

DOI: 10.5846/stxb202106011446

王昱熙, 赵青山, 谢彦波, Damba Iderbat, 邓雪琴, 嘎日迪, 刘观华, 徐志文, 李跃, 高大立, 徐文彬, 陈国勋, 曹垒. 长江中下游湿地大型水鸟种群动态和幼鸟比例研究. 生态学报, 2023, 43(2): 868-877.

Wang Y X, Zhao Q S, Xie Y B, Damba Iderbat, Deng X Q, Ga R D, Liu G H, Xu Z W, Li Y, Gao D L, Xu W B, Chen G X, Cao L. Population dynamics and age ratio of large-bodied waterbird species in the wetlands of the Yangtze River floodplain. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(2): 868-877.

长江中下游湿地大型水鸟种群动态和幼鸟比例研究

王昱熙¹, 赵青山², 谢彦波³, Damba Iderbat^{2,4,5}, 邓雪琴^{2,4}, 嘎日迪⁶, 刘观华⁷, 徐志文⁷, 李跃⁸, 高大立⁹, 徐文彬¹⁰, 陈国勋¹¹, 曹垒^{2,4,*}

1 中国科学技术大学, 生命科学学院, 合肥 230026

2 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

3 中国科学技术大学, 现代物理系, 合肥 230026

4 中国科学院大学, 北京 100049

5 蒙古科学院生物研究所, 乌兰巴托, 蒙古 13330

6 内蒙古师范大学, 生命科学与技术学院, 呼和浩特 010000

7 江西鄱阳湖国家级自然保护区管理局, 南昌 330038

8 江西都昌省级自然保护区管理局, 都昌 332600

9 湖南东洞庭湖国家级自然保护区管理局, 岳阳 414000

10 安徽升金湖国家级自然保护区管理局, 东至 247000

11 湖北龙感湖国家级自然保护区管理局, 黄冈 435500

摘要: 迁徙水鸟保护对生物多样性保护具有重要意义。开展水鸟种群数量和幼鸟比例监测, 对科学评估其种群变化趋势、制定长期保护策略具有重要价值。长江中下游湿地是东亚-澳大利西亚迁徙路线上重要的水鸟越冬区之一。本研究采用野外同步调查等方法对该区域 87 个湿地的亟需保护和具有代表性的 10 种大型越冬水鸟, 其中雁形目 6 种, 分别是鸿雁 *Anser cygnoides*、豆雁 *A. fabalis*、灰雁 *A. grus*、白额雁 *A. albifrons*、小白额雁 *A. erythropus* 和小天鹅 *Cygnus columbianus*; 鹤形目 4 种, 分别是白鹤 *Leucogeranus leucogeranus*、白枕鹤 *Antiigone vipio*、灰鹤 *Grus grus* 和白头鹤 *G. monacha*, 进行了长期监测 (2003—2019 年冬季), 并结合相关文献, 评估其种群变化趋势、幼鸟比例和死亡率。研究结果如下: (1) 2005—2019 年 3 种水鸟 (豆雁、灰雁和灰鹤) 的种群数量呈上升趋势, 7 种水鸟 (鸿雁、白额雁、小白额雁、小天鹅、白鹤、白枕鹤和白头鹤) 种群数量呈下降趋势; (2) 种群趋势下降组 ($N=7$) 和上升组 ($N=3$) 的幼鸟比例均值在 2016—2019 年中, 分别为 0.168 与 0.173, 两组间无显著差异 ($P=0.601$); (3) 种群趋势下降和上升水鸟的死亡率均值在 2016—2019 年中, 分别为 0.245 与 0.125, 两组间有显著差异 ($P=0.006$)。本研究表明, 导致长江越冬水鸟种群趋势下降的主要因素是高死亡率, 而不是低繁殖成功率。建议未来加强对 7 个下降种群的保护, 并进一步研究死亡的时间、地点和原因。

关键词: 越冬水鸟; 种群动态; 幼鸟比例; 死亡率

Population dynamics and age ratio of large-bodied waterbird species in the wetlands of the Yangtze River floodplain

WANG Yuxi¹, ZHAO Qingshan², XIE Yanbo³, DAMBA Iderbat^{2,4,5}, DENG Xueqin^{2,4}, GA Ridi⁶, LIU Guanhua⁷, XU Zhiwen⁷, LI Yue⁸, GAO Dali⁹, XU Wenbin¹⁰, CHEN Guoxun¹¹, CAO Lei^{2,4,*}

1 School of Life Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

基金项目: 国家自然科学基金 (31970433, 31870369); 中国生物多样性监测网 (Sino BON)

收稿日期: 2021-06-01; **网络出版日期:** 2022-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: leicao@rcees.ac.cn.

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

5 Institute of Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia

6 College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010000, China

7 Jiangxi Poyang Lake National Reserve Authority, Nanchang 330038, China

8 Authority of Jiangxi Duchang Provincial Natural Reserve, Duchang 332600, China

9 Authority of East Dongting Lake National Nature Reserve, Yueyang 414000, China

10 Anhui Shengjin Lake National Reserve Authority, Dongzhi 247000, China

11 Authority of Longgang Lake National Nature Reserve, Huanggang 435500, China

Abstract: Migratory waterbirds protection is essential for biodiversity protection. It is particularly important to clarify the population dynamics based on the monitoring of population size and age ratio, so as to scientifically evaluate its population trend and formulate long-term protection strategies. Wetlands in the Yangtze River floodplain are one of important winterings for waterbird species on the East Asian-Australasian flyway. In this study, the overwintering waterbird species in 87 wetlands were monitored for a long time (in each winter from 2003 to 2019) by the field investigation and literature review, and the age ratio and the mortality of 10 large-bodied waterbirds (6 geese and swans species, Swan Goose *Anser cygnoides*, Bean Goose *A. fabalis*, Greylag Goose *A. grus*, Greater White-fronted Goose *A. albifrons*, Lesser White-fronted Goose *A. erythropus*, and Bewick's Swan *Cygnus columbianus*; 4 cranes species, Siberian Crane *Leucogeranus leucogeranus*, White-naped Crane *Antigone vipio*, Common Crane *Grus grus*, and Hooded Crane *G. monacha*) were evaluated. The results are as follows: (1) the population size of 7 species of waterbirds (Swan Goose, Greater White-fronted Goose, Lesser White-fronted Goose, Bewick's Swan, Siberian Crane, White-naped Crane, and Hooded Crane) decreased, 3 species of waterbirds (Bean Goose, Greylag Goose, and Common Crane) increased; (2) In 2016—2019, the average age ratio of the declining ($N=7$) and rising ($N=3$) groups were 0.168 and 0.173, with no significant difference between the two groups ($P=0.601$); (3) In 2016—2019, the average mortality of the declining and rising group were 0.245 and 0.125, with significant difference between the two groups ($P=0.006$). This study showed that the main factor leading to the decline of overwintering waterbird species population in the Yangtze River is high mortality, not low reproductive success rate. It is suggested to strengthen the protection of the 7 declined waterbirds in the future, collect the time, place and the cause of death, and further study the factors caused high mortality.

