



极端干旱对洞庭湖区 小天鹅种群和分布的影响

吴耀祥¹, 李邵平¹, 李彬哲², 宋林¹, 姚艳¹,
段文武¹, 吴慧¹, 李立¹, 兰玉红¹, 曹文华¹, 唐松元¹,
李继健¹, 李芝兰¹, 朱晋梅¹, 逯金瑶¹, 姜卫星¹, 李娟¹

(1. 湖南省生物多样性保护中心, 长沙, 410004;
2. 湖南省青羊湖国有林场, 长沙, 410600)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-09-02

修回日期: 2024-10-30



关键词: 洞庭湖;

气候变化;

水鸟调查;

湿地生态系统;

干旱指数

Keywords: Dongting Lake;

Climate change;

Waterbird survey;

Wetland ecosystem;

Drought index

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-02-0329-07

DOI: 10.12375/ysdwxb.20250210

摘要

随着气候变暖,全球范围内干旱的频率和严重程度正在持续增加,了解干旱对濒危物种的影响对物种保护至关重要。湿地水鸟是湿地生态系统的重要组成部分,对栖息地环境变化极其敏感,经常被用于气候变暖相关研究,是衡量极端干旱的良好指示物种。以天鹅属(*Cygnus*)小天鹅(*Cygnus columbianus*)为研究对象,基于2022—2023年度越冬季(极端干旱年)5次同步调查数据,分析洞庭湖区小天鹅的分布和丰度的月度变化,结合历史数据,探讨极端干旱对其种群数量和分布的影响。结果显示:2022—2023年越冬季种群数量从11月(4 736只)持续增长,1月达到峰值(16 592只),然后开始下降,3月仅2 292只。采桑湖、横岭湖、三关咀、东古湖、莽麦湖、白泥湖和大通湖是小天鹅在洞庭湖区的重要栖息地,极端干旱可能是导致2022—2023年洞庭湖小天鹅数量下降并向周边堤垸内湖扩散的主要原因。

Impact of Extreme Drought on the Population and Distribution of Tundra Swans in the Dongting Lake Region

基金项目: 中央国家重点野生动植物保护补助资金项目

第一作者简介: 吴耀祥(1989—),男,工程师;主要从事生物多样性保护研究。E-mail: 466262585@qq.com

WU Yaoxiang¹, LI Shaoping¹, LI Binzhe², SONG Lin¹, YAO Yan¹,
DUAN Wenwu¹, WU Hui¹, LI Li¹, LAN Yuhong¹, CAO Wenhua¹, TANG Songyuan¹,
LI Jijian¹, LI Zhilan¹, ZHU Jinmei¹, LU Jinyao¹, JIANG Weixing¹, LI Juan¹

(1. Hunan Biodiversity Conservation Center, Changsha, 410004, China;

2. Hunan Qingyang Lake National Forest Park, Changsha, 410600, China)

Abstract: As the climate warms, the frequency and severity of droughts globally are continuously increasing. Understanding the impact of drought on endangered species is crucial for their conservation. Wetland waterbirds are vital components of wetland ecosystems, highly sensitive to changes of their habitat environment, and are often used in climate change-related studies as good indicators of extreme drought. This study focuses on the globally significant species of the genus *Cygnus*, the tundra swan (*Cygnus columbianus*). Based on five synchronous surveys of waterbirds around Dongting Lake during the 2022–2023 wintering season (an extreme drought year), the monthly changes in the distribution and abundance of tundra swans in the Dongting Lake region were analyzed. The impact of extreme drought on the population of this species was explored together with the historical data. The results showed that the population of tundra swans in the Dongting Lake region increased from 4 736 individuals in November, reached a peak of 16 592 in January, and then began to decline, with only 2 292 individuals in March. Caisang Lake, Hengling Lake, Sanguanzui, Donggu Lake, Qiaomai Lake, Baini Lake, and Datong Lake are the critical habitats for tundra swans in the Dongting Lake region. Extreme drought might be the main reason for the decline of tundra swans in Dongting Lake and their spread to surrounding lakes in 2022–2023.

