蜿蜒一线。洪、枯水期的水域面积、水容积相差极大。“高水是湖,低水似河,洪水一片,枯水一线”是鄱阳湖区的自然地理特征。

2 研究方法

鄱阳湖国家级自然保护区 1983—1998 年白鹤最大种群数量采用该保护区 1983 年到 1998 年越冬白鹤数量的最大监测值^[19],1998 年以后鄱阳湖国家级自然保护区内的最大白鹤种群数量参考了该保护区 2000—2008 年的监测值^[20]、本研究于 1998—2011 年开展的环鄱阳湖水鸟调查在该保护区内记录

的白鹤数量^[17],以及其他相关报道中的白鹤种群数量值^[21-23],以其中的最大数量作为鄱阳湖国家级自然保护区每年白鹤最大种群数量。鄱阳湖区白鹤越冬期(10、11、12 月、翌年 1 月到 3 月)的气象数据引用《中国地面气候资料月值数据集》南昌监测站 1980—2011 年的月平均气温、月平均最低气温、月平均最高气温、月降水量数据;白鹤繁殖地繁殖期的气象数据来自俄罗斯雅库特 Bukhta Tiksi 气象监测站(128°54'36"E, 71°34'48")的月值气象数据,包括 6、7 月和 8 月的月平均气温、月平均最低气温、月平均最高气温、月降水量数据。

本研究使用 Pearson 相关分析检验了白鹤种群 29 年间的数量变化与白鹤越冬地和繁殖地各月的平均气温、平均最低气温、平均最高气温和降水量的相关性,并检验了越冬地气候变量与其后 10a 内白鹤种群数量变化的相关性。考虑到极端值对相关分析会产生较大的影响,对相关性分析结果进行检验以消除极端值的影响。进而,本研究以白鹤种群数量作为因变量,将与其存在显著相关性的气候变量作为自变量,进行多元线性回归分析,建立基于越冬地和繁殖地气候变化的白鹤种群数量动态预测模型。数据分析在 Spss13.0 中完成。

3 研究结果

3.1 白鹤越冬地与繁殖地的气候波动

1980—2011 年白鹤越冬地越冬期平均气温为(11.0±0.1)℃,表现出明显的年际波动(图 1),尤其是在 1997 年以后,平均气温升高,且年际波动幅度增加。1997—2011 年白鹤越冬期平均气温为(11.5±0.2)℃,较 1980 年到 1996 年的白鹤越冬期平均气温(10.6±0.1)℃升高了 0.9℃,导致 30 年来白鹤越冬期的平均气温略呈线性增长趋势($R^2 = 0.375$, $F = 17.988$, $df = 31$, $P = 0.000$),增长斜率为 0.050℃。相同的变化趋势也见于平均最高气温和平均最低气温。越冬期平均降水量为(529.0±27.2) mm,年际变化比较大(图 1),虽然总体并无明显的线性增减趋势($R^2 = 0.001$, $F = 0.036$, $df = 31$, $P = 0.851$),但是 1996 年后年际波动幅度增大。

白鹤繁殖地繁殖期的平均气温为(6.3±0.3)℃,年际波动较大(图 2),最大值为 2010 年的 9.0℃,最低值为 1984 年的 3.4℃;平均最低气温和平均最高

气温与平均气温表现出相同的波动趋势,虽然没有明显的线性增减趋势,但是年际波动幅度增大。繁殖地繁殖期的降水量平均为 (141.5 ± 12.1) mm,表现

出剧烈的年际波动,最低值为2010年的63.5 mm,最大值为1996年的289.1 mm,呈现出“高峰-低谷-高峰”的波动趋势(图2)。

图1 1980—2011年鄱阳湖白鹤越冬期平均气温与降水量变化趋势

Fig.1 the change trends of the average air temperature and precipitation in the Poyang lakes during the wintering period of Siberian crane during 1980 to 2011

