

新疆那拉提国家湿地公园侏鸬鹚 繁殖种群的发现及其巢址特征

何欣瞳^① 汪卉^{①②} 唐本高^③ 库尔班江·哈那哈提^④
廖红梅^④ 刘忠军^⑤ 陈德^{①*}

① 北京师范大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京师范大学生命科学学院 北京 100875;

② 自然科学高等研究院生物科技研究中心, 北京师范大学 珠海 519087; ③ 新疆新源县林业和草原局 新源 835199;

④ 新疆伊犁哈萨克自治州林业和草原局 伊宁 835099;

⑤ 新疆维吾尔自治区林业和草原局野生动植物保护管理处 乌鲁木齐 830000

摘要: 侏鸬鹚 (*Microcarbo pygmaeus*) 是体型最小的鸬鹚, 国内曾多年未有记录, 直至 2018 年在新疆玛纳斯湿地被重新发现, 但无繁殖记录。2024 年 5 月 20 日至 6 月 23 日期间, 本研究利用无人机航拍调查, 在新疆那拉提国家湿地公园的芦苇湿地内发现侏鸬鹚繁殖巢 25 巢, 雏鸟 121 只, 平均窝雏数 (3.9 ± 1.1) 只 ($n = 15$), 平均巢间距 (30.39 ± 1.35) m ($n = 24$)。进一步分析发现, 侏鸬鹚和同域繁殖的普通鸬鹚 (*Phalacrocorax carbo*) 巢址在种内呈聚集分布模式, 而在种间则呈现显著的回避趋势。此次发现是侏鸬鹚在我国的首次繁殖记录, 表明新疆那拉提国家湿地公园是侏鸬鹚的重要繁殖地, 亟待进一步开展繁殖生态学监测和保育工作。

关键词: 侏鸬鹚; 那拉提; 新疆伊犁河谷; 集群繁殖; 无人机航拍; 最近邻距离分析

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2025) 04-597-10

Discovery of the Breeding Population of Pygmy Cormorant *Microcarbo pygmaeus* and Their Nest-Sites Characteristics in Nalati National Wetland Park, Xinjiang

HE Xin-Tong^① WANG Hui^{①②} TANG Ben-Gao^③ KUERBANJIANG Hanahati^④
LIAO Hong-Mei^④ LIU Zhong-Jun^⑤ CHEN De^{①*}

① Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, College of Life Sciences, Beijing Normal

University, Beijing 100875; ② Centre for Biological Science and Technology, Advanced Institute of Natural Sciences, Beijing Normal

University, Zhuhai 519087; ③ Xinyuan Forestry and Grassland Administration, Xinyuan 835199; ④ Xinjiang Ili Kazakh Autonomous

Prefecture Forestry and Grassland Administration, Yining 835099; ⑤ Wildlife Protection and Management Center, Xinjiang Uygur

基金项目 腾讯公益慈善基金会和山水自然保护中心发起的“神奇生物大发现小额赠款”项目, 生物多样性与生态工程教育部重点实验室自主课题 (No. Z202401);

* 通讯作者, E-mail: chende@bnu.edu.cn;

第一作者介绍 何欣瞳, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: 202321200066@bnu.edu.cn.

收稿日期: 2024-07-11, 修回日期: 2024-12-08 DOI: 10.13859/j.cjz.202524167 CSTR: 32109.14.cjz.24167

Autonomous Region Forestry and Grassland Administration, Urumqi 830000, China

Abstract: The Pygmy Cormorant *Microcarbo pygmaeus* is the most diminutive member of the cormorant family. It had not been sighted in China for many years until it was rediscovered at the Manas Wetland in Xinjiang in 2018, but no breeding records had been observed yet. From May 20 to June 23, 2024, we used a drone to discover 25 Pygmy Cormorant nests, containing 121 chicks in the reed wetlands of Nalati National Wetland Park, Xinjiang (Figs. 1, 2). The average brood size was 3.9 ± 1.1 chicks ($n = 15$), and the average distance between nests was 30.39 ± 1.35 m ($n = 24$). Using Nearest Neighbor Analysis, we analyzed the spatial distribution characteristics of the nests. The analysis revealed that the nesting sites of Pygmy Cormorants exhibiting an aggregated distribution pattern within the species, while showing a significant avoidance pattern when compared to Great Cormorant *Phalacrocorax carbo*, which breeds in the same area (Tables 2, 3, Fig. 3). This discovery marks the first recorded breeding occurrence of the Pygmy Cormorant in China, and highlights the Nalati National Wetland Park as a critical breeding habitat for this species. Further ecological monitoring and conservation efforts are urgently needed to support the breeding population in this region.