洞庭湖位于中国湖南省北部,是中国第二大淡水湖^[1],也是长江中下游重要的吞吐湖泊,具有涨水成湖、落水成洲的特点^[2]。洞庭湖湿地是东亚–澳大利西亚候鸟迁飞路线(EAAF)的重要组成部分,能够为多种迁徙候鸟提供停歇和越冬场所,对于维护区域的生物多样性和生态平衡具有不可替代的作用^[3]。近年来,由于气候变化、湿地面积减少以及人类活动的增加,洞庭湖的水鸟种群面临前所未有的威胁^[4],其中,气候变暖对生态的影响受到广泛关注^[5]。IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)报告指出,自1850年以来,全球地表温度上升了约1.09 °C,并预测未来20年全球升温将达到或超过1.5 °C^[6]。部分研究表明干旱或者高温可能直接导致鸟类生理性脱水,引发死亡^[7];而大多数研究指出,在干旱条件下,植物可能表现物候延迟、活力下降以及死亡率增加,进而影响鸟类的食物供应,导致鸟类数量下降、分布改变^[8–11]。水鸟相对陆栖鸟类对栖息地环境变化更为敏感,经常被用于气候变暖相关研究,是衡量极端干旱影响的良好指示物种^[12]。了解水鸟,特别是典型物种或濒危物种如何受到极

端干旱的影响及如何适应极端干旱对于保护该物种至关重要^[13]。

小天鹅(*Cygnus columbianus*)隶属雁形目(Anseriformes)鸭科(Anatidae)天鹅属(*Cygnus*),被列为国家二级重点保护野生动物,受到全球关注^[14–15]。大约75%的东亚–澳大利西亚迁徙路线的小天鹅种群在中国长江中下游平原越冬^[16],早期研究认为安徽的几块湿地和江西的鄱阳湖承载了大部分(95%)小天鹅种群^[16]。在这两个区域也开展了小天鹅食性^[17]、行为^[18]以及生境偏好^[19]等方面的研究。然而,长江中下游的另一块国际重要湿地——洞庭湖湿地,有关小天鹅的研究较少,且大部分集中在东洞庭湖,洞庭湖区越冬期小天鹅种群动态及分布特点不清楚。2022年,长江流域经历了60年以来最严重的特大干旱,干旱时间持续100多天,直至11月16日中国气象局国家气象中心才解除干旱黄色预警^[20]。Kouzov *et al.*^[21]通过对3种古北区天鹅春季饮食的分析,推测干旱可能导致天鹅属食物资源的可用性变化,从而影响其种群数量和分布。

本研究基于2022—2023年(极端干旱年)环洞

洞庭湖越冬水鸟同步调查数据,分析探讨洞庭湖区小天鹅的分布和丰度变化,以期明确洞庭湖区小天鹅关键越冬栖息地,并结合东洞庭湖、西洞庭湖小天鹅种群数量历史数据,分析极端干旱对该物种种群数量的影响。

1 研究方法

1.1 研究区概况

洞庭湖位于中国湖南省北部的长江中游荆江段南岸(28°11'4"—30°24'57" N, 111°29'3"—113°41'6" E),是中国第二大淡水湖,也是长江流域生态修复和环境保护的核心区域之一。洞庭湖流域面积为262 891.12 km²,占长江流域总面积的14.70%;多年平均水量为283.4亿 m³,占长江年均总水量的31.73%^[22]。本研究的研究区主要位于洞庭湖区,包括通江湖泊和垸内湖泊两种。通江湖泊是指直接连通外部江河,能吸纳湘、资、沅、澧“四水”,吞吐长江松滋、太平、藕池“三口”来水,具有调蓄功能的湖泊,如东、西、南洞庭湖;垸内湖泊(简称“内湖”)是指圩垸形成后,垸内原有河道、洼地形成的垸内水域,因圩垸的防洪大堤或涵闸阻隔,内湖不与外部江河直接连通,仅具备垸内蓄水供水功能,如大通湖、华容东湖、毛里湖等。目前洞庭湖区内湖已达1 000余个^[23]。

