

近年来乌梁素海疣鼻天鹅种群数量变化 及原因分析

赵格日乐图 灵燕 高敏

内蒙古师范大学生命科学与技术学院 呼和浩特 010022

摘要: 为查清内蒙古乌梁素海湖泊湿地疣鼻天鹅 (*Cygnus olor*) 繁殖期和秋季迁徙前期种群数量, 2014 至 2017 年采用路线统计法和样点统计法对其进行精确计数统计, 结合近十余年来的文献数据和监测记录, 探讨了种群数量的变化及原因。结果显示, 2015 至 2017 年春季繁殖成鸟数量依次为 84 只、92 只、80 只, 基本稳定; 2014 至 2017 年, 秋季种群数量依次为 411 只、302 只、281 只、153 只, 逐年减少; 近几年适宜繁殖地和觅食地面积不断缩小、天敌偷袭、捡蛋和投毒等因素影响亚成鸟和幼鸟的生存。根据文献和保护区监测数据, 1996 至 2004 年种群数量逐年增多, 与自然保护区的建立、严禁捡蛋和没收猎枪有关, 而 2005 至 2013 年因干旱缺水、水域被开发利用、芦苇 (*Phragmites australis*) 和宽叶香蒲 (*Typha latifolia*) 面积扩增、水质恶化、富营养化加重等原因种群数量下降。研究表明, 近几年乌梁素海被过度开发利用, 人为干扰频繁, 影响疣鼻天鹅正常繁殖栖息; 栖息地的科学管理和严禁捡蛋及投毒行为, 对该种群的生存及增长至关重要。

关键词: 疣鼻天鹅; 种群数量; 动态变化; 乌梁素海

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2019) 01-08-07

Population Variation and Its Causes of Mute Swan in the Wuliangusuhai Lake in Recent Years

ZHAO Gerelt LING Yan GAO Min

College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

Abstract: We made population census on the Mute Swan (*Cygnus olor*) during the breeding season and pre-migration period in the Wuliangusuhai Lake from 2014 to 2017 by line transects and point counts methods (Fig. 1), compared with data and records in past decades, and analyzed the causes of the changes of the populations. The breeding adults in springs of 2015 to 2017 remained basically stable, with the number of 84, 92, and 80 individuals, however, the autumn population of 2014 to 2017 declined year by year, with the number of 411, 302, 281, and 153 individuals respectively (Table 1), possibly because that the reduction of suitable breeding and feeding habitat, predation, egg collecting by local people and poisoning factors have

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31460106), 内蒙古自然科学基金项目 (No. 2014MS0343);

第一作者介绍 赵格日乐图, 男, 教授; 研究方向: 鸟类生态学, 自然保护区学; E-mail: nmgrlt@imnu.edu.cn.

收稿日期: 2018-05-18, 修回日期: 2018-11-13 DOI: 10.13859/j.cjz.201901002

affected the survival of sub-adults and juveniles in recent years. From 1996 to 2004, the number of Mute Swan populations increased as the establishment of the nature reserves, with hunting and egg-collecting being forbidden. From 2005 to 2013, the number of populations declined due to drought and water shortage, development and utilization of waters, expansion of reed (*Phragmites australis*) and broad leaf cattail (*Typha latifolia*), deterioration of water quality, and increased eutrophication. The research showed that the Wuliangshai Lake has been overexploited and utilized, and frequent human interference affecting the breeding of Mute Swan in recent years. Scientific management on the habitats and more strictly control of egg collecting and poisoning are essential to the survival and population growth of Mute Swan.

Key words: Mute Swan (*Cygnus olor*); Population; Dynamic change; Wuliangshai Lake