Key Words: wintering waterbird species; population dynamics; age ratio; mortality

东亚-澳大利西亚迁徙路线是全球9条水鸟迁徙路线中受胁程度最高的区域,50%的物种缺乏种群变化趋势数据,已知趋势的种群50%呈下降趋势^[1-2]。研究该迁徙路线上种群的数量和趋势,以及变化原因,对保护候鸟种群非常重要。长江中下游湿地气候温和,21世纪初最冷的1月平均温度为4.25℃^[3]。其夏荣冬枯的水文模式形成了数量众多的浅水湿地^[4],食物非常丰富。每年10月至次年3月吸引约1000000只水鸟在此越冬^[5],包括大型水鸟,如鹤类,天鹅和雁类等,是东亚-澳大利西亚迁徙路线上水鸟重要的越冬区之一^[6]。水鸟作为湿地生态系统的指示物种,其数量变化反应了湿地质量的改变^[7]。因此,开展水鸟越冬种群数量监测,阐明种群动态变化趋势和影响因素,对水鸟保护和湿地生态系统评估至关重要^[8]。

繁殖成功率、死亡率、迁入率和迁出率是影响鸟类种群数量变化最重要的因素^[1]。研究表明,长江中下游湿地是鹤类,天鹅和雁类等水鸟主要的越冬地之一^[6]。而卫星追踪的结果表明,大多数在中国越冬的个体,与在韩国和日本越冬个体交流有限^[9-10]。因此,在计算种群大小、变化趋势和变化率时,迁入率和迁出率对种群变化的贡献较小。但由于繁殖地偏远、种群密度低和生活史跨度大等原因,多数水鸟缺乏直接的繁殖

成功率和死亡率数据^[11]。因此,通常采用水鸟在越冬地的幼鸟比例(幼鸟数量/成鸟数量+幼鸟数量)来指示其繁殖成功率,并据此来估算死亡率^[12]。而目前,在长江越冬的上述水鸟类群,其繁殖成功率和死亡率仍缺乏相关研究。

我国大型水鸟云集在长江湿地越冬,在秋季和早冬,有些幼鸟和成鸟的外形差异在远距离仍可被识别,成为了研究幼鸟比例的极佳场所^[13]。基于幼鸟和成鸟可以在野外调查时被区分这一条件,在长江中下游湿地选择了 10 种有代表性的大型越冬水鸟(豆雁 *Anser fabalis*、灰雁 *A. grus*、白额雁 *A. albifrons*、小天鹅 *Cygnus columbianus*、灰鹤 *Grus grus*) 和全球受胁物种(鸿雁 *A. cygnoides*、小白额雁 *A. erythropus*、白鹤 *Leucogeranus leucogeranus*、白枕鹤 *Antigone vipio*、和白头鹤 *G. monacha*),总数量约占长江越冬水鸟总数量的 45%。并评估它们的种群变化趋势^[14]。尽管已有部分大型水鸟的种群数量与趋势的报道^[9-10,15-18],但白头鹤、白枕鹤和灰鹤的种群数量与趋势未知。同时,大型水鸟种群变化的原因仍需进一步研究。

为补充以上研究空白,本研究基于长江越冬水鸟同步调查和幼鸟比例调查数据,并结合文献数据和公共数据库数据,阐明了 3 种水鸟(白枕鹤、灰鹤和白头鹤)在长江越冬种群的数量;并进一步分析了以上 10 个物种种群变化趋势以及幼鸟比例;构建死亡率的估算模型,探讨种群变化的直接原因。本文结果为水鸟的研究和保护提供了重要的基础数据,并指明了后续的方向。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

长江中下游是指从湖北宜昌到长江入海口,全长约 1900 km,流域面积 90 万 km²^[19]。由于独特的流域水文特征,形成了交错分布的大小湖泊以及河流^[20]。该区域湿生植物多达 25 科 57 属 71 种^[21],初级生产力水平很高,为越冬水鸟提供了丰富的食物资源^[22]。