1.2 水鸟同步调查

2022年11月—2023年3月,调查人员在洞庭湖区越冬季开展5次水鸟同步调查。调查覆盖洞庭湖区域23个县市区,包括多个保护区和国家湿地公园,如东洞庭湖国家级自然保护区、西洞庭湖国家级自然保护区、毛里湖国家湿地公园、白泥湖国家湿地公园和沅水国家湿地公园等,设置调查观测点195个。所有调查人员均接受过专业水鸟观测技能培训,对负责调查的观测点鸟况、路况熟悉。调查以单筒望远镜为主、双筒望远镜为辅,具体的计数方法为直接计数法和照片推测法^[24]。其中,直接计数法是指对于小天鹅种群可数的群体用计数器直接计数统计;照片推测法则是通过相机对集群的小天鹅进行拍照,当天调查结束后通过电脑对照片里的小天鹅数量进行计数,重叠部分的计数方式为鸟体重叠、2个鸟头则为2只,鸟头、鸟腿均重叠但鸟体宽明显大于1只鸟体而小于2只鸟体则计为2只。此外,本研究调查对象还包括洞庭湖区所有水鸟种群。

2004—2022年、2023—2024年越冬季调查数据主要来源于东洞庭湖和西洞庭湖国家级自然保护区历年1月的常规监测数据。

小天鹅种群数量的年际变化率^[25]为

$$R_t = \left[\frac{N_t - N_{(t-1, t+1)}}{N_{(t-1, t+1)}} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中: R_t 表示第 t 年年际变化率, N_t 表示第 t 年的小天鹅种群数量, $N_{(t-1, t+1)}$ 表示第 t 年前后两年(即第 $t-1$ 年和第 $t+1$ 年)小天鹅种群数量的平均值。

1.3 干旱指数计算及数据处理

应用R中的SPEI包,计算从雨季到旱季6个月尺度的SPEI值,利用Excel 2019对小天鹅数据进行汇总,使用ArcMap10.8绘制分布图,使用Python 3.11.4中的Matplotlib和Seaborn包绘制鸟类种群数量变化柱状图,使用SciPy包对干旱程度和小天鹅种群变化进行相关性分析。

2 结果

2.1 洞庭湖区越冬小天鹅种群数量

洞庭湖区越冬小天鹅种群数量从11月(4 736只)开始持续增长,于次年1月达到最高峰,总数量达到16 592只,之后种群数量开始下降,3月仅2 292只,小天鹅种群数量变化趋势与洞庭湖区水鸟总数量一致(图1)。

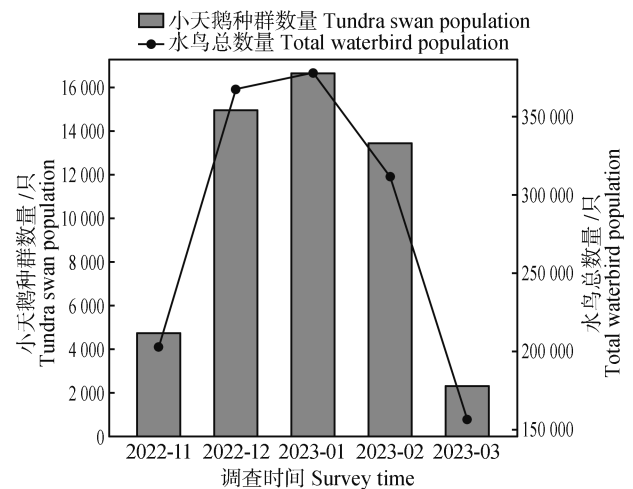


图1 洞庭湖区水鸟丰度变化及小天鹅种群数量动态变化
Figure 1 Variation of waterbird abundance and tundra swan population dynamics in Dongting Lake region

