

中国科学引文数据库核心库期刊

中国科技核心期刊

中文核心期刊

ISSN 1672-5948

CN 22-1349/P

湿地科学

Wetland Science

第14卷 第3期 2016年6月

Volume 14 Issue 3 June 2016

3

2016

主 办



中国科学院

东北地理与农业生态研究所

Sponsored by Northeast Institute of
Geography and Agroecology, CAS

出 版



科学出版社

Published by Science Press, P.R. China

湿地科学

SHIDI KEXUE

第14卷第3期 2016年6月

目次

- 湿地生态效益补偿标准探讨:以兴凯湖国际重要湿地为例.....刘晓辉 焉申堂 王仁春等(289)
- 盘锦芦苇沼泽的土壤冻融特征.....王宇 周莉 贾庆宇等(295)
- 浙江景宁亚高山湿地群形成环境探究.....顾延生 唐倩倩 刘红叶等(302)
- 鄱阳湖区鸟类多样性及保护现状分析.....黄燕 李言阔 纪伟涛等(311)
- Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera and Odonata (Insecta) Diversity and Distribution
at Bukit Merah Reservoir River Feeders.....
Suhaila Ab Hamid Nurhalida Hanapi Mohd Fakhruallah Salatssalam Mohd Afendi *et al*(328)
- A Stable Isotope Approach to Determine Herbivorous Diets of Wintering Geese
at Dongting Lake, China.....GUAN Lei MAZUMDER Debashish YANG Xiaoxue *et al*(337)
- 卫星跟踪的白鹤春季和秋季迁徙路线.....李秀明 徐家慧 钱法文(347)
- 潼河流域污染负荷与水环境容量.....王雁 高俊峰 刘正文等(354)
- 氮输入条件下闽江河口沼泽土壤的反硝化速率.....刘哨哨 曾从盛 张林海等(361)
- 1975~2014年巴尔喀什湖水体面积的变化.....臧青青 李国柱 宋开山等(368)
- 红树植物秋茄与无瓣海桑叶片热值比较研究.....王金旺 陈秋夏 李效文等(376)
- 2003~2014年中国湿地公园研究状况的文献计量学分析.....吴后建 但新球 黄琰等(382)
- 三沙湾滩涂互花米草地上生物量估算.....周在明 杨燕明 陈本清(391)
- 辉河湿地河岸带植物物种多样性与土壤因子的关系.....罗琰 苏德荣 吕世海等(396)
- 凌河口湿地自然保护区景观格局变化及功能区划分.....周林飞 徐浩田 张静(403)
- 罗时江河口湿地沉积物全氮分布及其污染风险评价.....王书锦 刘云根 梁启斌等(408)
- 胶州湾盐沼不同植物群落下土壤磷的分布特征.....杜云鸿 徐振 谢文霞等(415)
- Cd²⁺和Pb²⁺对崇明岛东滩湿地土壤脲酶的毒物兴奋效应研究.....范弟武 汤逸帆 陈圆等(421)

研究报道

- 大冶湖水质模糊综合评价.....尹发能 向燕芸(428)
- 铁炉港红树植物红榄李和榄李各器官矿质元素含量分析.....李燕华 杨勇 张颖(433)
- 1986~2012年吉林省西部湿地生态系统脆弱性评价.....丁国强 杜保佳 刘吉平(439)
- 遮荫条件下藨菜对基质水分变化的生理适应性研究.....王晓鹏 叶梅荣 张雪平等(446)

责任编辑: 闫敏华 王景

(期刊基本参数) CN22-1349/P * 2003 * q * A4 * 162 * zh+en * P * ¥40.00 * 1500 * 22 * 2016-06

WETLAND SCIENCE

Vol.14 No.3 June 2016

CONTENTS

Discussion on Wetland Ecological Compensation Standard: A Case Study in Xingkai Lake Wetlands of International Importance.....	LIU Xiaohui YAN Shentang WANG Renchun <i>et al</i> (289)
Soil Freeze-thaw Characteristics of <i>Phragmites australis</i> Marshes in Panjin.....	WANG Yu ZHOU Li JIA Qingyu <i>et al</i> (295)
Formation Environment of the Subalpine Wetlands in Jingning She Autonomous County, Zhejiang Province.....	GU Yansheng TANG Qianqian LIU Hongye <i>et al</i> (302)
Bird Diversity and Conservation Status in Poyang Lake Area.....	HUANG Yan LI Yankuo JI Weitao <i>et al</i> (311)
Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera and Odonata (Insecta) Diversity and Distribution at Bukit Merah Reservoir River Feeders.....	Suhaila Ab Hamid Nurhalida Hanapi Mohd Fakhrullah Salatssalam Mohd Afendi <i>et al</i> (328)
A Stable Isotope Approach to Determine Herbivorous Diets of Wintering Geese at Dongting Lake, China.....	GUAN Lei MAZUMDER Debashish YANG Xiaoxue <i>et al</i> (337)
Migration Routes of Siberian Crane (<i>Grus leucogeranus</i>) in Spring and Autumn by Satellite Tracking	LI Xiuming XU Jiahui QIAN Fawen(347)
Pollution Load and Environment Capacity in Tonghu Lake Basin.....	WANG Yan GAO Junfeng LIU Zhengwen <i>et al</i> (354)
Denitrification Rate of Soils in Marshes of Min River Estuary under the Nitrogen Addition	LIU Qingqing ZENG Congsheng ZHANG Linhai <i>et al</i> (361)
Change of Water Area of Lake Balkhash during 1975-2014.....	ZANG Jingjing LI Guozhu SONG Kaishan <i>et al</i> (368)
Comparison of Foliage Caloric Values of Mangrove Species <i>Kandelia obovata</i> and <i>Sonneratia apetala</i>	WANG Jinwang CHEN Qiuxia LI Xiaowen <i>et al</i> (376)
Bibliometric Analysis of Research Status Quo of Wetland Parks in China during the Period of 2003-2014	WU Houjian DAN Xinqiu HUANG Yan <i>et al</i> (382)
Estimation of Aboveground Biomass of <i>Spartina alterniflora</i> in Tidal-flat Area of Sansha Bay	ZHOU Zaiming YANG Yanming CHEN Benqing(391)
Relationship between Plant Species Diversity of Riparian Zone in Hui River Wetlands and Soil Factors	LUO Yan SU Derong LU Shihai <i>et al</i> (396)
Landscape Pattern Change and Division of Function Zones in Linghekou Wetland Nature Reserve	ZHOU Linfei XU Haotian ZHANG Jing(403)
Distribution of Total Nitrogen in Sediments and Its Pollution Risk Assessment in the Wetlands of Luoshijiang River Estuary.....	WANG Shujin LIU Yungen LIANG Qibin <i>et al</i> (408)
Distribution Characteristics of Phosphorus under Different Vegetation Communities in Salt Marshes of Jiaozhou Bay.....	DU Yunhong XU Zhen XIE Wenxia <i>et al</i> (415)
Hormetic Effects of Cd ²⁺ and Pb ²⁺ on the Activity of Urease in Soils of Dongtan Wetlands in Chongming Island.....	FAN Diwu TANG Yifan CHEN Yuan <i>et al</i> (421)

