J. Lake Sci.(湖泊科学), 2026, 38(1):000-000
DOI 10.18307/2026.0135
©2026 *by Journal of Lake Sciences*

鄱阳湖碟形湖对越冬雁类的重要性评估与保护空缺识别*

黄薇霖[1,2]，夏少霞[1,2]**，于秀波[1,2]

(1：中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室，北京 100101)

(2：中国科学院大学资源与环境学院，北京 101408)

摘　要：鄱阳湖作为中国最大的淡水湖，是东亚雁类重要的越冬地。本研究利用 2019-2024 年的卫星追踪数据，分析了白额雁（*Anser albifrons*）、鸿雁（*Anser cygnoides*）和豆雁（*Anser fabalis*）的迁徙时间节律和空间分布特征，并结合停留时间和家域分布，量化了鄱阳湖碟形湖的重要性。结果显示：不同雁类到达和离开时间存在物候差异。白额雁最早到达（10 月 16 日至 10 月 28 日），其次是鸿雁（10 月 9 日至 11 月 30 日），豆雁到达最晚（11 月 1 日至 11 月 17 日），三种雁类在鄱阳湖越冬的时间分别约为 149±8 天、123±7 天和 128±26 天。从迁徙时间动态来看，白额雁、豆雁相对稳定，年际差异较小，而鸿雁则年际差异较大。空间分析表明，保护区内的碟形湖仍然是雁类最重要的分布区，同时雁类在保护区外停留时间和家域面积都在增加，特别是豆雁和鸿雁。本研究量化了雁类对碟形湖的停留时间和空间利用，强调了其在支持迁徙雁类种群方面的生态作用，同时识别了雁类的重要保护区域，并确定了保护空缺区。我们建议扩大保护区范围以涵盖现有保护空缺，同时，加强保护区内外栖息地管理，以确保雁类重要越冬栖息地的可持续性。本研究为精准识别雁类关键栖息地，制定针对性的栖息地保护策略提供参考。
关键词：鄱阳湖；雁类；卫星追踪；停留时间；家域面积；碟形湖；重要性评估

Importance of Sub-lakes in Lake Poyang for Wintering Geese: An Assessment and Conservation Gap Analysis

Huang Weilin[1,2], Xia Shaoxia[1,2**], Yu Xiubo[1,2]
(1: *Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing 100101, China*)
(2: University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract： Lake Poyang, China's largest freshwater lake, is a crucial wintering ground for East Asian geese. This study used satellite tracking data from 2019 to 2024 to analyze the migratory phenology and spatial distribution patterns of the greater white-fronted goose (*Anser albifrons)*, swan goose (*Anser cygnoides*) and bean goose (*Anser fabalis)*. Integrating duration and home range data allowed us to quantify the importance of Lake Poyang's sub-lakes to these species. Our results demonstrate phenological differences in arrival and departure timing among the species of goose. Greater white-fronted geese arrived earliest (16th to 28th October), followed by swan geese (9th October to 30th November), with bean geese arriving latest (1st to 17th November). The average duration of overwintering in Lake Poyang was approximately 149 ± 8 days for greater white-fronted geese, 123 ± 7 days for bean geese, and 128 ± 26 days for swan geese. Analysis of migratory timing dynamics revealed relative stability and low interannual variation for greater white-fronted and bean geese, while swan geese exhibited greater interannual variability. Protected areas remained the most important distribution areas for geese. However, an increasing duration and expansion of the home range outside of protected areas were observed, particularly for Bean and Swan Geese. This study quantified the duration and spatial utilization of geese in sub-lakes, highlighting their ecological role in supporting migratory goose populations. It also identified important conservation areas for geese and determined protection gaps. We recommend expanding the boundaries of protected areas to encompass these gaps and enhancing habitat management measures within and beyond these areas to ensure the long-term sustainability of these vital wintering habitats. This research provides scientific evidence to support the identification of critical habitats and the development of targeted conservation strategies for geese and their habitats.
Keywords: Lake Poyang; Geese; Satellite Tracking; Wintering Duration; Home Range; Sub-lakes; Importance Assessment

* 2025-02-24 收稿；2025-05-08 收修改稿。
国家自然科学基金项目（42171105）和国家重点研发计划资助（2022YFC3204104）联合资助.
*通讯作者；E-mail: xiasx@igsnrr.ac.cn

湿地是地球上重要的生态系统之一，在维持生物多样性方面发挥着关键作用[1]。作为中国最大的淡水湖泊，鄱阳湖不仅是长江流域重要的生态屏障，也为东亚-澳大利西亚迁徙路线上的候鸟提供重要越冬地[2]，吸引着数以百万计的候鸟从西伯利亚、蒙古以及中国北方等来此越冬[3]。鄱阳湖湿地及水鸟保护不仅对迁飞路线种群稳定具有重要意义，也是实现全球生物多样性保护目标的重要保障[4,5]。

鄱阳湖显著的季节性水位变化，塑造了多样的湿地景观，是维持湿地多样性的关键因素。其中冬季退水后形成的显露于洲滩之中的季节性子湖泊，也称碟形湖，是鄱阳湖湿地生态系统的重要组成部分，为越冬水鸟提供了至关重要的觅食和栖息场所，承载了鄱阳湖越冬水鸟总数量的 80%以上[6] 。然而，不同碟形湖水文条件、资源分布和利用管理方式差异较大，在支撑生物多样性方面发挥着不同的作用[6,7]。近年来鄱阳湖干旱状况加剧，再加之人类活动的干扰，导致水鸟栖息地质量下降、生境破碎化和食物资源减少，对越冬水鸟生存构成了威胁[8–10]。如何高效、精准监测水鸟及栖息地分布，成为当前保护工作面临的主要挑战。传统的地面调查尽管能提供水鸟分布数据，但其覆盖范围和频度受限，难以全面评估全湖范围内的栖息地状况。科学监测越冬水鸟的分布动态[11–13]，识别关键栖息地显得尤为关键，是制定针对性的保护策略，实现水鸟有效保护的前提。随着卫星追踪技术的日益成熟，可远程、高频记录水鸟轨迹和位置，能够快速反映水鸟的分布特征，为开展栖息地评估提供了有效手段[14]。

雁类是鄱阳湖越冬水鸟的优势种群，约占水鸟总数量的 60%左右[5]，常见物种包括豆雁(*Anser fabalis*)、白额雁（*A. albifrons*）、小白额雁(*A. erythropus*)和鸿雁(*A. cygnoides*)等。其中白额雁、鸿雁为国家二级重点保护鸟类。雁类为长距离迁徙水鸟，东亚迁飞路线上的白额雁和豆雁的繁殖地位于西伯利亚的苔原带，鸿雁则在蒙古和我国内蒙古等地繁殖，其越冬地主要位于我国长江中下游湿地，特别是鄱阳湖湿地[5]，也有部分个体在韩国、日本等地越冬。雁类在越冬地栖息于浅水沼泽、泥滩地和草洲区，以处于生长早期和中期的低矮禾本科植物为食，鸿雁也取食沉水植物的块茎[15]。本研究利用卫星追踪数据，揭示鄱阳湖三种越冬雁类分布的时空动态特征，并结合空间分布和停留时间，定量评估鄱阳湖不同子湖泊湿地的重要性，为科学制定针对性保护和优化湿地管理策略提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区分布

鄱阳湖（28°22'～29°45'N，115°47'～116°45'E）地处江西省北部、长江中下游南岸，是中国最大的淡水湖，具有典型的亚热带湿润季风气候特征，年降水量为 1350 至 2150 mm，年均温在 16.5℃ 至 17.8℃ 之间[16,17]。受季风气候和长江顶托作用影响，其水位年内波动显著，呈现出“丰水一片、枯水一线”的景观，在丰水期（每年 5 月至 8 月）水面面积可超过 3800 km^2，而枯水期（每年 10 月至次年 3 月）水面面积则低于 1000 km^2。枯水期，随着水位下降，广阔的滩涂逐渐出露，并在鄱阳湖内形成众多不规则的浅水湖泊单元，即“碟形湖”。这些碟形湖面积大小不一，水深较浅，富含沉水植物、底栖动物等资源，具有深水、浅水、泥滩、草洲等多样的景观类型，支撑了大量的越冬水鸟觅食和栖息，是研究湿地水鸟的典型区域[18]。