本研究区域集中在长江中下游 5 省(湖北、湖南、江西、安徽、江苏)中的 87 个内陆湖泊(图 1),其中,江苏

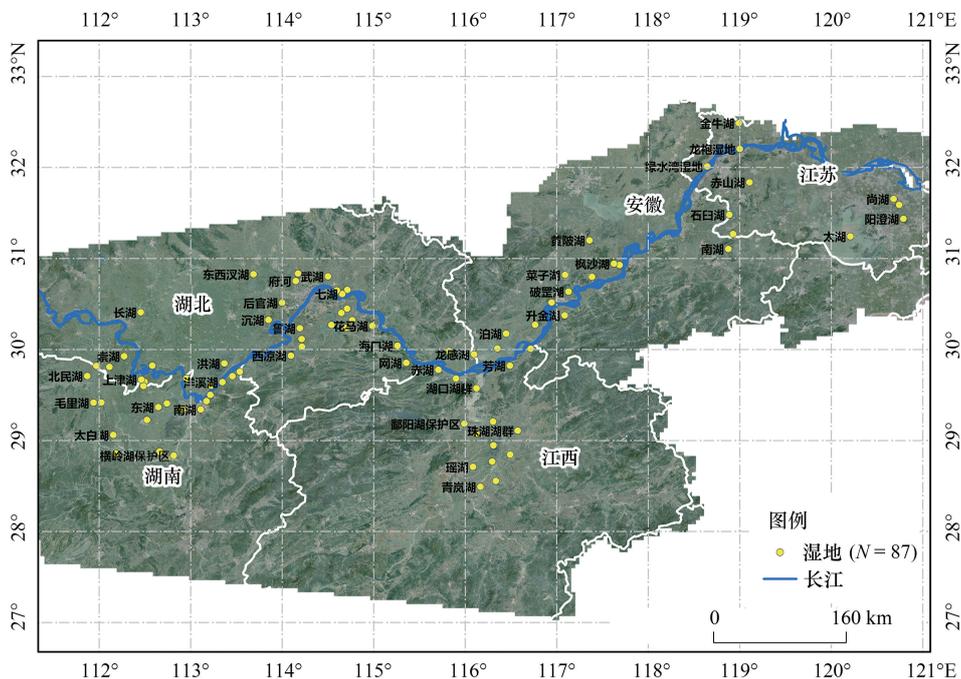


图 1 长江中下游湿地越冬水鸟种群同步调查的 87 个湿地分布情况

Fig.1 The distribution of 87 wetlands in the synchronous survey of overwintering waterbird species population in the wetlands of the Yangtze River floodplain

省 10 个湖泊,安徽省 12 个湖泊,江西省 15 个湖泊,湖北省 32 个湖泊和湖南省 18 个湖泊。另有三个湖泊的划分区域说明如下:(1)安徽省龙湖和湖北省龙感湖,汇总到湖北省龙感湖湿地;(2)安徽省大官湖和黄湖,汇总到安徽省黄大湖湿地;(3)安徽省石臼湖和江苏省石臼湖,汇总到江苏省石臼湖湿地。

1.2 研究物种概况

本研究涉及的 10 种水鸟分属于鹤科(Gruidae)与鸭科(Anatidae)。其中鹤科有 4 种,分别为白鹤、白枕鹤、灰鹤、和白头鹤。鸭科有 6 种,分别是鸿雁、豆雁、灰雁、白额雁、小白额雁和小天鹅。

1.3 数据来源

1.3.1 文献与数据库检索

对于种群大小与趋势已知,但种群变化率未知的 7 种长江越冬水鸟(鸿雁、豆雁、灰雁、白额雁、小白额雁、小天鹅和白鹤),本研究利用文献(CNKI、Web of Science 与 Google scholar 等)、公共数据库检索(eBird 数据库)和保护区调查数据(鄱阳湖国家级自然保护区等)。分别获取了长江越冬 6 种鸭科水鸟从 1987—2020 年的调查数据,以及白鹤从 2001—2020 年的调查数据。数据时段差异是由于不同来源数据差异所致。

1.3.2 长江中下游湿地越冬水鸟同步调查

对于种群大小、趋势和变化率均未知的 3 种长江越冬水鸟(白头鹤、白枕鹤和灰鹤)。本文使用 2003—2019 年中,在 2003、2004、2015、2017、2018 和 2019 年冬季 1—2 月进行的 6 次长江中下游湿地越冬水鸟同步调查的数据^[13],以及从 2008—2019 年 10—4 月累积 70 次安徽湖群的调查数据。野外监测中采用分区直数法,且每次监测均覆盖相同位点^[23],累积覆盖 87 个湿地,约 16000 km²。同时,为覆盖所有分布区域,在长江中下游湿地越冬水鸟同步调查中,调查团队还利用卫星追踪数据,补充了新的调查位点。该调查覆盖了 3 种水鸟分布的所有关键位点。

1.3.3 长江中下游湿地越冬水鸟幼鸟比例调查

上述 9 种越冬水鸟的卫星追踪研究表明,其到达长江越冬地的高峰期在每年的 11 月。为准确掌握幼鸟比例,在 2016—2019 年 11 月与 12 月期间各进行 1 次调查,调查期间累积覆盖长江中下游 17 个湿地湖泊和 501 个调查位点(图 2),完成了 8 次越冬水鸟幼鸟比例的调查^[13]。调查湖泊位于我国浅水湖泊密度最高的区域,覆盖了 10 种水鸟分布的所有关键位点。

在幼鸟比例调查中,年际间每个时期调查会尽量保证位点一致。由于存在外部可不抗力因素(例如:施工占地、调查点淹没等因素),造成部分年份固定调查位点无法重访,数据缺失。同时,我们会根据卫星遥测获得的鸟类近实时位置和自然保护区巡护人员的建议,增设调查位点。

1.4 研究方法

1.4.1 种群数量与趋势分析

调查数据在年际间可能存在的波动性,3 种水鸟(白枕鹤、灰鹤和白头鹤)2020 年的种群估计值,参考 Defng 等^[9]的估算方法,将 3 次调查数据的平均值(2017—2019 年冬季)作为 2020 年的种群估计值。

10 种水鸟的种群变化率,选取系统调查数据中具有代表性的数据,使用线性回归模型分析水鸟种群的变化趋势,获得种群变化率。

1.4.2 幼鸟比例分析

幼鸟比例的野外调查数据,一般情况一个湖泊每年调查一次。部分湖泊在部分年份在 11 月和 12 月进行 2 次调查。对于同一越冬期有 2 次调查的湖泊,本研究采用数量最大化准则,作为该湖泊当年的观测总数与幼鸟总数。

幼鸟比例(J/N)是指幼鸟的占比情况,其计算公式为:

$$J/N = \frac{\text{Juveniles}}{\text{Age} + \text{Adults}} \quad (\text{幼鸟数量} / \text{幼鸟数量} + \text{成鸟数量})$$

长江中下游湿地水鸟的幼鸟比例(Juvenile ratio)的计算公式为:

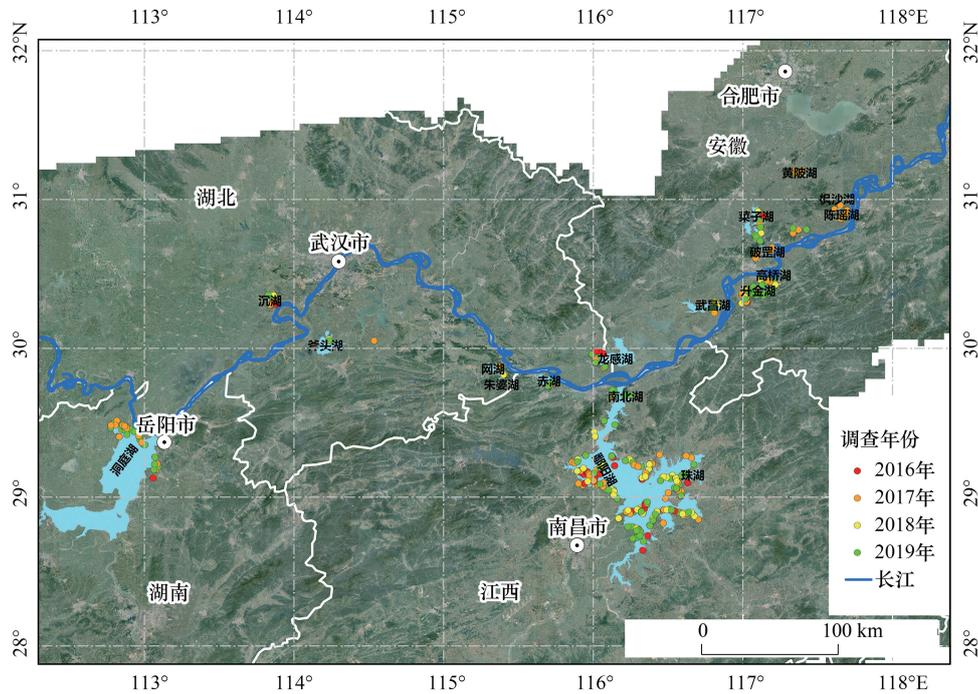


图 2 长江中下游湿地越冬水鸟幼鸟比例调查点位分布 (N=501)

Fig.2 Distribution of investigation points of age ratio of overwintering waterbird species in wetlands of Yangtze River floodplain (N=501)

$$\text{Age ratio} = \frac{\text{All juveniles}}{\text{All juveniles} + \text{All adults}} \quad (\text{总幼鸟数量} / \text{总幼鸟数量} + \text{总成鸟数量})$$

1.4.3 死亡率估算模型

基于 10 种水鸟越冬种群变化和幼鸟比例分析结果, 建立数学模型来估算每种水鸟的平均死亡率。越冬调查中无法获得未孵化卵和未成功迁徙到越冬地的幼鸟数量, 因此构建模型时, 将不包含产卵但未孵化和年龄小于 0.5 岁个体的死亡贡献, 仅考虑越冬地幼鸟比例。

数学模型构建如下^[13]:

假设针对某物种, 已在长江中下游湿地的越冬期内进行了 N 次的种群监测, 且对应的观测年份用 T_n 来表示, T_n 观测年对应的种群估计值为 P_n , 其中 $n=1, 2, \dots, N$ 。

在监测时间段下使用线性拟合种群变化, 可获得种群大小 $P(t)$:

$$P(t) = At + B, A \text{ 是种群变化率}, B \text{ 是监测初始种群大小。}$$

而种群变化率 A 由繁殖率(由幼鸟比例表征)和死亡率共同决定。假设针对该物种进行了 K 次的成幼调查, 则对应的幼鸟比例为 $\frac{J_h}{A_h}$, 其中幼鸟数量为 J_h , 总数量为 A_h , 其中对应调查的年份为 $t_h, h=1, \dots, K$ 。

假设该物种长江越冬种群每年死亡数为 $D(t) \cong \bar{D}$, 监测新生幼鸟数(0.5 岁越冬) $C(t) \cong \bar{C}$, 则:

$$A = \bar{C} - \bar{D}$$

$$C(t_h) \cong \frac{J_h}{A_h} (At + B)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{k} \sum_{h=1}^k C(t_h)$$

$$\text{因而平均死亡率 } R_d \cong \frac{k(\bar{C} - A)}{\sum_{h=1}^k (A t_h + B)}$$

1.4.4 差异性检验分析

在水鸟种群趋势形成原因的分析中,将 10 种水鸟分为种群趋势上升组与下降组。由于 10 种水鸟平均幼鸟比例以及平均死亡率均符合正态性与方差齐次,因此在对上升组和下降组的幼鸟比例与死亡率进行差异性检验分析时,采用 T 检验分析。

通过建立零假设:上升组和下降组在幼鸟比例与死亡率上无差异,计算零假设情况发生的概率,即 P 值。当 $P < 0.05$,则拒绝零假设,当 $P > 0.05$,则零假设成立。

2 研究结果

2.1 种群动态

2.1.1 种群大小与趋势

2020 年越冬种群估计值见表 1。在 2003—2019 年越冬期间,白头鹤和白枕鹤种群数量持续降低,2020 年种群估计值分别为 660 只和 770 只,灰鹤种群数量持续增长,种群估计值在 2020 年为 11100 只。

线性拟合表明,10 种水鸟中 3 种水鸟(豆雁、灰雁和灰鹤)的种群趋势整体呈现上升趋势,7 种水鸟(鸿雁、白额雁、小白额雁、小天鹅、白鹤、白枕鹤和白头鹤)整体呈现下降趋势,但需说明地是白头鹤、白枕鹤、白额雁和小天鹅在 2016—2020 年间略呈上升趋势。

表 1 长江中下游湿地 10 种水鸟越冬种群估计值(2020 年)^[9-10,15-18]

Table 1 The estimated number of the overwintering population of 10 waterbirds in waterbird species of Yangtze River floodplain (2020)^[9-10,15-18]

序号 ID	物种 Species	灰鹤 Common Crane	白鹤 Siberian Crane	白头鹤 Hooded Crane	白枕鹤 White- naped Crane	鸿雁 Swan Goose	小白额雁 Lesser White- fronted Goose	白额雁 Greater White- fronted Goose	灰雁 Greylag Goose	豆雁 Bean Goose	小天鹅 Bewick's Swan
1	种群估计值	11100	3100	660	770	54000	6600	48000	29000	253100	65000

2.1.2 幼鸟比例

在 2016—2019 年越冬期间,这 10 种水鸟 4 年中的幼鸟比例变化趋势一致,均呈现“V 字形”,即 2017 年幼鸟比例为 4 年中的最小值。10 种水鸟的幼鸟比例平均值 0.169,不同物种变化范围在 0.128—0.227 间,其中 5 个物种(灰雁、小天鹅、白枕鹤、灰鹤和白头鹤)幼鸟比例高于平均值,另外 5 个物种(鸿雁、豆雁、白额雁、小白额雁和白鹤)低于平均值(表 2)。

表 2 2016/17—2019/20 年长江中下游湿地 10 种水鸟的幼鸟比例(以幼鸟占总数的比例表示,粗体数值代表每个物种四年中的最低幼鸟比例)