Research Reports

Fuzzy Comprehensive Evaluation of Water Quality in Daye Lake.....	YIN Faneng XIANG Yanyun(428)
Analysis of Mineral Element Contents in Organs of Mangrove Plants of <i>Lumnitzera littorea</i> and <i>Lumnitzera racemosa</i> in Tielugang.....	LI Yanhua YANG Yong ZHANG Ying(433)
Ecosystem Vulnerability Assessment of Wetlands in Western Jilin Province from 1986 to 2012	YU Guoqiang DU Baojia LIU Jiping(439)
Physiological Adaptation of <i>Houttuynia cordata</i> to Substrate Moisture Change under Shading Condition	WANG Xiaopeng YE Meirong ZHANG Xueping <i>et al</i> (446)

Responsible Editors: YAN Minhua, WANG Jing

《湿地科学》第三届编辑委员会
The Third Editorial Committee of Wetland Science

顾问(以姓氏笔画为序): 陈宜瑜 李文华

主 编: 刘兴土

执行主编: 吕宪国

副 主 编: 马广仁 陈克林 陆健健 陈家宽 盛连喜 雷光春 崔保山 宋长春 闫敏华

编 委(以姓氏笔画为序):

马 中 于 丹 于君宝 于洪贤 王升忠 王苏民 王学雷 王国平 邓 伟 全 川
田 昆 古滨河 孙广智 安树青 朱卫红 沈 吉 张正旺 张明祥 吴东辉 李秀军
严登华 范航清 林乾欣 姜 明 洪剑明 胡远满 胡金明 赵魁义 胥毅军 倪红伟
章光新 崔丽娟 曾从盛 蔡庆华 蔡祖聪

Beth A Middleton Darold P Batzer Petrus L M Veneman

编 辑 部: 闫敏华 王 景

《湿地科学》被国内所有自然科学类
核心期刊评价数据库收录

《湿地科学》2003年创刊,2014年由季刊变更为双月刊。《湿地科学》已经被中国科学技术信息研究所“中国科技论文统计源期刊(CSTPCD)”(又称“中国科技核心期刊”)、中国科学院文献情报中心“中国科学引文数据库来源期刊(核心库)(CSCD)”和北京大学“中文核心期刊”收录;另外,《湿地科学》还被CNKI中国知识基础设施工程“中国期刊全文数据库(CJFD)”和万方数据股份有限公司“中国核心期刊(遴选)数据库”等收录。

湿 地 科 学

SHIDI KEXUE

(双月刊 2003年创刊)

第14卷 第3期 2016年6月

WETLAND SCIENCE

(Bimonthly, Started in 2003)

Vol.14 No.3 June 2016

编 辑 《湿地科学》编辑委员会
(吉林省长春市高新北区盛北大街4888号 130102)
电话: 0431-85542237

电子信箱 wetlands@neigae.ac.cn

主 编 刘兴土

主 管 中国科学院

主 办 中国科学院

出版 东北地理与农业生态研究所

科学出版社

(北京东黄城根北街16号 100717)

印刷装订 沈阳中科印刷有限责任公司

总发行处 辽宁省邮政公司报刊发行公司

订购处 全国各邮电局

国外总发行 中国国际图书贸易总公司

(北京399信箱 100044)

Edited by Editorial Committee of Wetland Science
(4888, Shengbei Street, Changchun 130102, Jilin, P.R.China)
Tel: +86-431-85542237

E-mail wetlands@neigae.ac.cn

Editor-in-Chief LIU Xingtu

Organized by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Northeast Institute of Geography and Agroecology,
Chinese Academy of Sciences

Published by Science Press

(16 Donghuangchenggen North Street, Beijing, 100717, China)

Printed by Printing House of Shenyang Zhongke Limited Company

Distributed by Post Newspaper Distribution Company in Liaoning Province

Domestic All Local Post Offices in P.R.China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, P.R.China)

