

Volume 36, Number 7 July 2017

ISSN 1000-4890
CODEN SZAZEC



生态学杂志

Chinese Journal of Ecology



中国生态学学会 主办
中国科学院沈阳应用生态研究所

科学出版社 出版

2017年7月
第36卷 第7期

生态学杂志

SHENGTAIXUE ZAZHI

2017年7月

目次

第36卷 第7期

CO ₂ 浓度升高对4种乔木幼树水力结构的影响	刘娟娟	张建国	李吉跃	查巍巍	(1769)						
极度濒危物种崖柏的地理分布及其生境特征	马凡强	秦爱丽	郭泉水	简尊吉	裴顺祥	王祥福	张世强	邢继畴	(1777)		
山西省崖壁植物资源及其在难造林地的应用前景分析	刘徐师	(1785)									
接种菌根菌剂对科尔沁沙地4种造林幼苗生长特性的影响	张可可	蒋德明	余海滨	周全来	韦云	(1791)					
盐渍生境疏叶骆驼刺生态特征与环境因子关系	罗瀚林	曾凡江	张玲	李梅梅	李世民	王波	(1801)				
河北辽河源自然保护区油松种群年龄结构和种群动态	程小琴	董玲玲	田慧霞	蔡锰柯	康峰峰	(1808)					
4种森林生态系统光合作用光响应参数特征比较	周立国	宋清海	张一平	费学海	(1815)						
高黎贡山自然保护区长蕊木兰遗传多样性的ISSR分析	邓云	武传胜	周瑞伍	林友兴	邓晓保	陈爱国	李培广	(1815)			
秦岭太白红杉对气温变化的响应及其机理	柴勇	吴涛	邵金平	和丽萍	方波	李贵祥	(1825)				
川南城市园林中紫薇开花物候变化特征及其影响因素	黄晓月	白红英	苏凯	张扬	刘荣娟	(1832)					
Cd胁迫下施N对台湾栎木(<i>Alnus formosana</i>)干物质及N、P、K、Cd积累与分配的影响	陈发军	杨银华	柳继尧	徐苏佩	张静	陈海霞	杨萍	(1841)			
丛枝菌根真菌对双子叶植物生长和根系特征的影响:整合分析	谭长强	黄志玲	彭玉华	申文辉	郝海坤	曹艳云	刘秀	(1847)			
基于Illumina MiSeq技术分析不同地域加工的茯砖茶中微生物群落多样性	郭晗铃	刘世俊	徐静	宋书锐	唐建军	陈欣	(1855)				
北京十渡水库浮游植物群落昼夜垂直分布特征	赵仁亮	胥伟	吴丹	姜依何	朱旗	(1865)					
Pb ²⁺ 、Zn ²⁺ 胁迫对附生西南树平藓叶绿素含量和光合荧光特性的影响	蓝鑫	吕靖	马靖宇	梁杭海	王海粟	杨娟	(1877)				
北部湾洋浦海域鱼类群落结构	刘涛	刘文耀	柳帅	宋亮	胡涛	黄俊彪	(1885)				
孔雀鱼产仔前后代谢水平与逃逸能力的比较	张文超	叶振江	田永军	李增光	庄龙传	(1894)					
黄河中上游春季迁徙期水鸟群落及大天鹅活动特征	夏继刚	鲁艳	付世建	彭姜岚	(1905)						
西藏林芝灰腹噪鹛(<i>Garrulax henrici</i>)繁殖生态及行为节律	李淑红	孟维悦	陈丽霞	李云锋	高如意	茹文东	孙孟和	戴强	张国钢	陆军	(1910)
基于因子分析的Cd ²⁺ 胁迫下赤子爱胜蛭氧化应激响应	高红梅	王忠斌	于晶晶	杨晓林	宗诚	(1917)					
土壤生物消毒对番茄青枯病的防控、土壤理化特性和微生物群落的影响	刘丽艳	宁玉翠	郭欣慧	王广栋	李晶	荣国华	周东兴	(1923)			
镉钝化剂与尿素配施对土壤镉钝化效果的影响	伍朝荣	黄飞	高阳	毛一航	蔡昆争	(1933)					
崇明岛土地利用方式对土壤酶活性的影响	于春晓	张丽莉	杨立杰	李东坡	武开阔	崔亚兰	薛妍	武志杰	(1941)		
陈山红心杉根际土壤有机碳、氮含量及根际效应	宁沐蕾	高唤唤	黄天颖	喻文娟	康宏樟	(1949)					
沈阳张士灌区彰驿站镇土壤与水稻植株镉污染分析	刘顺	盛可银	刘喜帅	吴珍花	郭晓敏	肖复明	张文元	(1957)			
北京市紫竹院公园绿地生态保健功能综合评价	付玉豪	李凤梅	郭书海	吴波	张玲妍	(1965)					
北京市五环内主要公园冷岛效应及其主要影响因素	段敏杰	王月容	刘晶	(1973)							
“蒸发悖论”在吉林省的表现及成因分析	仇宽彪	贾宝全	成军锋	(1984)							
洱海流域土地利用变化及其对景观生态风险的影响	岳元	申双和	金宇	王琪	(1993)						
• 综述与专论 •	王涛	张超	于晓童	曹小汪	(2003)						
气候变暖对植物、传粉者及其相互作用的影响	王颖洁	路宁娜	杨洁羽	丁天凤	赵志刚	(2010)					
溶解氧对稻田土壤氮素转化及水稻氮代谢影响研究进展	曹小闯	禹盛苗	Allen Bohr James	金千瑜	(2019)						
丝状绿藻生长的环境影响因子及控制技术研究进展	张璐	刘碧云	葛芳杰	刘琪	易科浪	吴振斌	(2029)				
微生物源挥发性物质及其生物防治作用研究进展	张清华	黄丽丽	连鑫坤	詹振亮	冯丽贞	(2036)					
围填海对湿地水鸟种群、行为和栖息地的影响	颜凤	李宁	杨文	乔亚军	安树青	(2045)					
• 方法与技术 •	史景宁	于健	周华	孟盛旺	刘琪璟	(2052)					
基于R软件的树木年轮宽度测量方法	唐星林	曹永慧	周本智	周燕	顾连宏	(2060)					
不同CO ₂ 浓度下苦槠(<i>Castanopsis sclerophylla</i>)叶片光合光响应模型模拟比较	刘焕军	盛磊	于胜男	赵慧颖	高永刚	秦乐乐	王翔	张新乐	(2068)		
基于气候分区与遥感技术的大兴安岭湿地信息提取	林罗敏	官昭瑛	郑训皓	林叔忠	王质军	陈刚	韦桂峰	(2077)			
流溪河底栖动物群落结构及基于完整性指数的健康评价											