Table 2 The overall juvenile ratio (expressed as proportion of first winter birds out of all birds aged, the values in bold represent the lowest juvenile ratio from all four years for each species) among 10 waterbird species sampled in wetlands of Yangtze River floodplain from 2016/17 to 2019/20

序号 ID	物种 Species	幼鸟比例 Juvenile ratio				幼鸟比例 Juvenile ratio (平均值±标准差) (Mean±SD)
		2016	2017	2018	2019	
1	鸿雁	0.133	0.096	0.108	0.175	0.128±0.030
2	豆雁	0.184	0.104	0.153	0.137	0.145±0.029
3	灰雁	0.259	0.104	0.165	0.222	0.188±0.059
4	白额雁	0.164	0.122	0.138	0.187	0.153±0.025
5	小白额雁	0.344	0.06	0.09	0.113	0.152±0.112
6	小天鹅	0.241	0.125	0.198	0.251	0.204±0.050
7	白鹤	0.178	0.039	0.146	0.173	0.134±0.056
8	白头鹤	0.257	0.169	0.231	0.252	0.227±0.035
9	灰鹤	0.187	0.135	0.184	0.241	0.187±0.037
10	白枕鹤	0.243	0.125	0.188	0.253	0.178±0.049

2.1.3 死亡率

越冬水鸟种群趋势线性回归分析结果表明,10种水鸟种群变化趋势存在差异。基于模型推算获得10种水鸟的平均死亡率(表3)。10种水鸟中,豆雁平均死亡率最低(0.104),小白额雁最高(0.407)。全球受胁物种鸿雁、小白额雁、白鹤、白枕鹤和白头鹤的死亡率均高于幼鸟比例。

2.2 种群动态形成原因

根据10种水鸟种群趋势,将其分为上升组(豆雁、灰雁和灰鹤)与下降组(鸿雁、白额雁、小白额雁、小天鹅、白鹤、白枕鹤和白头鹤)。其中上升组3种水鸟的幼鸟比例平均值为0.173,下降组7种水鸟的幼鸟比例平均值为0.168,两者非常接近,非配对T检验结果表明上升组和下降组在幼鸟比例上没有表现出显著性差异($P=0.6013$)。上升组3种水鸟的死亡率平均值为0.125,下降组7种水鸟的死亡率平均值为0.245,非配对T检验结果表明上升组和下降组在死亡率上有显著性差异($P=0.006208$)。这表明长江越冬水鸟种群趋势下降是由于高死亡率导致的(图3)。

表3 长江中下游湿地越冬10种水鸟的平均死亡率

Table 3 The Average mortality of 10 overwintering waterbird species wetlands of Yangtze River floodplain

序号 ID	物种 Species	种群动态变化 Population dynamic change	平均幼鸟数 Average number of juveniles	平均死亡数 Average number of deaths	平均死亡率 Average mortality
1	鸿雁	$y = -1078.1(x-1987) + 85395$	6912	7990	0.148
2	豆雁	$y = 10236(x-2003) + 61208$	36700	26463	0.104
3	灰雁	$y = 1774.5(x-2003) - 716.25$	5452	3678	0.127
4	白额雁	$y = -3532.3(x-1992) + 106038$	7344	10876	0.226
5	小白额雁	$y = -1682.2(x-1987) + 49972$	1003	2685	0.407
6	小天鹅	$y = -1594.7(x-2003) + 82317$	13260	14855	0.228
7	白鹤	$y = -26.58(x-2001) - 3424.7$	415	442	0.143
8	白枕鹤	$y = -103.47(x-2003) + 2119.9$	155	258	0.296
9	灰鹤	$y = 559.19(x-2003) - 718.03$	2394	1835	0.143
10	白头鹤	$y = -31.675(x-2003) + 974.86$	172	204	0.268

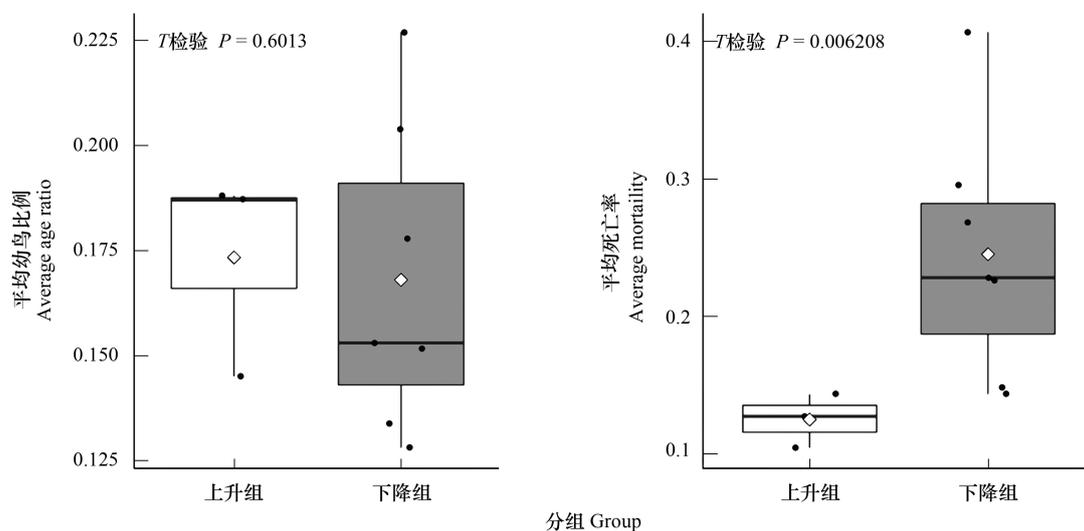


图3 长江中下游湿地越冬水鸟趋势上升组与下降组的箱线图

Fig.3 The boxplot of increased and declined groups of overwintering waterbird species in wetlands of Yangtze River floodplain

3 讨论

3.1 迁入率和迁出率对种群动态的影响

在本研究中,通过分析 2003—2019 年冬季的长江中下游湿地越冬水鸟同步调查数据、文献检索数据、公共数据库数据和保护区分享数据,结果表明 10 种水鸟中 7 种水鸟(鸿雁、白额雁、小白额雁、小天鹅、白鹤、白枕鹤和白头鹤)种群趋势下降,3 种水鸟(豆雁、灰雁和灰鹤)种群趋势上升。