国际标准连续出版物号: ISSN 1672-5948

国内统一连续出版物号: CN 22-1349/P

国内外公开发行

国外发行代号: Q1820

国内邮发代号: 8-401



定价: 40.00 元

卫星跟踪的白鹤春季和秋季迁徙路线

李秀明, 徐家慧, 钱法文*

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要: 2014年10月至2015年2月期间, 在白鹤(*Grus leucogranus*)的中途停歇地和越冬地, 为6只白鹤佩戴了卫星跟踪器, 其中, 5只/次完成了2014年的秋季迁徙, 4只/次完成了2015年春季和秋季的往返迁徙。卫星跟踪结果表明, 白鹤的越冬地都位于中国江西省的鄱阳湖, 繁殖地位于俄罗斯远东萨哈共和国境内亚纳河下游与因迪吉尔卡河下游之间的北极苔原, 重要中途停歇地都位于中国东北松嫩平原西南部的湿地, 即吉林省莫莫格国家级自然保护区和向海国家级自然保护区、内蒙古自治区的图牧吉国家级自然保护区及其周边的湿地; 在本研究中, 被以往研究认定的白鹤重要中途停歇地齐齐哈尔湿地并未成为白鹤重要的中途停歇地; 白鹤的春季和秋季迁徙路线基本相同, 但迁徙路线并不重叠, 中途停歇地除了在松嫩平原重叠以外, 其它中途停歇地并不相同; 2015年春季迁徙距离为 $(5\,594.83 \pm 371.70)$ km ($n=4$), 迁徙时间为 (57.51 ± 8.61) d ($n=4$), 2015年的秋季迁徙距离为 $(5\,366.66 \pm 61.19)$ km ($n=4$), 迁徙时间为 (51.52 ± 9.68) d ($n=4$), 春季与秋季的迁徙距离和时间差异不显著(迁徙距离: $F=1.47$, $p=0.27$; 迁徙时间: $F=0.86$, $p=0.39$); 在春季和秋季, 白鹤采用不同的迁徙策略飞越渤海和大别山区。此外, 研究结果还表明, 对救护的白鹤进行野外放飞, 可以使它们回归野外群体的实验具备可行性。

关键词: 白鹤; 卫星跟踪; 迁徙路线; 迁徙策略

中图分类号: Q958.13; Q959.7²⁶

文献标识码: A

文章编号: 1672-5948(2016)03-347-07

白鹤(*Grus leucogranus*)属鹤形目鹤科鹤属, 为大型涉禽^[1]。世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)将白鹤列为极危(Critically Endangered)物种(<http://www.iucnredlist.org>), 中国将其列为国家I级重点保护野生动物, 在中国濒危物种红皮书中将其列为濒危级物种^[2]。白鹤种群可以分为东部、中部和西部种群, 都繁殖于俄罗斯西伯利亚北部, 越冬地分别在中国、印度和伊朗。西部白鹤种群越冬于伊朗里海南岸的费雷敦凯纳尔(Fereydoon Kenar)沼泽^[3,4], 自2008年冬季以来, 一直仅有1只越冬个体^[5-7]。中部白鹤种群越冬于印度的盖奥拉德奥国家公园(Keoladeo National Park), 直至2002年后, 越冬白鹤种群消失^[4,8,9]。东部白鹤种群数量最大, 每年迁徙于俄罗斯西伯利亚东北部与中国长江中下游地区之间, 其中99%的个体越冬于中国江西省的鄱阳湖, 2012年, 在鄱阳湖监测到的越冬白鹤种群数量最多, 为3 800~4 000只^[10]。

Sauey R T^[8]综合了多只白鹤的观察记录, 认为中国的鄱阳湖、北戴河、扎龙国家级自然保护区(下简称扎龙保护区)和西伯利亚东北部的亚纳—因迪吉尔卡苔原带是东部白鹤种群的重要栖息地, 但是其并未对白鹤可能的迁徙路线进行描述。1995年和1996年夏季, Kanai Y等^[11]在西伯利亚东北部因迪吉尔卡河下游的白鹤繁殖地, 捕捉了13只个体, 为其佩戴了卫星信号发射器, 并跟踪到其中11只个体的迁徙活动, 但只有5只白鹤到达鄱阳湖; 跟踪结果表明, 白鹤于9月中旬至10月初离开繁殖地, 迁徙开始时间与当地气温有关, 当日最低气温降至-5℃时, 白鹤开始秋季迁徙; 所有被跟踪的白鹤沿着相似的路线迁徙, 向南以近乎直线迁飞到达中国东北的齐齐哈尔—白城区域, 然后经过辽宁省双台子河口或山东省的黄河三角洲, 迁徙终点是长江中游的鄱阳湖; 其迁徙距离为 $(5\,312.8 \pm 260.6)$ km ($4\,903 \sim 5\,586$ km, $n=5$); 俄罗斯境内比中国境内有更多的白鹤迁徙中途停歇

收稿日期: 2016-05-13; 修订日期: 2016-06-03

基金项目: 国家林业局保护司珍稀濒危物种调查监管项目(2130211-15-004)资助。

作者简介: 李秀明(1989-), 女, 广西壮族自治区桂林人, 硕士研究生, 主要从事湿地鸟类研究。E-mail: icelxming@163.com

*通讯作者: 钱法文, 副研究员。E-mail: cranenw@caf.ac.cn

地,但俄罗斯境内的白鹤停歇地大多仅为其过夜停留,而白鹤在中国境内的停歇地的停留时间都较长,其中,白鹤在齐齐哈尔一白城区域停留 23.6 d ($n=6$),在双台子河口停留 7.3 d ($n=3$),在黄河三角洲停留 5.8 d ($n=4$)。

为了进一步研究东部白鹤种群的迁徙规律,尤其是揭示白鹤春季迁徙路线,本研究应用新的卫星跟踪技术,在国内首次对东部白鹤种群的迁徙路线进行了研究,以期更完整地了解白鹤的迁徙路线以及其迁徙中途停歇地。

1 数据和方法

1.1 研究区

向海国家级自然保护区(下简称向海保护区)位于吉林省通榆县境内,地处松嫩平原西部,总面积为 1 050 km²。向海保护区是鹤类繁殖和迁徙的重要栖息地,6 种鹤类曾栖息于此,其中丹顶鹤(*Grus japonensis*)、白枕鹤(*Grus vipio*)、蓑羽鹤(*Anthropoides virgo*)、灰鹤(*Grus grus*)在此繁殖,白头鹤(*Grus monoch*)和白鹤在春、秋季迁徙时,经停此地^[12,13]。

莫莫格国家级自然保护区(下简称莫莫格保护区)位于吉林省镇赉县境内,总面积为 1 440 km²。莫莫格保护区内湿地类型多样,湖泊众多,湖、河浅滩适宜白鹤栖息,是白鹤重要的中途停歇地^[11]。该保护区内有丹顶鹤的繁殖记录,同时也是白头鹤、白枕鹤、蓑羽鹤和灰鹤迁徙时的重要栖息地^[14,15]。

鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区(下简称南矶湿地保护区)位于江西省鄱阳湖主湖区南部,是赣江中支和南支汇入鄱阳湖开放水域形成的内陆河湖型三角洲湿地,总面积为 330 km²,该保护区内越冬的鹤类有白鹤、灰鹤、白枕鹤和白头鹤^[10,16~18]。

1.2 被跟踪白鹤的来源与跟踪器佩戴

本研究跟踪的 6 只白鹤分别来自白鹤中途停歇地向海保护区、莫莫格保护区和白鹤越冬地南矶湿地保护区。于 2014 年 10 月 19 日,在向海保护区,为 2 只白鹤佩戴彩环,其彩环编号分别为 951 号和 952 号(以下都用彩环的编号指代对应的白鹤个体);2014 年 10 月 22 日,在莫莫格保护区,为 3 只白鹤分别佩戴了 953 号、954 号和 955 号彩环;2015 年 2 月 2 日,在南矶湿地保护区,为 1 只白鹤佩戴了 956 号彩环;以上 6 只白鹤在环志的同时,还佩戴了卫星跟踪器,跟踪器佩戴方法为背负式。其中,951 号和 952 号白鹤是向海保护区于 2013 年秋季和 2014 年春季救护的幼体白鹤;953 号、954 号和 955 号白鹤都是莫莫格保护区救护的成体白鹤,但具体救护时间不明;956 号白鹤为 2015 年 2 月 1 日夜間在南矶湿地保护区开展雁鸭类疫源、疫病监测期间捕捉的幼体白鹤(表 1)。在被救护的白鹤放飞前,通过饲养员了解白鹤个体的健康状况,并且目测其行为正常,以保证放飞的白鹤个体具备良好的身体状况。

卫星跟踪器采用的是由中国湖南环球信士科技有限公司生产的 HQBP3622 型号跟踪器,规格为 55 mm×26 mm×36 mm,质量为 22 g。卫星跟踪器采用 GPS 定位和太阳能供电,跟踪器采集的信息由全球移动通信系统(GSM)发送,通过中国移动通讯系统接收。

1.3 跟踪数据获取与处理

卫星跟踪器收集的数据有白鹤位置数据(包括经度、纬度和海拔)、定位时间、卫星跟踪器电压、运动航向、运动瞬时速度、跟踪器与白鹤身体接触面温度、位置定位等级等。位置定位数据分为 A、B、C、D 和无效 5 类定位等级,精度依次递减,从 A 等

表 1 2014~2015 年被跟踪白鹤的环志信息
Table 1 Banding data of tracked Siberian Cranes during 2014-2015

彩环编号	环志地点	跟踪时间	金属环编号	跟踪器编号	年龄	体重(g)	来源
951 号	向海保护区	2014 年 10 月 19 日至今	Q02-1711	4AD7A3	亚成体	6 200	救护
952 号	向海保护区	2014 年 10 月 19 日~11 月 21 日	Q02-1712	4AD526	亚成体	6 800	救护
953 号	莫莫格保护区	2014 年 10 月 22 日至今	Q02-1713	4AFFB5	成体	7 000	救护
954 号	莫莫格保护区	2014 年 10 月 22 日~11 月 18 日	Q02-1714	4B0330	成体	7 400	救护
955 号	莫莫格保护区	2014 年 10 月 22 日至今	Q02-1715	4B2FE9	成体	7 800	救护
956 号	南矶湿地保护区	2015 年 2 月 3 日~2016 年 1 月 14 日	Q02-1717	CAF005	幼体	5 000	捕捉

注:白鹤幼体是指出生不满一年的白鹤个体,其体羽都为黄褐色;白鹤亚成体指出生一年以上,但未性成熟的白鹤个体。951 号和 952 号白鹤被救护时为幼体,放飞时为亚成体。

级至D等级的定位误差分别是5 m、10 m、20 m和50 m,无效数据是指无法定位。

从跟踪器的网络客户端下载跟踪数据,剔除无效等级数据;然后,将数据导入ArcGIS10.2软件中,叠加大陆和海洋地图底图(底图来自ArcGIS10.2软件自带的世界地图),以显示白鹤的迁徙路线,判定和计算白鹤的迁徙时间、停歇时间、迁徙距离等。

采用方差分析方法,利用SPSS 19软件,分析被跟踪白鹤的迁徙距离、迁徙时间、停歇时间及其在春季和秋季的差异。

2 结果与分析

6只被跟踪白鹤中的951号、953号和955号白鹤,完成了2014年秋季的迁徙和2015年越冬地与繁殖地之间的往返迁徙;952号和954号白鹤仅完成了2014年秋季的迁徙;956号白鹤完成了2015年的春季和秋季迁徙。

954号白鹤于2014年11月18日迁徙到达江

西省武宁县境内修水流域的柘林水库,11月26日信号位置固定,通过实地调查,并未发现白鹤个体及其遗留踪迹,仅发现被抛入河中的跟踪器和被人为烧断的绑带。952号白鹤于2014年11月21日迁徙到达江苏省滨海县境内的淮河古道,在此处一直停留至2015年1月21日,之后,信号消失,实地搜寻未发现任何遗留踪迹。根据上述情况分析,952号和954号白鹤极有可能已经被猎杀。

2.1 被跟踪白鹤的迁徙路线

白鹤的繁殖地、重要中途停歇地和越冬地是白鹤迁徙过程中的3个重要栖息地。被跟踪白鹤的繁殖地都位于俄罗斯萨哈共和国境内亚纳河下游与因迪吉尔卡河下游之间的北极苔原;白鹤重要中途停歇地位于松嫩平原西南部的湿地,包括向海保护区、莫莫格保护区和内蒙古图牧吉国家级自然保护区及其周边湿地;白鹤越冬地都位于江西省的鄱阳湖。从被跟踪白鹤的迁徙路线(图1)可以看出,白鹤个体间的迁徙路线基本相似,其春季和秋季迁徙路线也基本相同;同一只白鹤个