疣鼻天鹅 (*Cygnus olor*) 属国家 II 级重点保护野生鸟类,《中国脊椎动物红色名录》近危 (NT) 物种 (蒋志刚等 2016)。内蒙古乌梁素海是我国野生疣鼻天鹅多年集中繁殖栖息的湖泊湿地,邢莲莲等 (1988, 1996) 于 1984 至 1995 年曾对乌梁素海鸟类进行较全面而长期的调查研究。潘艳秋等 (2006) 于 2004 年 4 月至 2005 年 1 月在实地调查基础上分析了乌梁素海 10 年前后鸟类区系变化及原因。李霞 (2010) 于 2009 年 3 至 11 月对该湿地雁鸭类迁徙动态和疣鼻天鹅繁殖生态进行研究。赵格日乐图等 (2017, 2018) 自 2014 年以来对乌梁素海疣鼻天鹅及大天鹅 (*C. cygnus*)、小天鹅 (*C. columbianus*) 的迁徙行为、季节分布和种群数量进行调查报道。本文以 2014 至 2017 年野外调查统计乌梁素海疣鼻天鹅种群数量为基础,结合文献数据和保护区监测记录分析近年乌梁素海疣鼻天鹅种群数量变化及原因,以期对疣鼻天鹅的保护管理提供科学依据。

1 研究地概况

乌梁素海 (40°36' ~ 41°03'N, 108°43' ~ 108°57'E) 属蒙古语,意为“盛产红柳的湖泊”,位于内蒙古西部河套平原东端,巴彦淖尔市乌拉特前旗境内,是由黄河改道而形成的河迹湖。现有面积 305.97 km²,其中芦苇区 177.46 km²,明水区 128.51 km²;南北长 35 ~ 40 km,东西宽 5 ~ 10 km,湖岸线长 130 km;湖水深度 0.5 ~ 2.5 m,平均水深 0.7 m,最深处有 4 m,

蓄水 2.5 ~ 3.0 亿 m³;湖面高程平均值为 1 018.5 m;温带大陆性气候特征十分显著,具有严冬酷暑、降雨量少而蒸发量大,春季多风沙的特点;多年平均降雨量 224 mm,蒸发量为 1 052 mm,湖水每年 11 月初结冰,翌年 3 月底 4 月初融化,冰封期约 5 个月 (何连生等 2013, 李畅游等 2014)。湖泊湿地水生植物茂密,以芦苇 (*Phragmites australis*)、宽叶香蒲 (*Typha latifolia*)、龙须眼子菜 (*Potamogeton pectinacus*)、狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*) 等为主 (赵军等 2002, 何连生等 2013),浮游植物以绿藻 (Chlorophyta)、硅藻 (Bacillariophyta) 和蓝藻 (Cyanophyta) 为主 (李建茹等 2013)。野生鱼类以鲫鱼 (*Carassius auratus*)、鲤鱼 (*Cyprinus carpio*)、麦穗鱼 (*Pseudorasbora parva*) 和泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 为主 (郝林等 2011)。

乌梁素海是内蒙古西部干旱区大型多功能浅水湖泊,是我国西部水鸟迁徙的重要途经地,对中国鸟类,尤其是中国西部水鸟的保护管理和基础研究具有重要意义 (邢莲莲等 1996)。乌梁素海湿地水禽自然保护区始建于 1995 年,1998 年晋升为自治区级自然保护区,由巴彦淖尔市乌拉特国家级自然保护区管理局统一建设管理。乌梁素海被列入《中国重要湿地》名录,也被国际鸟盟确定为重点鸟区 (Important Bird Area, IBA)。

2 研究方法

2014 年 10 月至 2017 年 11 月, 在乌梁素海疣鼻天鹅分布栖息区域, 采用路线统计法和样点统计法, 岸边和水路调查相结合的手段, 用精确计数法统计个体数量。使用 10 × 42 倍 Kowa 双筒望远镜、25 ~ 60 倍 Kowa 单筒望远镜和 500 mm 定焦镜头 Canon 数码相机观察记录。

春季数量统计时间为 4 月中旬至 5 月初, 此时冰面已融化而疣鼻天鹅繁殖成鸟巢区趋于稳定, 亚成鸟离开繁殖成鸟单独集群活动; 秋季调查时间为 10 月上旬至 11 月初, 此时繁殖成鸟带领幼鸟和亚成鸟集群活动, 集群地点开始集中。具体调查统计时间, 秋季分别为 2014 年 10 月 21 至 25 日, 2015 年 10 月 24 至 29 日, 2016 年 10 月 3 至 6 日, 2017 年 11 月 1 至 5 日; 春季分别为 2015 年 4 月 18 至 22 日, 2016 年 4 月 12 至 16 日, 2017 年 5 月 9 至 14 日。春季繁殖成鸟的领域行为极强, 亚成鸟离开繁