2.2 洞庭湖区越冬小天鹅分布

2022—2023年,洞庭湖区越冬小天鹅的主要栖息地为采桑湖、横岭湖、三关咀、东古湖、荞麦湖、白

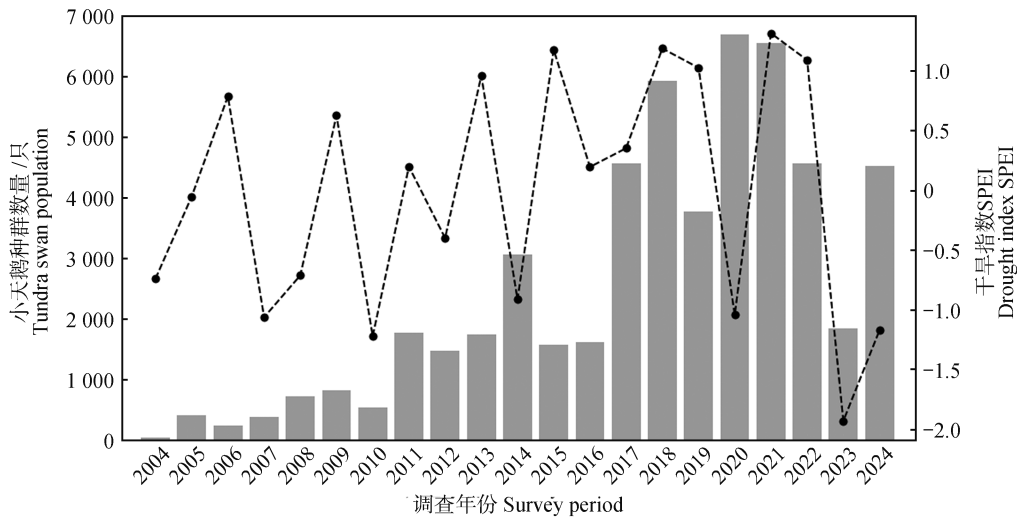


图3 2004—2024年东、西洞庭湖小天鹅种群数量与SPEI干旱指数时间序列关系

Figure 3 The relations between the population size of tundra swan and SPEI drought index time series in East and West Dongting Lake from 2004 to 2024

据相比,洞庭湖区2023年1月小天鹅越冬种群数量超过16 000只,占我国越冬小天鹅种群数量的20%,也超过了鄱阳湖、升金湖和黄陂湖2012—2013年度调查的峰值数据^[27-28],洞庭湖区是小天鹅在长江中下游不容忽视的重要栖息地。

以往洞庭湖区小天鹅种群数量的研究主要集中在东洞庭湖。段昺苍^[29]研究表明,2009—2015年,东洞庭湖小天鹅种群数量持续增加,其中2014年种群数量接近3 500只,主要分布在白湖。本研究于2022年11月—2023年3月对洞庭湖区进行了5次调查,结果显示东洞庭湖的白湖越冬小天鹅种群数量均低于500只,种群数量下降明显,而东洞庭湖的采桑湖小天鹅种群数量最大,超过1 300只。白湖小天

鹅种群数量的锐减可能是极端干旱造成水位提前衰退导致。大量研究表明,洞庭湖提前退水会引发洲滩提前出露,洲滩苔草生长老化,雁类到达后无法进食,致使种群数量锐减^[30-31]。本研究结合洞庭湖水文站小河咀近10年水文数据(图4)发现,2022年8月洞庭湖已经处于历史较低水位,后期一直延续干旱态势,据实地观察也发现洞庭湖中心大量水面完全干涸。水位的提前消退可能招致白湖食物资源无法满足小天鹅种群需求,而采桑湖为人工管控湖泊,水位得到有效控制,因此小天鹅种群数量维持相对稳定。东洞庭湖、西洞庭湖接近20年的种群数量变化和干旱指数数据也显示,极端干旱对东、西洞庭湖小天鹅种群数量具有显著影响。