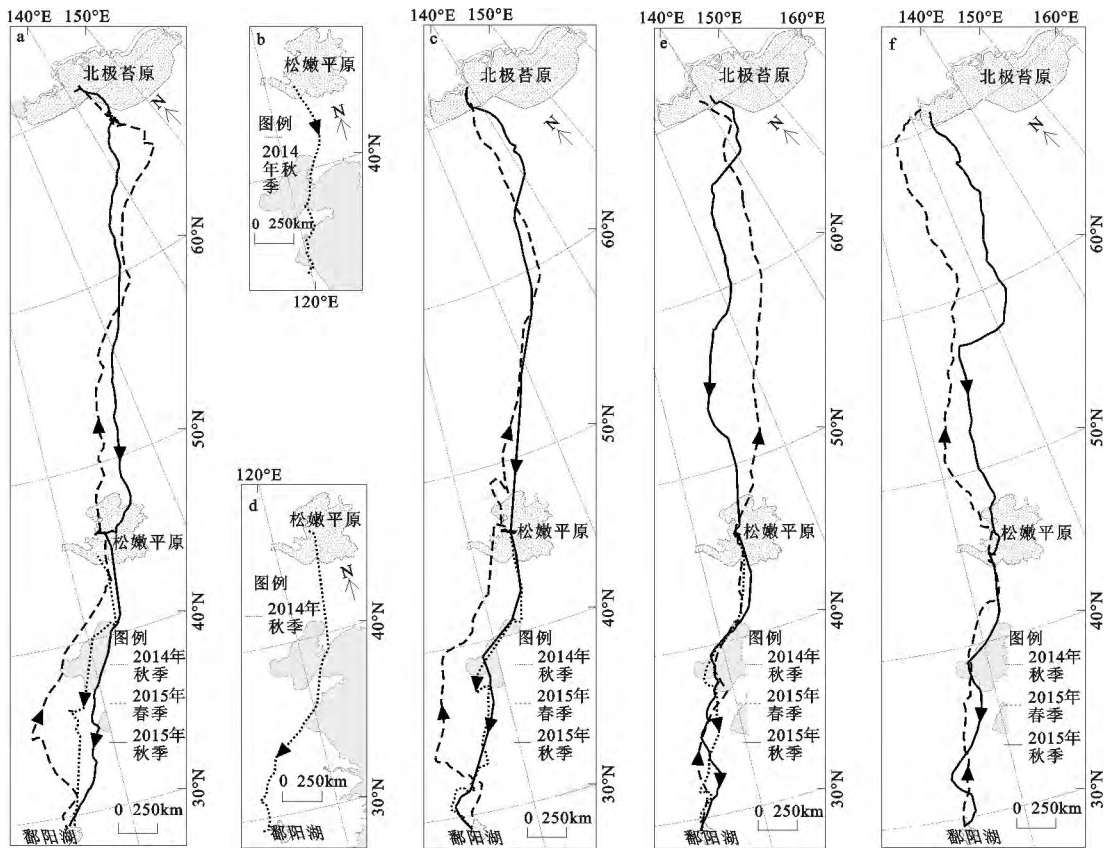


图1 被跟踪白鹤的迁徙路线(a: 951号白鹤; b: 952号白鹤; c: 953号白鹤; d: 954号白鹤; e: 955号白鹤; f: 956号白鹤)

Fig.1 Migration routes of the tracked Siberian Cranes
(a: Number 951; b: Number 952; c: Number 953; d: Number 954; e: Number 955; f: Number 956 Siberian Crane)

体的春季和秋季迁徙路线尽管大致相同,但都不是严格按着同一路线和地点进行迁徙和停歇。

完成了2015年迁徙的951号、953号、955号和956号白鹤,2015年春季从越冬地至繁殖地的迁徙距离为(5 594.83±371.70) km (5 264.63~5 933.66 km),迁徙时间为(57.51±8.61) d (50.17~66.83 d),停歇时间为(50.14±8.43) d (42.00~59.71 d);2015年秋季从繁殖地至越冬地的迁徙距离为(5 366.66±61.19) km (5 300.20~5 428.89 km),迁徙时间为(51.52±9.68) d (40.38~64.00 d),停歇时间为(42.05±6.08) d (33.04~45.88 d)(表2)。2015年春季与秋季白鹤的迁徙距离、迁徙时间和迁徙停歇时间无显著差异(迁徙距离: $F=1.47, p=0.27$;迁徙时间: $F=0.86, p=0.39$;停歇时间: $F=2.42, p=0.17$)。

2.2 被跟踪白鹤跨越渤海和大别山的方式

秋季迁徙时,白鹤采取2种方式跨越渤海(图2)。第一种方式,白鹤从辽河口附近开始沿着渤海海岸线向南,在河北省唐山市附近稍作停留或直接跨越渤海湾,到山东省黄河三角洲或莱州湾附近登陆,跨越渤海湾的直线距离约为80 km;第二种方式,白鹤直接从辽河口跨越渤海,到山东半岛的莱州湾和蓬莱附近登陆,跨越渤海的直线距离约为350 km。综合2014年和2015年秋季白鹤的迁徙情况,有6只/次的白鹤采用第一种方式迁徙,有3只/次的白鹤按照第二种方式迁徙。

春季迁徙时,白鹤采取3种方式跨越渤海。第一种方式,白鹤沿内陆迁徙,完全不经过渤海($n=1$);第二种方式,白鹤沿渤海海岸迁徙($n=1$);第三种方式,白鹤跨越渤海迁徙($n=2$)。

秋季迁徙时,白鹤采取2种方式跨越大别山(图3)。第一种方式,白鹤从大别山主峰偏西侧的山地跨越大别山($n=3$);第二种方式,白鹤避开大别

山,逆长江水流方向自东北向南或西南方向迁徙到达鄱阳湖($n=5$)。春季迁徙时,所有被跟踪白鹤仅采取1种方式迁徙,即沿长江水流方向往东北方向飞行,避开了位于正北方向的大别山区。