殖成鸟巢区单独集群活动, 因此把繁殖成鸟和亚成鸟数量分开统计; 秋季因繁殖成鸟和幼鸟及亚成鸟混群, 其中幼鸟容易区别, 但从远处很难区别形态特征相似的繁殖成鸟和亚成鸟, 因而秋季数量统计只区分成鸟和幼鸟。

数量统计采取预调查 1 次, 摸清分布及数量情况, 在此基础上在岸边 4 条样线及 3 个样点和水域 1 条样线进行同步调查, 各调查 2 次后选取其中数量最多 1 次统计总数, 其中水域样线仅春季调查, 岸边样线样点春秋均调查。5 条样线和 3 个样点分别为坝头 - 呼和道布样线 (4.4 km)、湖中心样线 (17.2 km)、十二分厂 - 南昌样线 (8.2 km)、坝湾 - 两眼井样线 (10 km)、瓦窑滩 - 刘贵疙瘩样线 (5.0 km)、东二点样点、明口子样点和沙尖子样点, 其中, 湖中心和十二分厂 - 南昌 2 条样线以及明口子和沙尖子 2 个样点在保护区核心区和缓冲区境内 (图 1)。

3 研究结果

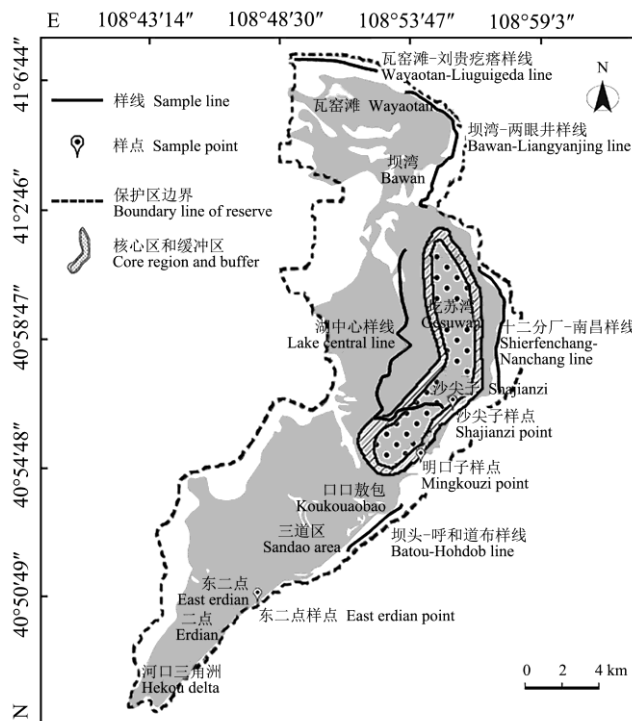


图 1 乌梁素海疣鼻天鹅种群数量调查样线、样点分布

Fig. 1 Investigation points and lines of Mute Swan in Wuliangsuhai

2014 至 2017 年，春季繁殖成鸟数量基本保持稳定，平均 85 只/年，而亚成鸟数量不稳定，乌梁素海疣鼻天鹅春季种群数量的年际变化主要取决于亚成鸟的数量；秋季种群数量逐年减少，特别是 2017 年成鸟数量明显下降（表 1）。

乌梁素海疣鼻天鹅同一年度春季与秋季成鸟（即繁殖成鸟与亚成鸟之和）数量之间有较大变化，2015 年秋季比春季多 36 只，2016 年秋季比春季少 22 只，而 2017 年的变化尤其明显，秋季比春季少 138 只。秋季迁离种群数量与翌年春季迁来种群数量之间也相差较大，2014 年秋季迁离 411 只，而 2015 年春季迁来 153 只，相差 258 只，2015 年秋季和 2016 年春季之间相差 170 只，2016 年秋季和 2017 年春季之间相差 82 只。2015 至 2017 年迁来繁殖地的返回率分别为 $153/411 = 37.23\%$ 、 $132/302 = 43.71\%$ 和 $199/281 = 70.82\%$ 。