图2 白鹤西伯利亚繁殖地繁殖期降水量与平均气温年际变化趋势

Fig.2 the trends of precipitation and average air temperature in the breeding period of Siberian cranes in the Siberia

3.2 种群数量

鄱阳湖国家级自然保护区1983—2011年冬季白鹤年最大数量的平均值为 (2130 ± 153) 只,最小数量出现在1992年,为725只,最大数量出现在2011年,为3358只;种群数量整体呈显著地线性增长趋势($R^2=0.454$, $F=22.441$, $df=28$, $P=0.000$),但年际波动较大(图3)。

3.3 种群数量与越冬地气候变量的关系

不考虑气候影响的时滞,1983年冬季到2011年冬季鄱阳湖国家级自然保护区内越冬白鹤的最大数

量与白鹤越冬期当年各月的气温和降水量相关系数较小,均没有显著的相关性;10月平均最低气温($r=0.276$, $P=0.147$, $n=29$)、10月平均最高气温($r=0.255$, $P=0.181$, $n=29$)、10月平均气温($r=0.294$, $P=0.121$, $n=29$)、10月降水量($r=-0.142$, $P=0.462$, $n=29$);11月平均最低气温($r=0.266$, $P=0.163$, $n=29$)、11月平均最高气温($r=0.126$, $P=0.515$, $n=29$)、11月平均气温($r=0.221$, $P=0.249$, $n=29$)、11月降水量($r=0.093$, $P=0.632$, $n=29$);12月平均最低气温($r=0.081$, $P=0.674$, $n=29$)、12月

图3 鄱阳湖国家级自然保护区1983—2011年最大白鹤数量年度变化趋势

Fig.3 the change trends of the maximum number of Siberian crane wintering inside the Poyang Lake National Nature Reserve during 1983—2011

平均最高气温($r = -0.001, P = 0.994, n = 29$)、12月平均气温($r = 0.055, P = 0.778, n = 29$)、12月降水量($r = 0.036, P = 0.853, n = 29$)。

考虑气候变化影响的时滞,10月份平均最高气温与2a后白鹤数量存在显著正相关($r = 0.441, P = 0.017, n = 29$),去除极端值,两者的相关性并不显著($r = 0.329, P = 0.087, n = 28$);10月份平均最高气温与3a后的白鹤数量存在显著正相关($r = 0.413, P = 0.026, n = 29$),去除极端值,两者之间的相关性不显著($r = 0.303, P = 0.116, n = 28$),10月平均最低气温与4a后,即第5年保护区白鹤最大数量存在显著的正相关($r = 0.387, P = 0.038, n = 29$),与保护区5a后白鹤最大数量存在正相关($r = 0.500, P = 0.006, n = 29$),与6a后,即第7年的保护区白鹤最大数量存在显著的正相关($r = 0.595, P = 0.001, n = 29$,图4);10月份平均气温与保护区5a后白鹤最大数量存在正相关($r = 0.394, P = 0.034, n = 29$),与6a后白鹤数量存在显著正相关($r = 0.389, P = 0.037, n = 29$)。

白鹤越冬期11月份降水量与6a后保护区内白鹤最大数量存在显著正相关($r = 0.473, P = 0.010, n = 29$),但是极端值的影响较大,去除极端值,两者之间的相关性并不显著($r = 0.305, P = 0.122, n = 27$)。12月份降水量、平均气温、平均最高气温、平均最低气温与10a内白鹤种群数量均无显著的相关性。白鹤越冬期翌年1月份降水量与5a后鄱阳湖国家级自然保护区白鹤最大数量存在显著正相关($r = 0.401, P = 0.031, n = 29$),去除极端值,两者的相关性并不显著($r = 0.346, P = 0.072, n = 28$)。1月平均最低气温与6a后白鹤数量存在显著正相关($r = 0.417, P =$

图4 鄱阳湖国家级自然保护区1983—2011年白鹤最大数量与越冬地6年前10月平均最低气温的相关性

Fig.4 the correlation of the maximum number of Siberian cranes in the Poyang Lake National Nature Reserve and the average minimum air temperature of Oct. before 6 years