3 讨论

3.1 白鹤迁徙路线

Kanai Y等^[1]利用卫星信号发射器对东部白鹤种群的秋季迁徙路线开展了研究,但有关白鹤春季迁徙路线的研究未见报道。

本研究中,白鹤秋季迁徙路线与Kanai Y等的秋季迁徙研究结果基本一致,都是从俄罗斯的繁殖地向南近直线迁徙至中国东北的松嫩平原,经停一段时间后,向南迁徙至越冬地江西省的鄱阳湖。本研究得到的白鹤秋季迁徙距离(5 366.66±61.19) km与Kanai Y等得到的白鹤秋季迁徙距离(5 312.8±260.6) km^[1]差异不显著($F=0.16, p=0.70$),其迁徙路线基本重叠,无论是白鹤繁殖地、越冬地还是重要的迁徙中途停歇地都无显著差异。Kanai Y等^[1]和Sauey R T^[9]的研究都认为位于松嫩平原中部齐齐哈尔市的湿地(包括黑龙江省扎龙保护区)是白鹤重要的中途停歇地之一,但本研究跟踪的白鹤,无论在春季还是秋季,都没有在齐齐哈尔市的湿地长期停留的记录。近年来的研究表明,区域性的气候干旱导致齐齐哈尔市的湿地严重退化,鸟类栖息生境急剧萎缩,白鹤的迁徙种群数量下降,停留时间缩短^[19],白鹤在扎龙保护区的觅食时间仅为莫莫格保护区的二分之一^[20,21],可见齐齐哈尔湿地的退化趋势已经导致迁徙的白鹤无法在此长时间停留。

比较白鹤的春季与秋季的迁徙路线、迁徙距离、迁徙时间以及迁徙停歇时间,而二者都无显著

表2 被跟踪白鹤2015年春季和秋季的迁徙距离、迁徙时间和停歇时间
Table 2 Migration distance, migration time and roosting time of the tracked Siberian Cranes

参数	951号白鹤	953号白鹤	955号白鹤	956号白鹤	平均值±标准误
迁徙时间(d)	66.83	62.83	50.17	50.21	57.51 ±8.61
春季 停歇时间(d)	59.71	54.63	44.21	42.00	50.14±8.43
迁徙距离(km)	5 899.23	5 933.66	5 264.63	5 281.81	5 594.83±371.70
迁徙时间(d)	40.38	64.00	50.42	51.29	51.52±9.68
秋季 停歇时间(d)	33.04	45.54	43.75	45.88	42.05±6.08
迁徙距离(km)	5 330.46	5 300.20	5 407.08	5 428.89	5 366.66±61.19

注:迁徙时间表示被跟踪白鹤从繁殖地(越冬地)出发至越冬地(繁殖地)的时间;停歇时间表示迁徙过程中白鹤在各停歇地停留时间之和;迁徙距离表示白鹤在繁殖地与越冬地之间的迁徙路线长度。

