

DOI: 10.20103/j.stxb.202205041234

温立嘉, 王榄华, 丁洪安, 李剑志, 郭玉民. 无人机调查白鹤种群数量和越冬分布. 生态学报, 2023, 43(18): 7693-7700.

Wen L J, Wang L H, Ding H A, Li J Z, Guo Y M. Using unmanned aerial vehicle for a population and wintering distribution survey of Siberian crane (*leucogeranus leucogeranus*). Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(18): 7693-7700.

无人机调查白鹤种群数量和越冬分布

温立嘉¹, 王榄华², 丁洪安³, 李剑志⁴, 郭玉民^{1,*}

¹ 北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083

² 江西观鸟会, 南昌 332024

³ 山东黄河口摄影家协会, 东营 257100

⁴ 沅江市职业中专学校, 沅江 413102

摘要:白鹤 (*Leucogeranus leucogeranus*) 是国家 I 级重点保护野生动物, 唯一一种极度濒危 (CR) 鹤类, 分布和种群数量是评估其濒危程度的重要参数。无人机调查作为目前生态学研究的一个重要调查方法, 为查明白鹤的越冬分布、种群数量及幼鸟比例, 于 2022 年 1 月使用地面监测结合无人机调查的方法在江西、山东、安徽、湖南、湖北等地的湖泊和农田中开展越冬白鹤调查。野外调查共记录白鹤 5607 只, 网络信息检索在调查区域外的 8 个地点记录白鹤 9 只, 合计记录越冬白鹤 5616 只。其中江西鄱阳湖记录到越冬白鹤 4813 只, 占总数的 85.7%, 主要分布在康山垦殖场、五星垦殖场和成新垦殖场; 山东黄河三角洲记录到越冬白鹤 625 只, 占总数的 11.1%。安徽、湖南、湖北分别记录到越冬白鹤 34, 63 和 72 只。对部分群体的白鹤幼鸟数量进行统计, 4680 只白鹤中, 记录到幼鸟 674 只, 幼鸟比例为 14.4%, 其中湖南越冬白鹤幼鸟比例最高, 达 28.6%, 山东越冬白鹤幼鸟比例最低, 为 11.5%。调查刷新了白鹤种群数量, 证实了山东黄河三角洲是目前除江西鄱阳湖外最重要的白鹤越冬地, 缓解了白鹤越冬期过度集中的压力。基于本研究结果, 我们推测目前白鹤的种群数量已超过 5500 只, 成年个体数量已超过 3000 只。未来, 其受胁程度需要更细致的评估。研究为无人机调查在水鸟监测研究中的应用提供了案例。

关键词:白鹤; 极度濒危; 无人机调查; 种群数量; 越冬分布; 幼鸟比例

Using unmanned aerial vehicle for a population and wintering distribution survey of Siberian crane (*leucogeranus leucogeranus*)

WEN Lijia¹, WANG Lanhua², DING Hongan³, LI Jianzhi⁴, GUO Yumin^{1,*}

¹ School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

² Jiangxi Bird Watching Society, Nanchang 332024, China

³ Yellow River Estuary Photographers Association, Shandong Province, Dongying 257100, China

⁴ Yuanjiang Vocational Secondary School, Yuanjiang 413102, China

Abstract: Siberian crane (*Leucogeranus leucogeranus*) was listed as class I national key protected wildlife and the only Critically Endangered (CR) species of cranes. Its distribution and population are important parameters to assess the threatened status of the species. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) survey has been an important method for ecological research. To accurately grasp the wintering distribution and population of the critically endangered species, ground monitoring combined with a UAV survey was used to carry out an investigation in the wintering area. The investigation was conducted in lakes and farmlands in Jiangxi, Shandong, Anhui, Hunan, and Hubei Provinces in January, 2022. We used a high-powered telescope for searching and counting cranes in the survey area preliminarily. Then we used micro-UAV at altitude of 100–120 m to take photos or videos of crane groups whose numbers were difficult to count. We identified

基金项目:国家自然科学基金项目 (31770573)

收稿日期:2022-05-04; **网络出版日期:**2023-05-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guoyumin@bjfu.edu.cn