4 讨论

2014 至 2017 年对乌梁素海疣鼻天鹅的实地调查和保护区以往资料中未发现秋季从别处迁来乌梁素海停歇而使数量明显增多或减少的现象，因此乌梁素海疣鼻天鹅种群主要由在此繁殖的成鸟和幼鸟及春季迁来后一直在此栖息的亚成鸟组成。秋季种群数量的减少主要与适宜繁殖觅食栖息地缩小、捡蛋和投毒非法事件时有发生以及天敌偷袭有关。经调查得知，原来多年繁殖栖息和集群活动的区域，即河口三

角洲（ $40^{\circ}47'17''N$ ， $108^{\circ}43'34''E$ ）、二点（ $40^{\circ}49'32''N$ ， $108^{\circ}45'41''E$ ）、东二点（ $40^{\circ}50'19''N$ ， $108^{\circ}47'20''E$ ）、三道区（ $40^{\circ}52'34''N$ ， $108^{\circ}51'54''E$ ）、口口敖包（ $40^{\circ}53'16''N$ ， $108^{\circ}53'1''E$ ），从 2012 年开始陆续被开发旅游、挖航道建码头、建立渔场养殖草鱼（*Ctenopharyngodon piceus*），这些人为活动的加大和水草被草鱼觅食而食物减少，使疣鼻天鹅分布区被迫集中到乌梁素海东北处，即沙尖子（ $40^{\circ}56'49''N$ ， $108^{\circ}55'29''E$ ）- 圪苏湾（ $40^{\circ}58'37''N$ ， $108^{\circ}57'29''E$ ）- 坝湾（ $41^{\circ}3'57''N$ ， $108^{\circ}54'49''E$ ）- 瓦窑滩（ $41^{\circ}7'43''N$ ， $108^{\circ}50'48''E$ ）的一条带状区域，导致繁殖觅食和集群栖息地逐年缩小。从保护区和当地林业公安部门了解，2014 年 5 月，8 处疣鼻天鹅巢内的 47 枚卵被偷捡，当年秋季 11 月初也发生了残忍的投毒害鸟事件，降低了疣鼻天鹅的繁殖率和迁离个体数量。调查中还发现，近几年乌梁素海狗獾（*Meles leucurus*）逐年增多，赤狐（*Vulpes vulpes*）和豹猫（*Prionailurus bengalensis*）也时而遇见，这些食肉动物对疣鼻天鹅卵、幼鸟甚至成鸟带来一定威胁，3 月底 4 月初冰面未完全融化，孵卵期间的疣鼻天鹅及卵容易被偷袭。乌梁素海各种资源的开发利用应遵循科学合理而可持续原则，严管人为伤害鸟类事件，深入研究疣鼻天鹅与天敌和其他动物之间的种间关系。

乌梁素海疣鼻天鹅同一年度春季与秋季成鸟（繁殖成鸟与亚成鸟）数量之间有较大变动，

表 1 2014 至 2017 年乌梁素海疣鼻天鹅种群数量

Table 1 The number of Mute Swan populations in Wuliangshuai from 2014 to 2017

年 Years	春季数量（只）Number of spring (ind)			秋季数量（只）Number of autumn (ind)		
	繁殖成鸟 Breeding adult	亚成鸟 Sub-adult	合计 Total	成鸟 Adult	幼鸟 Juvenile	合计 Total
2014	—	—	—	240	171	411
2015	84	69	153	189	113	302
2016	92	40	132	110	171	281
2017	80	119	199	61	92	153

“—”表示缺乏数据。“—” Means lack of data.

这与栖息地变化、人为干扰和鸟类本身具备的飞行和迁徙能力有关。如 2017 年秋季成鸟数量比春季明显减少，主要是因为当年夏季坝湾至瓦窑滩一带（当地人称小海子）的水域与大水面分隔而水位下降，水质恶化、湖水变臭，发生水鸟死亡事件，影响疣鼻天鹅的繁殖，导致大部分亚成鸟 7 月初之前被迫迁离（7 月 2 日调查中仅统计到 18 只亚成鸟）。春季迁来的种群数量往往比上年度秋季迁离的种群数量少，这与春秋两次迁徙途中和越冬期间的死亡率、繁殖地的重新选择、迁徙路线的变更等有关。Ma 等（2012）和 Liu 等（2017）曾介绍和分析国内天鹅等雁鸭类被害现状，本文分析与上述文献基本吻合。从 2015 至 2017 三年繁殖成鸟数量基本保持稳定来看，导致疣鼻天鹅种群数量变化的个体多数为亚成鸟和幼鸟。