Chinese Journal of Ecology

Vol.36 No.7

Contents

July 2017

- Influences of elevated CO₂ concentration on hydraulic architecture of seedlings of 4 tree species LIU Juan-juan, et al. (1769)
- Geographical distribution and habitat characteristics of critically endangered species, *Thuja sutchuenensis* MA Fan-qiang, et al. (1777)
- The resources of the cliff plants and their application prospect for afforestation at unsuitable sites in Shanxi Province LIU Xu-shi (1785)
- Impacts of mycorrhizal fungi inoculum on growth characteristics of four kinds of afforestation seedlings in Horqin sandy land, China ZHANG Ke-ke, et al. (1791)
- Ecological characteristics of *Alhagi sparsifolia* in relation to environmental factors in saline habitat LUO Han-lin, et al. (1801)
- Age structure and dynamics of *Pinus tabulaeformis* population in the Liaoheyan Nature Reserve of Hebei Province SHI Jia-yu, et al. (1808)
- Comparison of net ecosystem exchange light-response curve fitted parameters at four types of forest ecosystems ZHOU Li-guo, et al. (1815)
- ISSR analysis of genetic diversity of rare and endangered species *Alcimandra cathartii* in the Gaoligong Mountains National Nature Reserve CHAI Yong, et al. (1825)
- Response of *Larix chinensis* to temperature change and its response mechanism in Qinling Mountains HUANG Xiao-yue, et al. (1832)
- Variation characteristics and the impact factors of flowering phenology of *Lagerstroemia indica* in urban gardens in south Sichuan CHEN Fa-jun, et al. (1841)
- Influences of cadmium and nitrogen on the accumulation and distribution of dry matter and N, P, K, Cd in *Alnus formosana* TAN Zhang-qiang, et al. (1847)
- Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and root traits of dicotyledons plants: A meta-analysis GUO Han-ling, et al. (1855)
- Microbial community diversity of Fu brick tea produced in different regions by Illumina MiSeq technology ZHAO Ren-liang, et al. (1865)
- Diel vertical distribution patterns of phytoplankton community in Shidu Reservoir, Beijing LAN Xin, et al. (1877)
- Influence of Pb²⁺, Zn²⁺ stress on the chlorophyll content and photosynthetic fluorescence characteristics of epiphytic moss *Homaliodendron montagneanum* (C. Muell.) Fleisch LIU Tao, et al. (1885)
- Fish community structure in Yangpu waters of Beibu Gulf ZHANG Wen-chao, et al. (1894)
- A comparative study on the metabolic level and escape ability of guppy (*Poecilia reticulata*) before and after parturition XIA Ji-gang, et al. (1905)
- The spring waterbird community and home range of the whooper swan *Cygnus cygnus* at the upper and middle reaches of Yellow River in Inner Mongolia, China LI Shu-hong, et al. (1910)
- Breeding ecology and behavioral rhythm of brown-cheeked laughing thrushes (*Garrulax henrici*) in Linzhi, Tibet, China GAO Hong-mei, et al. (1917)
- Oxidative response of earthworm *Eisenia fetida* to Cd²⁺ stress based on factor analysis LIU Li-yan, et al. (1923)
- Effects of soil biological disinfection on tomato bacterial wilt control, soil physicochemical properties and soil microorganism community WU Chao-rong, et al. (1933)
- Effects of passivators and urea on soil Cd availability YU Chun-xiao, et al. (1941)
- Effects of land use patterns on soil enzyme activity in Chongming Island NING Mu-lei, et al. (1949)
- Contents of soil organic carbon and nitrogen forms in rhizosphere soil of *Cunninghamia lanceolata* and the rhizosphere effect LIU Shun, et al. (1957)
- Cadmium pollution in soil and rice plants in Zhangyizhan Town of Zhangshi irrigation area of Shenyang FU Yu-hao, et al. (1965)
- Comprehensive evaluation of ecological health functions of green space in Beijing Purple Bamboo Park DUAN Min-jie, et al. (1973)
- Cool island effect of urban parks and its influencing factors within the Fifth Ring in Beijing QIU Kuan-biao, et al. (1984)
- Indications and causes of "evaporation paradox" in Jilin Province YUE Yuan, et al. (1993)
- Effect of land use change on landscape ecological security in Erhai Basin WANG Tao, et al. (2003)
- Effects of climate warming on flowering plants, pollinators and their interactions WANG Ying-jie, et al. (2010)
- Effects of dissolved oxygen on nitrogen transformation in paddy soil and nitrogen metabolism of rice: A review HU Ji-jie, et al. (2019)
- The research progress in environmental factors and control techniques of filamentous green algae growth ZHANG Lu, et al. (2029)
- Research advances in microbial volatiles and their biocontrol potential ZHANG Qing-hua, et al. (2036)
- Effects of reclamation on wetland waterbird populations, behaviors and habitats YAN Feng, et al. (2045)
- Application of R software on tree ring width measurement SHI Jing-ning, et al. (2052)
- Comparison of light response modeling of photosynthesis in *Castanopsis sclerophylla* leaves under different CO₂ concentrations TANG Xing-lin, et al. (2060)
- Wetland information extraction based on climate division and remote sensing technology in Daxing'an Mountains LIU Huan-jun, et al. (2068)
- Macroinvertebrate community structure and IBI-based health assessment of Liuxi River LIN Luo-min, et al. (2077)

《生态学杂志》第九届编辑委员会

主 编 贾永锋

副 主 编 (按姓氏拼音排序)

傅伯杰 马克平 武志杰 薛建辉 曾德慧 张知彬 朱永官

编 委 (按姓氏拼音排序)

白中科 曹雅忠 常 禹 常剑波 陈 进 陈 欣 陈保冬 陈伏生 陈利军
程维信 崔国发 杜尧东 段留生 方运霆 冯新斌 傅平青 高天翔 戈 峰
巩宗强 关德新 郭庆军 郭书海 胡江春 蒋 新 孔维栋 李 琪 李 彦
李保平 李秀珍 林光辉 刘黎明 刘玲莉 刘杏忠 刘学军 刘志民 卢 欣
吕晓涛 马 鸣 钦 佩 全 燮 申卫军 施卫明 宋长春 宋玉芳 苏德纯
孙志高 田兴军 万方浩 汪思龙 王安志 王德利 王根绪 王光华 王克林
王清奎 王少锋 王祥荣 王绪高 王应刚 王中良 汪福顺 吴 宁 吴东辉
吴丰昌 吴文良 徐 慧 徐宗学 许建初 闫巧玲 颜晓元 杨效东 叶 勇
于 强 于大炮 曾凡江 曾希柏 张爱兵 张惠文 张金屯 张庆贺 张扬建
张元明 张正旺 赵 平 赵哈林 赵永存 赵之伟 郑元润 周立祥 邹发生