Siberian cranes and Siberian crane juveniles in the pictures according to the plumage and shape. We calculated the number of Siberian cranes, and the ratios of Siberian crane juveniles in each survey area. We also searched for the information of distribution and number of Siberian cranes on the Internet outside the survey area. A total of 5616 Siberian cranes were recorded, with 5607 of them recorded by field survey, and 9 of them recorded on Internet information. There were 4813 Siberian cranes wintering in Poyang Lake, Jiangxi Province, accounting for 85.7% of the total, mainly distributed in Kangshan farmlands, Wuxing farmlands, and Chengxin farmlands. 625 Siberian cranes were wintering in the Yellow River Delta, Shandong Province, accounting for 11.1% of the total, and 34, 63, and 72 Siberian cranes wintering in Anhui, Hunan, and Hubei Province, respectively. 674 Siberian crane juveniles were counted among the total of 4680 individuals. The ratio of Siberian crane juveniles was 14.4%. The ratio of Siberian crane juveniles in Hunan was the highest, accounting for 28.6%, and that in Shandong was the lowest, accounting for 11.5%. The numbers of Siberian cranes updated by our survey. Based on our research, we estimated that the population of Siberian cranes had reached 5500, and the number of mature individuals had reached 3000. The threatened status of this species needs a more detailed assessment. Our research confirmed that the Yellow River Delta was the most crucial wintering area except Poyang Lake. The numbers of Siberian cranes were more than 10% of the total, which dispersed the wintering individuals and alleviated the pressure of individuals' excessive concentration in wintering area. Our research also provided a case for the application of a UAV survey on waterbird monitoring research.

Key Words: Siberian crane (*Leucogeranus leucogeranus*); critically endangered; unmanned aerial vehicle survey; population; wintering distribution; ratio of juvenile

白鹤(*Leucogeranus leucogeranus*)隶属于鹤形目(Gruiformes)、鹤科(Gruidae)、白鹤属(*Leucogeranus*),是我国国家 I 级重点保护野生动物,被 IUCN(International Union for Conservation of Nature)列为极度濒危(Critically Endangered, CR)物种。目前,白鹤的种群数量被认为在 3500—4000 只^[1]。白鹤在历史上分为东、中、西三个种群,西部种群繁殖于俄罗斯西西伯利亚中部,越冬于伊朗里海南岸^[2],2006 年后,仅有 1 只个体被记录到^[3]。中部种群繁殖于俄罗斯西西伯利亚北部的库诺瓦特(Kunovat)流域,越冬于印度盖奥拉德奥国家公园(Keoladeo National Park),2002 年后,已没有个体再被记录到^[4]。较为健康的东部种群繁殖于俄罗斯东北部雅库特地区,非繁殖群体被记录到在俄罗斯和蒙古国交界的达乌尔地区以及中国内蒙古等地度夏^[5-6],越冬于中国长江中下游流域,主要在江西鄱阳湖越冬。作为世界上 15 种鹤中唯一的极度濒危物种,白鹤广受国内外研究学者的关注^[7]。掌握其越冬分布和种群数量对于了解该物种生存现状,对其开展有针对性的保护工作具有积极作用。

随着无人机技术的快速发展,利用无人机开展野生动物调查监测已逐渐成为生态学研究的重要手段之一^[8-10]。近几年,在大型哺乳类以及水禽调查与监测研究中已有应用^[11-14]。针对水禽监测,无人机调查能解决地面调查时监测对象重叠的问题,具有调查效率高、调查区域广、误差低等优势^[15-17]。本研究使用地面监测结合无人机调查在白鹤的越冬地开展分布及种群数量调查,旨在较为精确的掌握白鹤种群数量和越冬分布,为这一物种的管理、保护与评估提供重要基础数据。

1 研究方法

1.1 野外调查

研究团队于 2022 年 1 月 10 日至 22 日分别在我国江西、山东、安徽、湖南、湖北等地分布有或可能分布白鹤的湖泊和农田中开展调查。在每个调查区内选择地势高处使用 SWAROVSKI 单筒望远镜(STX 25-60×85)进行 360°环视寻找白鹤,根据羽色对部分群体中的幼鸟进行识别,记录白鹤总数和幼鸟数量。对于因距离较远或个体数量较多而难以通过望远镜统计数量的鹤群则使用无人机调查。使用的无人机机型为:大疆御 3(DJI Mavic3)型 4 旋翼无人机。在远离鸟群的位置将无人机飞至 100—120 m 高后逐渐接近鹤群,根据鹤群的行为调整无人机飞行高度及与鹤群的距离。使用高倍相机以侧视的角度对鹤群拍摄照片或录像。