Key words: Pygmy Cormorant, *Microcarbo pygmaeus*; Nalati; Xinjiang Ili Valley; Colonial breeding; Unmanned aerial vehicle aerial photography; Nearest neighbor analysis

侏鸬鹚 (*Microcarbo pygmaeus*) 隶属于鸬鹚目 (Suliformes) 鸬鹚科 (Phalacrocoracidae), 是世界上体型最小的鸬鹚。该物种在全球呈不连续分布, 其分布区自欧洲东南部和土耳其, 向东至哈萨克斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦和乌兹别克斯坦等中亚地区, 向南至以色列和伊拉克 (Orta et al. 2020, BirdLife International 2024)。20 世纪后半叶, 由于干旱等极端天气和农业排水、河流人工调控导致的湿地减少和退化, 以及商业用途的捕猎等原因, 侏鸬鹚在欧洲的繁殖种群数量曾持续下降 (Orta et al. 2020)。在对其开展保护行动后, 其繁殖种群数量开始逐步回升 (Crivelli et al. 1996, Kreuzberg-Mukhina 2008, Łukasz et al. 2012, Keller et al. 2020, Orta et al. 2020, Dobrev 2023), 目前全球种群数量估计在 45 000 ~ 139 999 只 (BirdLife International 2024)。

侏鸬鹚在中国的分布最早见于 1936 年出版的 *The Birds of Kashgaria* (《喀什噶尔的鸟类》) (Sudilovskaia 1936), 当时记录分布于新疆喀什地区, 此后多年未有记录, 因此 1949

年后我国很多鸟类分布名录中没有将其收录 (郑作新 1987, 1994, 郑光美 2017)。2018 年 11 月, 观鸟爱好者在新疆玛纳斯湿地发现 40 余只侏鸬鹚, 此后 2018 至 2022 年连续 4 个冬季在北疆多个地区观察到稳定的越冬种群, 在南疆喀什与和田地区也偶有发现, 越冬种群数量约有 160 ~ 190 只, 且呈逐年增加趋势 (蒋可威等 2022)。近年来, 在新疆多次记录到了侏鸬鹚在夏季出现的现象。中国观鸟记录中心 (<https://www.birdreport.cn/>) 数据以及我们的实地考察和访谈结果均显示, 2022 至 2024 年夏季期间, 新疆那拉提国家湿地公园均有侏鸬鹚个体的稳定观察记录。

侏鸬鹚的繁殖季为 4 ~ 7 月, 常与普通鸬鹚 (*Phalacrocorax carbo*)、大白鹭 (*Ardea alba*) 等其他水鸟集群营巢, 通常选择在临水的树、灌木或芦苇丛中筑巢 (Orta et al. 2020)。2023 年, 在那拉提国家湿地公园西侧发现了水鸟集群繁殖巢区, 繁殖鸟类包括普通鸬鹚、大白鹭、苍鹭 (*A. cinerea*)、夜鹭 (*Nycticorax nycticorax*)、白琵鹭 (*Platalea leucorodia*)、彩鹮 (*Plegadis*

falcinellus) 等 (白芙蓉等 2023), 与文献资料记载的侏鸕繁殖生境相符。

水鸟繁殖巢的地面调查通常采用独木舟或步行涉水的方式接近巢址, 对鸟类干扰较大, 且常常受到巢区可达性的限制 (Hodgson et al. 2016, Rümmler et al. 2016, Valle et al. 2019)。近年来, 无人机在生态保护和环境监测领域的应用逐渐增多, 并展现出显著的优势。因此, 本研究使用无人机对那拉提国家湿地公园范围内的芦苇湿地开展航拍调查, 查明公园范围内是否有侏鸕繁殖, 并在此基础上, 探究侏鸕的巢址分布特征及其与同域繁殖普通鸕巢址的空间关系。

1 研究方法

1.1 无人机航拍调查

研究区域位于中国新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州新源县的那拉提国家湿地公园, 主要生境类型为芦苇沼泽湿地, 总面积 12 804.81 hm², 属温带大陆性气候。2024 年 5 月 20 日至 6 月 23 日期间, 使用大疆“御”3 行业版航拍飞行器 (DJI Mavic M3T, 深圳市大疆创新科技有限公司), 在湿地公园范围内开展 2 次系统的航拍调查, 寻找水鸟集群繁殖巢区, 并通过现场目视观察和后期影像辨认确定区域内是否有侏鸕繁殖巢。

为进一步调查侏鸕繁殖巢的数量和特征, 在巢区范围内设置 2 个 50 m × 200 m 样区, 使用 QGIS 3.34.1 在每个样区内分别绘制一条可以完整覆盖样区面积的独立调查航线。两条独立航线在交界处设置 5% 的影像重叠率, 以确保巢区内影像的连续性和完整性, 在目视识别时对重叠区域内巢点只进行一次标注, 避免重复计数。经文献调研和实地观察, 巢区内大部分繁殖水鸟对在 30 ~ 60 m 高度进行航拍拍摄的飞行器无明显负面反应 (惊飞、攻击飞行器等行为) (Irigoin-Lovera et al. 2019), 且该高度下拍摄的可见光图像清晰度能够满足物种识别要求。航线及航拍飞行器飞行参数设置如

下: 航线间距 6 m, 飞行高度 60 m, 起飞垂直速度 5 m/s, 飞行接近巢区水平速度 3 m/s, 航线水平飞行速度 1 m/s, 间隔 2 s 定时拍摄, 每条独立航线长度均为 1.89 km。起飞点距巢区直线距离在 3 km 以外, 两条独立航线连续执行。为减少对鸟类繁殖的干扰, 调查只在晴朗、无风的天气状况下进行, 完成两条独立航线飞行计为一次完整采样。