0.024, $n = 29$),同样受极端值影响较大,去除极端值,两者的相关性不显著($r = 0.302, P = 0.120, n = 28$)。

白鹤越冬期2月平均最低气温与1a后的鄱阳湖国家级自然保护区白鹤最大数量均存在显著正相关($r = 0.367, P = 0.050, n = 29$),但受极端值影响较大,去除极端值,两者之间不存在显著的相关性($r = 0.316, P = 0.101, n = 28$)。越冬末期3月平均气温与5a后白鹤数量存在显著正相关($r = 0.569, P = 0.001, n = 29$,图5),3月平均最低气温与5a后白鹤数量存在显著正相关($r = 0.526, P = 0.003, n = 29$,图6),3月平均最高温度与5a后白鹤数量存在显著正相关($r = 0.570, P = 0.001, n = 29$,图7),3月平均最高气温与

图5 鄱阳湖国家级自然保护区1983—2011年白鹤最大数量与其5a前越冬地3月平均气温的相关性

Fig.5 The correlation between the maximum number of Siberian cranes in the Poyang Lake National Nature Reserve and the average air temperature of March in wintering area before 5 years

6a 后白鹤数量存在显著正相关 ($r=0.374, P=0.045, n=29$)。

图6 鄱阳湖国家级自然保护区 1983—2011 年白鹤最大数量与越冬地 5a 前 3 月平均最低气温的相关性

Fig. 6 The correlation between the maximum number of Siberian cranes in the Poyang Lake National Nature Reserve and the average minimum air temperature of March in wintering area before 5 years

3.4 数量变化与繁殖地气候变量的关系

鄱阳湖国家级自然保护区 1983—2011 年冬季白鹤最大数量与繁殖期的总降水量没有显著的相关性 ($r=0.031, P=0.885, n=25$), 同样与繁殖期各月的

图7 鄱阳湖国家级自然保护区 1983—2011 年白鹤最大数量与越冬地 5a 前 3 月平均最高气温的相关性

Fig. 7 The correlation between the maximum number of Siberian cranes in the Poyang Lake National Nature Reserve and the average maximum air temperature of March in wintering area before 5 years

降水量也不存在显著的相关性 (6 月: $r=-0.064, P=0.757, n=26$; 7 月: $r=0.307, P=0.128, n=28$; 8 月: $r=-0.155, P=0.439, n=27$)。鄱阳湖国家级自然保护区白鹤最大数量与繁殖地 6 月和 8 月的平均气温、平均最低气温以及平均最高气温均没有显著的相关性, 与 7 月份的平均气温、平均最高气温、平均最低气温存在显著的正相关 (表 2)。

表2 鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量与繁殖地繁殖期气温的相关性分析

Table 2 The Pearson correlation coefficient between the population size of Siberian crane wintering in the Poyang Lake National Nature Reserve and the air temperature in its breeding area

Pearson 相关分析 Pearson correlations	6 月气温 Air temp of June			7 月气温 Air temp of July			8 月气温 Air temp of Aug.		
	平均 Average	最高 Max	最低 Min	平均 Average	最高 Max	最低 Min	平均 Average	最高 Max	最低 Min
相关系数 Correlation coefficient	0.116	0.096	0.140	0.483	0.471	0.426	0.247	0.228	0.204
P	0.556	0.627	0.479	0.009	0.011	0.024	0.205	0.244	0.298
n	28	28	28	28	28	28	28	28	28

3.5 基于气候的白鹤种群增长模型

将鄱阳湖国家级自然保护区白鹤越冬种群数量的最大值作为因变量, 与其存在显著相关性的气候变量作为自变量, 进行 Stepwise 线性回归分析, 结果表明, 6a 前的 10 月平均最低温度、2a 前 10 月最高温度及 5a 前的 10 月平均气温是显著的预测变量, 共同解释了鄱阳湖国家级自然保护区白鹤种群数量变化的 74.8% ($R^2=0.748, F=23.807, df=27, P=0.000$)。回归模型为 $Y = -18\ 101 + 53.150X_1 +$