为保护鄱阳湖湿地及越冬水鸟，目前已建立了江西鄱阳湖国家级自然保护区、江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区和都昌省级自然保护区，由于都昌省级自然保护区主要位于主湖区范围，故本研究不涉及上述区域。利用枯水期的遥感影像，识别提取水体边界，并结合地图，确定了全湖范围内 125 个碟形湖及其边界。结合实地调研，确定了碟形湖的名称，对于无法确定名称的，以编号进行命名。在本研究中，对江西鄱阳湖国家级自然保护区和江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区的边界进行了矢量化，并将其与识别的碟形湖进行空间叠加。由于在实际管理中保护区周边的碟形湖也纳入了日常的监测及管护，因此，本研究确定的保护范围涵盖了保护区边界范围内部分周边的碟形湖湿地。其中江西鄱阳湖国家级保护区包含 22 个碟形湖，江西鄱阳湖南矶湿地国家级保护区包含 33 个碟形湖（图 1）。

1.2 卫星追踪数据处理

1.2.1 数据预处理 卫星追踪技术是通过在野生动物个体上安装定位追踪设备，利用全球导航卫星系统（GNSS）接收定位信号，并将定位数据传输回地面接收站，从而实现对动物进行远程、实时追踪监测。2018-2019 年冬季分别在鄱阳湖湿地对越冬雁类进行无损伤抓捕，并安装了颈环式（HQNG4625S, 30-45g）或背负式（HQBG3621S, 24 g）卫星追踪器（设备源自湖南环球信士科技有限公司，均低于雁类平均体重的 3%）。观察雁类体征稳定后，进行了野外放归，最终获取了白额雁 37 只、豆雁 28 只、鸿雁 22 只（表 1，附表 2）。卫星追踪器采用太阳能供电，其搭载的传感器可获取设备编号、位置（经、纬度）、速度、航向、高度、精度等信息。对获取的数据以.xml 格式导出，按照当年 10 月至次年 4 月为一个越冬季的原则，将 2019 年 10 月始至 2024 年 4 月终划分为 5 个越冬季，用于分析雁类在越冬地的时间和空间动态。将导出数据在 ArcGIS 软件生成点图层，用于后续分析。

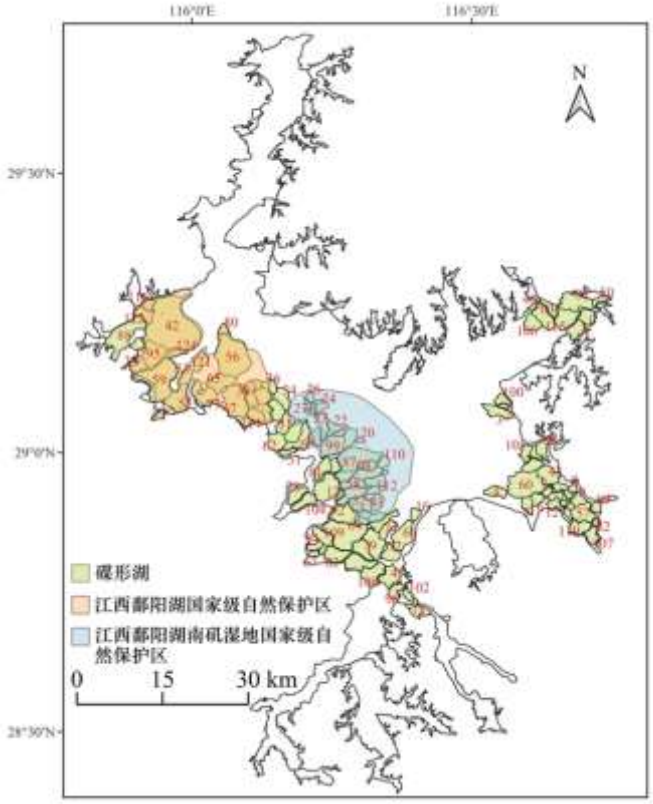

图 1 研究区分布(碟形湖序号及其对应的名称见附件 I)

Fig.1 Location of the study area (See Appendix I for the ID numbers and corresponding names of sub-lakes)

表 1 越冬雁类卫星追踪数据信息

Tab.1 Satellite tracking data information for geese in this study

物种	年份	个体数（只）	有效记录（条）
白额雁	2019-2020	34	114790
	2020-2021	18	58714
	2021-2022	10	33477
	2022-2023	16	18905
	2023-2024	5	23093
豆雁	2019-2020	6	21670
	2020-2021	10	28857
	2021-2022	7	23008
	2022-2023	14	55252
	2023-2024	25	81174
鸿雁	2019-2020	8	24193
	2020-2021	9	25471
	2021-2022	8	20842
	2022-2023	8	20299
	2023-2024	9	24838

1.2.2 迁徙时间动态分析　根据设备设定，卫星追踪器每小时回传一次数据，然而由于卫星信号、天气等问题，会导致数据缺失，因此使用 R4.2.1 中“crawl” 软件包，采用空间-状态模型（Space-state model）来重建水鸟的运动轨迹，对缺失数据进行插值，形成规则的水鸟分布数据，即每个分布点代表停留时间为 1 小时[19]。将上述数据分别用鄱阳湖边界、碟形湖边界以及保护区边界图层进行裁剪，并统计不同单元的停留时间。为便于计算，以当年的 10 月 1 日为越冬季第 1 天，将日期转化为时间序列的数值。根据雁类分布数据，可分别计算不同越冬季雁类在鄱阳湖或碟形湖的最早时间和最晚时间，两者之间的差值即为该雁类在鄱阳湖或碟形湖的停留时间。

1.2.3　空间动态分析　家域常用于描述动物在其活动范围内，最常使用和依赖的区域。95%家域通常被认为是稳定且具有生态意义的活动区域。很多传统模型，像最小凸多边形法（MCP）和固定核密度估计法（KDE），仅侧重于空间位置，会把动物运动轨迹当作静态分布处理。但动态布朗桥模型将时间因素纳入考量，能够捕捉动物运动随时间的动态变化。本研究使用 R4.2.1 中的“AdehabitatHR” 软件包，运用动态布朗桥模型计算每只个体越冬季 95% 家域范围[20]。使用 ArcGIS 分别对不同越冬季豆雁、鸿雁、白额雁的家域范围分别进行叠加，绘制三种雁类不同越冬期的家域分布图。并将此与碟形湖的边界进行空间叠加，进而计算不同越冬季各碟形湖三种雁类的家域范围。

1.3 重要性评估

本研究以雁类的分布面积和停留时间为指标，分别统计不同雁类在碟形湖中的分布面积和停留时间，并将其标准化，以定量计算不同碟形湖的重要性。

1.3.1 基于停留时间的重要性计算　以越冬季为单位统计不同雁类在碟形湖的停留时间。t_i 为某种雁类在第 i 个碟形湖中停留时间比例，t 为某种雁类在第 i 个碟形湖的停留时间，T 为某种雁类在鄱阳湖的停留总时间；a_i为第 i 个碟形湖的面积，为消除碟形湖面积大小的影响，进一步计算单位面积（/㎢）的停留时间比例。

$$t_i = \frac{t}{Ta_i}$$

将各碟形湖停留时间比例按从小到大的顺序排列，t_{min}为所有碟形湖中最低的停留时间比例，t_{max}为所有碟形湖中最高的停留时间比例，根据公式计算停留时间比例标准化值t_s。将t_s在 ArcGIS 中绘制基于停留时间的重要性分布图。

$$t_s = \frac{t_i - t_{min}}{t_{\max} - t_{min}}$$

1.3.2 基于家域面积的重要性计算　以越冬季为单位统计不同雁类在碟形湖的家域面积。s_i 为某种雁类在第 i 个碟形湖家域面积比例，s 为某种雁类第 i 个碟形湖家域面积，S 为某种雁类在鄱阳湖家域总面积；a_i为第 i 个碟形湖的面积，同上，进一步计算单位面积（/㎢）的家域面积比例。

$$s_i = \frac{s}{Sa_i}$$

将各个碟形湖家域面积比例按从小到大的顺序排列，s_{min}为所有碟形湖中最低的家域面积比例，s_{max}为所有碟形湖中最高的家域面积比例，根据公式计算家域面积比例标准化值s_s。将s_s在 ArcGIS 中绘制基于家域面积的重要性分布图。

$$s_s = \frac{s_i - s_{min}}{s_{\max} - s_{min}}$$

综合考虑雁类在某碟形湖的停留时间与家域面积的重要性，赋以同等权重，获得最终的重要性值。I为第 i 个碟形湖的重要性值，在 ArcGIS 中绘制碟形湖重要性分布图。

$$I = \frac{1}{2}s_i + \frac{1}{2}t_i$$

1.4 保护空缺分析

将雁类的停留时间和家域范围分别与保护区范围叠加，分析保护区内和保护区外的分布状况，结合碟形湖的重要性分析，确定保护空缺。

2 研究结果

2.1 雁类在鄱阳湖的迁徙时间特征

2019-2024 年期间，白额雁平均到达鄱阳湖时间最早，其次是鸿雁，豆雁最晚。具体而言，白额雁平均到达时间为 21±6 天，即 10 月 16 日至 10 月 28 日；豆雁的平均到达时间为 40±8 天，即 11 月 1 日至 11 月 17 日；鸿雁的平均到达时间为 35±26 天，即 10 月 19 日至 11 月 30 日。从停留时间来看，白额雁停留时间最长，平均停留天数达 149±8 天，鸿雁其次，停留时间约 128±26 天，豆雁的停留时间最短，约