1.2 网络信息检索

在中国观鸟记录中心网站 (<http://www.birdreport.cn/>) 和百度网站 (www.baidu.com) 检索 2022 年 1 月在调查区域以外的白鹤观测记录,并搜索白鹤在其他国家的越冬分布和数量信息。根据记录时间、地点及白鹤数量对信息进行筛选,避免信息重叠。

1.3 物种识别及计数

根据特征点识别连续拍摄的照片以及录像截图的重叠区域,确定每张照片的数量统计区域,如图 1 所示。识别照片中的白鹤、白鹤幼鸟并计数。地面调查时发现与白鹤同域分布的其他大中型鸟类包括白枕鹤 (*Antigone vipio*)、灰鹤 (*Grus grus*)、白头鹤 (*Grus monacha*) 等鹤形目鸟类以及大天鹅 (*Cygnus cygnus*)、小天鹅 (*Cygnus columbianus*)、豆雁 (*Anser fabalis*) 等雁形目鸟类。根据羽色区分照片中的白鹤与白枕鹤、灰鹤、白头鹤及部分雁形目鸟类并识别白鹤幼鸟:白鹤通体白色,白鹤幼鸟为淡黄色;根据个体体型及颈部弯曲程度区分照片中的白鹤与大天鹅和小天鹅:白鹤腿长,体型较大,颈部弯曲程度有限(图 2)。使用 ImageJ 软件对不同照片统计区域中的白鹤和白鹤幼鸟进行计数。将统计结果记录在 Excel 中,计算不同地点越冬白鹤数量及幼鸟比例(白鹤幼鸟数/白鹤总数)。



图 1 确定每张照片的白鹤数量统计区域(红色范围)

Fig.1 Determine the counting area of Siberian crane (*Leucogeranus Leucogeranus*) for each pictures (red range)

2 结果

2.1 白鹤越冬分布和种群数量

野外调查和网络信息检索在我国北京、山东、江苏、安徽、上海、湖南、湖北、浙江、江西、云南、广东、台湾以及日本鹿儿岛共记录越冬白鹤 5616 只(图 3)。其中江西省鄱阳湖分布有最大的白鹤越冬种群,总计 4813 只,占总数的 85.7%,主要集大群分布在康山垦殖场,五星垦殖场和成新垦殖场,部分个体零星分布于鄱阳湖周边湖区和农田。山东省黄河三角洲分布有除江西鄱阳湖外最大的白鹤越冬种群,总计 625 只,占总数的 11.1%,主要分布在山东黄河三角洲国家级自然保护区一千二管理站附近。湖南省记录到白鹤 63 只,分布在洞庭湖。湖北省记录到白鹤 72 只,主要分布在黄盖湖、沉湖和网湖。安徽省记录到白鹤 34 只,分布在升金湖、菜子湖、月亮湖和黄陂湖。详细分布情况见附录 1。

2.2 白鹤幼鸟比例

统计部分群体中的幼鸟数量,在 4680 只白鹤中,记录幼鸟 674 只,幼鸟比例为 14.4%。在超过 10 只的群体中,越冬于江西鄱阳湖成新垦殖场的白鹤幼鸟比例最低,仅为 8.9%,越冬于湖南洞庭湖的白鹤幼鸟比例最



图2 根据羽色及体型识别无人机照片中的物种

Fig.2 Identify the species in pictures from UAV according to plumage and shape

A1: 白鹤; A2: 白鹤幼鸟; A3: 天鹅; A4: 豆雁; B1: 灰鹤; B2: 白枕鹤; B3: 白鹤幼鸟; B4: 白鹤

高,为 30.4%(表 1)。越冬于安徽和湖南的白鹤数量虽不多,均未超 100 只,但幼鸟比例相对较高,分别为 20.6% 和 28.6%。越冬于山东黄河三角洲的白鹤幼鸟比例为 11.5%。越冬地于江西鄱阳湖的白鹤幼鸟为 14.6%,与总白鹤幼鸟比例相近。在调查中还偶见 2 只成体带 2 只幼鸟的家庭以及 1 只成体带 1 只幼鸟的家庭。