1.2 侏鸕繁殖巢计数与结构特征测量

使用 DotDotGoose (v1.7.0) (Ersts 2024) 识别和计数航拍照片中侏鸕巢, 将航拍影像依次导入软件, 使用不同颜色的标签对识别出的侏鸕巢、成鸟和雏鸟进行人工标注, 并在每批影像处理完成后复核是否存在误认或遗漏。确定结果无误后, 保存标注文件 “.pnt”, 设置“碎片”(chips) 尺寸为 500 × 500 像素并保存, 导出所有包含侏鸕巢标注点的“覆盖”(overlay) 影像, 以备后续巢址形态特征测量和绘制空间分布时使用。

使用 Adobe Photoshop 2020 中的标尺工具测量“碎片”中侏鸕巢的结构特征, 包括巢的内径和外径。首先使用画笔工具手动标记巢址的内径 (当影像中有成鸟趴在巢中时, 选取成鸟胸部至尾羽根部) 和外径, 再使用标尺工具测量标记点间像素距离。地面采样距离 (ground sampling distance, GSD) 可以用于描述影像的空间分辨率, 即相邻两个像素中心在地面上所对应的实际距离。利用 DJI Pilot 获取两次航线调查的地面采样距离均为 0.14 cm/pixel, 并将影像测量距离转换为实际的物理距离。

1.3 侏鸕和普通鸕巢址分布特征比较

为识别侏鸕和普通鸕的巢址分布聚集热点, 并分析两种鸕种内及种间的巢址空间分布模式, 首先在地图上标注巢点位。使用 ExifTool 软件 (<https://github.com/exiftool/exiftool>) 提取航拍原始照片的经纬度坐标信息, 在 QGIS 3.34.1 中使用“地理配准”工具添加控制点并导入图层, 对两个物种的巢分别进行要素点标

注。标注完成后导出巢点位经纬度坐标，并将影像坐标系重投影为 WGS 84/UTM zone 44N。

巢区内可供鸟类筑巢的苇丛被水道或开阔的苇湖分隔，这些不适宜筑巢区域对最近邻分析结果造成的潜在偏差，如巢区面积的高估可能导致实际观测的巢间距显著低于随机期望值结果，使分布模式趋向显著的聚集。因此，本研究参考 McKellar 对亚巢群 (subcolony) 的定义，即区域内至少有一个目标物种的鸟巢分布，且目标物种鸟巢之间未出现超过 15 m 的开放水域间隔 (McKellar 2022)。首先，利用手肘法 (elbow method) 确定聚类类别数 K 值取 2 时较合适，然后在 QGIS 中使用 K 均值聚类算法分析，将巢点位划分为 2 个主要的亚巢群，结合对影像的目视检查验证亚巢群划分结果符合前述定义，最后计算各亚巢群的面积及单位巢密度。

使用 R 4.2.2 的 *geosphere* 包、*spatstat* 包、*geometry* 包计算两种鸬鹚巢的空间分布特征，包括亚巢群内平均巢间距、最大巢间距、巢与最近巢距离和平均质心距离 (average centroid distance)。平均质心距离指一组点的质心 (即几何中心) 与每个点之间的平均距离，可以衡量点的集中或分散程度，描述不同亚巢群内巢点位的空间结构。对各亚巢群内两种鸬鹚的种内及种间巢点位进行最近邻距离分析 (nearest neighbor analysis, NNA)，计算两种鸬鹚巢的观测平均最近邻距离 D_O ，以及假设巢以完全随机分布的方式排列时的期望平均最近邻距离

D_E ：
$$D_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/A}}$$
，式中， n 是该物种的巢总数， A 是该物种巢构成的最小凸多边形的面积。

然后，计算 z 得分，以检验各亚巢群内两种鸬鹚巢的观测平均最近邻距离与期望最近邻距离差异的显著性程度，从而评估巢的空间分布在统计学意义上是否显著，其中 S_E 为标准误差：
$$z = \frac{D_O - D_E}{S_E}$$
。当 $z > 0$ 时，观测平均最近邻距离比期望最近邻距离更大，巢呈分散分布；

当 $z = 0$ 时，观测平均最近邻距离接近于期望最近邻距离，观测分布与随机分布没有显著差异，巢呈随机分布；当 $z < 0$ 时，观测平均最近邻距离小于期望最近邻距离，表明点之间的观测平均距离比随机分布下的距离更小，巢呈聚集分布。使用配对 t 检验评估每一亚巢群-物种组合的观测平均最近邻距离和期望最近邻距离间是否具有显著差异。

2 结果

2.1 侏鸬鹚繁殖种群的发现

2024 年 5 月 20 日，在一个面积约 2 hm² (100 m × 200 m) 的水鸟集群繁殖巢区 (82°40'54"~82°41'03" E, 43°30'58"~43°30'51" N) 中发现了 1 个侏鸬鹚的繁殖巢。该巢筑于芦苇 (*Phragmites australis*) 倒伏的枯秆上，呈浅碗状，巢材由干枯的苇秆组成。一只成鸟趴在巢上，其体型较普通鸬鹚明显偏小，喙部更短，头颈呈深栗色。巢内有雏鸟 1 只，全身裸露，头顶皮肤呈浅粉色，其余部位呈黑色；有卵 3 枚，呈灰白色 (图 1a)。经查阅《中国鸟类观察手册》(刘阳等 2021) 等文献资料，确定拍摄到的在巢成鸟、雏鸟及卵的特征符合侏鸬鹚的鉴定特征。