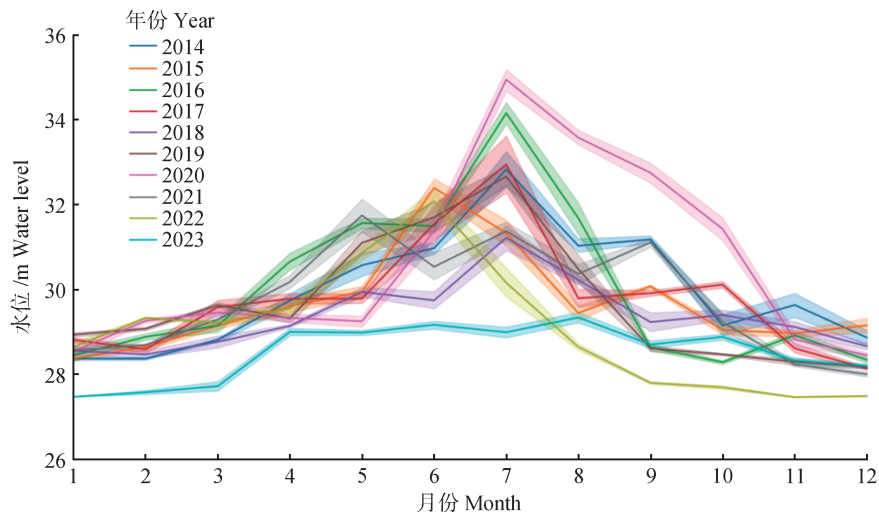


图4 2013—2023年小河咀水文站水位数据

Figure 4 Changes in water levels at Xiaoheszui Hydrological Station from 2013 to 2023

此外,本次调查结果也发现,越冬小天鹅种群数量变化趋势较好反映了洞庭湖区水鸟种群整体状况(图1),小天鹅可作为一个反映洞庭湖区整体水鸟种群数量的指示物种。

3.2 洞庭湖区越冬小天鹅分布

研究物种分布对分析物种种群动态、识别濒危物种面临的威胁以及提出有效的保护措施至关重要^[32]。过去认为,越冬小天鹅在洞庭湖区主要分布在东洞庭湖的白湖、大小西湖、红旗湖、丁字堤和春风湖等^[31]。多数研究都围绕这些区域开展^[15]。本次调查结果显示:除了东洞庭湖外,洞庭湖区的多块湿地,如横岭湖、东古湖、莽麦湖、白泥湖和大通湖等已成为小天鹅的重要越冬地。

广泛的分布能够帮助物种抵御灭绝的风险,而分布范围小、栖息地广度窄的物种更容易灭绝^[33]。越冬小天鹅种群在2023—2024年分布的变化可能是该物种适应2022—2023年洞庭湖极端干旱的策略。小天鹅主要觅食沉水植物的块茎、芡实和稻谷等,也会小规模觅食苔草等洲滩植物^[17]。与种群数量变化类似,在洞庭湖极端干旱时,洞庭湖的退水节律、植物生长节律以及越冬雁鸭迁徙到达节律之间不匹配^[31],小天鹅食物资源和栖息地倍受威胁,而周边东古湖、白泥湖和大通湖水位得到有效管制,食物资源,特别是沉水植物资源可能有所保障,小天鹅分布变化可能是水位-食物资源不均衡,适应性扩散的结果。

参考文献:

- [1] 吴昊. 洞庭湖湿地生态系统特征与水禽生境适宜性评价研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2010.
WU H. Assessment of the wetland ecosystem characters and waterfowl habitat suitability in Dongting Lake [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2010.
- [2] 周红灿,揭红东,尹伟丹,等. 洞庭湖区滩地及稻田洼地资源分布研究[J]. 热带作物学报, 2022, 43(8):1738-1749.
ZHOU H C, JIE H D, YIN W D, *et al.* Research on beach and paddy depression resource distribution of Dongting Lake region [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(8): 1738-1749.
- [3] GUAN L, LEI J L, ZUO A J, *et al.* Optimizing the timing of water level recession for conservation of wintering geese in Dongting Lake, China[J]. Ecological Engineering, 2016, 88: 90-98.
- [4] 张梅清,赵运林,徐正刚,等. 洞庭湖越冬小天鹅食性研究[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(4): 121-125.
ZHANG M Q, ZHAO Y L, XU Z G, *et al.* Study on food habit of wintering *Cygnus columbianus* in Dongting Lake [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2016, 36(4): 121-125.
- [5] 曾向红,杨金莲. 气候变暖下的东洞庭湖湿地生态危机及资源保护思考[C]//中国气象学会2008年年会气候变化分会论文集. 北京:中国气象学会,2008: 314-319.
ZENG X H, YANG J L. Ecological crisis and resource protection of East Dongting Lake wetland under climate warming [C]//Proceedings of the climate change conference of the 2008 annual meeting of the Chinese Meteorological Society. Beijing: Chinese Meteorological Society, 2008: 314-319.
- [6] IPCC. Annex V: expert reviewers of the working group II contribution to the IPCC sixth assessment report [R]//PÖRTNER H O, ROBERTS D C, TIGNOR M, *et al.* Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022: 10.
- [7] BOERSMA J, ENBODY E D, KARUBIAN J, *et al.* Drought disrupts year-round breeding readiness in a tropical songbird [J]. Avian Conservation and Ecology, 2022, 17(2):44
- [8] MORRISON S A, BOLGER D T. Variation in a sparrow's reproductive success with rainfall: food and predator-mediated processes[J]. Oecologia, 2002, 133(3): 315-324.
- [9] GREVEN M, NEAL S, GREEN S, *et al.* The effects of drought on the water use, fruit development and oil yield from young olive trees[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(11): 1525-1531.
- [10] CRUZ-MCDONNELL K K, WOLF B O. Rapid warming and drought negatively impact population size and reproductive dynamics of an avian predator in the arid southwest [J]. Global Change Biology, 2016, 22(1): 237-253.
- [11] CONRADIE S R, WOODBORNE S M, CUNNINGHAM S J, *et al.* Chronic, sublethal effects of high temperatures will cause severe declines in southern African arid-zone birds during the 21st century[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116(28): 14065-14070.
- [12] PRINCÉ K, ZUCKERBERG B. Climate change in our backyards: the reshuffling of North America's winter bird communities[J]. Global Change Biology, 2015, 21(2): 572-585.
- [13] CADY S M, O'CONNELL T J, LOSS S R, *et al.* Species-specific and temporal scale-dependent responses of birds to drought[J]. Global Change Biology, 2019, 25(8): 2691-2702.
- [14] 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订)[J]. 野生动物学报, 2021, 42(2):605-640.
List of national key protected wild animals in China (revised on February 1, 2021) [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2021, 42(2): 605-640.
- [15] 廖嘉欣,赵运林,徐正刚,等. 洞庭湖小天鹅越冬中期行为节律研究[J]. 西南林业大学学报, 2015, 35(6): 85-91.
LIAO J X, ZHAO Y L, XU Z G, *et al.* Daily rhythm of tundra swan in Dongting Lake during middle wintering stage [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2015, 35(6): 85-91.