123±5 天。从迁徙时间动态来看，白额雁、豆雁的相对稳定，年际差异较小，而鸿雁则年际差异较大（表 2，表 3 和图 2）。

表 2 三种雁类平均到达时间、平均离开时间及平均停留天数(95%置信区间)

Tab.2 Mean arrival date, departure date and duration of different geese in wintering season(95% CL）

物种	到达时间	离开时间	停留天数
白额雁	21±6	172±3	149±8
豆雁	40±8	163±1	123±5
鸿雁	35±26	163±5	128±26

*注：以当年的 10 月 1 日为第一天，按照距离 10 月 1 日的天数，将时间转化为数值。以下同。

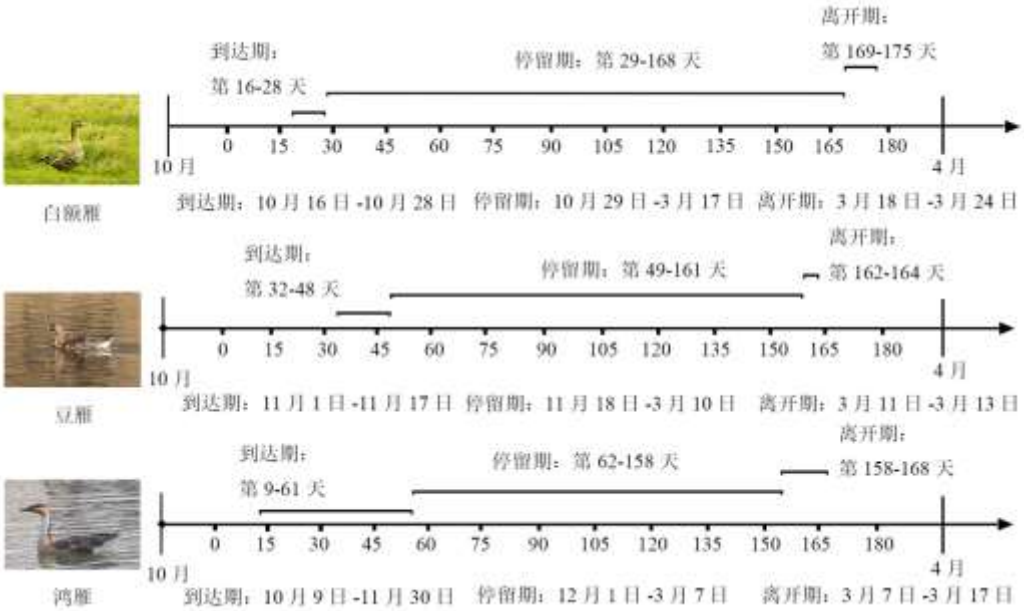

图 2 三种雁到达鄱阳湖与从鄱阳湖迁飞的时间

Fig.2 Arrival and departure date of different geese at and from Lake Poyang

表 3 2019-2024 年三种雁类到达时间、离开时间及停留天数(95%置信区间)

Ta3 arrival date, departure date and duration of different geese from 2019 to 2024（95%CL）

物种	越冬期	到达天数	迁飞天数	停留天数
白额雁	2019-2020	23±5	167±2	144±3
	2020-2021	28±8	171±2	143±5
	2021-2022	19±6	170±4	151±4
	2022-2023	16±13	174±3	158±7
	2023-2024	23±15	172±3	149±4
豆雁	2019-2020	43±12	163±4	120±8
	2020-2021	46±6	164±4	118±4
	2021-2022	42±5	162±2	120±6
	2022-2023	29±5	162±5	133±4
	2023-2024	38±4	163±2	124±3
鸿雁	2019-2020	31±5	165±3	134±3
	2020-2021	36±13	166±26	130±4
	2021-2022	32±12	166±26	134±13
	2022-2023	9±2	157±3	148±4
	2023-2024	68±8	160±2	92±4

2.2 雁类越冬期停留时间

图 3 展示了白额雁、鸿雁和豆雁在保护区内和保护区外的停留时间分布情况。近 5 年来，白额雁、鸿雁、豆雁在碟形湖停留时间均呈上升趋势。且从分布来看，保护区内仍然是主要活动区域，尤其是对白额雁而言。然而，近年来，雁类在保护区外的停留时间也逐渐增加。白额雁在 2019-2020 年、2022-2023 年；豆雁在 2022-2023 年、2023-2024 年，在保护区外的停留时间超过保护区内。而鸿雁则在除 2019-2020 年以外的其他年份，保护区外的停留时间均明显高于保护区内。这意味着，保护区外在支持雁类栖息和觅食活动方面重要性在逐年增加。

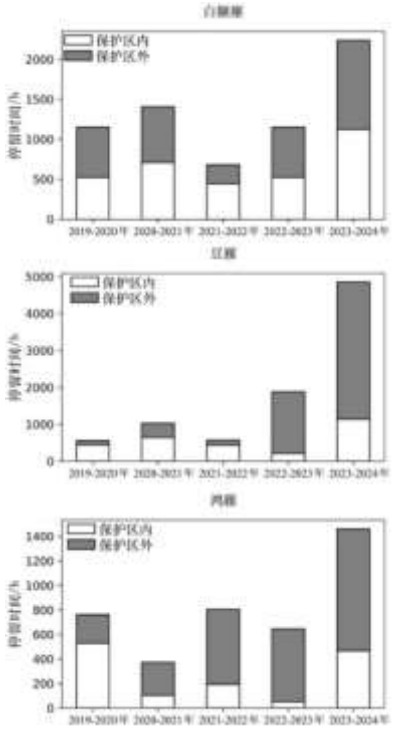

图 3 三种雁在保护区内和保护区外的停留时间

Fig.3 Duration for different geese in and outside nature reserve

注：保护区内指在江西鄱阳湖国家级保护区与江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区内分布的区域

图 4 展示白额雁、鸿雁和豆雁在碟形湖的停留时间分布。白额雁在鄱阳湖碟形湖系统分布范围最广，覆盖了大部分碟形湖，集中在鄱阳湖保护区内、南矶湿地保护区内以及南矶湿地保护区以南的非保护区域，其中 2020-2021 年、2021-2022 年，白额雁在鄱阳湖保护区的蚌湖停留超过 1000 小时，而 2023-2024 年在保护区以外的雪湖停留时间超过 1000h。豆雁的分布范围较为有限，但其停留的热点区域更加集中，主要停留鄱阳湖保护区内的大湖池、蚌湖、南矶湿地保护区以及保护区以南区域，其中 2020-2021 年、2023-2024 年越冬季在蚌湖和大湖池停留时间超过 1000h。鸿雁则在保护区和保护区外均有集中分布，其中 2020-2021 年越冬季在蚕豆湖停留时间超过了 1000h。

2.3 雁类越冬期家域面积

图 5 展示了白额雁、豆雁和鸿雁家域面积在保护区内与保护区外的分布。相比其他两种雁类，白额雁的家域面积总体范围较大。近年来，三种雁类的家域面积总体呈增加趋势。如豆雁家域面积从 2022-2023 年（18 km^2）到 2023-2024 年（48 km^2）增加了 166.67%。除 2020-2021 年、2021-2022 年白额雁在保护区内家域面积略多外，三种雁类在保护区以外的家域面积均高于保护区内。这表明了雁类对保护区外的依赖性。

图 6 展示了白额雁、豆雁和鸿雁在鄱阳湖及碟形湖的分布。白额雁呈广泛分布，覆盖了鄱阳湖碟形湖的大部分区域，分布热点区域集中在江西鄱阳湖南矶湿地国家级保护区与江西鄱阳湖国家级保护区，然而，保护区外的分布，特别是江西鄱阳湖南矶湿地国家级保护区东南部，逐年增加。豆雁和鸿雁的家域分布较为分散，呈斑块状分布。豆雁对保护区的利用较少，非保护区的利用逐年增加，特别是在 2022-2023 年、2023-2024 年。鸿雁家域面积在保护区内外分布相对均衡，覆盖保护区内外多个区域，分布热