白鹤和鸿雁几乎全部种群均在长江越冬^[24],小白额雁、白额雁和小天鹅与其他生物地理种群之间的交流极少。例如:中国和日本越冬的小天鹅,在繁殖地和停歇地,以及整个迁徙路径之间都没有重叠^[10],同样日本与韩国越冬白额雁种群与中国白额雁种群也是如此^[9]。因此,这 5 种水鸟年际的种群数量的变化,主要取决于繁殖成功率和死亡率,而迁入率和迁出率对其影响几乎不存在。根据豆雁的研究,在中国、日本和韩国越冬的种群属于同一个生物地理种群,因此迁入率和迁出率可能存在较大影响。但由于中国、韩国和日本管理单元中,豆雁越冬种群数量均呈上升,且大多数豆雁个体忠诚于各自的越冬栖息地^[17],因此中国越冬豆雁种群的上升并非由迁入和迁出导致,而是种群数量的增长,因此迁入率和迁出率对于豆雁的种群趋势影响较小,关于灰雁、灰鹤、白头鹤和白枕鹤这 4 种鸟类,目前假定种群的迁入和迁出率很小,需要开展进一步研究。综上迁入率和迁出率可能对于这 10 种水鸟种群趋势变化的影响较小,影响种群趋势变化的主要因素仍然是繁殖成功率和死亡率。

3.2 繁殖率与死亡率对种群动态的影响

10 种水鸟在 2017 年繁殖率是 4 年中最低的,其中 5 种水鸟(白鹤、小白额雁、白额雁、豆雁、小天鹅)繁殖地在俄罗斯北极苔原带地区,另外 5 种水鸟(白头鹤、白枕鹤、鸿雁、灰鹤、灰雁)繁殖地在蒙古高原。在北极繁殖地 2017 年冬季大雪融雪导致 6—7 月洪水爆发^[25],直接导致了白鹤的繁殖巢穴被淹没。而在而同年度的 5—6 月期间,蒙古繁殖地突发了旱灾,导致湿地、草地等生境初级净生产力大跌^[26]。此外,干旱还带来了巢被火灾吞噬的风险。北极和蒙古高原 2017 年的恶劣气候可能引起繁殖成功率的下降。

欧洲白额雁种群成幼比高于 0.11 时,种群趋势就有可能增长^[27]。2016—2020 年幼鸟比例研究期间 10 种水鸟的幼鸟比例均高于 0.11,灰鹤,白头鹤,白枕鹤,灰雁,豆雁,鸿雁,白额雁,和小天鹅在此期间也呈现上升态势,与欧洲白额雁的研究一致^[28]。但是白鹤和小白额雁仍持续下降。这可能是由于成鸟死亡率较高,其中小白额雁最高(0.407),特别是 2003—2019 年间,小白额雁的长江越冬种群数量从 17108 只降低到 4020 只,生存状况极度堪忧。冰岛的灰雁种群的幼鸟比例 0.18 高于 0.11,但种群趋势仍处下降状况^[29]。此外,2016 年以来,鸟类越冬分布集中,调查强度增加等因素也可能导致部分鸟类调查数量的上升。由于物种年龄结构、首次繁殖年龄和繁殖个体数量未知,成幼比对种群动态的影响仍有待进一步研究。

此外迁徙水鸟在年生活周期中跨度大,在繁殖、迁徙和越冬阶段均会受到各种因素的胁迫^[13]。例如:在高低纬度繁殖的栗背山雀(*Parus rufescens*)的研究中,发现高纬度繁殖个体死亡率要高于低纬度^[30];同时迁徙鸟类的研究还发现,位于迁徙廊道上的风力发电场会导致鸟类死亡^[31],这些事件的发生与不良气候和电网设备位置相关^[32];而在长江中下游洞庭湖越冬白额雁的研究中,发现由于三峡大坝的建立,导致洞庭湖退水提前,白额雁可食用苔草资源出现短缺,而食物资源的匮乏很大程度增加其生存风险^[33]。

虽然多种因素均会塑造水鸟不同生活史的高死亡率,但在研究关注的 10 种水鸟中,并没有表现出俄罗斯繁殖的物种死亡率会高于蒙古繁殖,以及鹤科物种死亡率会高于鸭科,据此推测 10 种水鸟在繁殖地的生存风险可能较低。本研究发现越冬期间种群下降的 7 种水鸟更加偏好利用自然生境的食物资源^[34—39],相反,种群上升的 3 种水鸟广泛利用人工生境,尤其是水稻田^[39—40],这种栖息地利用模式与其种群动态恰好表现出一致性,特别是灰雁研究发现,从 2017—2019 年其在冬季利用农田的比例从 15% 上升至 40%,这期间种群趋势也是上升的^[40—41]。因此,本研究推测高死亡率更有可能是由于觅食生态位狭窄,即栖息地和食物选择范围狭小造成的。但目前暂无明确证据说明此推论的真实性,未来仍有待进行更细致地研究,从而了解高死亡出现在

生活周期的具体阶段以及主要的影响因素。

3.3 种群动态研究对水鸟与湿地保护的重要性

水鸟种群动态能够反映影响种群变化的一些遗传、历史、生理和生态因素^[42]。它还可以作为是湿地生态系统的指示物种,其种群动态还可表征栖息地的质量^[7]。特别是,迁徙水鸟是季节动态性最显著的类群,它的种群变化就表现出季节性的周期波动以及伴随气候和资源获得性的非周期变化^[43]。

近些年伴随亚洲社会经济高速发展,湿地环境和水鸟保护工作都面临着严酷的挑战,如,黄海湿地是水鸟迁徙途中的重要停歇地,大面积的湿地围垦,使得滩涂面积锐减,湿地退化,水鸟种类与数量下降显著^[44]。而前人关于鸿雁种群动态的研究,发现其沿海种群仅 400 只,面临灭绝的风险,需要为其提供针对性的保护^[16]。同时,鸟类的非法狩猎与买卖,也成为了鸟类种群快速下降的另一个重要因素^[45]。因此,对于水鸟种群动态的研究,成为了湿地生态系统评估和水鸟保护的重要依据。