2.2 侏鸬鹚繁殖种群数量和巢形态特征

调查期间，共对该集群繁殖巢区开展了 2 次航拍调查，累计飞行时间 248 min，飞行距离 47 523 m，拍摄照片 2 905 张。单次飞行统计到的巢区内成鸟最大数量为 43 只，部分巢在两次调查期间均仅拍摄到 1 只亲鸟在巢，因此统计到的成鸟数量少于理论繁殖对数量。此外，识别统计到侏鸬鹚繁殖巢 25 巢，雏鸟 121 只，单个巢的雏鸟数为 (3.9 ± 1.1) 只 ($n = 15$)。部分巢因亲鸟长时间坐巢孵卵或暖雏，巢内雏鸟因遮挡而无法统计个数。发现的所有侏鸬鹚繁殖巢均位于倒伏的芦苇枯秆上 (图 1b)，呈圆形浅碗状，巢外径 (0.46 ± 0.07) m、巢内径 (0.24 ± 0.03) m ($n = 17$)。部分巢因暴雨大风导致结构损坏、巢沿缺损或消失，或被上方芦



图 1 那拉提湿地观察到的侏鸬鹚

Fig. 1 *Microcarbo pygmaeus* observed in Nalati Wetlands

a. 2024 年 5 月 20 日航拍（飞行高度：15 m）发现的侏鸬鹚巢，成鸟趴伏于巢上，巢内有卵和雏鸟；b. 侏鸬鹚巢群；c. 成鸟（拍摄于 2024 年 5 月 2 日）；d. 亚成体（拍摄于 2024 年 6 月 27 日），下喙基部有黑色条纹（红色箭头所示）。

a. Pygmy Cormorant nest discovered by aerial photography on May 20, 2024 (flying altitude: 15 m), with an adult lying on the nest containing eggs and chicks; b. Breeding colony; c. Adult (photographed on May 2, 2024); d. Juvenile (photographed on June 27, 2024), with a black stripe at the base of the lower mandible (indicated by red arrow).

苇严重遮挡，未能测量其内外径。

2.3 侏鸬鹚和普通鸬鹚巢空间分布特征比较

调查区域内还统计到普通鸬鹚繁殖巢 128 巢。依据 K 值聚类分析结果，可以将巢区划分为 A 和 B 两个亚巢群（图 2），其中，亚巢群 A 的面积稍大，包含的巢更多（表 1）。普通鸬鹚巢主要集中在亚巢群 A 内，巢间距差异较大；侏鸬鹚巢则主要集中于亚巢群 B 内，巢间距较普通鸬鹚的更短，分布相对紧密（表 1）。由于亚巢群 A 中仅有 1 个侏鸬鹚巢，因此仅对该巢群内的普通鸬鹚巢进行了最近邻距离分析。两种鸬鹚的巢址在种内均呈现聚集分布模式，而在种间则表现为显著分离（表 2, 3）。

3 讨论

3.1 无人机调查技术在湿地繁殖鸟类监测中的应用潜力

受限于植被遮蔽和水体阻隔，以往对湿地

繁殖鸟类的调查多依赖于传统的地面搜寻，近距离的人为接触可能对鸟类的繁殖造成干扰，且往往需耗费较多时间、人力和物力。相较传统的地面调查，无人机航拍调查成本更低、干扰程度更小，尤其在湿地和岛屿等较难到达的栖息地类型中表现尤为突出，拓宽了生态监测的空间范围和数据获取能力（Junda et al. 2015, Valle et al. 2019, Gallego et al. 2021, Valle et al. 2021）。侏鸬鹚在国内仅见于新疆，以往被认为是冬候鸟（苟军等 2022, 蒋可威等 2022），尽管自 2022 年起，侏鸬鹚在夏季也开始被观察记录，但始终未能确认其是否在国内繁殖。那拉提国家湿地公园属于典型的芦苇沼泽湿地，芦苇丛生，难以利用传统的地面调查方法开展水鸟繁殖巢的调查与监测。本研究利用无人机航拍技术，克服了巢区可达性的限制，确认了侏鸬鹚在我国的繁殖记录并调查了繁殖种群数量，表明无人机技术在水鸟调查监测中具有较