点在保护区内外均有所体现，且鸿雁对非保护区的依赖逐年增加，特别是在鄱阳湖东南部分布热点逐渐扩展。

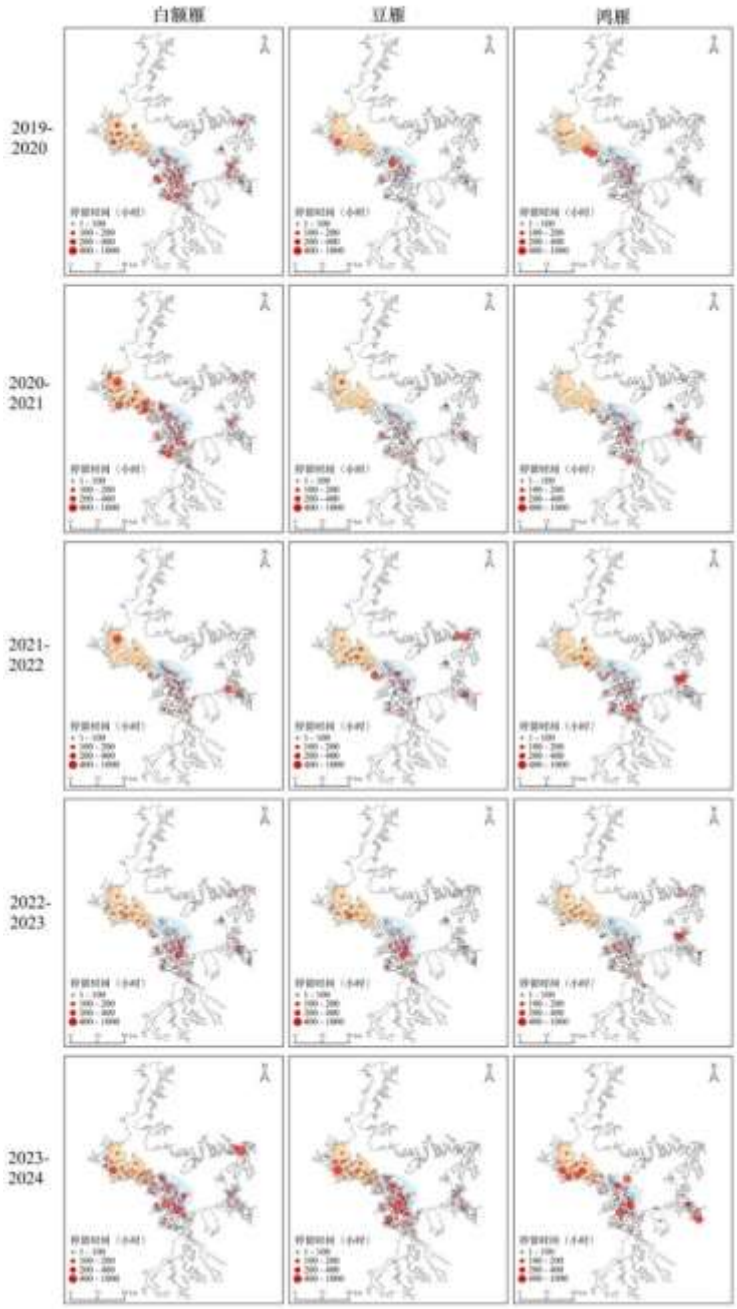

图 4 三种雁在碟形湖的停留时间

Fig.4 Duration of different geese in the sub-lakes

注：黄色区域为江西鄱阳湖国家级自然保护区，蓝色区域为江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区

2.4 不同碟形湖的重要性评估

从停留时间的重要性来看：对白额雁和豆雁而言，在江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区内的山南湖停留时间的重要性最高，对鸿雁而言，则是位于江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区的 18 号碟形湖和位于保护区外的四望湖（图 7）。

从家域面积的重要性来看：对白额雁而言，主要集中在保护区内，江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区内的 21、22、23、24、25、26、27 号碟形湖以及边湖、常湖、大车荒、红兴湖、泥湖、上北甲、上段湖、下段湖具有较高的重要性。此外，保护区外的 34、35、36、37、38 号碟形湖也具有较高的重要性。对于豆雁而言，江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区界内的常湖、20、22 号碟形湖重要性高，而保护区外的流芳湖也具有较高的重要性。对鸿雁而言，则相对分散，其中江西鄱阳湖国家级自然保护区内的池洲湖、小滩湖重要性较高，江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区内的山南湖、上北甲、下北甲、20 号碟形湖具有较高的重要性。

而总体重要性来看：对白额雁而言，主要集中在保护区内，其中江西鄱阳湖国家级自然保护区内的 35、36、37 号碟形湖以及江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区内的边湖、大车荒以及 22、24 号碟形湖重要性最高。而豆雁和鸿雁则在保护区内和保护区外均具有利用较高的区域。对豆雁而言，江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区内的山南湖和 20 号碟形湖具有较高的重要性，而保护区外的流芳湖、西湖和 14 号碟形湖重要性也较高。对鸿雁而言，江西鄱阳湖国家级自然保护区内的小滩湖、47 号碟形湖以及江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区内的下北甲、上北甲和 20 号碟形湖具有较高的重要性，而保护区外的四望湖也具有重要性。综合重要性的评估结果，确定了水鸟利用强度高且处于保护区以外的三个区域（表 4 和图 8）。

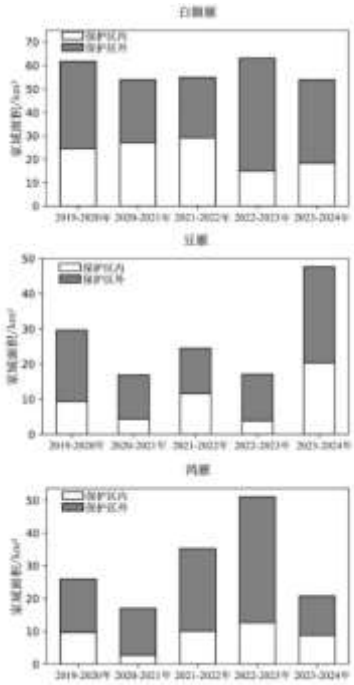

图 5 三种雁在在保护区内和保护区外的家域面积

Fig.5. Home range area of different geese in and outside nature reserve

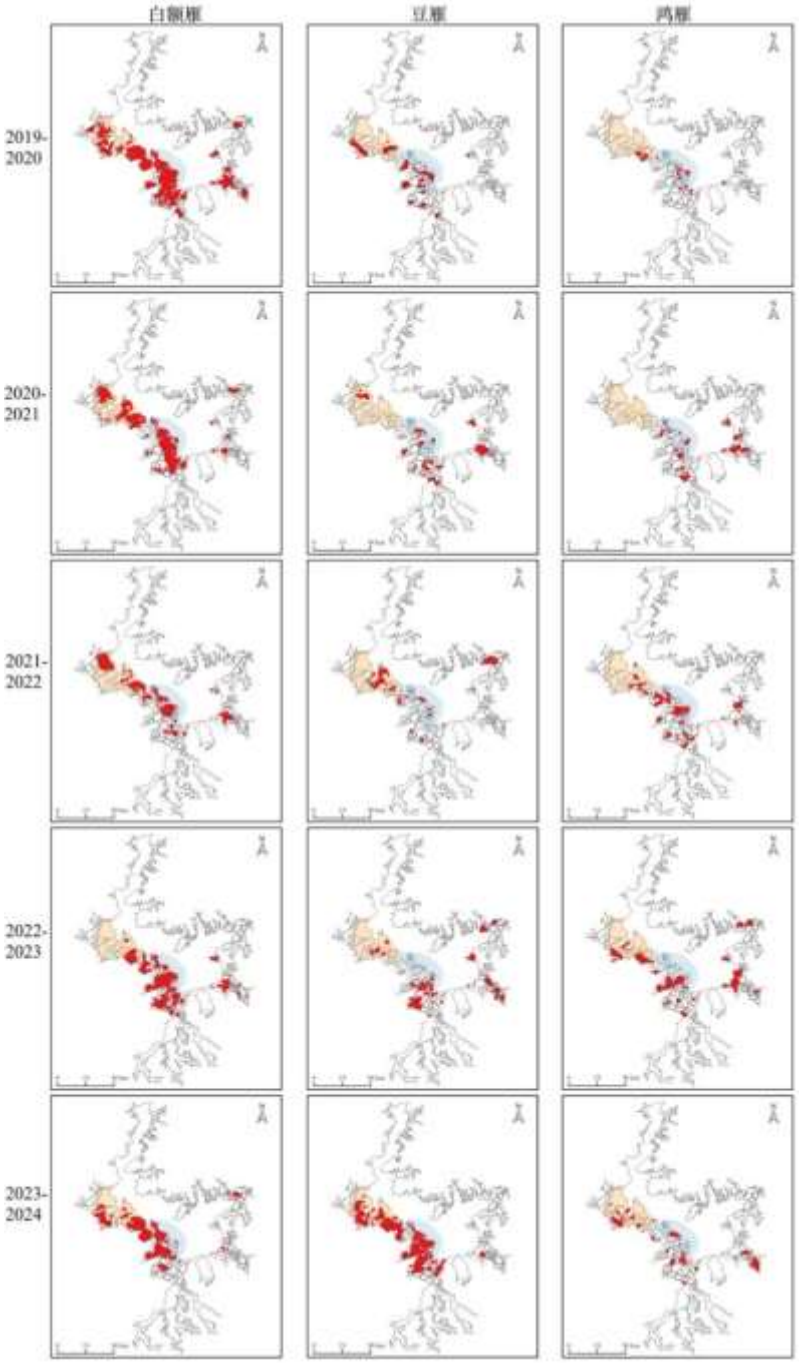

图 6 三种雁在碟形湖的家域分布

Fig. 6. Home range area of different geese in the sub-lakes

注：红色区域为家域分布，黄色区域为江西鄱阳湖国家级自然保护区，蓝色区域为江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区