表 1 2022 年 1 月不同越冬地部分白鹤群体中的幼鸟数量及幼鸟比例

Table 1 The counts and ratios of Siberian crane juveniles in parts of population in different wintering area

越冬地 Wintering area	幼鸟数量 Counts of juvenile	合计 Total	幼鸟比例 Ratios of juvenile/%
江西康山垦殖场 Jiangxi Kangshan Farms	281	2,490	11.3
江西五星垦殖场 Jiangxi Wuxing Farms	258	1,180	21.9
江西成新垦殖场 Jiangxi Chengxin Farms	5	56	8.9
江西鄱阳湖周边农田 Farmland around Jiangxi Poyang Lake	17	116	14.7
山东黄河三角洲 Shandong Yellow River Delta	72	625	11.5
安徽升金湖 Anhui Shengjin Lake	1	5	20.0
安徽蔡子湖 Anhui Caizi Lake	4	19	21.1
安徽月亮湖 Anhui Yueliang Lake	1	8	12.5
安徽黄陂湖 Anhui Huangpi Lake	1	2	50.0
湖南洞庭湖 Hunan Dongting Lake	18	63	28.6
合计 Total	674	4680	14.4

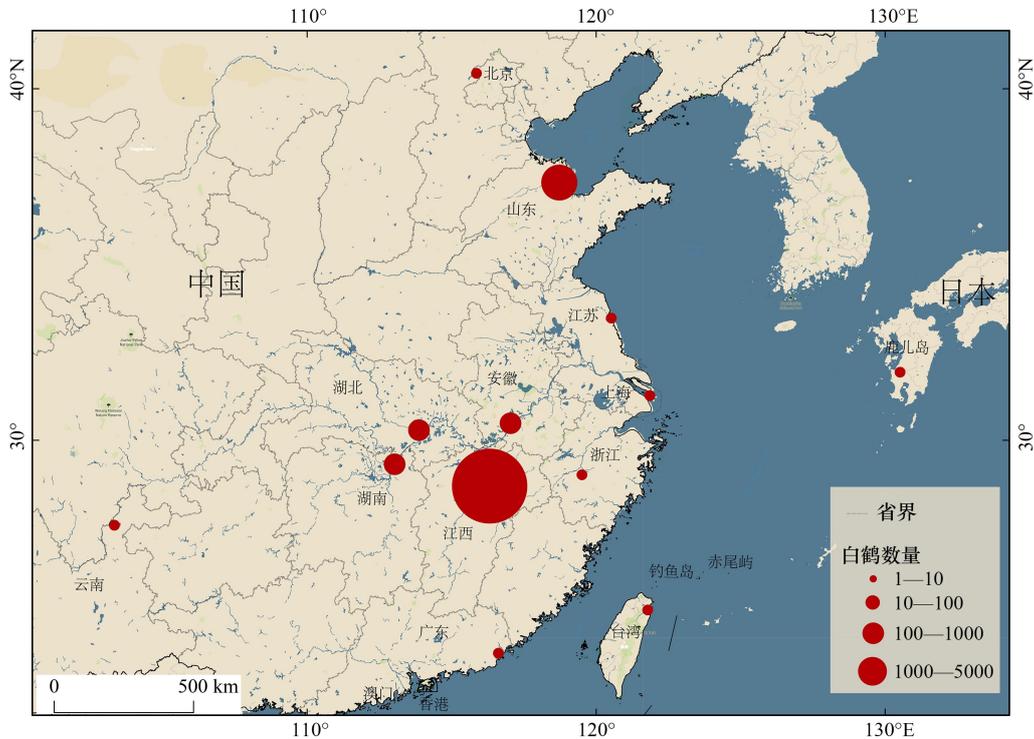


图3 2022年1月白鹤越冬分布图

Fig.3 The wintering distribution map of Siberian crane in January, 2022

3 讨论

1981年1月,在我国江西鄱阳湖首次发现超百只的越冬白鹤^[17]。随着调查的深入,记录到的越冬白鹤数量逐年增多。1987年1月,在鄱阳湖记录到越冬白鹤1609只^[18]。到了21世纪,连续多年的调查监测显示,鄱阳湖分布有稳定的越冬白鹤种群,种群数量年平均超3,000只,2002年1月更是记录到超4000只越冬白鹤。但之后的几年,在鄱阳湖记录到的越冬白鹤数量均未超过这一数字^[19]。直到2011年12月,国际鹤类基金会和鄱阳湖国家级自然保护区在鄱阳湖13个子湖的调查中共记录越冬白鹤4557只,这是记录到的白鹤越冬数量最高值^[20]。2020年,中国野生动物保护协会组织的鹤类越冬同步调查共记录白鹤4488只^[21]。本研究在鄱阳湖区的不完全调查记录到越冬白鹤4813只。记录到的白鹤数量持续增加一方面原因可能是在有效的保护以及物种对环境不断的适应下,该物种种群数量有所增长。以往研究表明,白鹤越冬期在鄱阳湖主要以水生植物苦草(*Vallisneria* spp.)的冬芽为食^[22]。但近年来,受自然环境及人为干扰等多方面的影响,鄱阳湖沉水植被退化严重,白鹤的天然食物资源变少^[23-26]。