生态学杂志

(月刊 1982年创刊)

2017年7月第36卷第7期(总第288期)

Chinese Journal of Ecology

(Monthly, Started in 1982)

Vol.36, No.7 July 2017

主 管 中 国 科 学 技 术 协 会
主 办 中 国 生 态 学 学 会
中国科学院沈阳应用生态研究所
主 编 贾永锋
编 辑 生 态 学 杂 志 编 辑 部
(沈阳市文化路72号 邮编 110016)
电 话: (024) 83970394
传 真: (024) 83970394
E-mail: cje@iae.ac.cn
http://www.cje.net.cn
出 版 科 学 出 版 社
(北京东黄城根北街16号 邮编 100717)
印 刷 沈 阳 中 科 印 刷 有 限 责 任 公 司
发 行 辽 宁 省 邮 政 公 司 报 刊 发 行 公 司
中国 国际 图书 贸易 总 公 司
(北京 399 信箱, 邮编 100044)

Supervised by China Association for Science & Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Institute of Applied Ecology, Chinese
Academy of Sciences
Editor-in-Chief: Jia Yongfeng
Edited by Editorial Board of Chinese Journal of Ecology
(72 Wenhua Road, Shenyang 110016, China)
Tel: (024) 83970394 Fax: (024) 83970394
E-mail: cje@iae.ac.cn http://www.cje.net.cn
Published by Science Press (16 Donghuangchenggen
North Street, Beijing 100717, China)
Printed by Shenyang Zhongke Printing Co., Ltd.
Distributed by Distribution Center of Newspapers and
Journals, Liaoning Post Corporation (Domestic);
China International Book Trading Corporation
(P.O. Box 399, Beijing 100044, China) (International)

ISSN 1000-4890 国内邮发代号: 8-161
CN 21-1148/Q 国外发行代号: BM6077
国内外发行 定 价: 50.00 元

ISSN 1000-4890



黄河中上游春季迁徙期水鸟群落及大天鹅活动特征

李淑红¹ 孟维悦¹ 陈丽霞¹ 李云锋² 高如意² 茹文东² 孙孟和³ 戴强⁴
张国钢^{1*} 陆军¹

(¹中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 全国鸟类环志中心, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091;

²河南三门峡市天鹅湖国家城市湿地公园管理处, 河南三门峡 472000; ³内蒙古巴彦淖尔市林业局, 内蒙古巴彦淖尔 015000;

⁴中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

摘要 2015年3月和2016年4月, 分别对黄河中上游迁徙期的水鸟资源与大天鹅(*Cygnus cygnus*)的栖息地进行了调查, 旨在掌握黄河中上游春季迁徙期水鸟的资源现状以及大天鹅的活动特征。根据黄河湿地植被和水系分布状况, 沿着黄河自西部磴口县至东部土默特右旗进行调查。采用核密度分析法(KDE)计算了大天鹅日间和夜间活动区面积, 以及增强型植被指数(EVI)分析了活动区内的栖息地特征。共记录到37种25671只水鸟, 其中雁鸭类占水鸟总数的89.6%, 特别是大天鹅和小天鹅(*C. columbianus*)数量较多。内蒙古段黄河是大天鹅春季迁徙重要停歇地之一, 大天鹅在此停留时间长((27.23±8.96) d, $n=56$), 日间栖息地和夜宿地基本相似。90%以内区域的EVI值均较低, 50%活动区域明显低于50%~90%区域。黄河及农田蓄水而成的河漫滩为大天鹅提供了充足的食物, 栖息地隐蔽性较强, 适宜大天鹅等水鸟在此长期栖息。

关键词 水鸟; 大天鹅; 黄河; 活动区; 迁徙

The spring waterbird community and home range of the whooper swan *Cygnus cygnus* at the upper and middle reaches of Yellow River in Inner Mongolia, China. LI Shu-hong¹, MENG Wei-yue¹, CHEN Li-xia¹, LI Yun-feng², GAO Ru-yi², RU Wen-dong², SUN Meng-he³, DAI Qiang⁴, ZHANG Guo-gang^{1*}, LU Jun¹ (¹Key Laboratory of Forest Protection of State Forestry Administration, National Bird Banding Center of China, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; ²National Urban Wetland Park of Sanmenxia Swan Lake, Sanmenxia 472000, Henan, China; ³Forestry Bureau of Bayannur City, Bayannur 015000, Inner Mongolia, China; ⁴Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China).

Abstract: To establish baseline information about the spring migration of waterbirds, we conducted surveys on the current status and habitats of whooper swans (*Cygnus cygnus*) and other waterbirds along the upper and middle reaches of the Yellow River in Inner Mongolia, ranging from Dengkou County to Tumed Right Banner based on distributions of vegetation types and the river stream in March 2015 and April 2016. Day and night home ranges for tracking whooper swans were determined using kernel density estimation (KDE) at levels of 90% and 50%. Enhanced vegetation index (EVI) of these two levels were calculated and compared. A total of 25671 waterbirds were recorded, belonging to 37 species, of which swans and ducks accounted for 89.6%. The whooper and tundra swan (*C. columbianus*) were predominant. According to GPS-tracking data, the upper and middle reaches of Yellow River were important stopover sites for spring migratory whooper swans, where the most swans stayed for long periods ((24.74±9.38) d). Their diurnal and night movements were roughly similar. The EVI at the upper and

国家重点研发计划(2016YFC1201601)和国家林业局野生动物疫病监测与预警系统维护项目资助。

收稿日期: 2016-11-21 接受日期: 2017-04-19

* 通讯作者 E-mail: zm7672@126.com

middle reaches of Yellow River were very low. Compared with that of the 90% level of KDE, the home range size of the 50% level and corresponding EVI were much lower from Dengkou County to Tumed Right Banner. During our field surveys, we discovered that these stopover sites were located on farmland around the Yellow River, providing abundant food and better shelter habitats for whooper swans and other waterbirds.

Key words: waterbird; whooper swan; Yellow River; home range; migration.