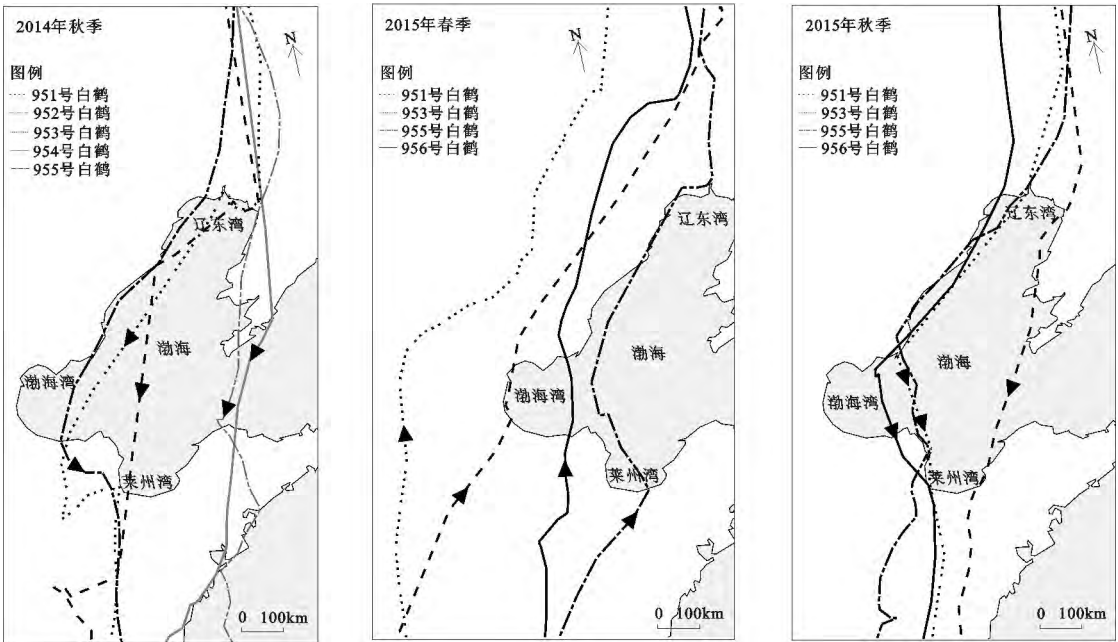


图2 被跟踪白鹤跨越渤海的迁徙路线

Fig.2 Migration routes over the Bohai Sea of the tracked Siberian Cranes

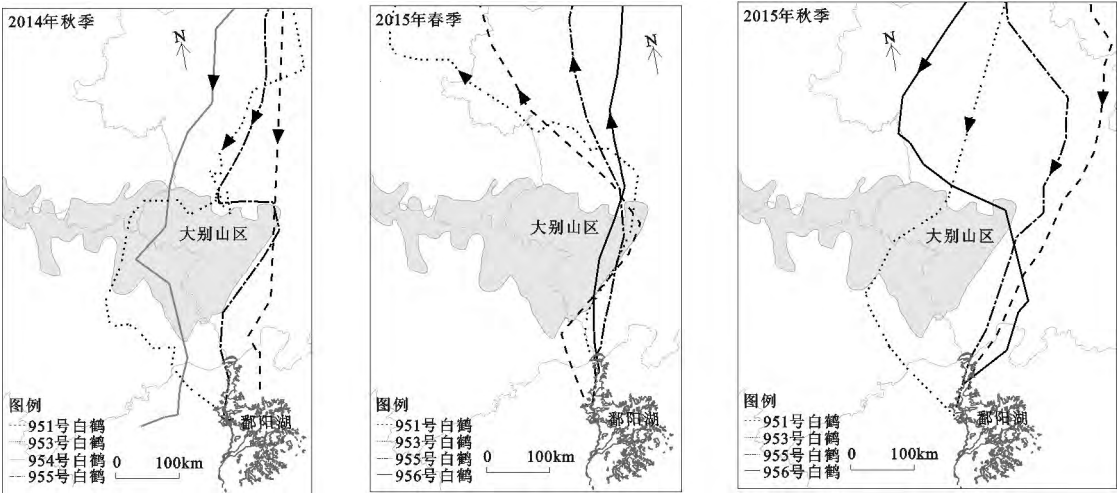


图3 被跟踪白鹤跨越大别山区的迁徙路线

Fig.3 Migration routes over the Dabie Mountain area of the tracked Siberian Cranes

差异。因此,无论是白鹤的迁徙路线,还是其繁殖地、越冬地和重要中途停歇地,白鹤都表现了选择的专一性。白鹤的这种专一性选择,是白鹤的致濒因素之一,其栖息环境的变化将对白鹤产生重大的影响^[22]。

3.2 白鹤迁徙跨越的障碍

鸟类迁徙路线的选择与山脉、河流、海洋等有关。在陆地上,鸟类可以借助上升气流进行高空飞行,跨越山脉等的阻隔;但是,海洋上缺乏上升气流,使得鸟类在迁徙时尽可能避免直接飞越宽阔的海面^[1]。

中国东部的渤海,是白鹤迁徙路线上唯一可能需要跨越的海洋障碍。渤海峡口长 109 km,南北最长距离约为 450 km。但从白鹤迁徙的路线来看,白鹤表现了较为灵活的迁徙策略,它们可以飞越渤海,也可以沿着海岸线飞行,或者避开渤海(见图2)。

无论是在春季还是秋季,白鹤选择的迁徙路线只对大别山脉有明显的回避现象(见图3)。大别山位于中国安徽省、湖北省和河南省三省交界处,是长江、淮河的分水岭。大别山西接桐柏山,东延为天柱山、张八岭,西段为西北—东南走向,

东段为东北—西南走向,西段最宽处约 50 km,东段最宽处约 200 km。大别山最高的三座山峰皆位于大别山的东段,山地平均海拔为 1 500 m,最高峰白马尖为 1 777 m,而大别山东端正好处于鄱阳湖的正北方,两者间仅以长江相隔,成为白鹤迁徙进出鄱阳湖必须跨越的山地障碍。

纵观白鹤迁徙路线上的山脉,除了大别山脉外,还有中国境内的燕山山脉(海拔 500~1 000 m,最高峰 2 116 m)、大兴安岭(海拔 700~1 300 m,最高峰 2 035 m)、小兴安岭(海拔 500~800 m,最高峰 1 429 m)和俄罗斯的外兴安岭(海拔 1 500~2 000 m,最高峰 2 482 m)、上扬斯克山脉(海拔 1 000~2 000 m,最高峰 2 389 m)、切尔斯基山脉(海拔 1 100~2 500 m,最高峰 3 147 m)。可见,大别山脉并非白鹤迁徙路线上唯一或最高的山脉,但是,白鹤为何只对大别山脉有较为明显的回避行为呢?其机理有待进一步研究。

3.3 被救护白鹤的放飞

在本研究中,被跟踪的白鹤,除 956 号白鹤外,都是被保护区救护的个体,在人工条件下饲养时间都在 6 个月以上。一般认为,鸟类个体经过人工饲养后,其行为将会发生改变,与在野外自然状态下的行为相比,表现为刻板 and 单一^[23]。本研究跟踪的 952 号和 954 号白鹤没有迁徙到达鄱阳湖,从随后的实地调查结果来看,它们似乎是单独飞行,并没有融入野外的白鹤迁徙群体之中,这可能是在长时间人工饲养条件下,白鹤失去了与野外白鹤群体沟通的行为能力。从野外放飞后的行为观察来看,放飞的白鹤确实存在被野生鹤群驱逐的情况。但 951 号、953 号和 955 号白鹤的迁徙路线表现正常,作者在 2014 年冬季和 2015 年秋季,分别在鄱阳湖保护区、莫莫格保护区和獾子洞国家湿地公园观察到 951 号、953 号和 955 号白鹤,它们都已融入白鹤越冬或迁徙的群体之中,其行为并无异常。可见,被救护的白鹤放飞后能否融入野生白鹤群体存在着个体差异。但是本研究结果表明,对被救护白鹤进行野外放飞,使它们回归野外群体的实验,具有一定可行性。

4 结 论

2014 年 10 月至 2015 年 2 月期间,被跟踪的 951 号、953 号和 955 号白鹤完成了 2014 年秋季的迁徙和 2015 年越冬地与繁殖地之间的往返迁徙,

其越冬地都位于中国江西省的鄱阳湖湿地,其繁殖地位于俄罗斯远东萨哈共和国境内亚纳河下游与因迪吉尔卡河下游之间的北极苔原,其重要中途停歇地都位于中国东北松嫩平原西南部的沼泽湿地。

白鹤的春季和秋季迁徙路线基本相同,但迁徙路线并不重叠,中途停歇地除了在松嫩平原重叠以外,其它中途停歇地并不相同。春季和秋季的迁徙距离和时间差异不显著。白鹤春、秋季采用不同的迁徙策略飞越渤海和大别山区。

致谢:感谢向海国家级自然保护区、莫莫格国家级自然保护区和南矶湿地国家级自然保护区各级管理人员对本研究的大力支持!同时,特别向向海保护区的杨军、林宝庆和李连山,莫莫格保护区的孙孝维和邹畅林,南矶湿地保护区的胡斌华和万松贤等致以衷心的感谢!正是由于他们的热忱帮助,使得本研究得以顺利开展。