$29.610X_2 + 22.363X_3$, 式中 Y 为鄱阳湖国家级自然保护区每年越冬白鹤种群的最大数量, X_1 为 6a 前 10 月平均最低气温, X_2 为 2a 前的 10 月平均最高气温, X_3 为 5a 前的 10 月平均气温。该模型较好地拟合了鄱阳湖国家级自然保护区白鹤种群数量变化趋势 (图 8)。

4 讨论

全球白鹤可以分为 3 个种群: 东部种群, 数量最

图8 鄱阳湖国家级自然保护区白鹤种群数量变化趋势与基于越冬地气候的白鹤种群增长模型对白鹤种群数量变化趋势的预测

Fig.8 the trends of observed Siberian crane maximum number in the PLNNR and the predicted fluctuation of Siberian crane by the climate-based model

大的种群,主要在西伯利亚东北部繁殖,在中国长江中游流域越冬;中部种群,主要在西伯利亚库诺瓦特(Kunovat)河谷繁殖,在印度拉基斯坦邦(Rajasthan)的克拉迪奥国家公园(Keoladeo National Park)越冬,该种群可能已经消失,自2001/2002年冬季一直没有再发现;西部种群,主要在西西伯利亚(west Siberia)中部繁殖,在伊朗里海(Caspian sea)南岸越冬,从2006/2007年冬季之间仅记录到1个个体^[15]。这意味着,近年来鄱阳湖区成为白鹤主要的越冬地,几乎整个白鹤全球种群均在该区越冬^[15]。因此,该区白鹤种群数量的变化可以很好地反映全球白鹤种群的数量动态。又由于该种群的繁殖地主要集中在雅库特(Yakutia)和西西伯利亚,这意味着白鹤东部种群的繁殖地和越冬地比较固定,分析气候变化对该种群的影响可以消除广泛分布区的影响,有利于揭示气候变化与种群波动的相关性。

本研究发现,不考虑气候影响的时滞效应时,越冬期当年各月的气候条件与种群数量不存在显著的相关性。白鹤通常在当年10月份到达鄱阳湖,10月份到12月份除非出现极端不利的气候事件,否则这个时间段的气候对白鹤通常不会产生很大的影响。本研究也首次发现白鹤越冬地的气候条件对白鹤种群数量的影响存在时滞效应,这种影响通常在3a后开始变得明显,尤其是其越冬地10月份的气温变量与4a后的白鹤种群数量开始出现显著的相关性,其中与6a后白鹤的种群数量的相关性最强。这意味着白鹤越冬地10月份的气温对白鹤种群数量的影

响要在4a后开始明显,这种时滞效应可能与气温对幼鹤的影响以及白鹤的性成熟年龄是相关的。一方面,10月份是白鹤食物苦草繁殖生长旺期,一般说来,较高的水温下,植物生长旺盛,吸收的营养增多,同时生产量也增加,可以给越冬白鹤提供丰富的食物,同时越冬期温暖的气候也有利于白鹤在越冬地的存活,共同改善了白鹤在越冬地的存活状态。另一方面,通常白鹤的性成熟年龄为3—5龄,适宜的冬季可能有利于更多的幼鹤存活到繁殖年龄,使3a后到5a后这些个体能够成功繁殖,带来白鹤种群数量的增加。

相反的情况是,越冬地恶劣的气候会导致几年后白鹤种群数量的减少。虽然鄱阳湖区恶劣天气造成的幼鹤死亡率尚缺少研究数据,但是从恶劣天气对其他大型涉禽如东方白鹤的影响来看,鄱阳湖的水面结冰有时会造成栖息于其中的涉禽被冰冻住双腿而受伤^[24],与之体型相近的白鹤可能也面临同样的问题。同时,冬季寒冷的天气会增加动物体温调节所需的能量^[25],而恶劣的冬季可能伴随着食物可获得性的下降,譬如寒冷的冬季雨后或雪后的结冰不利于草食类动物觅食,使动物在恶劣环境下增加的能量需求无法从食物中得到补充^[26],能量供应和能量需求之间的不平衡会导致动物冬季死亡率的增加^[25],即使没有直接导致个体的死亡,也可能影响白鹤的能量积累,使其体况下降,影响其在迁徙过程中的存活率。