为适应这一结果,白鹤开始前往稻田和藕田等人工生境取食农作物^[27-29]。而鄱阳湖五星垦殖场种植的藕田以及康山垦殖场未收割的稻田为白鹤提供了充足的食物资源^[30]。本次调查记录到白鹤幼鸟比例达到了14.4%,越冬于鄱阳湖的白鹤幼鸟比例为14.6%,与以往调查结果相近^[31],也意味着其种群结构的良好。另一方面,鄱阳湖区范围广,调查难度大,种群调查难免有遗漏。研究团队卫星跟踪的白鹤曾于2017年在安徽蔡子湖越冬,但根据实时位点现场寻找时,因栖息环境复杂,只能听见叫声,并未观测到个体。此外常规的地面调查方法,只能收集二维信息,存在观察对象相互重叠,信息错位等现象^[15]。这使得在观测距离较远以及数量较大的群体时,计数常为估算,无法进行准确计数^[32]。这可能是鄱阳湖越冬白鹤数量值出现波动的原因。

我国曾于1981年首次使用无人机开展丹顶鹤等珍稀涉禽的数量分布调查,取得了不错的效果^[33]。在江西鄱阳湖也多次使用无人机开展越冬水禽调查。该方法具有能快速获取调查数据,节约专业技术人员的有

点。但也存在成本高昂,调查所得数据比实际数据偏少等缺点^[34-36]。无人机技术的应用,一定程度上弥补了这些缺点。本研究使用地面监测结合无人机调查的方法,通过无人机对鹤群拍照或录像,再对照片中的白鹤数量进行清点,避免了信息重叠,且可以反复计数验证,将计数的精确度提高到个位数。本研究也为无人机在水禽监测中的应用提供了成功案例。

以往研究认为,鄱阳湖分布的越冬白鹤数量超过全球白鹤种群数量的95%,甚至98%^[20, 37]。本研究除了在鄱阳湖记录到集大群越冬白鹤外,还在山东黄河三角洲记录到大群白鹤越冬,数量超过白鹤种群数量的10%。上世纪90年代末,卫星跟踪研究显示白鹤在迁徙过程中经过黄河三角洲地区^[38]。但一直未见白鹤在黄河三角洲的越冬记录^[39]。近年来,黄河三角洲偶有越冬白鹤的记录,已成为新的白鹤越冬地^[21, 40],但越冬白鹤数量未见详细报道。本研究记录到1月份越冬于此的白鹤数量达到625只,包括72只幼鸟,幼鸟比例为11.5%,是鄱阳湖之外最大的白鹤越冬群体。该越冬种群,有效地分散了集中越冬的白鹤,缓解了其越冬期过度集中的压力,为有效回避疾病等灾害提供了保障。

除江西鄱阳湖和山东黄河三角洲外,湖南、湖北以及安徽也分布有一定数量的越冬白鹤,多为家庭群,其中安徽和湖南越冬白鹤的幼鸟比例均超过20%,湖南越冬白鹤的幼鸟比例更是高达28.6%。值得一提的是,我们在安徽合肥市庐江县的黄陂湖边不足1公顷的农田中记录到1只白鹤成体带1只幼鸟,单亲家庭的出现可能是因为1只成体死亡,这也是首次在黄陂湖观测到有白鹤越冬。在如此小的生境斑块下便有白鹤家庭群越冬,这可能与其食性的改变有关。除了野外调查记录,我们还通过信息检索在中国的7个省市及日本鹿儿岛共记录9只越冬白鹤。部分地区以往便偶有白鹤越冬记录^[41-43]。这些零星的越冬分布记录,亦或表明白鹤种群有向外扩散的趋势,相关细节有待进一步监测与研究。