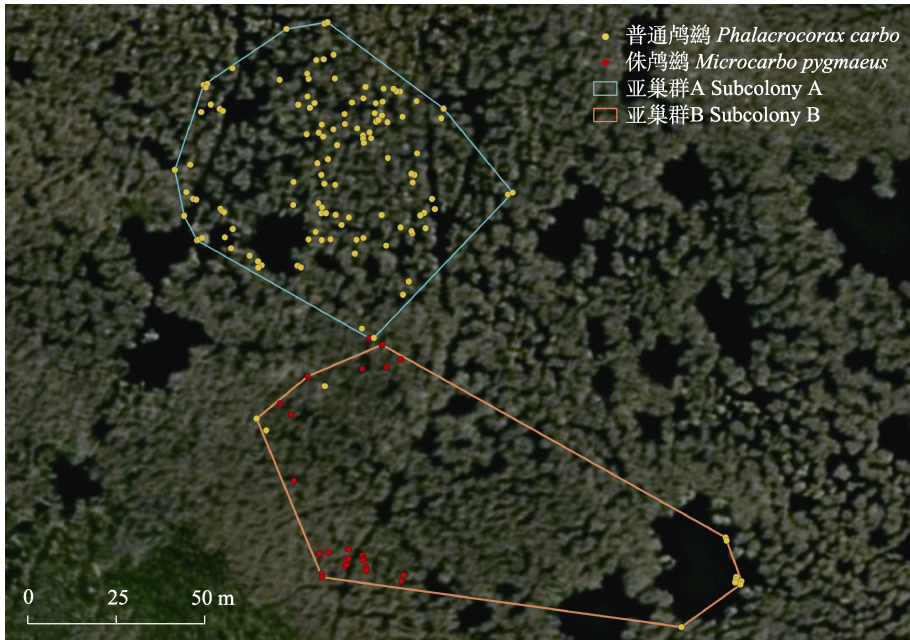


图 2 侏鸕鹚巢和普通鸕鹚巢在两个亚巢群内的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of *Microcarbo pygmaeus* and *Phalacrocorax carbo* nests in two subcolonies

表 1 两个亚巢群中侏鸕鹚和普通鸕鹚种内巢的空间分布特征

Table 1 Spatial distribution characteristics of intraspecific nests of Pygmy Cormorant and Great Cormorant within two subcolonies

亚巢群 Subcolony	物种 Species	巢数量 Nest number	巢区面积 Nest range area (m ²)	巢密度 (巢/hm ²) Nest density (nest/hm ²)	平均巢间距 Average nest distance (m)	最大巢间距 Maximum nest distance (m)	平均质心距离 Average centroid distance (m)
A	普通鸕鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	117	6 218.48	188	36.42 ± 26.26	95.71	26.26 ± 1.06
	侏鸕鹚 <i>Microcarbo pygmaeus</i>	1		2	/	/	49.83
	全部 Total	118		190	36.75 ± 0.22	91.74	47.10 ± 3.91
B	普通鸕鹚 <i>P. carbo</i>	11	5 236.57	21	65.03 ± 8.40	144.56	76.98 ± 5.10
	侏鸕鹚 <i>M. pygmaeus</i>	24		46	30.39 ± 1.35	67.91	33.18 ± 2.23
	全部 Total	35		67	61.13 ± 1.83	53.27	26.03 ± 1.05

高的应用潜力。

除种群数量调查基础外，无人机的高分辨率遥感图像还能为您解答一系列生态学问题，如繁殖生态学特征、巢址空间分布模式、巢址选择、适宜繁殖栖息地预测等提供帮助 (McKellar 2022, Francis et al. 2024)。本研究结合无人机航拍与空间遥感技术，记录了侏鸕鹚的部分繁殖生态学特征，如巢大小、巢形状及窝卵数，结果与欧洲种群基本一致 (Keller et al. 2020,

Orta et al. 2020)，并对侏鸕鹚与普通鸕鹚在种内及种间的巢址空间分布特征进行了初步的探究和比较。

鸟类对无人机的敏感性因物种和生活史阶段的不同而存在显著差异，其中飞行高度是影响鸟类反应的关键因素 (Brisson-Curadeau et al. 2024)。本研究结合前期无人机航拍调查中对鸟类反应的实地观察和相关文献资料，将航线调查时无人机的飞行高度设定为 60 m。在该飞

表 2 两个亚巢群中侏鸬鹚与普通鸬鹚种内巢的最近邻距离分析结果

Table 2 Nearest neighbor distance analysis results for intraspecific nest distribution of Pygmy Cormorant and Great Cormorant within subcolonies

亚巢群 Subcolony	物种 Species	观测平均最近邻距离 Observed mean nearest neighbor distance, D_O	期望平均最近邻距离 Expected mean nearest neighbor distance, D_E	z 得分 z score	P 值 P value
A	普通鸬鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	2.67	3.98	- 3.66	0.000 3
	侏鸬鹚 <i>Microcarbo pygmaeus</i>	/	/	/	/
B	普通鸬鹚 <i>P. carbo</i>	3.23	3.39	- 0.26	0.794 0
	侏鸬鹚 <i>M. pygmaeus</i>	3.38	5.75	- 3.86	0.000 1

$z > 0$, 实际观测点之间的平均最近邻距离比随机分布下的距离更大, 呈分散分布; $z = 0$, 观测分布与随机分布没有显著差异, 呈随机分布; $z < 0$, 实际观测点之间的平均最近邻距离比随机分布下的距离更小, 呈聚集分布。

$z > 0$: The average nearest neighbor distance between the actual observed points is greater than the distance under a random distribution, indicating a dispersed distribution. $z = 0$: The observed distribution shows no significant difference from the random distribution, indicating a random distribution. $z < 0$: The average nearest neighbor distance between the actual observed points is smaller than the distance under a random distribution, indicating a clustered distribution.