同时,水鸟种群动态的长期研究,还能帮助研究和管理人员了解监测区域水鸟的分布、水鸟的栖息地利用以及湿地生境状况等基础问题。在北美、欧洲、日本以及韩国,水鸟种群系统监测工作开展较早。而中国水鸟种群监测工作开展较晚,从 2003 年针对水鸟重要区域和重要类群开始形成系统性监测^[5],并在《Wildfowl》杂志特刊中发表了研究成果^[46]。今后,仍需继续这些重要的监测工作,掌握我国水鸟的长期种群动态和机制。

因此,基于本研究结果,建议未来继续开展长江越冬水鸟种群和幼鸟比例的同步监测工作,并增加相关物种的卫星追踪,以便能够为管理和保护提供更加针对性的建议。

4 结论

本研究基于 1986/87—2019/20 年长江中下游湿地越冬水鸟种群调查数据、文献数据、公共数据库数据、保护区分享数据以及 2016/07—2019/20 年长江中下游越冬水鸟幼鸟比例同步调查数据,结合死亡率估算模型,分析了水鸟种群动态以及机制,结果表明:在长江中下游湿地越冬的 10 种大型水鸟中,7 种水鸟(鸿雁、白额雁、小白额雁、小天鹅、白鹤、白枕鹤和白头鹤)种群趋势下降,3 种水鸟(豆雁、灰雁和灰鹤)种群趋势上升。推测高死亡率是导致种群趋势下降的主要原因,而并非低繁殖成功率。

参考文献 (References):

- [1] Department of Environment and Science, Queensland. East Asian—Australasian Flyway. (2022-06-01). <https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/wetlands/ecology/components/fauna/birds/ea-flyway.html>.
- [2] 郭玉民, 闻丞, 林剑声, 何芬奇. 青头潜鸭(*Aythya baeri*)在中国的近期分布. 野生动物学报, 2016, 37(4): 382-385.
- [3] 缪启龙, 张捷. 长江中下游地区 1 月气温异常及大气环流特征分析. 气象与减灾研究, 2010, 33(1): 10-15.
- [4] Nakayama T, Shankman D. Impact of the three-gorges dam and water transfer project on Changjiang floods. Global and Planetary Change, 2013, 100: 38-50.
- [5] Barter M, Chen L, Cao L, Lei G. Waterbird Survey of the Middle and Lower Yangtze River Floodplain in Late January and Early February 2004. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004.
- [6] Cao L, Fox A D. Birds and people both depend on China's wetlands. Nature, 2009, 460(7252): 173-173.
- [7] 王昱熙, 谢彦波, Batbayar N, 朱宝光, 董树斌, Barma A, Sasin A, 曹垒. 基于卫星追踪探讨黄河流域自然保护区对 3 种水鸟栖息地的保护现状. 生物多样性, 2020, 28(12): 1483-1495.
- [8] Chen Y S, Zhang S H, Huang D S, Li B L, Liu J G, Liu W J, Ma J, Wang F, Wang Y, Wu S J, Wu Y G, Yan J Y, Guo C B, Xin W, Wang H. The development of China's Yangtze River economic belt: how to make it in a green way? Science Bulletin, 2017, 62(9): 648-651.
- [9] Deng X Q, Zhao Q S, Solovyeva D, Lee H, Byskatova-Harney I, Xu Z G, Ushiyama K, Shimada T, Koyama K, Park J, Kim H, Liu G H, Xu W B, Hu B H, Gao D, He B, Zhang Y, Natsagdorj T, Davaasuren B, Moriguchi S, Barykina D, Antonov A, Stepanov A, Zhang J J, Cao L, Fox A D. Contrasting trends in two East Asian populations of the greater white-fronted goose *Anser albifrons*. Wildfowl, 2020, (S6): 181-205.
- [10] Fang L, Zhang J J, Zhao Q S, Solovyeva D, Vangeluwe D, Rozenfeld S B, Lameris T, Xu Z G, Byskatova-Harney I, Batbayar N, Konishi K, Moon O K, He B, Koyama K, Moriguchi S, Shimada T, Park J, Kim H, Liu G H, Hu B H, Gao D L, Ruan L Z, Natsagdorj T, Davaasuren B, Antonov A, Mylnikova A, Stepanov A, Kirtaev G, Zamyatin D, Kazantzidis S, Sekijima T, Damba I, Lee H, Zhang B X, Xie Y B, Rees E C, Cao L, Fox A D. Two distinct flyways with different population trends of Bewick's Swan *Cygnus columbianus bewickii* in East Asia. Wildfowl, 2020, (S6): 13-42.
- [11] Gibbs J P, Melvin S M. Call-response surveys for monitoring breeding waterbirds. The Journal of Wildlife Management, 1993, 57(1): 27-34.
- [12] Schock W G, Fischer J B, Ely C R, Stehn R A, Welker J M, Causey D. Variation in age ratio of midcontinent greater white-fronted geese during fall migration. Journal of Fish and Wildlife Management, 2018, 9(1): 340-347.