本次白鹤越冬调查及网络信息检索所记录的越冬白鹤5616只,是全球白鹤数量的新纪录。但长江中下游流域湖泊众多,调查难以将所有区域覆盖,可能仍有一些未被我们记录到的个体存在。可以确认的是,目前白鹤种群数量已远超公认的4000只。依据本次调查,我们推测目前白鹤的种群数量已超过5500只,成年个体数量已超过3000只。未来,其受胁程度需要更细致的评估。

致谢:感谢国家林业和草原局给予支持,感谢安徽升金湖国家级自然保护区管理局给予协助、湖北省生态保护志愿者李振文先生、山东黄河口摄影家协会秦金武先生、山东东营利津县国土资源局赵文昌先生、安徽池州野生鸟类保护志愿者协会汪湜先生、操基友先生和程东升站长在野外调查工作中给予帮助。

参考文献(References):

- [1] BirdLife International. Species factsheet: *leucogeranus leucogeranus*. [2022-03-10]. <http://www.birdlife.org>.
- [2] Kanai Y, Nagendran M, Ueta M, Markin Y, Rinne J, Sorokin A G, Higuchi H, Archibald G W. Discovery of breeding grounds of a Siberian Crane *Grus leucogeranus* flock that winters in Iran, via satellite telemetry. *Bird Conservation International*, 2002, 12(4): 327-333.
- [3] Zadegan S S, Prentice C, Ilyashenko E. Western flyway of the Siberian crane *Grus leucogeranus*; further releases of captive-reared birds in Rian. *Sandgrouse*, 2009, 31(2): 112-121.
- [4] Vardhan H. Autumn migration and wintering 2002/2003 in central flyway. *Siberian Crane Flyway News*, 2002, 12(3): 7-8.
- [5] 李晓民, 孙志勇, 伊国良, 程万军, 周景英, 吴宝喜. 我国内蒙古发现白鹤夏季群体. *动物学杂志*, 2005, 40(1): 98-100.
- [6] Tseveenmyadag N. Sightings of the Siberian Crane in Mongolia in summer 2004. *Newsletter of the Crane Working Group of Eurasia*, 2005: 22-23.
- [7] 潘鸿茹, 李李鑫, 田晔, 雷泽锋, 邹红菲. 基于文献计量学的中国白鹤研究现状. *野生动物学报*, 2020, 41(2): 505-512.
- [8] Allan B M, Ierodiakonou D, Nimmo D G, Herbert M, Ritchie E G. Free as a drone: ecologists can add UAVs to their toolbox. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2015, 13(7): 354-355.
- [9] 张志明, 徐倩, 王彬, 孙虎, 耿宇鹏, 田冀. 无人机遥感技术在景观生态学中的应用. *生态学报*, 2017, 37(12): 4029-4036.
- [10] 胡健波, 张健. 无人机遥感在生态学中的应用进展. *生态学报*, 2018, 38(1): 20-30.
- [11] Drever M C, Chabot D, O'Hara P D, Thomas J D, Breault A, Millikin R L. Evaluation of an unmanned rotorcraft to monitor wintering waterbirds and coastal habitats in British Columbia, Canada. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2015, 3(4): 256-267.
- [12] 邵全琴, 郭兴健, 李愈哲, 汪阳春, 王东亮, 刘纪远, 樊江文, 杨帆. 无人机遥感的大型野生食草动物种群数量及分布规律研究. *遥感学报*, 2018, 22(3): 497-507.