表 3 两个亚巢群中侏鸬鹚与普通鸬鹚种间巢的最近邻距离分析结果

Table 3 Nearest neighbor distance analysis results for interspecific nest distribution of Pygmy Cormorant *Microcarbo pygmaeus* and Great Cormorant *Phalacrocorax carbo* within subcolonies

亚巢群 Subcolony	观测平均最近邻距离 Observed mean nearest neighbor distance, D_O	期望平均最近邻距离 Expected mean nearest neighbor distance, D_E	z 得分 z score	P 值 P value
A	54.79	3.98	265.87	< 0.000 1*
B	111.97	6.67	178.79	< 0.000 1*

$z > 0$, 实际观测点之间的平均最近邻距离比随机分布下的距离更大, 呈分散分布; $z = 0$, 观测分布与随机分布没有显著差异, 呈随机分布; $z < 0$, 实际观测点之间的平均最近邻距离比随机分布下的距离更小, 呈聚集分布。

$z > 0$: The average nearest neighbor distance between the actual observed points is greater than the distance under a random distribution, indicating a dispersed distribution. $z = 0$: The observed distribution shows no significant difference from the random distribution, indicating a random distribution. $z < 0$: The average nearest neighbor distance between the actual observed points is smaller than the distance under a random distribution, indicating a clustered distribution.

行高度下, 两个样区内的侏鸬鹚、普通鸬鹚等多种水鸟未表现出明显的异常行为(如恐慌性起飞或持续注视无人机进行警戒)。同时, 考虑到频繁的飞行调查可能引发累积干扰, 导致孵卵时间减少或弃巢风险增加, 为尽量降低干扰风险, 本研究仅进行了两次完整的航拍采样, 未来调查可结合目标物种的行为反应动态优化调查频率和飞行时长等相关参数, 进一步补充繁殖时间及繁殖成效等基础繁殖数据。

3.2 种内集群繁殖的驱动机制

集群繁殖是一种常见的繁殖形式, 这一现

象可能由繁殖资源的分布和集群带来的收益驱动(Wittenberger 1985)。一方面, 繁殖资源往往呈斑块状分布, 个体被局部丰富的优质资源吸引而聚集。这种响应能够降低亲鸟的育雏成本, 提高繁殖成功率和自身存活率(Sachs et al. 2007)。侏鸬鹚和普通鸬鹚的巢址选择广泛, 那拉提湿地大面积的芦苇湿地恰好为它们提供了适宜的繁殖栖息地。同时, 夏季丰水期的巩乃斯河和湿地内的苇湖也为其提供了充沛、稳定的食物资源。因此我们推测, 繁殖资源的时空聚集可能是促使两种鸬鹚种内集群繁殖的动力之一。

另一方面, 繁殖个体在时间和空间上的大量聚集可以通过捕食者饱和效应 (predator satiation effect) 减少自身及幼体被捕食的风险, 提高繁殖成功率。除此之外, 同种个体的繁殖聚集还能提供协同照料幼体、共享资源信息等好处。角鸬鹚 (*Nannopterum auritum*) 和普通鸬鹚的幼鸟会在双亲外出觅食时聚集形成“托儿所 (crèche)”, 即不同巢的多只幼鸟组成群体, 由几只成鸟轮流进行育雏和觅食, 这样的集体照顾方式可以显著提高幼鸟的存活率 (Hatch et al. 2020, Dorr et al. 2021)。在本调查期间, 我们也记录到侏鸬鹚不同巢的幼鸟聚集形成群体 (图 2b), 未来可通过更长期的监测, 探究这种聚集行为与“托儿所”现象是否相同, 对侏鸬鹚的繁殖成效有无影响。

信息中心假说 (information center hypothesis) 认为, 聚集的群体可以通过交换社会信息获取觅食线索 (Barta et al. 2001)。这一假说在同种集群中得到了验证, 如 Weimerskirch 等 (2010) 发现南美鸬鹚 (*P. bougainvillii*) 能够利用同种的社会信息来选择离开栖息地觅食的方向。尽管相较异种间, 种内的个体竞争往往会因为相似的觅食生态位和巢址选择偏好更强烈, 但在本研究中, 对优质繁殖资源的响应和集群协作所带来的收益似乎能够部分抵消种内竞争带来的不利影响, 最终使两种鸬鹚在种内形成聚集的巢址分布模式。

3.3 侏鸬鹚和普通鸬鹚巢空间分布分化特征

两种鸬鹚的巢址分布在所有亚巢群中均表现出显著的种间空间分离。这种分布特征可能与两种鸬鹚的巢址选择偏好差异有关, 也可能是种间竞争引起的生态位分化的结果。侏鸬鹚主要捕食 15 cm 以下的中小型鱼类, 且通常单独或集小群觅食, 而普通鸬鹚能够捕食更加大型的鱼类, 往往集大群进行觅食 (Hatch et al. 2020)。因此, 侏鸬鹚可能倾向于在资源更为分散的小水域或隐蔽性较高的位置筑巢, 以避免与普通鸬鹚的大群觅食活动重叠。食物偏好和觅食策略的差异, 可能是促使两个物种在不同