参考文献

- [1]郑光美. 鸟类学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2012.
- [2]郑光美, 王岐山, 中华人民共和国濒危物种科学委员会. 中国濒危动物红皮书: 鸟类[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3]Kanai Y, Nagendran M, Ueta M, *et al.* Discovery of breeding grounds of a Siberian Crane *Grus leucogeranus* flock that winters in Iran, via satellite telemetry[J]. Bird Conservation International, 2002, **12**(4): 327-333.
- [4]Meine C, Archibald G. The cranes: status survey and conservation action plan[M]. IUCN, 1996.
- [5]Bragin E. Siberian Crane sightings in north Kazakhstan in spring 2013 and 2014[J]. Siberian Crane Flyway News, 2014, **6**(13): 5-6.
- [6]Rusanov G. A sighting of the Siberian Crane in Volga Delta, Russia, in autumn 2013[J]. Siberian Crane Flyway News, 2014, **6**(13): 6-7.
- [7]钱法文. 黑颈鹤(*Grus nigricollis*)与白鹤(*Grus leucogeranus*)的迁徙、种群动态和栖息地保护研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2009: 10-12.
- [8]Sauey R T. The range, status, and winter ecology of the Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) [D]. Ithaca: Cornell University, 1985: 191-197.
- [9]Vardhan H. Autumn migration and wintering 2002/2003 in central flyway[J]. Siberian Crane Flyway News, 2002, **12**(3): 7-8.
- [10]Li F S, Wu J D, James H, *et al.* Number and distribution of cranes wintering at Poyang Lake, China during 2011-2012[J]. Chinese Birds, 2012, **3**(3): 180-190.

- [11] Kanai Y, Ueta M, Germogenov N, *et al.* Migration routes and important resting areas of Siberian Cranes (*Grus leucogeranus*) between northeastern Siberia and China as revealed by satellite tracking[J]. Biological Conservation, 2002, **106**(3): 339-346.
- [12] Ma Y, Li X. The population and habitat of cranes in China's nature reserves[C]//The future of cranes and wetlands. Proceedings of the international symposium held in Tokyo and Sapporo, Japan, 1993: 141-145.
- [13] Zhang F. Conservation of wetlands and cranes in China[M]//The Future of Cranes and Wetlands. Proceedings of the international symposium held in Tokyo and Sapporo, Japan, 1993: 130-135.
- [14] 杨兵兵, 于国海, 孙孝维, 等. 吉林莫莫格国家级自然保护区的鸟类资源[J]. 动物学杂志, 2007, **41**(6): 82-91.
- [15] 吴志刚, 韩晓东, 王里. 莫莫格保护区的迁徙白鹤[J]. 野生动物, 1991, **12**(5): 21-24.
- [16] 吴建东, 李凤山, James Burnham. 鄱阳湖沙湖越冬白鹤的数量分布及其与食物和水深的关系[J]. 湿地科学, 2013, **11**(3): 305-312.
- [17] 刘观华, 金杰锋, 李凤山, 等. 2012年冬季鄱阳湖大型越冬水鸟数量与分布[J]. 江西林业科技, 2014, **42**(1): 39-43, 51.
- [18] 单继红, 马建章, 李言阔, 等. 近十年来鄱阳湖区越冬白鹤种群数量与分布[J]. 动物学杂志, 2012, **33**(4): 355-361.
- [19] 黄方, 王平, 王永洁, 等. 扎龙湿地生态环境变化及其对白鹤迁徙的影响[J]. 东北师大学报, 2007, **39**(2): 106-111.
- [20] 王宇嘉. 莫莫格国家级自然保护区白鹤迁徙期行为研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012: 21-24.
- [21] 李枫, 汪青雄, 卢珊, 等. 扎龙湿地白鹤春季停歇地昼间行为时间分配及活动规律[J]. 动物学杂志, 2007, **42**(3): 68-72.
- [22] Rappole J H, King D I, Diez J. Winter-vs. breeding-habitat limitation for an endangered avian migrant[J]. Ecological Applications, 2003, **13**(3): 735-742.
- [23] Newberry R C. Environmental enrichment: increasing the biological relevance of captive environments[J]. Applied Animal Behaviour Science, 1995, **44**(2): 229-243.

Migration Routes of Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) in Spring and Autumn by Satellite Tracking

LI Xiuming, XU Jiahui, QIAN Fawen

(Research Institute of Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, P.R.China)

Abstract: From October 2014 to February 2015, six Siberian Cranes (*Grus leucogeranus*) had been installed satellite trackers at stopover and wintering sites. Five of them provided fall migration information in 2014, and 4 birds completed spring and autumn migration in 2015. The results showed that 3 birds tracked flew to Poyang Lake as their wintering ground in China; their breeding ground located in the Arctic tundra between lower Yana River and lower Indigirka River in Republic of Sakha of Russia; all important stopover sites were in the marshes of southwest Songnen Plain in northeast China, which included the marshes in Momoge National Nature Reserve and Xianghai National Nature Reserve in Jilin province, Tumuji National Nature Reserve in Inner Mongolia Autonomous Region, and surrounding wetlands; the wetlands in Qiqihar became less important as stopover sites for Siberian Crane in this study; the migration routes in spring and autumn were roughly similar, but neither strictly migrating along the same route, nor roosting at the same stopover sites except the marshes in southwest Songnen Plain; the migration distance was $(5\,594.83 \pm 371.70)$ km ($n=4$) and migration time was (57.51 ± 8.61) days ($n=4$) in spring 2015, and migration distance was $(5\,366.66 \pm 61.19)$ km ($n=4$) and migration time was (51.52 ± 9.68) days ($n=4$) in fall 2015, there is not significant difference on migratory distance and time between spring and autumn migration (migration distance: $F=1.47$, $p=0.27$; migration time: $F=0.86$, $p=0.39$); different migration strategies were adopted by the tracked birds in spring and autumn migration when they flew over the Bohai Sea and Dabie Mountain. In addition, the research showed that it is feasible to release the rescued cranes into the wild in order that they return back to the wild population.

Keywords: *Grus leucogeranus*; satellite tracking; migration route; migration strategy