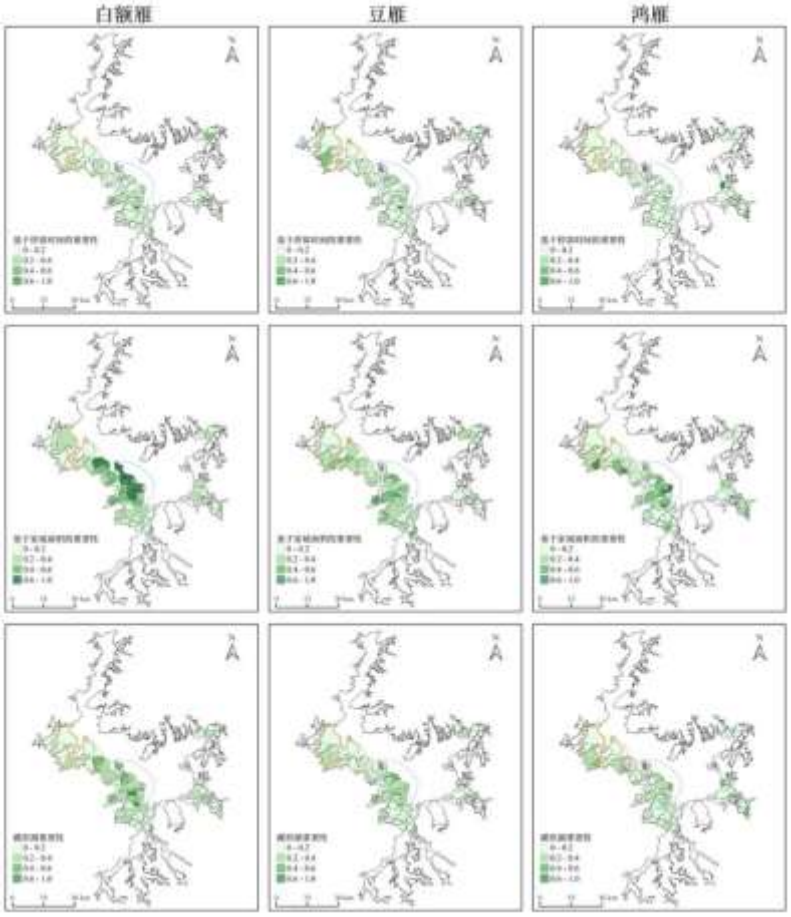

图 7 三种雁在碟形湖的重要性评估

Fig.7 Importance assessment of sub-lakes for three geese

注：图中黄色边界为江西鄱阳湖国家级自然保护区，蓝色边界为江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区

表 4 三种雁重要性排名前十的碟形湖

Tab.4 Top 10 most important Lake Poyangs'sub-lakes for the three goose species

排序/物种	白额雁	豆雁	鸿雁
1	山南湖	20 号碟形湖	18 号碟形湖
2	大车荒	山南湖	下北甲
3	22 号碟形湖	流芳湖	池洲湖
4	边湖	11 号碟形湖	西望湖
5	37 号碟形湖	大车荒	小滩湖
6	24 号碟形湖	14 号碟形湖	20 号碟形湖
7	36 号碟形湖	下段湖	晚湖
8	35 号碟形湖	21 号碟形湖	七金湖
9	25 号碟形湖	西湖	山南湖
10	流芳湖	大湖池	上北甲

注：11、14、36 号碟形湖位于保护区外；20、21、22、24、25 号碟形湖位于江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区；35、37 号碟形湖位于江西鄱阳湖国家级自然保护区

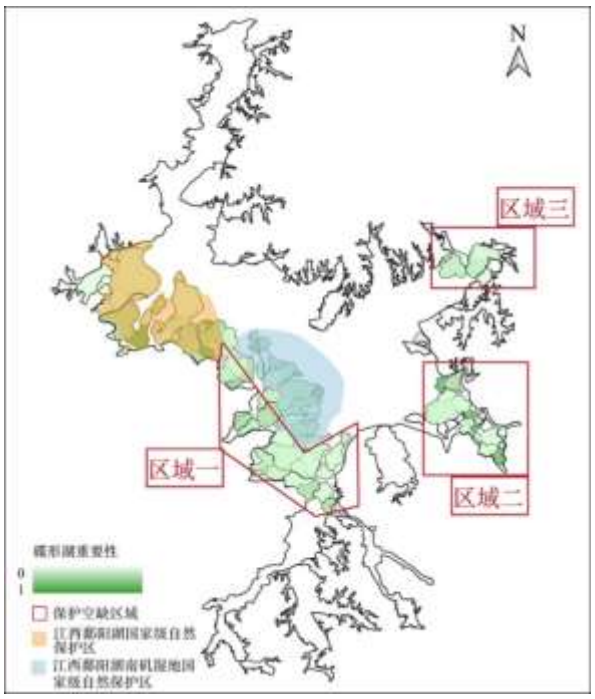

图 8 保护空缺区域

Fig.8 Proposed Areas for Protection

注：图中黄色区域为江西鄱阳湖国家级自然保护区，蓝色区域为江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区

3 结果与讨论

本研究显示，雁类的分布主要集中在两个现有的国家级自然保护区和部分邻近的碟形湖中，且在鄱阳湖的分布范围具有较大的重叠，这些观察结果与王晨溪等人 (2024) 的研究结果基本一致[5]。对雁类分布动态的分析表明，保护区仍然是主要的活动中心。然而，一个明显的趋势是，在保护区外，停留时间和家域扩张都在增加。不同物种在资源利用策略上存在差异。虽然白额雁表现出对保护区内栖息地的更强偏好，但豆雁和鸿雁对保护区外资源的依赖性越来越强。这些差异可能反映了不同的食物偏好和环境适应策略[21,22]。虽然白额雁、鸿雁、豆雁都是典型的食草性雁类，但其食物资源偏好稍有差异。在越冬期间，雁类主要以禾本科和莎草科植物为食，如苔草 (*Carex*) 和看麦娘 (*Alopecurus aequalis*)，偏爱高度在 120-220 mm 之间的新鲜嫩芽[23]。白额雁的食物相对单一，对干扰更敏感，因此更依赖于保护区内稳定的栖息地质量，而鸿雁还会取食沉水植物的块茎[24]。相比之下，鸿雁的食物来源更加多样化，当首选食物资源匮乏时，它们可以更容易地适应保护区外的环境[25]。水位深度和淹没时间的长短会显著影响滩涂植被的生长节律，从而影响雁类的食物供应[26,27]。由于食物资源偏好差异以及对环境变化的可塑性，导致其生态位存在分化[28]。

此外，雁类的到达时间与离开时间也具有差异。白额雁平均到达的时间最早，平均离开的时间最晚，而豆雁平均到达时间最晚，平均离开时间最早，在鄱阳湖越冬时间的错位，可以在一定程度上减缓种间资源竞争，实现雁类物种共存。我们的研究显示，极端干旱年（2022-2023），相较其他年份（2019-2020、2020-2021），雁类在保护区外的停留时间较保护区内的停留时间长。这可能由于极端干旱带来的食物短缺，使得在保护区内无法摄取足够的食物以满足生存，因此转向保护区外寻找更多的食物资源，在保护区外的停留时间较保护区内要长。此外，不同雁类到达鄱阳湖湿地的时间年际波动较大，这种变化可能受到雁类迁徙周期年多个阶段因素的共同影响[29]。繁殖地的环境条件，如春季气温、积雪融化时间和繁殖节律，会影响南迁的启动时间[30]。此外，迁徙路线中停歇地的质量在很大程度上影响迁徙节律[31,32]。