- [13] 郭兴健, 邵全琴, 杨帆, 李愈哲, 汪阳春, 王东亮. 无人机遥感调查黄河源玛多县岩羊数量及分布. 自然资源学报, 2019, 34(5): 1054-1065.
- [14] Anderson K, Gaston K J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2013, 11(3): 138-146.
- [15] 李杰, 刘强. 无人机水禽监测模式的设立原则探讨. 热带地理, 2019, 39(4): 546-552.
- [16] 高大中, 林海, 林乐乐, 崔国发. 利用小型无人机监测西洞庭湖水鸟的可行性探讨. 动物学杂志, 2021, 56(1): 100-110.
- [17] 周福璋, 丁文宁, 王子玉. 发现大群白鹤在中国越冬. 动物学报, 1981, 27(2): 179.
- [18] 严丽, 丁铁明. 江西鄱阳湖区白鹤越冬调查. 动物学杂志, 1988, 23(4): 34-36.
- [19] 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, 2012, 33(4): 355-361.
- [20] Li F S, Wu J D, Harris J, Burnham J. Number and distribution of cranes wintering at Poyang Lake, China during 2011-2012. *Chinese Birds*, 2012, 3(3): 180-190.
- [21] 中国野生动物保护协会, 飞羽视界文化传媒. 中国鹤. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
- [22] 吴建东, 李凤山, Burnham J. 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. 湿地科学, 2013, 11(3): 305-312.
- [23] 简敏菲, 简美锋, 李玲玉, 汪斯琛, 余厚平, 余冠军. 鄱阳湖典型湿地沉水植物的分布格局及其水环境影响因子. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5): 765-772.
- [24] Burnham J, Barzen J, Pidgeon A M, Sun B T, Wu J D, Liu G H, Jiang H X. Novel foraging by wintering Siberian Cranes *Leucogeranus leucogeranus* at China's Poyang Lake indicates broader changes in the ecosystem and raises new challenges for a critically endangered species. *Bird Conservation International*, 2017, 27(2): 204-223.
- [25] 胡振鹏, 林玉茹. 鄱阳湖水生植被 30 年演变及其驱动因素分析. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1947-1955.
- [26] Li Y K, Zhong Y F, Shao R Q, Yan C, Jin J F, Shan J H, Li F S, Ji W T, Bin L, Zhang X Y, Cao K Q, Shen J. Modified hydrological regime from the Three Gorges Dam increases the risk of food shortages for wintering waterbirds in Poyang Lake. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 24: e01286.
- [27] 王文娟, 王榄华, 侯谨谨. 人工生境已成为鄱阳湖越冬白鹤的重要觅食地. 野生动物学报, 2019, 40(1): 133-137.
- [28] 植毅进, 卢萍, 戴年华, 邵明勤, 曾健辉. 鄱阳湖滨藕塘生境中白鹤取食行为研究. 生态学报, 2019, 39(12): 4266-4272.
- [29] 底明晓, 翁晓东, 卢萍, 陆远鸿, 戴年华. 2020—2021 年越冬季鄱阳湖两处垦殖场农田白鹤数量动态. 湿地科学与管理, 2022, 18(1): 23-26.
- [30] 陈青, 汪志如, 汤文超, 丁慧芳, 廖劲扬, 王亚芳, 王文娟. 鄱阳湖周边稻田对白鹤的承载力. 生态学报, 2022, 42(13): 5340-5347.
- [31] Wang Y X, Damba I, Zhao Q S, Xie Y B, Deng X Q, Ga R, Liu G H, Xu Z W, Li Y, Gao D L, Xu W B, Chen G X, Cao L. Organising a juvenile ratio monitoring programme for 10 key waterbird species in the Yangtze River floodplain: analysis and proposals. *Avian Research*, 2021, 12(4): 645-657.
- [32] 涂文姬, 杨启鸿, 刘波, 肖军, 金志堃, 文明. 滇池越冬水鸟同步调查研究. 林业调查规划, 2017, 42(6): 52-57.
- [33] 马逸清, 金龙荣, 金爱莲, 傅承钊. 黑龙江省乌裕尔河流域丹顶鹤等珍稀涉禽航空调查报告. 动物学报, 1987, 33(2): 187-191.
- [34] 纪伟涛, 曾南京, 易武生, 伍旭东. 鄱阳湖鹤类和大型水禽航空调查报告. 江西林业科技, 1999, 27(6): 22-27.
- [35] 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, 28(5): 22-25.
- [36] 纪伟涛, 吴英豪, 吴建东, 刘观华, 伍旭东, 易武生, 俞长好. 环鄱阳湖越冬水禽航空调查. 江西林业科技, 2006, 34(3): 36-44.
- [37] 苏化龙, 林英华, 李迪强, 钱法文. 中国鹤类现状及其保护对策. 生物多样性, 2000, 8(2): 180-191.
- [38] Kanai Y, Ueta M, Germogenov N, Nagendran M, Mita N, Higuchi H. Migration routes and important resting areas of Siberian cranes (*Grus leucogeranus*) between northeastern Siberia and China as revealed by satellite tracking. *Biological Conservation*, 2002, 106(3): 339-346.
- [39] 张希画, 郝迎东. 黄河三角洲自然保护区鹤类种类、数量动态监测初步分析. 山东林业科技, 2012, 42(4): 25-28.
- [40] 黄子强, 车纯广, 谭海涛, 毕正刚, 刘伟华, 张希涛, 张树岩, 李东来. 黄河三角洲水鸟多样性调查及种群数量监测. 山东林业科技, 2018, 48(2): 41-45, 48.
- [41] 徐跃. 浙江千岛湖湿地首次发现白鹤. 大自然, 2013, 170(2): 28-31.
- [42] 韩联宪, 韩奔, 王高祥, 邓章文, 程闯, 岩道. 云南发现高原山鹑和白鹤. 动物学杂志, 2013, 48(3): 406.
- [43] Chiba A. Wintering behavior of a Siberian Crane *Grus leucogeranus* in Niigata, Japan, with special regard to food, foraging and vocal habits. *Ornithological Science*, 2018, 17(2): 187-194.