内蒙古黄河中上游的河套平原拥有丰富的湿地资源,为野生动物特别是迁徙季节的候鸟提供了比较丰富的食物资源,其中的黄河湿地是候鸟最为集中的分布区域之一。我国学者对内蒙古境内的湿地鸟类资源及其栖息地有较多的研究,邢莲莲等(1996)报道了内蒙古自治区的鸟类区系,并对大兴安岭动物地理区划及内蒙古鸟类区系的形成进行了深入地探讨(邢莲莲等,1996)。结果表明,该地区有鸟类402种及116亚种,其中留鸟94种,夏候鸟221种,旅鸟72种,冬候鸟8种,这是首次对内蒙古鸟类资源较为全面的报道。近些年来,多数研究的地点主要选择于湖泊湿地如乌梁素海、哈素海、达赉湖等重要湿地(尚士友等,2003;赵格日乐图等,2013;汪敬忠等,2015),如对乌梁素海和达赉湖的鸟类资源、区系演变、生态环境演替、人为活动的影响等都有较为深入的研究(马龙等,2010;苏德高娃,2010;刘丙万等,2012;童杰等,2012;张雅棉等,2012;赵格日乐图,2014;郭嘉等,2015),但是对黄河湿地的水鸟资源却鲜有报道。

近些年来,通过对鸟类的环志和回收数据表明,内蒙古境内的黄河中上游已经成为蒙古国繁殖大天鹅(*Cygnus cygnus*)和三门峡库区越冬的大天鹅春秋迁徙季节的必经之地,而这两地也是高致病性禽流感H5N1发生疫情的地区(Sakoda *et al.*, 2010; Bi *et al.*, 2015),黄河中上游已经成为了我国禽流感疫情发生的潜在高风险区域。研究表明,野生水鸟在禽流感病毒传播中起了非常重要的作用,迁徙过程也加速了高致病性禽流感的长距离传播(Olsen *et al.*, 2006; Keawcharoen *et al.*, 2008; Reperant *et al.*, 2011)。2015年春季,在黄河中上游开展了水鸟群落特征的研究,同时基于大天鹅卫星跟踪的活动位点,分析了大天鹅种群在该地区的活动特征,主要目的有以下两点:(1)掌握黄河中上游春季迁徙期水鸟的资源现状;(2)明确大天鹅在该地区的分布及活动特征,希望研究成果为该地区的鸟类资源保护和禽流感的监测与防控提供科学支撑。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地点概况

研究地区位于黄河中上游从西部的巴彦淖尔市磴口县至包头市土默特右旗约310 km的黄河湿地(40°10' N—40°32' N, 106°54' E—110°46' E)(图1、2)。气候属中温带大陆性季风气候,光照充足,降水量少,蒸发量大,风大沙多,海拔为1026~1107 m,无霜期短;温差大,四季分明。年平均气温3.7~7.6℃,该地区主要以农田为主,主要农作物为玉米和油菜。

1.2 调查方法

根据黄河湿地植被和水系分布状况选择了41个地点,于2015年3月20—30日对黄河中上游水鸟进行了全面调查。调查人员用双筒望远镜和20~60倍单筒望远镜(SWAROVSKI)对视野中的水鸟进行观察统计。采用GPS对调查地点进行定位。科、属、种的学名和中文名依照《中国鸟类分类与分布名录(第二版)》(郑光美,2011)。鸟类区系划分依照《中国动物地理》(张荣祖,2011)。物种数量等级分为3级:+++表示个体数量大于1000;++表示个体数量在100~1000;+表示个体数量小于100。

根据2014—2016年大天鹅卫星位点的密度大小,2016年4月9—19日对大天鹅进行了栖息地调查,主要包括栖息地类型、隐蔽性、水生植物、潜在的食物及其丰度程度、附近家畜情况和人为干扰等情况。人为干扰情况包括有无游客,农牧渔作业干扰强度,公路及人为改建情况。各定性调查因子等级划分和定义见表1。

1.3 卫星和遥感数据的收集

分别于2014年3月、2015年2月和12月在河南三门峡库区,共捕捉了76只大天鹅,采用背负式为其中67只健康个体佩戴了太阳能卫星跟踪器,大天鹅活动特征的分析是基于大天鹅在研究区域内活动的卫星数据。卫星跟踪器分别为中国湖南信士科技有限公司和天津浙海科技有限公司生产,重量为22~30 g,约占大天鹅平均体重(平均9.8 kg)的

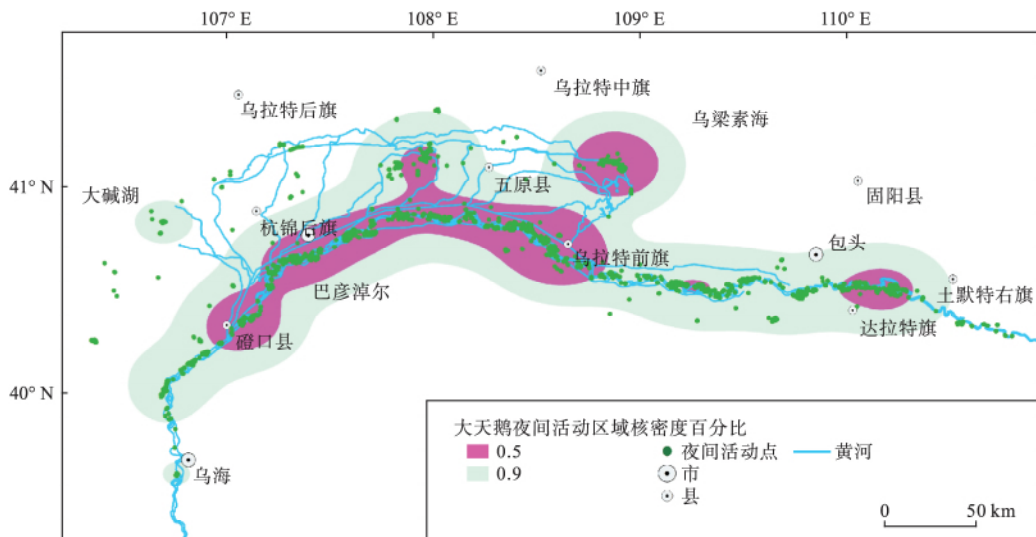


图 1 内蒙古黄河两岸大天鹅夜间活动区
Fig.1 Night home range size of tracked whooper swans at the upper and middle reaches of Yellow River