区域筑巢的原因之一。

但从我们拍摄到的巢址影像观察, 两种鸬鹚均使用芦苇作为主要巢材, 且巢址周边环境条件基本相近, 因此, 种间空间分离更可能是由竞争关系驱动。由于两种鸬鹚的体型大小悬殊, 较小的侏鸬鹚可能在对食物、繁殖资源的竞争中处于弱势地位, 进而对同域繁殖的普通鸬鹚群体采取空间上的回避策略, 以避免因资源重叠而产生竞争压力。其中, 觅食习性和体型差异可能是重要的影响因素。后续研究中, 需要进一步收集两种鸬鹚的巢址特征 (植被覆盖状况、巢高、巢温等)、繁殖特征 (筑巢选择策略、繁殖成功率、幼鸟发育状况等)、形态生理特征 (体型、食性、取食效率等) 等数据, 通过生态位重叠分析或基于个体的模型 (individual-based models, IBM), 探究两种鸬鹚在筑巢空间决策上是否受到竞争关系的影响, 进一步探索在多物种繁殖集体中, 物种间的竞争、生态位分离和资源分配的机制。

3.4 保护建议

近年来, 侏鸬鹚在欧洲及中亚的种群数量持续上升, 栖息地面积也逐步扩大 (Kreuzberg-Mukhina 2008, Łukasz et al. 2012, Dobrev et al. 2023), 新疆地区的侏鸬鹚种群可能是这一扩张趋势的结果。此次新疆那拉提国家湿地公园的发现, 拓展了该物种在全球的繁殖地范围。

那拉提湿地地处新疆伊犁河谷, 是集湿地、河流和草原为一体的多样化生态系统。作为侏鸬鹚在中国境内唯一已知的繁殖地, 那拉提湿地具有极其重要的生态保护价值, 其丰沛的水资源和广袤的芦苇湿地, 同时也为彩鹳、黑鹳 (*Ciconia nigra*)、黑头攀雀 (*Remiz macronyx*)、灰鹤 (*Grus grus*) 等一系列珍稀濒危鸟类提供了适宜的繁殖和栖息环境 (白芙蓉等 2023)。为保护侏鸬鹚及其他野生动植物种群的存续, 迫切需要对那拉提湿地开展全面的物种多样性调查和长期系统的生态监测, 并联合当地科研院所、社区和保护机构, 共同商讨、制定科学系统的调查和保护计划, 为保护区域生物多样

性积累科学依据和实践经验。

致谢 诚挚感谢新疆那拉提国家湿地公园的工作人员和北京师范大学大学生命科学学院张正旺教授及雷维蟠博士在野外调查和论文修改中提供的大量帮助！

参 考 文 献

- Barta Z, Giraldeau L A. 2001. Breeding colonies as information centers: a reappraisal of information-based hypotheses using the producer-scrouter game. *Behavioral Ecology*, 12(2): 121–127.
- BirdLife International. 2024. Species factsheet: Pygmy Cormorant *Microcarbo pygmaeus*. [DB/OL]. [2024-09-12]. <https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/pygmy-cormorant-microcarbo-pygmaeus>.
- Brisson-Curadeau É, Lacombe R, Gousy-Leblanc M, et al. 2024. A meta-analysis of the impact of drones on birds. *Frontiers in Ecology and the Environment*: e2809.
- Crivelli A J, Nazirides T, Jerrentrup H. 1996. Action Plan for the Pygmy Cormorant (*Phalacrocorax pygmaeus*) in Europe. BirdLife International & European Commission, Bruxelles, 23–27.
- Dobrev D, Dobrev V, Hristova P, et al. 2023. Long-term changes in a pygmy cormorant *Microcarbo pygmaeus* wintering population in southern Bulgaria. *Acta Ornithologica*, 57(2): 143–154.
- Dorr B, Hatch J, Weseloh D V. 2021. Double-crested cormorant (*Nannopterum auritum*), version 1.1 // del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J, et al. *Birds of the World*. Ithaca, NY, USA: Cornell Lab of Ornithology.
- Ersts P J. 2024. DotDotGoose (version 1.7.0). American Museum of Natural History, Center for Biodiversity and Conservation. [DB/OL]. [2024-12-06]. https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/dotdotgoose.
- Francis R J, Brandis K J. 2024. Assessment of ground and drone surveys of large waterbird breeding rookeries: a comparative study. *Drones*, 8(4): 135.
- Gallego D, Sarasola J H. 2021. Using drones to reduce human disturbance while monitoring breeding status of an endangered raptor. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7(3): 550–561.
- Hatch J J, Brown K M, Hogan G G, et al. 2020. Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*), version 1.0 // del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J, et al. *Birds of the World*. Ithaca, NY, USA: Cornell Lab of Ornithology.
- Hodgson J C, Baylis S M, Mott R, et al. 2016. Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports*, 6: 22574.
- Irigoien-Lovera C, Luna D M, Acosta D A, et al. 2019. Response of colonial Peruvian guano birds to flying UAVs: effects and feasibility for implementing new population monitoring methods. *PeerJ*, 7: e8129.
- Junda J, Greene E, Bird D M. 2015. Proper flight technique for using a small rotary-winged drone aircraft to safely, quickly, and accurately survey Raptor nests. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(4): 222–236.
- Keller V, Herrando S, Voříšek P, et al. 2020. European Breeding Bird Atlas 2: Distribution, Abundance and Change. Barcelona: Lynx Edicions, 138.
- Kreuzberg-Mukhina E A. 2008. Distribution and population trends of Pygmy Cormorant *Phalacrocorax pygmaeus* in Central Asia, with particular reference to the Republic of Uzbekistan. *Podoces*, 3(1/2): 53–66.
- Lukasz Ł, Khil L, de Vries P. 2012. Expansion of pygmy cormorant in central and western Europe and increase of breeding population in Southern Europe. *Dutch Birding*, 34: 273–288.
- McKellar A E. 2022. Patterns of inter- and intraspecific nest dispersion in colonies of gulls and grebes based on drone imagery. *Journal of Field Ornithology*, 93(2): 4.
- Orta J, Christie D A, Jutglar E, et al. 2020. Pygmy Cormorant (*Microcarbo pygmaeus*), version 1.0 // del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J, et al. *Birds of the World*. Ithaca, NY, USA: Cornell Lab of Ornithology.
- Rümmler M C, Mustafa O, Maercker J, et al. 2016. Measuring the influence of unmanned aerial vehicles on Adélie penguins. *Polar Biology*, 39(7): 1329–1334.
- Sachs J L, Hughes C R, Nuechterlein G L, et al. 2007. Evolution of coloniality in birds: a test of hypotheses with the red-necked grebe (*Podiceps grisegena*). *The Auk*, 124(2): 628–642.
- Sudilovskaiā A M. 1936. *The Birds of Kashgaria*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1–124.
- Valle R G, Scarton F. 2019. Effectiveness, efficiency, and safety of censusing Eurasian oystercatchers *Haematopus ostralegus* by unmanned aircraft. *Marine Ornithology*, 47(1): 81–87.
- Valle R G, Scarton F. 2021. Drone-conducted counts as a tool for the rapid assessment of productivity of Sandwich Terns (*Thalasseus sandvicensis*). *Journal of Ornithology*, 162(2): 621–628.
- Weimerskirch H, Bertrand S, Silva J, et al. 2010. Use of social information in seabirds: compass rafts indicate the heading of