值得注意的是，近年来雁类在碟形湖家域面积总体呈增加趋势。这种扩张可能与上游水利工程运行和气候变化导致的枯水期提前有关。水情变化导致滩涂植被老化，自然湿地食物资源的可利用性下降[33]。已有研究显示，食物短缺促使一些雁类个体转移到人工湿地觅食[34,35]。与传统的地面调查相比，卫星追踪数据能够更精确地描述水鸟迁徙的时间特征和空间分布。这种全面的方法有助于更完整地理解水

鸟的活动生态，为未来其他动物物种的迁徙和分布研究提供有价值的方法参考[36]。本研究基于五年间 37 只白额雁、28 只豆雁、22 只鸿雁的卫星追踪数据，分析了三种雁类在鄱阳湖的时空分布动态。然而，需要指出的是，由于个体行为上的差异，上述样本量不一定能反映群体水平的普遍规律，这些数据仅反应了被标记个体的行为特征，而非群体水平的普遍规律，研究结果具有一定的局限性。样本量和追踪时间的限制可能导致家域面积被低估[37,38]，未来的研究应优先考虑增加样本量和延长追踪时间，并结合其他调查手段，以提高评估的准确性。

对关键雁类分布区域和相关保护空缺的识别为鄱阳湖湿地保护规划提供了一个新的视角。我们建议除了关注现有保护区域，也应将研究中确定的具有重要保护价值的碟形湖给予关注，如流芳湖、三湖、晚湖、太阳湖、大野湖等。此外，我们提倡优化保护区管理措施，根据不同雁类的生态需求，制定有针对性的保护措施。例如，在保护区内进行水文调控和生态补水，以恢复和改善雁类栖息地[39–41]。通过有针对性的割草，促进老化的苔草重新生长，改善自然湿地食物资源，为雁类提供更高质量的栖息地[42]。在保护区外，加强对重要雁类栖息地的管理和监测，以减轻人为干扰。实施其他有效的区域保护措施(OECM)，促进保护区以外区域的保护和管理至关重要，例如，在五星保护区小区和康山农场等地，通过提供食物补充（如野生莲藕、预留稻谷）缓解自然湿地食物短缺的影响[34,43]。

致谢：感谢中国生物多样性监测与研究网络——鸟类多样性监测专项网（Sino BON-Bird）对本研究的支持，感谢江西省鄱阳湖国家级自然保护区、南矶湿地国家级自然保护区和都昌省级自然保护区对本研究的实地工作提供的支持。

4 附件

附表 I、附表 II 见电子版（DOI：10.18307/2026.0135）。

5 参考文献

[1] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands. John Wiley & Sons, 2015.

[2] Cao L, Zhang Y, Barter M *et al*. Anatidae in eastern China during the non-breeding season: Geographical distributions and protection status. Biological Conservation. 2010, 143(3): 650–659. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.01.015.

[3] Wang XD, Kuang FL, Tan K *et al*. Population trends, threats, and conservation recommendations for waterbirds in China. Avian Research, 2018, 9(1): 14-27. DOI: 10.1186/s40657-018-0108-7.

[4] Shao MQ, Chen B, Jiang JH. Population dynamics and spatial-temporal distributions of anseriformes overwintering in Poyang Lake, China. Sichuan Journal of Zoology. 2016, 35(3):460-465. DOI: 10. 11984 / j. issn. 1000 - 7083. 20150332.[邵明勤, 陈斌, 蒋剑虹. 鄱阳湖越冬雁鸭类的种群动态与时空分布.四川动物. 2016, 35(3): 1–6.]

[5] Wang CX, Xia SX, Yu DK *et al*. Temporal and spatial distribution characteristics and hotspot area identification of wintering geese in Lake Poyang. Journal of Lake Sciences, 2024, 36: 836–845. DOI: 10.18307/2024.0001.[王晨溪，夏少霞，余定坤等. 鄱阳湖越冬雁类时空分布特征及热点区域识别.湖泊科学, 2024, 36:836-845.]

[6] Hu ZP, Zhang ZF. Liu YZ *et al*. The function and significance of the Shallow-Lakes in the Poyang Lake wetland ecosystem. Jiangxi Hydraulic Science & Technology. 2016, 41(5): 317–323. DOI: 10. 3969/j.issn. 1004-4701. 2015. 05. 01.[胡振鹏, 张祖芳,刘以珍等. 碟形湖在鄱阳湖湿地生态系统的作用和意义. 江西水利科技, 2016, 41(5): 317–323.]

[7] Guo M, Yu DK, Li Z et al. The impact of extreme droughts on aquatic macrophyte communities in the sub-lakes of Poyang Lake. Journal of Ecology and Rural Environment. 2024, 40(6):790-798. DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2023.1045. [郭敏, 余定坤, 李浙等.极端干旱对鄱阳湖碟形湖水生植物群落的影响. 生态与农村环境学报, 2024, 40(6): 790–798.]

[8] Xiao LY, Zhang WW. Distribution and Variation Law of Drought and Flood in Multi-scale in Poyang Lake Basin Based on SPI. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017, 59:012059. DOI: 10.1088/1755-1315/59/1/012059。

[9] Li XH, Ye XC, Li Z *et al*. Hydrological drought in two largest river-connecting lakes in the middle reaches of the Yangtze River, China. Hydrology Research. 2023, 54(1): 82-98. DOI:10.2166/nh.2023.110

[10] Qi SH, Zhang XX, Jiang F. Research on the causes for hydrological drought trend in Poyang Lake. Journal of Natural Resources. 2019, 34(1):168-178. DOI: 10.31497/zrzyxb.20190114.[齐述华，张秀秀，江丰等. 鄱阳湖水文干旱化发生的机制研究.自然资源学报, 2019, 34(1):168-178.]

[11] Nilsson L, Olsson C, Elmberg J. Leapfrog migration and residents: New migratory habits in Swedish Greylag geese. Ecology And Evolution, 2022,12(3): e8740. DOI: 10.18805/ijar.B-1069.

[12] Lu H, Sello CT, Liu C *et al*. Expression patterns and immunohistochemical analysis of ERK, HRAS and MEK1 proteins during ovarian prehierarchical follicular development in Zi geese (Anser cygnoides). Indian Journal of Animal Research, 2022, 56(7):790-795. DOI: 10.18805/ijar.B-1069.

[13] Anna M, Calvert, Gilles G *et al*. Spatiotemporal heterogeneity of greater snow goose harvest and implications for hunting regulations. Journal of Wildlife Management, 2005, 69(2):561-573. DOI: 10.2193/0022-541X(2005)069[0561:SHOGSG]2.0.CO;2.

[14] Bridge ES, Thorup K, Bowlin MS *et al*. Technology on the move: Recent and forthcoming innovations for tracking migratory birds. BioScience, 2011, 61(9): 689–698. DOI: 10.1525/bio.2011.61.9.7.

[15] Zhang C, Li YK, Ren Q et al. Species diversity, spatial distribution and protection strategies of wintering waterbirds after extreme summer flood in Lake Poyang. Journal of Lake Sciences, 2022, 34(5):1584-1595.DOI:10.18307/2022.0528.[张超,李言阔,任琼，等. 鄱阳湖夏季极端水位条件下越冬水鸟多样性,空间分布及其保护对策.湖泊科学, 2022, 34(5):1584-1595.DOI:10.18307/2022.0528.]