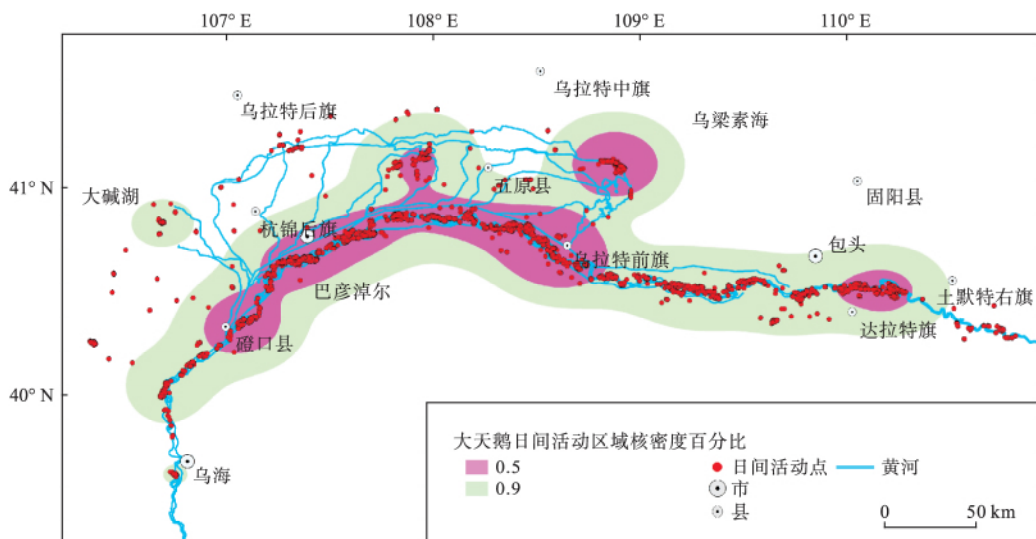


图 2 内蒙古黄河两岸大天鹅日间活动区
Fig.2 Diurnal home range size of tracked whooper swans at the upper and middle reaches of Yellow River

表 1 黄河中上游栖息地调查因子等级划分和定义
Table 1 Definition and classification of habitat factors along the upper and middle reaches of the Yellow River in Inner Mongolia

调查因子	划分等级	因子定义
栖息地隐蔽性	一般	肉眼易见或空旷、无明显树木和挺水植物的栖息地
	强	距离较远、有较明显遮蔽植被的栖息地
可能食物的丰富程度	丰富	食物种类较多 农田面积广阔
	较丰富	食物种类相对单一 无农田或农田面积较小
农牧渔业干扰强度	强	长期捕鱼、放牧和农作
	一般	短期或频率较低的农牧渔业
公路及人为改建	无	偶见或无农牧渔业
	强	栖息地与公路距离小于 500 m
	中	栖息地与公路距离 500 ~ 1 km
	一般	栖息地与公路距离 1~2 km
	无	栖息地与公路距离大于 2 km

0.2%~0.3%。卫星跟踪器采用 GPS 定位,通过中国移动通讯系统接收,每 2 h 发射 1 次信号。卫星定位数据通过网络客户端解译后下载,包括有定位时间、经纬度、精度(位点定位等级)。湖南信士卫星发射器的位点数据精度分为 A(±5 m)、B(±10 m)、C(±20 m)、D(±50 m)和无效(无法定位)5 类定位等级。天津浙海卫星发射器精度采用 PDOP 值。本文对 61 只在黄河中上游停歇大天鹅的卫星数据进行了分析,数据选用 A、B、C 等级以及 PDOP 值小于 2.0 的位点数据,共计 57724 个卫星位点。

在软件 R 语言(3.3 版本,“adehabitatHR”程序包)中采用核密度估计法进行 50%和 90%水平的活

动区面积的计算,在 Arcgis 10.2 中进行空间分布分析。采用增强型植被指数(enhanced vegetation index, EVI)分析了大天鹅在黄河中上游栖息地的植被情况。在 USGS 数据官网(<http://glovis.usgs.gov>)下载遥感数据为 MODIS 传感器的 MOD13A1 卫星影像,本文采用 500 m 空间分辨率和 16 d 时间分辨率,在 ArcGIS 10.2 软件中对 4 月 7 日的 EVI 影像进行拼接和波段提取,并采用栅格计算器去除负值(水体或云层),EVI 值范围为 0~1。因黄河中上游春季 16:00 和 18:00 正处于昼夜交替时段,大天鹅的夜间和日间活动点分析仅分别采用 19:00—5:00 和 7:00—17:00 时段的卫星数据。

2 结果与分析

2.1 物种组成

通过调查,共记录到水鸟 37 种 25671 只,隶属于 9 科,分别为鸕鹚科、鸕鹚科、鹭科、鸕科、鸭科、鹤科、秧鸡科、鸕科和鸥科,其中古北种有 29 种,广布种 5 种,东洋种 3 种(表 2)。其中雁鸭类占水鸟总数的 89.6%,主要物种是大天鹅和小天鹅(*C. columbianus*),数量达到 14367 只,其余是豆雁(*Anser fabalis*)、针尾鸭(*Anas acuta*)和红嘴鸥(*Larus ridibundus*)。斑头雁(*Anser indicus*)、蓑羽鹤(*Anthropoides virgo*)和疣鼻天鹅(*C. olor*)的数量较少。黄河沿岸水鸟中大天鹅、小天鹅、红嘴鸥、苍鹭(*Ardea cinerea*)和赤麻鸭(*Tadorna ferruginea*)的出现频次较高,记录的地点分别为 41、19、18、13 和 11 个(表 2)。

2.2 大天鹅的总体活动特征

卫星数据显示,内蒙古段黄河是大天鹅春季迁徙路线上的重要停歇地之一,约有 2/3 以上跟踪的个体($n=56$)在此处停歇,停歇时间也较长(27.23 ± 8.96 d),少数大天鹅($n=5$)在此度夏。最早到达的时间为 2 月 19 日,最晚到达为 4 月 26 日,最早离开的时间为 2 月 25 日,最晚离开 5 月 15 日。大天鹅夜间和日间的活动位点分别为 28305 和 29419 个,从图 1 和图 2 可以看出,大天鹅的夜宿地和白天栖息地分布基本相似,50%的活动区域主要分布在巴彦淖尔市磴口县至乌拉特前旗的黄河段,包头市土默特右旗黄河段和乌梁素海;50%~90%区域主要集中在乌海至磴口县,乌拉特前旗至包头的黄河段,后套的五原县和大碱湖。大天鹅总的活动区面积为 43760.3 km²(99% KDE),50%活动区的大天鹅日间和夜间活动区面积分别 6818.5 和 6894.2 km²,90%的日间和夜