- [16] CONG P H, CAO L, FOX A D, *et al.* Changes in tundra swan *Cygnus columbianus bewickii* distribution and abundance in the Yangtze River floodplain [J]. *Bird Conservation International*, 2011, 21(3): 260-265.
- [17] 于超. 越冬小天鹅对食物资源变化的功能反应和行为适应 [D]. 合肥: 安徽大学, 2020.
- YU C. The functional response and behavioral adaptation to the changes of food resources for wintering Bewick's swans (*Cygnus columbianus*) [D]. Hefei: Anhui University, 2020.
- [18] 邵明勤, 张聪敏, 戴年华, 等. 越冬小天鹅在鄱阳湖围垦区藕塘生境的时间分配与行为节律 [J]. *生态学杂志*, 2018, 37(3): 817-822.
- SHAO M Q, ZHANG C M, DAI N H, *et al.* Time budget and behavioral rhythm of wintering tundra swans in a lotus pond reclamation area around Poyang Lake [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(3): 817-822.
- [19] 魏振华. 鄱阳湖水水位波动对小天鹅时空动态和栖息地选择的影响 [D]. 南昌: 江西师范大学, 2019.
- WEI Z H. Influence of water level fluctuation on temporal and spatial dynamics and habitat selection of tundra swan in Poyang Lake [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2019.
- [20] 胡振鹏. 2022年鄱阳湖特大干旱及防旱减灾对策建议 [J]. *中国防汛抗旱*, 2023, 33(2): 1-6; 39.
- HU Z P. Serious drought in Poyang Lake in 2022 and countermeasures for drought prevention and disaster reduction [J]. *China Flood & Drought Management*, 2023, 33(2): 1-6; 39.
- [21] KOUZOV S A, KRAVCHUK A V, KOPTSEVA E M, *et al.* Ecological and phylogenetic aspects of the spring diet of three Palearctic species of swans [J]. *BMC Ecology and Evolution*, 2024, 24(1): 17.
- [22] 湖南省自然资源事务中心. 洞庭湖区概况 [EB/OL]. (2022-04-20) [2024-08-02]. <http://www.hnrzy.cn/gt130/zdsyszl/kpxj/dthjj/>.
- Hunan Center of Natural Resources Affairs. An overview of the Dongting Lake region [EB/OL]. (2022-04-20) [2024-08-02]. <http://www.hnrzy.cn/gt130/zdsyszl/kpxj/dthjj/>.
- [23] 余姝辰, 李长安, 张永忠, 等. 近百年来洞庭湖区境内湖泊时空演变分析 [J]. *遥感学报*, 2021, 25(9): 1989-2003.
- YU S C, LI C A, ZHANG Y Z, *et al.* Analysis of the temporal and spatial evolution of lakes in the Dongting Lake area in the past 100 years [J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2021, 25(9): 1989-2003.
- [24] LABUDOVA L, LABUDA M, TAKÁČ J. Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2017, 128(1/2): 491-506.
- [25] DE OLIVEIRA E A, DE BARROS V P, KRAENKEL R A. Solving the Levins' paradox in the logistic model to the population growth [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2011, 285: 012023.
- [26] CAO L, BARTER M, LEI G. New Anatidae population estimates for eastern China: implications for current flyway estimates [J]. *Biological Conservation*, 2008, 141(9): 2301-2309.
- [27] 戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等. 鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征 [J]. *生态学报*, 2013, 33(18): 5768-5776.
- DAI N H, SHAO M Q, JIANG L H, *et al.* A preliminary investigation on the population and behavior of the tundra swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(18): 5768-5776.
- [28] 杨二艳. 安徽沿江湖泊小天鹅 (*Cygnus columbianus*) 越冬行为研究 [D]. 合肥: 安徽大学, 2013.
- YANG E Y. A study on the wintering behavior of tundra swans (*Cygnus columbianus*) at the lakes in the Yangtze River floodplain in Anhui Province [D]. Hefei: Anhui University, 2013.
- [29] 段酬苍. 东洞庭湖越冬小天鹅行为节律与活动范围研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- DUAN C C. The behavior rhythm and activity range of overwintering period tundra swans (*Cygnus columbianus*) in East Dongting Lake [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.
- [30] 冯多多, 关蕾, 史林鹭, 等. 东洞庭湖秋季水文情势对洲滩植物及越冬稳定期小白额雁种群分布影响 [J]. *湿地科学*, 2014, 12(4): 491-498.
- FENG D D, GUAN L, SHI L L, *et al.* Impact of autumn hydrologic regime on plants in beach and distribution of populations of wintering lesser white-fronted goose in East Dongting Lake [J]. *Wetland Science*, 2014, 12(4): 491-498.
- [31] 关蕾. 水文情势变化对洞庭湖雁类食物资源和分布的影响 [D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- GUAN L. Potential impact of changed hydrology regime on food resource and distribution of wintering geese in Dongting Lake, China [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2015.
- [32] LEVIN S A. Population dynamic models in heterogeneous environments [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1976, 7: 287-310.
- [33] CHICHORRO F, JUSLÉN A, CARDOSO P. A review of the relation between species traits and extinction risk [J]. *Biological Conservation*, 2019, 237: 220-229.