[16]Tang GH, Hu ZP. Change characteristics of historical flood and drought disasters in Poyang Lake basin with a view to climate change. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(8): 1274-1283. DOI:10.11870/ cjlyzyyhj201708017. [唐国华, 胡振鹏.气候变化背景下鄱阳湖流域历史水旱灾害变化特征.长江流域资源与环境, 2017, 26(8):1274-1283.
[17]Wu Q, Zhang CM, Xu B *et al*. Change characteristics of key climate factors in Poyang Lake region. Journal of Arid Meteorology, 2020, 38(3):371-379, DOI:10.11755/j.issn.1006 - 7639(2020) -03 -0371.[吴琼,张超美,许彬,等.鄱阳湖区域关键气候要素变化特征. 干旱气象, 2020, 38(3): 371-379.]
[18]Zhang N, Li YK, Shan JH *et al*. Community structure, abundance and spatial distribution of water birds wintering in Poyang Lake wetland. Journal of Lake Sciences, 2019, 31(1):183-194. DOI:10.18307/2019.0117.[张娜,李言阔,单继红等.鄱阳湖枯水期延长背景下越冬水鸟群落结构、丰富度及其空间分布格局.湖泊科学, 2019, 31(1):183-194.]
[19] Joo R, Boone M E, Clay T A *et al*. Navigating through the R packages for movement. Journal of Animal Ecology, 2020, 89(1): 248–267. DOI: 10.1111/1365-2656.13116.
[20] Clément C. The package "adehabitat" for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. Ecological Modelling, 2006, 197(3-4):516-519. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.03.017.
[21] Dronova I, Beissinger S, Burnham JM *et al.* Landscape-level associations of wintering waterbird diversity and abundance from remotely sensed wetland characteristics of Poyang Lake. Remote Sensing, 2016, 8(6): 462-484. DOI:10.3390/rs8060462.
[22] Damba I, Zhang JJ, Yi KP *et al*. Seasonal and regional differences in migration patterns and conservation status of Swan Geese (Anser cygnoides) in the East Asian Flyway. Avian Research, 12(1):73-87. DOI: 10.1186/s40657-021-00308-y.
[23] Wang CX, Xia SX, Yu XB *et al.* It takes two to Tango: Plant height and nutrient level determine the diet selection of wintering geese in Poyang Lake, a Ramsar wetland. Global Ecology and Conservation, 2024, 49: e02802. DOI：10.1016/j.gecco.2024.e02802.
[24] Zhang XC, Qin HM, Jin BS *et al.* Distribution in winter buds of submerged macrophyte and their contribution for herbivorous waterfowl in a shallow dish lake of Poyang Lake. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(22): 6589-6596. DOI:10.5846/stxb201310242563.[张笑辰, 秦海明, 金斌松等.鄱阳湖浅碟湖泊沉水植物冬芽的分布及对植食水鸟的食物贡献.生态学报, 2014, 34(22):6589-6596.]
[25] Wang CX, Yu XB, Xia SX *et al*. Potential habitats and their conservation status for Swan Geese (Anser cygnoides) along the East Asian Flyway. Remote Sensing, 2022, 14(8):1899-1913. DOI:10.3390/rs14081899.
[26] Li W, Wang X, He L *et al*. The responses of growth and vegetative reproduction of wetland plants in Poyang Lake to duration of submergence. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(22):8176-8183. DOI:10.5846/stxb201708311573.[李文, 王鑫, 何亮等.鄱阳湖洲滩湿地植物生长和营养繁殖对水淹时长的响应. 生态学报, 2018, 38(22):8176-8183.]
[27] Liu Y, Guo HC, Zhou F *et al*. Role of water level fluctuation on aquatic vegetation in lakes. Acta Ecologica Sinica, 2006, 29(6):3117-3126. [刘永，郭怀成，周丰等.湖泊水位变动对水生植被的影响机理及其调控方法.生态学报, 2006，29(6):3117-3126.]
[28] Bai J, Zhang H, Zhou H, et al. Winter coexistence in herbivorous waterbirds: Niche differentiation in a floodplain, Poyang Lake, China. Ecology and Evolution, 2021, 11(23): 16835-16848.
[29] Paxton K L, Moore F R. Connecting the dots: Stopover strategies of an intercontinental migratory songbird in the context of the annual cycle. Ecology and Evolution, 2017, 7(17): 6716-6728.
[30] Kölzsch, A., et al. (2016). Towards a new understanding of migration timing: slower spring than autumn migration in geese reflects different decision rules for stopover use and departure. Oikos, 125(10), 1496–1507.
[31] Lisovski, S., et al. (2024). Stopover strategies drive potential adaptability under changing environments. Proceedings of the National Academy of Sciences, 121(12), e2406694121.
[32] Drent, R. H., et al. (2007). Migratory connectivity in Arctic geese: spring stopovers are the weak links in meeting targets for breeding. Journal of Ornithology, 148(2), 501–514.
[33] Fox AD, Abraham KF. Why geese benefit from the transition from natural vegetation to agriculture. Ambio - A Journal of the Human Environment, 2017, 46(2):188–197. DOI:10.1007/s13280-016-0879-1.
[34] Wang CX, Xia SX, Yu XB *et al*. Responses to extreme drought in wintering waterbirds: a multi-species approach. Frontiers in Zoology, 2025, 22(1):3-18. DOI:10.1186/s12983-025-00557-3.
[35] Zha DD, Zhao BB, Zhou ZZ *et al.* Vigilance pattern adjustments in two dominant geese species as responses to foraging habitat shift in degrading wetlands. Waterbirds, 2019, 42(2):188-197. DOI:10.1675/063.042.0205.
[36] McGinness HM, Lloyd - Jones LR, Robinson F *et al*. Satellite telemetry reveals complex mixed movement strategies in ibis and spoonbills of Australia: implications for water and wetland management. Movement Ecology, 2024,12(1):74-92. DOI:10.1186/s40462-024-00515-4.
[37] Laver PN, Kelly MJ. A critical review of home range studies. The Journal of Wildlife Management, 2008, 72(1):290–298. DOI:10.2193/2005-589.
[38] Luca B, Novella F, Giampiero DM *et al.* Effects of sampling regime on the mean and variance of home range size estimates. Journal of Animal Ecology, 2006, 75(6):1393–1405. DOI:10.1111/j.1365-2656.2006.01164.x.
[39] Zhang YL, Qin BQ, Zhu GW *et al.* Importance and main ecological and environmental problems of lakes in China. Chinese Science Bulletin, 2022, 67(30):3503-3519. DOI:10.1360/TB-2022-0178.[张运林，秦伯强，朱广伟.论湖泊重要性及我国湖泊面临的主要生态环境问题. 科学通报, 2022, 67(30):3503-3519.]
[40] Yi YJ, Lin CQ, Tang CH. Hydrology, environment and ecological evolution of Lake Baiyangdian since 1960s. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(5):1333-1347. DOI: 10.18307/2020.0500.[易雨君，林楚翘，唐彩红.1960s 以来白洋淀水文、环境、生态演变趋势.湖泊科学，2020，32(5):1333-1347.]
[41] Yuan X, Sun YY, Wang JP *et al.* Comprehensive utilization of water resources in the Yellow River Delta for waterfowl habitat restoration. Resources Science, 2020, 42(1):104-114. DOI: 10.18402/resci.2020.01.11.[袁秀, 孙燕燕, 王计平等.基于水鸟栖息地恢复的黄河三角洲水资源综合利用策略. 资源科学, 2020, 42(1):104–114.]
[42]Wang CX, Xia SX, Yu XB *et al.* Timing mowing for maximal energy gain - Managing foraging habitat of wintering geese under extreme drought conditions. Journal of Environmental Management, 2024, 370 (1): 122360. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.122360.
[43]Ye SY, Pei LX, He L *et al*. Wetlands in China: Evolution, Carbon Sequestrations and Services, Threats, and Preservation/Restoration. Water, 2022, 14(7):1152. DOI:10.3390/w14071152.

附表 I　本研究所涉及的 125 个碟形湖及其基本信息

Appendix I: The 125 sub-lakes involved in this study and their basic information

编号	湖名	面积/km^2	保护状态
1	1	6.84	保护区外
2	2	1.42	保护区外
3	3	8.28	保护区外
4	4	6.30	保护区外
5	5	4.98	保护区外
6	6	4.39	保护区外
7	7	2.52	保护区外
8	8	2.25	保护区外
9	9	4.56	保护区外
10	10	1.54	保护区外
11	11	1.66	保护区外
12	12	4.17	保护区外
13	13	2.29	保护区外
14	14	1.90	保护区外
15	15	6.08	保护区外
16	16	3.57	保护区外
17	17	1.57	保护区外
18	18	0.55	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
19	19	4.07	保护区外
20	20	1.32	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
21	21	2.06	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
22	22	4.07	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
23	23	1.30	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
24	24	3.43	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
25	25	1.02	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
26	26	2.21	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
27	27	1.33	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
28	28	0.78	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
29	29	3.80	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
30	30	9.06	保护区外
31	31	8.40	保护区外
32	32	8.88	江西鄱阳湖国家级自然保护区
33	33	5.78	江西鄱阳湖国家级自然保护区
34	34	8.67	保护区外
35	35	7.50	江西鄱阳湖国家级自然保护区
36	36	5.13	保护区外
37	37	2.51	江西鄱阳湖国家级自然保护区
38	38	7.94	江西鄱阳湖国家级自然保护区
39	扒湖	6.88	江西鄱阳湖国家级自然保护区