表 2 内蒙古黄河中上游水鸟名录

Table 2 List of waterbirds at middle and upper reaches of Yellow River in Inner Mongolia, China

编号	物种	数量等级	地点个数	区系
	鸕鹚科 Podicipedidae			
1	凤头鸕鹚 <i>Podiceps cristatus</i>	+	4	古
	鸕鹚科 Phalacrocoracidae			
2	普通鸕鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	+	3	广
	鹭科 Ardeidae			
3	白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	++	3	东
4	苍鹭 <i>Ardea cinerea</i>	+++	13	古
5	大白鹭 <i>Ardea alba</i>	+	8	古
6	夜鹭 <i>Nycticorax nycticorax</i>	+	2	东
	鸕科 Threskiornithidae			
7	白琵鹭 <i>Platalea leucorodia</i>	++	9	广
	鸭科 Anatidae			
8	大天鹅 <i>Cygnus cygnus</i>	+++	41	古
9	小天鹅 <i>Cygnus columbianus</i>	+++	19	古
10	疣鼻天鹅 <i>Cygnus olor</i>	+	3	古
11	灰雁 <i>Anser anser</i>	+++	2	古
12	斑头雁 <i>Anser indicus</i>	+	1	古
13	豆雁 <i>Anser fabalis</i>	+++	9	古
14	鸿雁 <i>Anser cygnoides</i>	++	7	古
15	赤麻鸭 <i>Tadorna ferruginea</i>	+	11	古
16	翘鼻麻鸭 <i>Tadorna tadorna</i>	+	2	古
17	绿翅鸭 <i>Anas crecca</i>	+++	7	古
18	绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	+++	12	古
19	赤颈鸭 <i>Anas penelope</i>	+++	7	古
20	赤膀鸭 <i>Ahaticidae strepera</i>	+++	8	古
21	罗纹鸭 <i>Anas falcata</i>	+	2	古
22	斑嘴鸭 <i>Anas poecilorhyncha</i>	++	7	东
23	针尾鸭 <i>Anas acuta</i>	+++	7	古
24	琵嘴鸭 <i>Anas clypeata</i>	+	3	古
25	赤嘴潜鸭 <i>Netta rufina</i>	+++	6	广
26	红头潜鸭 <i>Aythya ferina</i>	+++	4	古
27	白眼潜鸭 <i>Aythya nyroca</i>	+++	5	广
28	鹊鸭 <i>Bucephala clangula</i>	+	3	古
29	斑头秋沙鸭 <i>Mergellus albellus</i>	+	2	古
30	普通秋沙鸭 <i>Mergus merganser</i>	++	3	古
	鹤科 Gruidae			
31	蓑羽鹤 <i>Anthropoides virgo</i>	+	1	古
32	灰鹤 <i>Grus grus</i>	+	1	古
	秧鸡科 Rallidae			
33	骨顶鸡 <i>Fulica atra</i>	+++	5	古
	鸕科 Charadriidae			
34	反嘴鸕 <i>Recurvirostra avosetta</i>	+	1	广
35	凤头麦鸡 <i>Vanellus vanellus</i>	++	8	古
36	灰头麦鸡 <i>Vanenus cinereus</i>	++	3	古
	鸥科 Laridae			
37	红嘴鸥 <i>Larus ridibundus</i>	+++	18	古

+++表示个体数量大于 1000,++表示个体数量为 100~1000,+表示个体数量小于 100。

间活动区面积分别为 22694.3 和 22823.8 km²。

2.3 大天鹅的栖息地利用

2015 年 4 月初,黄河上游 90%活动区内大天鹅

表3 卫星追踪大天鹅在黄河中上游重要栖息地点的生境情况

Table 3 Different habitat types of key sites of satellite tracked whooper swans at the upper and middle reaches of Yellow River

地点	经纬度 (°E, °N)	栖息地类型	栖息地 隐蔽性	水生植物	可能食物及丰富程度	周边家畜情况	人为干扰情况		
							有无 游客	农牧渔业 干扰强度	公路及 人为改建
临河区奋斗新村	107.41152 40.64315	黄河、河漫滩	一般	无	油葵块茎, 丰富	无	无	无	中等
临河区马场地、马头湾	107.57654 40.76442	黄河、河漫滩	一般	沉水植物	玉米 油葵块茎, 丰富	少量养鸭	有	一般	强
沙拉毛道嘎查黄河处	106.91076 40.19708	黄河、河漫滩	一般	无	油葵块茎, 丰富	少量养羊	无	无	无
五原县葡家圪旦	107.70516 40.82947	黄河、河漫滩、农田	强	芦苇	油葵块茎, 丰富	少量家禽	无	无	中等
乌拉特前旗巴音第六牧业队	108.37072 40.82181	黄河、河漫滩、农田	强	芦苇	玉米 油葵块茎, 丰富	少量放牧	无	一般	中等
五原县乃马斤	108.02128 40.85679	黄河、河漫滩、盐碱地	强	芦苇	草籽 油葵块茎, 较丰富	无	无	强	中等
五原县三和长	107.81338 40.85898	黄河、河漫滩、农田	一般	无	油葵块茎, 丰富	无	无	无	中等
乌拉特前旗南壕畔、三应河头	109.04196 40.56055	黄河、河漫滩、农田	强	沉水植物、芦苇	玉米 油葵块茎, 丰富	无	无	强	中等
乌拉特前旗刘槐圪堵	109.33140 40.49560	黄河、河漫滩、农田	强	沉水植物、芦苇	玉米 油葵块茎, 丰富	无	无	强	中等
乌拉特前旗羊羔圪堵	109.19282 40.52347	黄河、河漫滩、农田	一般	沉水植物、芦苇	油葵块茎, 丰富	无	无	强	强
土默特右旗温布壕东	110.80616 40.28760	农田、湖泊、黄河	一般	无	玉米 油葵块茎, 丰富	无	无	无	强
土默特右旗温布壕南	110.75272 40.31308	黄河、河漫滩、农田	强	无	丰富	少量放羊	有	强	中等
土默特右旗李五营西	110.25294 40.50902	农田、河流	强	芦苇	玉米 油葵块茎, 丰富	少量养鸭	无	强	一般
土默特右旗李五营南	110.24618 40.50802	黄河、河漫滩、盐碱地	一般	无	油葵块茎, 丰富	少量养鸭	有	强	强
南海九原排污口	109.98047 40.53099	农田、排污池、渠	一般	无	玉米 油葵块茎, 丰富	无	无	无	强
包头市东河区南海湿地景区	110.04666 40.53567	农田、河流、河漫地	一般	无	玉米, 丰富	无	无	强	中等
包头市九原区打不素太村东	109.50736 40.54193	农田、河流、河漫地	强	芦苇	玉米, 较丰富	无	有	强	中等
九原区打不素太村东北	109.52589 40.55086	农田、河流、河漫地	强	芦苇	玉米 油葵块茎, 丰富	无	有	强	中等