附录 1 白鹤越冬分布及种群数量

Appendix 1 The wintering distribution and population of Siberian crane

越冬地 Wintering areas		数量 Counts	数据来源 Data sources
中国江西 Jiangxi, China	鄱阳湖康山垦殖场	2892	野外调查
	鄱阳湖五星垦殖场	1180	野外调查
	鄱阳湖成新垦殖场	535	野外调查
	鄱阳湖湖区周边农田	208	野外调查
中国山东 Shandong, China	黄河三角洲	625	野外调查
中国湖南 Hunan, China	洞庭湖	63	野外调查
中国湖北 Hubei, China	沉湖	18	野外调查
	龙感湖	3	野外调查
	黄盖湖	33	野外调查
	网湖	16	野外调查
	洪湖	2	野外调查
中国安徽 Anhui, China	升金湖	5	野外调查
	菜子湖	19	野外调查
	月亮湖	8	野外调查
	黄陂湖	2	野外调查
中国北京 Beijing, China	野鸭湖	1	中国观鸟记录中心 ^[1]
中国上海 Shanghai, China	崇明东滩湿地	1	中国观鸟记录中心 ^[2]
中国浙江 Zhejiang, China	金华市农田	2	中国观鸟记录中心 ^[3]
中国江苏 Jiangsu, China	盐城湿地	1	中国观鸟记录中心 ^[4]
中国云南 Yunnan, China	昭通大山包湿地	1	百度网站 ^[5]
中国广东 Guangdong, China	汕头韩江口湿地	1	百度网站 ^[6]
中国台湾 Taiwan, China	宜兰市农田	1	中国观鸟记录中心 ^[7]
日本鹿儿岛 Kagoshima, Japan	出水市农田	1	出水市鹤类公园 ^[8]
合计 Total		5616	

* 数据来源网址 Data sources website: [1] [http://www.birdreport.cn/home/record/page.html? activityId = 164910](http://www.birdreport.cn/home/record/page.html?activityId=164910); [2] [http://www.birdreport.cn/home/record/page.html? activityId = 173222](http://www.birdreport.cn/home/record/page.html?activityId=173222); [3] [http://www.birdreport.cn/home/record/page.html? activityId = 201238](http://www.birdreport.cn/home/record/page.html?activityId=201238); [4] [http://www.birdreport.cn/home/record/page.html? activityId = 166836](http://www.birdreport.cn/home/record/page.html?activityId=166836); [5] [https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1722434191460463196&wfr = spider&for = pc](https://baijiahao.baidu.com/s?id=1722434191460463196&wfr=spider&for=pc); [6] [https://baijiahao.baidu.com/s? id = 1723110452464368524&wfr = spider&for = pc](https://baijiahao.baidu.com/s?id=1723110452464368524&wfr=spider&for=pc); [7] [http://www.birdreport.cn/home/record/page.html? activityId = 166734](http://www.birdreport.cn/home/record/page.html?activityId=166734); [8] https://www.city.kagoshima-izumi.lg.jp/page/page_80092.html