40	白池湖	1.29	保护区外
41	白沙湖	5.82	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
42	蚌湖	71.20	江西鄱阳湖国家级自然保护区
43	北角湖	10.71	保护区外
44	北口湖	3.07	保护区外
45	北口湾	10.58	保护区外
46	边湖	5.44	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
47	蚕豆湖	26.97	江西鄱阳湖国家级自然保护区
48	草湾湖	14.11	保护区外
49	草鱼角湖	6.87	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
50	茶塘湖	2.92	保护区外
51	茶叶港	2.74	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
52	常湖	6.75	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
53	常湖池	5.28	江西鄱阳湖国家级自然保护区
54	程家池	11.86	保护区外
55	池洲湖	14.18	江西鄱阳湖国家级自然保护区
56	大汊湖	37.25	江西鄱阳湖国家级自然保护区
57	大场湖北汊湖	11.63	保护区外
58	大车荒	6.28	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
59	大湖池	34.30	江西鄱阳湖国家级自然保护区
60	大莲子湖	26.70	保护区外
61	大沙坊湖	17.82	保护区外
62	大伍湖	9.19	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
63	大野湖	11.19	保护区外
64	东江湖	2.95	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
65	董家湖	11.61	江西鄱阳湖国家级自然保护区
66	独洲湖	14.15	保护区外
67	二水湖	1.79	保护区外
68	饭湖	11.09	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
69	红兴湖	5.01	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
70	猴狮湖	1.81	保护区外
71	芰湖	2.64	保护区外
72	鲫鱼湖	7.48	保护区外
73	交汊湖	7.53	保护区外
74	九龙湖	7.50	保护区外
75	坎下湖	6.67	保护区外
76	林充湖	28.27	保护区外
77	菱角湖	9.34	江西鄱阳湖国家级自然保护区
78	流芳湖	7.23	保护区外
79	六潦湖	8.67	保护区外
80	梅西湖	2.68	江西鄱阳湖国家级自然保护区
81	铭溪湖	7.74	保护区外

82	磨盘洲	1.38	保护区外
83	南湖	9.88	保护区外
84	南湖共青	8.53	保护区外
85	南尖湖	3.50	保护区外
86	南口湖	6.58	保护区外
87	泥湖	22.02	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
88	牛轭湖	25.52	保护区外
89	盘湖	3.09	保护区外
90	七金湖	3.40	保护区外
91	企湖	15.38	保护区外
92	三湖	14.08	保护区外
93	三泥湾	8.91	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
94	三水湖	3.47	保护区外
95	沙湖	14.77	江西鄱阳湖国家级自然保护区
96	沙塘池	5.43	保护区外
97	山南湖	2.71	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
98	上北甲	7.74	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
99	上段湖	13.06	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
100	上港湖	4.09	保护区外
101	上深湖	3.57	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
102	上水湾下水湾	2.94	保护区外
103	石湖	3.59	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
104	双岭湖	7.36	保护区外
105	四望湖	5.04	保护区外
106	太阳湖	7.41	保护区外
107	晚湖	5.82	保护区外
108	王罗湖	11.52	保护区外
109	西湖	7.70	保护区外
110	下北甲	3.72	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
111	下段湖	6.79	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
112	下深湖	6.03	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
113	象湖	3.54	江西鄱阳湖国家级自然保护区
114	小滩湖	5.88	江西鄱阳湖国家级自然保护区
115	雪湖	11.91	保护区外
116	杨家湖	3.41	江西鄱阳湖国家级自然保护区
117	云湖	6.78	保护区外
118	战备湖	2.69	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区
119	湛公湖	7.92	保护区外
120	长湖	4.26	保护区外
121	中湖池	6.50	江西鄱阳湖国家级自然保护区
122	周边湖	5.91	江西鄱阳湖国家级自然保护区
123	朱湖	0.81	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区

124	朱市湖	2.96	江西鄱阳湖国家级自然保护区
125	竹筐子湖	5.11	保护区外

附表 II 本文中三种雁类卫星追踪数据的信息

Appendix II: Satellite tracking data information for the three goose species in this study.

物种	编号	开始时间	结束时间	有效时间/天
白额雁	31545181	2019-11-29	2020-3-15	107
白额雁	31564026	2019-11-29	2020-3-15	107
白额雁	31564448	2019-11-29	2020-4-1	124
白额雁	31565015	2019-10-28	2020-5-15	200
白额雁	31565130	2019-11-29	2020-3-16	108
白额雁	31565346	2019-10-28	2021-5-11	561
白额雁	31565460	2019-10-28	2021-4-15	535
白额雁	31565890	2019-11-29	2020-3-20	112
白额雁	32962464	2018-10-1	2020-5-15	592
白额雁	34486801	2018-10-1	2022-5-8	1315
白额雁	34487221	2018-10-22	2020-5-13	569
白额雁	34491660	2018-10-22	2020-3-22	517
白额雁	34532711	2018-10-22	2024-7-28	2106
白额雁	34532851	2018-10-22	2021-5-11	932
白额雁	34600930	2018-10-22	2020-5-13	569
白额雁	34601672	2018-10-22	2023-2-1	1563
白额雁	35712704	2023-2-24	2025-3-3	738
白额雁	38403901	2018-10-22	2023-11-4	1839
白额雁	38404131	2018-10-22	2022-5-18	1304
白额雁	38503163	2018-10-22	2022-5-10	1296
白额雁	38506984	2018-10-22	2024-5-15	2032
白额雁	38523500	2018-10-22	2021-6-6	958
白额雁	38535736	2018-10-22	2022-5-14	1300
白额雁	38535785	2018-10-22	2023-4-4	1625
白额雁	38546790	2019-10-28	2020-5-17	202
白额雁	39005978	2019-3-5	2021-2-1	699
白额雁	39006802	2019-3-5	2020-5-15	437
白额雁	39020795	2019-3-5	2020-3-19	380
白额雁	39044381	2019-3-5	2023-5-12	1529
白额雁	39047764	2019-3-5	2021-3-10	736
白额雁	39054794	2020-3-14	2020-4-19	36
白额雁	39074552	2019-10-28	2021-5-11	561
白额雁	39074677	2019-3-5	2020-4-7	399
白额雁	39190788	2019-3-5	2025-3-3	2190
白额雁	39190929	2019-3-5	2019-3-29	24

白额雁	40627500	2020-3-4	2025-2-6	1800
白额雁	46104714	2023-2-24	2025-3-3	738
豆雁	31545710	2019-3-2	2023-11-3	1707
豆雁	31548706	2019-3-2	2023-5-6	1526
豆雁	31564422	2019-3-7	2024-5-4	1885
豆雁	31580485	2019-3-6	2023-5-12	1528
豆雁	31614177	2019-3-2	2024-5-16	1902
豆雁	35296542	2022-3-9	2024-5-15	798
豆雁	35411968	2022-3-9	2024-5-22	805
豆雁	35414202	2023-3-1	2024-5-5	431
豆雁	35663501	2023-3-5	2024-4-28	420
豆雁	35677469	2023-2-13	2024-4-29	441
豆雁	35685017	2022-3-9	2024-5-6	789
豆雁	35685124	2023-3-12	2024-5-3	418
豆雁	35691676	2022-12-28	2024-4-26	485
豆雁	35693284	2023-2-24	2024-5-6	437
豆雁	35696238	2022-3-9	2024-5-22	805
豆雁	35705963	2022-2-24	2024-5-14	810
豆雁	35706748	2022-3-9	2024-5-7	790
豆雁	35707738	2023-3-5	2024-5-5	427
豆雁	35712183	2022-12-28	2024-5-4	493
豆雁	35713298	2022-12-21	2024-5-3	499
豆雁	35760232	2023-3-12	2024-5-1	416
豆雁	39006836	2019-3-2	2024-3-22	1847
豆雁	39154032	2019-3-2	2024-5-15	1901
豆雁	39156060	2019-3-2	2023-11-17	1721
豆雁	40625793	2020-3-4	2024-1-12	1409
豆雁	40628714	2020-3-4	2021-3-1	362
豆雁	40659768	2019-12-6	2024-4-28	1605
豆雁	46061732	2023-2-13	2024-4-29	441
鸿雁	35679473	2023-2-17	2024-5-22	460
鸿雁	35681552	2023-12-8	2024-5-23	167
鸿雁	35684234	2022-12-21	2024-5-23	519
鸿雁	35697350	2023-2-18	2024-4-10	417
鸿雁	35711375	2022-3-9	2024-5-15	798
鸿雁	35711854	2023-2-12	2024-4-14	427
鸿雁	35738436	2022-12-21	2024-4-4	470
鸿雁	35746363	2023-2-17	2024-5-22	460
鸿雁	35752916	2023-2-24	2024-5-22	453
鸿雁	39022916	2019-2-12	2021-4-6	784
鸿雁	39067283	2019-2-12	2023-9-15	1676
鸿雁	39068505	2019-2-12	2023-7-27	1626

鸿雁	39073075	2019-2-12	2020-4-25	438
鸿雁	39073083	2019-1-8	2020-7-27	566
鸿雁	39076136	2019-2-12	2020-9-29	595
鸿雁	39154396	2019-2-27	2022-5-4	1162
鸿雁	39154719	2019-3-5	2022-2-26	1089
鸿雁	40629266	2020-3-4	2023-12-27	1393
鸿雁	40643705	2020-3-4	2022-4-17	774
鸿雁	40660840	2020-3-4	2024-5-20	1538
鸿雁	40660964	2020-3-4	2022-4-8	765
鸿雁	40686704	2020-3-4	2024-2-14	1442