卫星位点的 EVI 均值为 0.0507 ± 0.0222 , 其中 50% 区域内的 EVI 均值为 0.0504 ± 0.0222 ($n = 8398$), 50%~90% EVI 均值为 0.0521 ± 0.0220 ($n = 1430$), 说明了春季迁徙期大天鹅在主要活动区内的植被比较少。进一步的分析显示, 50% 活动区域内的 EVI 值明显低于 50%~90% 区域 EVI 值 ($n = 9828$, $F = 6.92$, $P = 0.009$), 表明迁徙期大天鹅主要依赖是水体环境, 它为大天鹅提供了较为丰富的食物资源和较高的隐蔽性。同时, 在实地考察中也发现(表 3), 50% 活动区域内大天鹅栖息环境主要是黄河及其北岸农田, 由于蓄水形成了河漫滩, 其农作物主要是以油葵和玉米为主, 食物资源较为丰富; 栖息地周边多数为挺水植物芦苇, 隐蔽性较强。

3 讨论

3.1 物种组成

邢莲莲等(1996)对内蒙古鸟类区系进行了研究, 在动物地理区划上分为 3 个亚界 4 个区。除了大兴安岭区、兴安盟和通辽东部(东北区松辽平原亚区)和大青山以南(华北区黄土高原亚区)以外, 内蒙古其余地区在动物地理区划中大部分属于蒙新区(包括东部草原区和西部荒漠区)。在蒙新区鸟类区系中, 有一些与欧亚草原共有的鸟类, 还有一些与青藏高原共有, 本项研究也证实了这一点, 一些物

种如大鸨(*Otis tarda*)、豆雁、灰雁(*Anser anser*)和鸿雁(*Anser cygnoides*)与内蒙古东部松辽平原亚区的鸟类较为相似(高继宏等, 1992; 李晓民等, 2005; 李丁男, 2014); 还有一些物种如斑头雁、赤麻鸭等与青藏高原湿地如青海湖(张国钢等, 2007; 刘冬平等, 2008)、西藏尕斯错(张国钢等, 2011)和羊卓雍错(张国钢等, 2016a)的物种是一致的。

此次对黄河中上游湿地水鸟的调查结果表明, 雁鸭类在迁徙期是黄河湿地中的主要物种, 特别是大天鹅与小天鹅比较常见, 分布跨越 5 个经度($106^{\circ} \text{E} - 111^{\circ} \text{E}$): 其中在磴口县、临河段黄河处多以数百只混群栖息; 在乌拉特前旗东至包头西的黄河段, 个别地点如羊羔圪堵、巴音第六牧业队和刘槐圪堵等处的河漫滩天鹅数量达一千余只; 包头东至土默特右旗黄河段的天鹅总数达 7363 只, 均形成较大的群体, 尤其是南海子保护区总数达 2940 只。蓑羽鹤(*Anthropoides virgo*)和灰鹤(*Grus grus*)在此次调查中只记录到一次, 数量较少。

3.2 活动区的重要性

Takekawa 等(2010)对鄱阳湖的 8 种野鸭的春季迁徙路线进行卫星追踪, 其中有一只罗纹鸭(*Anas falcata*)的迁徙路线不同于主要的经渤海飞往俄罗斯的方向, 而是飞到了内蒙古段黄河(Takekawa et al., 2010), 恰好位于本次研究大天鹅重要停歇地

上表明存在着长江流域的水鸟,也可能包括小天鹅飞往内蒙古黄河段的迁徙路线。中亚迁徙路线上青海湖等地的水鸟如斑头雁飞往蒙古国中部地区时,也途经大天鹅迁徙路线上的停歇地(Prosser *et al.*, 2009),此次春季调查中也同时记录到大天鹅、小天鹅、斑头雁、赤麻鸭和鸿雁等鸟类。这些研究结果都表明,黄河中上游是东亚和中亚候鸟迁徙路线上的重要交汇地带(张雅棉等 2012)。

在调查期间还观察到蒙古国环志的大天鹅(如蓝色颈环 1T81、0T80、1T75、0T85),已经证实这些大天鹅来自于蒙古国的艾拉格湖(Airag Lake)、特尔金白湖(Terkhiin Tsagaan Lake)(张国钢等 2016b),而这些湖泊也曾经发生过 H5N1 高致病禽流感疫情。结合本次研究结果,黄河中上游湿地是禽流感监测的重要区域,希望相关部门给予高度重视。

3.3 栖息地情况

邵明勤等(2016)研究发现,小天鹅等水鸟对浅水生境利用较高。野外调查发现,大天鹅和小天鹅等水鸟在春季迁徙期间选择黄河中上游湿地两岸作为重要的停歇地,两岸有大面积耕种的农田,主要的农作物有油葵和玉米等,而且农田里蓄满了黄河水,形成了适宜天鹅栖息和觅食的河漫滩。李卫平等(2015)研究发现,巴彦淖尔段黄河湿地的水质和挺水植物较其他地区优良。本次调查中也发现,卫星追踪的大天鹅倾向选择如五原县乃马斤、葡家圪旦以及乌拉特前旗南壕畔、三应河头、巴音第六牧业队、刘槐圪堵等地的黄河段和农田(50% KDE),这些地点水生植被主要是芦苇以及一些沉水杂草,其隐蔽性和农田面积较其他活动区(50%~90% KDE)大,人为干扰较小,是适宜天鹅以及其他水鸟觅食和夜宿的地点。

湿地的健康状况与水鸟多样性密切相关(Ke *et al.* 2011),近年来,河套地区湿地受泥沙淤积和沙化(汪宏芳等 2014)以及富营养化等水污染(叶振维等 2014; 郭嘉等 2015)的威胁,导致湿地物种多样性发生改变,如芦苇退化(段晓男等 2006),水鸟的数量和分布可能会随之发生变化(邹业爱等, 2014)。因此,黄河两岸湿地作为大天鹅等众多水鸟迁徙期重要的交汇地带,是禽流感病毒监测的重要区域,希望相关部门加以重视,在水鸟较为聚集的区域,尽可能地减少人为改建等活动,改善湿地环境,消除对野生鸟类及栖息环境的不利因素。