能量是影响迁徙鸟类种群动态的一个重要因子,一些不能储存足够能量的鸟类甚至无法及时迁徙,从而会留在越冬地^[27]。在候鸟停歇地的研究表明,饥饿会导致个体,尤其是幼体在停歇地无法成功地躲避捕食者^[28]。研究发现,除了白鹤越冬初期10月份的气候条件与若干年后白鹤种群数量存在显著的相关性以外,白鹤越冬末期3月份的气候变量也与若干年后的白鹤种群数量存在显著的相关性,而越冬中期的气候条件与白鹤的种群数量则没有显著的相关性。白鹤通常在3月中下旬开始迁徙^[19],3月份可能是白鹤迁徙之前补充能量的关键时期,如果这一时期白鹤经历了恶劣的天气而无法获得充足的能量,可能会影响白鹤尤其是白鹤幼体在迁徙过程中的存活率。

多元线性回归分析表明越冬地6年前的10月

平均最低温度、2a 前 10 月最高温度及 5a 前的 10 月平均气温是鄱阳湖国家级自然保护区白鹤最大种群数量变化的显著预测因子,这 3 个变量可以共同解释鄱阳湖区白鹤数量变化的 74.8%,前两个变量可以共同解释白鹤数量变化的 71.4%。按照模型预测,2012 年和 2013 年白鹤种群数量与 2011 年冬季相比,种群数量变化较小,预测值分别为 3644 只和 3382 只,2014 与 2011 年接近,其后白鹤数量下降,在 2016 年出现 1 次低谷,数量降至 2200 余只。

白鹤在雅库特的繁殖地属于低地苔原带景观,气温表现出剧烈的季节性变化和年际变化^[29]。白鹤的繁殖成功率在很大程度上受到繁殖地 5 月下旬到 6 月上旬气候的影响,繁殖成功的雌雄对占总雌雄对的比例年际变化幅度达 4.3%—83.3%^[29]。本研究发现白鹤繁殖地 7 月份的气温变量与白鹤种群数量存在显著的相关性,这一相关性可能源于 7 月份较高的温度有利于白鹤食物资源的生长,能够给育雏期的白鹤提供更丰富的食物资源,从而导致更多的个体能够存活下来。关于白鹤繁殖地气候对白鹤育雏行为的影响的研究尚未见报道,这一领域的研究有待开展。

References:

- [1] Lack D. The Natural Regulation of Animal Numbers. Oxford: Oxford University Press, 1954.
- [2] Both C, Bouwhuis S, Lessells C M, Visser M E. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*, 2006, 441(7089): 81-83.
- [3] Crick H Q P. The impact of climate change on birds. *Ibis*, 2004, 146(Suppl 1): 48-56.
- [4] Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee, T J C, Fromentin J M. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, 416(6879): 389-395.
- [5] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 2003, 421(6918): 37-42.
- [6] Stenseth N C, Mysterud A, Sen G, Hurrell J W, Chan K S, Lima M. Ecological effects of climate fluctuations. *Science*, 2002, 297(5585): 1292-1296.
- [7] Altwegg R, Dummermuth S, Anholt B R, Flatt T. Winter weather affects asp viper *Vipera aspis* population dynamics through susceptible juveniles. *Oikos*, 2005, 110(1): 55-66.
- [8] Piha M, Lindén A, Pakkala T, Tiainen J. Linking weather and habitat to population dynamics of a migratory farmland songbird. *Annales Zoologici Fennici*, 2007, 44(1): 20-34.
- [9] Garel M, Loison A, Gaillard J M, Cugnasse J M, Maillard D. The effects of a severe drought on mouflon lamb survival. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2004, 271(Suppl 6): S471-S473.
- [10] Schreiber R W, Schreiber E A. Central pacific seabirds and the El Nino-Southern Oscillation: 1982—1983 perspectives. *Science*, 1984, 225(4663): 713-716.
- [11] Pearce-Higgins J W, Dennis P, Whittingham M J, Yalden D W. Impacts of climate on prey abundance account for fluctuations in a population of a northern wader at the southern edge of its range. *Global Change Biology*, 2010, 16(1): 12-23.
- [12] Altwegg R, Roulin A, Kestenholz M, Jenni L. Demographic effects of extreme winter weather in the barn owl. *Oecologia*, 2006, 149(1): 44-51.
- [13] Yalden D W, Pearce-Higgins J W. Density-dependence and winter weather as factors affecting the size of a population of golden plovers *Pluvialis apricaria*. *Bird Study*, 1997, 44(2): 227-234.
- [14] McKellar A E, Marra P P, Hannon S J, Studds C E, Ratcliffe L M. Winter rainfall predicts phenology in widely separated populations of a migrant songbird. *Oecologia*, 2013, 172(2): 595-605.
- [15] Bird Life International. Species fact sheet; *Leucogeranus leucogeranus*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 2013-03-23.
- [16] China Wildlife Propagation Institution for Protection. The Law of Wild Animal Protection of People's Republic of China // List of Wild Animals under National Protection. Beijing: China Legal Press, 1989.
- [17] Shan J H, Ma J Z, Li Y K, Qian F W, Tu X B. Population and distribution of the Siberian crane (*Grus leucogeranus*) wintering in the Poyang lakes over the past decade. *Zoological Research*, 2013, 33(4): 355-361.
- [18] Wang X H, Fan Z W, Cui L J, Yan B Y, Tan H R. Wetland Ecosystem Assessment of Poyang Lakes. Beijing: Science Press, 2004.
- [19] Wu Y H, Ji W T. Researches on Poyang Lake national nature reserve, Jiangxi Province. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.
- [20] Li F S, Liu G H, Wu J D. Ecological Study of Wetlands and Waterbirds at Poyang Lake. Beijing: Popular Science Press, 2011.
- [21] Wu J D, Ji W T, Liu G H, Wu X D, Gong L Q, Wang S Q, Gao Y Y, Zou N, Zhan H Y, Luo H, Gao X, Guo Y J, Wang X L, Yang Y. Number and distribution of over-wintering waterbirds in the Poyang Lake by aerial survey. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2010, (1): 23-28.
- [22] Zhu Q, Zhan Y H, Liu G H, Wu J D, Zhan H Y, Huang Y Z, Huang J, Zhang B, Hu B H, Li Y. Investigation of number and

distribution of the waterfowl of Poyang Lake in the Winter of 2011. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2012, (3): 1-9.

- [23] Ji W T, Zeng N J, Wu X D, Wu J D, Wang X L. Aerial survey report on cranes and large size water birds in Poyang Lake Natural Reserve in Spring of 1999. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2000, (5): 22-25.
- [24] Yu H J. One oriental stork was frozen by the ice in lake surface. Jiangxi Daily, [2013-01-07] <http://jiangxi.jxnews.com.cn/system/2013/01/07/012240408.shtml>.
- [25] Hobbs N T. Linking energy balance to survival in mule deer: development and test of a simulation model. Wildlife Monographs, 1989: 3-39.
- [26] Forchhammer M C, Boertmann D. The muskoxen *Ovibos moschatus* in north and northeast Greenland: population trends and the influence of abiotic parameters on population dynamics. Ecography, 1993, 16(4): 299-308.
- [27] van Dijk A J, de Roder F E, Martijn E C L, Spiekman H. Summering waders on the Banc d'Arguin, Mauritania: a census in June 1988. Ardea, 1990, 78(1/2): 145-156.
- [28] Bijlsma R G. Predation by large falcons on wintering waders on the Banc d'Arguin, Mauritania. Ardea, 1990, 78: 75-82.
- [29] Germogenov N I, Solomonov N G, Pshennikov A E, Degtyarev A G, Sleptsov S M, Egorov N N, Byskatova I P, Vladimirtseva M V, Okoneshnikov V V. The ecology of the habitats, nesting, and migration of the eastern population of the Siberian Crane (*Grus leucogeranus* Pallas, 1773). Contemporary Problems of Ecology,