- food patches. *PLoS One*, 5(3): e9928.
- Wittenberger J F, Hunt G L. 1985. The adaptive significance of coloniality in birds. *Avian Biology*, 8: 1–78.
- 白芙蓉, 汪卉, 雷维蟠, 等. 2023. 新疆那拉提国家湿地公园发现我国最大彩鹀繁殖群. *四川动物*, 42(6): 639.
- 苟军, 林宣龙, 刘忠德. 2022. 破解新疆侏鹀百年之谜. *人与生物圈*, (3): 60–63.
- 蒋可威, 梅宇, 马鸣, 等. 2022. 上百只侏鹀在新疆越冬. *动物学杂志*, 57(3): 478–480.
- 刘阳, 陈水华. 2021. 中国鸟类观察手册. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- 郑光美. 2017. 中国鸟类分类与分布名录 (3 版). 北京: 科学出版社.
- 郑作新. 1987. 中国鸟类区系纲要. 北京: 科学出版社.
- 郑作新. 1994. 中国鸟类种和亚种分类名录大全. 北京: 科学出版社.

河北衡水发现红头长尾山雀

Black-Throated Bushtit *Aegithalos concinnus* Found in Hengshui, Hebei, China

2022 年 4 月 19 至 21 日在河北省衡水市衡水学院校园内 (115°39'24" E, 37°44'38" N) 树林中多次发现 2~8 只数量不等的雀形目 (Passeriformes) 鸟类, 并拍摄到其中 1 只 (图 1)。该鸟头顶栗红色, 过眼纹宽而黑, 黑色的喉部与栗色的胸带、两胁在白色腹面醒目点缀, 背部灰色。经查阅《中国鸟类观察手册》(刘阳等 2021)、《中国鸟类图志》(段文科等 2015), 确定该鸟为红头长尾山雀 (*Aegithalos concinnus*), 进一步查阅《中国鸟类分类与分布名录》(郑光美 2023) 和中国观鸟记录中心 (<http://www.birdreport.cn>) 在线记录, 确定其为河北省鸟类分布新记录种。

我国分布有红头长尾山雀 3 个亚种, 分别为 *A. c. iredalei*、*A. c. talifuensis* 和指名亚种 (*A. c. concinnus*) (郑光美 2023)。经对比所拍摄红头长尾山雀的形态特征, 确定其为红头长尾山雀指名亚种。查询中国观鸟记录中心和 eBird 鸟类观测记录中国版 (<https://ebird.org/region/CN>) 最近 6 年 (2017 至 2022 年) 的监测记录, 显示红头长尾山雀从河南省和陕西省南部的传统分布区扩散到了两省的中北部; 原来没有分布的山西省有了超过 30 次的监测记录 (下转 612 页)



图 1 红头长尾山雀 (彭猛威摄)

Fig. 1 *Aegithalos concinnus* (Photo by PENG Meng-Wei)

基金项目 河北省湿地生态与保护重点实验室自主课题项目 (No. hklz201903), 衡水学院生态学重点学科项目 (No. 2019003), 河北省高等学校科学技术研究自筹资金项目 (No. ZC2021022);

* 通讯作者, E-mail: 578173102@qq.com;

第一作者介绍 李峰, 男, 讲师; 研究方向: 生态学; E-mail: 651423441@qq.com。

收稿日期: 2022-05-05, 修回日期: 2023-08-31 DOI: 10.13859/j.cjz.202322110 CSTR: 32109.14.cjz.22110