- [13] 王昱熙. 长江中下游湿地 10 种水鸟种群动态研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2021.
- [14] Barter M, Lei G, Cao L. Waterbird Survey of the Middle and Lower Yangtze River Floodplain (February 2005). Beijing: China Forestry Publishing House, 2006.
- [15] Ao P, Wang X, Solovyeva D, Meng F, Ikeuchi T, Shimada T, Park J, Gao D, Liu G, Hu B, Natsagdorj T, Zheng B, Vartanyan S, Davaasuren B, Zhang J, Cao L, Fox A D. Rapid decline of the geographically restricted and globally threatened Eastern Palearctic lesser white-fronted goose *Anser erythropus*. *Wildfowl*, 2020, (S6): 206-243.
- [16] Damba I, Fang L, Yi K P, Zhang J J, Batbayar N, You J Y, Moon O K, Jin S D, Liu B F, Liu G H, Xu W B, Hu B H, Liu S T, Park J, Kim H, Koyama K, Natsagdorj T, Davaasuren B, Lee H, Goroshko O, Zhu Q, Ge L, Cao L, Fox A D. Flyway structure, breeding, migration and wintering distributions of the globally threatened Swan Goose *Anser cygnoides* in East Asia. *Wildfowl*, 2020, (S6): 97-123.
- [17] Li C, Zhao Q S, Solovyeva D, Lameris T, Batbayar N, Byskatova-Harmey I, Li H, Emelyanov V, Rozenfeld S B, Park J, Shimada T, Koyama K, Moriguchi S, Hou J H, Natsagdorj T, Kim H, Davaasuren B, Damba I, Liu G H, Hu B H, Xu W B, Gao D L, Goroshko O, Antonov A, Prokopenko O, Tsend O, Stepanov A, Savchenko A, Danilov G, Germogenov N, Zhang J J, Deng X Q, Cao L, Fox A D. Population trends and migration routes of the East Asian Bean Goose *Anser fabalis middendorffii* and *A. f. serrirostris*. *Wildfowl*, 2020, (S6): 124-156.
- [18] Yan M, Yi K P, Zhang J J, Batbayar N, Xu Z G, Liu G H, Hu B H, Zhang B F, Antonov A, Goroshko O, Zhao G, Davaasuren B, Erdenechimeg T, Nergui J, Damba I, Cao L, Fox A D. Flyway connectivity and population status of the Greylag Goose *Anser anser* in East Asia. *Wildfowl*, 2020, (S6): 157-180.
- [19] 杨艳. 基于侵蚀过程的长江流域土壤有机碳水平迁移的模拟与估算[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [20] 史芳斌, 王立海. 长江水文信息化及其发展探讨. *人民长江*, 2009, 40(4): 22-24.
- [21] 张亮, 丁明军, 张华敏, 文超. 1982—2015 年长江流域植被覆盖度时空变化分析. *自然资源学报*, 2018, 33(12): 2084-2097.
- [22] 陈克林. 中国的湿地与水鸟. *生物学通报*, 1998, (4): 4-6.
- [23] Cao L, Barter M, Zhao M J, Meng H X, Zhang Y. A systematic scheme for monitoring waterbird populations at Shengjin Lake, China: methodology and preliminary results. *Chinese Birds*, 2011, 2(1): 1-17.
- [24] Del Hpyo J, Sargatal J, Elliott A. *Handbook of the Birds of the World*. Barcelona: Lynx Edicions, 2002.
- [25] Tei S, Morozumi T, Nagai S, Takano S, Sugimoto A, Shingubara R, Fan R, Fedorov A, Gavriljeva T, Tananaev N, Maximov T. An extreme flood caused by a heavy snowfall over the Indigirka River basin in Northeastern Siberia. *Hydrological Processes*, 2020, 34(3): 522-537.
- [26] Nanzad L, Zhang J H, Tuvdendorj B, Yang S S, Rinzin S, Prodhon F A, Sharma T P P. Assessment of drought impact on net primary productivity in the terrestrial ecosystems of Mongolia from 2003 to 2018. *Remote Sensing*, 2021, 13(13): 2522.
- [27] Shimada T, Mori A, Tajiri H. Regional variation in long-term population trends for the Greater White-fronted Goose *Anser albifrons* in Japan. *Wildfowl*, 2019, 69: 105-117.
- [28] Fox A D, Stround D A, Walsh A J, Wilson H J, Norriss D W, Francis I S. A review of changes in abundance of the Greenland White-fronted Goose *Anser albifrons flavirostris* since 1982. *Vogelwelt*, 2008, 129: 317-325.
- [29] Frederiksen M, Hearn R D, Mitchell C, Sigfússon A, Swann R L, Fox A D. The dynamics of hunted Icelandic goose populations: a reassessment of the evidence. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(2): 315-334.
- [30] Branch C L, Pitera A M, Kozlovsky D Y, Sonnenberg B R, Benedict L M, Pravosudov V V. Elevation-related differences in the age structure of breeding birds suggest stronger selection at harsher elevations. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2019, 73(10): 143.
- [31] Drewitt A L, Langston R H W. Assessing the impacts of wind farms on birds. *IBIS*, 2006, 148: 29-42.
- [32] Zimmerling J R, Pomeroy A C, d'Entremont M V, Francis C M. Canadian estimate of bird mortality due to collisions and direct habitat loss associated with wind turbine developments. *Avian Conservation and Ecology*, 2013, 8(2): 10.
- [33] Zhao M J, Cong P H, Barter M, Fox A D, Cao L. The changing abundance and distribution of Greater White-fronted Geese *Anser albifrons* in the Yangtze River floodplain: impacts of recent hydrological changes. *Bird Conservation International*, 2012, 22(2): 135-143. 5
- [34] 张永. 安徽升金湖国家级自然保护区 2008/2009 鸿雁 (*Anser cygnoides*) 越冬生态学初步研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.
- [35] 冯多多. 东洞庭湖小白额雁 (*Anser erythropus*) 越冬种群空间分布及其影响因子研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [36] 杨预展. 长江中下游流域草食性雁食性及肠道微生物研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2016.
- [37] 张梅清. 洞庭湖越冬小天鹅食性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- [38] 赵美娟. 长江中下游流域白额雁和豆雁越冬种群生态学的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2017.
- [39] 侯谨谨. 鄱阳湖 4 种越冬鹤类的食性分化[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [40] Yu H, Wang X, Cao L, Zhang L, Jia Q, Lee H, Xu Z G, Liu G H, Xu W B, Hu B H. Are declining populations of wild geese in China 'prisoners' of their natural habitats? *Current Biology*, 2017, 27(10): R376-R377.
- [41] 李祥煌. 中国灰雁东部种群 (*Anser anser rubrirostris*) 迁徙规律和栖息地选择[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.
- [42] 张玉峰, 徐全洪, 高士平, 王兴, 吴跃峰. 滦河口湿地主要水鸟种群迁徙动态. *湿地科学*, 2014, 12(1): 109-112.
- [43] 郑光美. 鸟类学. 北京: 北京师范大学出版社, 1995.
- [44] Ma Z J, Melville D S, Liu J G, Chen Y, Yang H Y, Ren W W, Zhang Z W, Piersma T, Li B. Rethinking China's new great wall. *Science*, 2014, 346(6212): 912-914.
- [45] Chen S H, Fan Z Y, Roby D D, Lu Y W, Chen C S, Huang Q, Cheng L J, Zhu J. Human harvest, climate change and their synergistic effects drove the Chinese Crested Tern to the brink of extinction. *Global Ecology and Conservation*, 2015, 4: 137-145.
- [46] Cao L, Deng X Q, Meng F J, Fox A D. Defining flyways, discerning population trends and assessing conservation challenges of key East Asian Anatidae species: an introduction. *Wildfowl*, 2020, (6): 1-12.