致谢 感谢内蒙古自治区林业厅和巴彦淖尔林业局对开展黄河中上游水鸟和大天鹅栖息地调查给予的大力支持和帮助。

参考文献

- 段晓男,王效科,郭玉华,等. 2006. 乌梁素海芦苇资源演变及影响因素分析. 干旱区资源与环境, 20(3): 175-179.
- 高继宏,马建章. 1992. 向海自然保护区的雁鸭类资源研究. 国土与自然资源研究, (1): 55-56.
- 郭嘉,韦玮,于一雷,等. 2015. 乌梁素海湿地富营养化研究进展. 生态学杂志, 34(11): 3244-3252.
- 李丁男. 2014. 中国受胁雁鸭类的地理分布及保护状况研究(硕士学位论文). 北京: 北京林业大学.
- 李卫平,刘建龙,鲍交琦,等. 2015. 包头黄河湿地生态恢复植物类型的选择. 湿地科学, 13(2): 211-216.
- 李晓民,刘学昌,周景英,等. 2005. 内蒙古图牧吉冬季大鸨调查初报. 动物学杂志, 40(3): 46-49.
- 刘丙万,顾丽,张博,等. 2012. 内蒙古达赉湖地区蒙原羚生境适宜度评价. 生态学杂志, 31(10): 2568-2572.
- 刘冬平,张国钢,江红星,等. 2008. 青海湖斑头雁(*Anser indicus*)繁殖期的活动性、栖息地利用及其与人的关系. 生态学报, 28(11): 5201-5208.
- 马龙,吴敬禄. 2010. 近 50 年来内蒙古河套平原气候及湖泊环境演变. 干旱区研究, 27(6): 871-877.
- 尚士友,杜健民,李旭英,等. 2003. 草型富营养化湖泊生态恢复工程技术的研究——内蒙古乌梁素海生态恢复工程试验研究. 生态学杂志, 22(6): 57-62.
- 邵明勤,蒋剑虹,戴年华. 2016. 鄱阳湖非繁殖期水鸟的微生物生境利用及对水位的响应. 生态学杂志, 35(10): 2759-2767.
- 苏德高娃. 2010. 内蒙古达赉湖自然保护区种子植物区系研究(硕士学位论文). 呼和浩特: 内蒙古农业大学.
- 童杰,刘丙万,刘松涛,等. 2012. 内蒙古达赉湖地区蒙原羚冬季采食生境选择. 生态学杂志, 31(4): 939-942.
- 汪宏芳,贾晓鹏,王海兵. 2014. 黄河内蒙古段淤积泥沙洪水冲刷效应. 中国沙漠, 34(4): 1143-1149.
- 汪敬忠,吴敬禄,曾海鳌,等. 2015. 内蒙古主要湖泊水资源及其变化分析. 干旱区研究, 32(1): 7-14.
- 邢莲莲,杨贵生. 1996. 内蒙古鸟类区系研究. 北京: 海峡两岸鸟类学术研讨会.
- 叶振维,路达,白妙馨. 2014. 内蒙古黄河流域水污染形势分析. 环境与发展, 26(4): 100-103.
- 张国钢,陈丽霞,李淑红,等. 2016b. 黄河三门峡库区越冬大天鹅的种群现状. 动物学杂志, 51(2): 190-197.
- 张国钢,刘冬平,江红星,甘共苦等. 2007. 青海湖非越冬水鸟多样性分析. 林业科学, 43(12): 101-105.
- 张国钢,刘冬平,钱法文,等. 2011. 西藏穷错水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化. 生态学报, 31(2): 395-400.
- 张国钢,刘冬平,钱法文,等. 2016a. 西藏南部羊卓雍错水鸟群落及斑头雁活动区域特征. 生态学报, 36(4): 946-952.
- 张荣祖. 2011. 中国动物地理. 北京: 科学出版社.

- 张雅棉, 贾亦飞, 焦盛武, 等. 2012. 乌梁素海湿地: 迁徙候鸟的重要栖息地. *资源与生态学报: 英文版*, **3**(4): 316-323.
- 赵格日乐图, 李 霞. 2013. 内蒙古疣鼻天鹅的分布及繁殖生态研究. 杭州: 海峡两岸鸟类学术研讨会.
- 赵格日乐图. 2014. 内蒙古哈素海发现池鹭繁殖群. *动物学杂志*, **49**(1): 50-50.
- 郑光美. 2011. 中国鸟类分类与分布名录. 北京: 科学出版社.
- 邹业爱, 牛俊英, 汤臣栋, 等. 2014. 东亚-澳大利亚迁徙路线上鸬形目水鸟适宜生境变化: 以崇明东滩迁徙停歇地为例. *生态学杂志*, **33**(12): 3300-3307.
- Bi Y, Zhang Z, Liu W, et al. 2015. Highly pathogenic avian influenza A (H5N1) virus struck migratory birds in China in 2015. *Scientific Reports*, **5**: 12986.
- Keawcharoen J, van Riel D, van Amerongen G, et al. 2008. Wild ducks as long-distance vectors of highly pathogenic avian influenza virus (H5N1). *Emerging Infectious Diseases*, **14**: 600-607.
- Ke CQ, Zhang D, Wang FQ, et al. 2011. Analyzing coastal wetland change in the Yancheng National Nature Reserve, China. *Regional Environmental Change*, **11**: 161-173.
- Olsen B, Munster VJ, Wallensten A, et al. 2006. Global patterns of influenza A virus in wild birds. *Science*, **312**: 384-388.
- Prosser DJ, Takekawa JY, Newman SH, et al. 2009. Satellite-marked waterfowl reveal migratory connection between H5N1 outbreak areas in China and Mongolia. *Ibis*, **151**: 568-576.
- Reperant LA, Bildt MWG, Amerongen G, et al. 2011. Highly pathogenic avian influenza virus H5N1 infection in a long-distance migrant shorebird under migratory and non-migratory states. *PLoS ONE*, **6**: e27814.
- Sakoda Y, Sugar S, Batchluun D, et al. 2010. Characterization of H5N1 highly pathogenic avian influenza virus strains isolated from migratory waterfowl in Mongolia on the way back from the southern Asia to their northern territory. *Virology*, **406**: 88-94.
- Takekawa JY, Newman SH, Xiao X, et al. 2010. Migration of waterfowl in the East Asian flyway and spatial relationship to HPAI H5N1 outbreaks. *Avian Diseases*, **54**: 466-476.

作者简介 李淑红,女,1984年生,硕士研究生,研究方向为鸟类迁徙生态学。E-mail: shuhongli@outlook.com
责任编辑 张 敏