2013, 6(1): 65-76.

参考文献:

- [16] 中国野生动植物保护司. 中华人民共和国野生动物保护法 // 国家重点保护野生动物名录. 北京: 中国法制出版社, 1989.
- [17] 单继红, 马建章, 李言阔, 钱法文, 涂晓斌. 近十年来鄱阳湖区越冬白鹤种群数量与分布. 动物学研究, 2013, 33(4): 355-361.
- [18] 王晓鸿. 鄱阳湖湿地生态系统评估鄱阳湖湿地生态系统评估. 北京: 科学出版社, 2004.
- [19] 吴英豪, 纪伟涛. 江西鄱阳湖国家级自然保护区研究. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [20] 李凤山, 刘观华, 吴建东. 鄱阳湖湿地和水鸟的生态研究. 北京: 科学普及出版社, 2011.
- [21] 吴建东, 纪伟涛, 刘观华, 伍旭东, 龚磊强, 王水清, 高云云, 邹楠, 詹慧英, 罗浩, 高翔, 郭玉江, 王小龙, 杨燕. 航空调查越冬水鸟在鄱阳湖的数量与分布. 江西林业科技, 2010, (1): 23-28.
- [22] 朱奇, 詹耀煌, 刘观华, 吴建东, 詹慧英, 黄元政, 黄江, 章斌, 胡斌华, 李跃. 2011 年冬鄱阳湖水鸟数量与分布调查. 江西林业科技, 2012, (3): 1-9.
- [23] 纪伟涛, 曾南京, 伍旭东, 吴建东, 王小龙. 1999 年春鄱阳湖鹤类和大型水禽航空调查报告. 江西林业科技, 2000, (5): 22-25.
- [24] 余红举. 湖面结冰东方白鹤被冻住了. 大江网—江西日报. [2013-01-07] <http://jiangxi.jxnews.com.cn/system/2013/01/07/012240408.shtml>

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Landscape sustainability and landscape sustainability science ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)
- A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies
..... ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)
- Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants
..... LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)
- Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)
- Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants
..... PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

Autecology & Fundamentals

- Responses of CH₄ uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China
..... CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)
- Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern
marginal zones of the Tarim Basin, China GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT · Tiyp, et al (2509)
- Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic
productivity classification ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)
- Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata*
plantations YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)
- Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids
..... WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)
- Combined effects of elevated O₃ concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation
of winter wheat SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)
- Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat
..... HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)
- Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation
..... ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)
- Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)
- A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation
..... DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)
- Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea
..... LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)
- The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes
in Poyang Lake YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)
- The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration
..... YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)
- The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)
- Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and
its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae: Alternanthera)
..... LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)
- Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)
- Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)
- Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)
- The influence of environment and phylogenic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)
- Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China YANG Ning, ZOU Dongsheng, YANG Manyuan, et al (2693)
- Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)
- Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)
- Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil HE Yuanhao, ZHOU Guoying, WANG Shenjie, et al (2725)
- Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ZHANG Lamei, LIU Xinping, ZHAO Xueyong, et al (2737)
- Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)
- Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (2765)

Resource and Industrial Ecology

- A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS LIU Wei, DU Peijun, LI Yongfeng (2775)
- A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ZHAO Dandan, LIU Junguo, ZHAO Xu (2787)

《生态学报》2014 年征订启事

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

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

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

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

本期责任副主编 祖元刚

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 10 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 10 (May, 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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元