乌梁素海疣鼻天鹅每年春季一般 3 月中旬至 4 月上旬期间迁来，秋季 9 月下旬至 11 月初期间集群而最终迁离，繁殖期和秋季种群数量的最佳统计时间分别为 4 月中下旬和 10 月中下旬，但各种人为干扰和极端天气变化会影响疣鼻天鹅的正常迁徙时间。2016 年在疣鼻天鹅主要繁殖和集群活动的十二分厂 - 南昌区域挖航道修环湖路，这些人为活动会影响该物种正常迁徙时间，考虑疣鼻天鹅被干扰分散或提前迁离，此年度秋季种群数量调查时间提前到 10 月上旬；2017 年春季乌梁素海地区受寒流影响而疣鼻天鹅较晚迁来繁殖，从而春秋调查统计时间均被推迟。

为分析近年来乌梁素海疣鼻天鹅种群数量的变化及原因，2014 至 2017 年与保护区监测人员一同实地调查基础上，参考保护区 1996 年以来对本种繁殖期与秋季的种群数量监测记录及李霞（2010）和潘艳秋等（2006）文献数据，制成乌梁素海 1996 至 2017 年疣鼻天鹅繁殖成鸟和秋季种群数量变化图（图 2）。其中，1996 至 2014 年春季繁殖成鸟数量为保护区核心区和缓冲区范围内的统计数量，秋季种群数量为整个乌梁素海保护区最大种群数量。

20 世纪 50 年代至 90 年代中期，乌梁素海疣鼻天鹅“卵被人捡食现象较严重，一次可捡到百枚卵”等掏窝捡蛋和乱捕滥杀现象非常严重（张荫荪等 1963，邢莲莲等 1988，孙荣等 1990，马鸣等 1993，Ma et al. 2000）。1996 年建立乌梁素海湿地水禽自然保护区后全面加强保护管理工作，严格管制掏窝捡鸟蛋行为，没收大量枪支子弹，规范科研监测工作，为疣鼻天鹅在内的诸多水鸟的繁殖栖息提供安全保障。因此，1996 至 2004 年期间疣鼻天鹅繁殖成鸟数量和秋季种群数量均逐年增多，2004 年达到历史高峰，仅核心区和缓冲区繁殖成鸟数达 87 对，整个乌梁素海约有 200 对（潘艳秋等 2006），保护区监测记录的秋季种群数量达 1 300 只。潘艳秋等（2006）分析，2004 年疣鼻天鹅繁殖数量比 20 世纪 80 至 90 年代明显增多，因为渔民的保护意识提高，拣卵、打猎等行为减少，使孵化和成活率相对增高。当初是否有其他迁徙种群的加入而增多了秋季数量，需进一步收集历史资料核实。从图 2 可以看出，2003 至 2005 三年的秋季种群数量变化幅度大，但这些数据均为保护区具有一定专业素养的监测人员实际统计数据，用 2015 至 2017 三年的实际调查所获春季繁殖成鸟数量与秋季种群数量之比的范围可推算 2003 至 2005 三年保护区和文献所记录数据基本可靠。

据何连生等（2013）和访谈资料，乌梁素海从 2005 年开始连年干旱缺水，加上水域被承包给渔民和农民后，原有水面、芦苇塘和滩地被分隔化，种植芦苇面积不断增加，影响了湖水的流通和更换，导致湖泊水位下降、水质恶化、富营养化加重、黄藻（*Xanthophyta*）泛滥，湖水变臭，最终鱼类和水鸟大量死亡，严重影响疣鼻天鹅的繁殖栖息。疣鼻天鹅繁殖成鸟数量逐年减少到 2009 年时仅有 20 对（李霞 2010），秋季种群数量也减少到 2007 年的 200 只。2010 年开始乌梁素海水质有所好转，但保护区对疣鼻天鹅繁殖成鸟监测工作进入松懈状态，直到 2014 年繁殖成鸟数量均为 30 对。秋

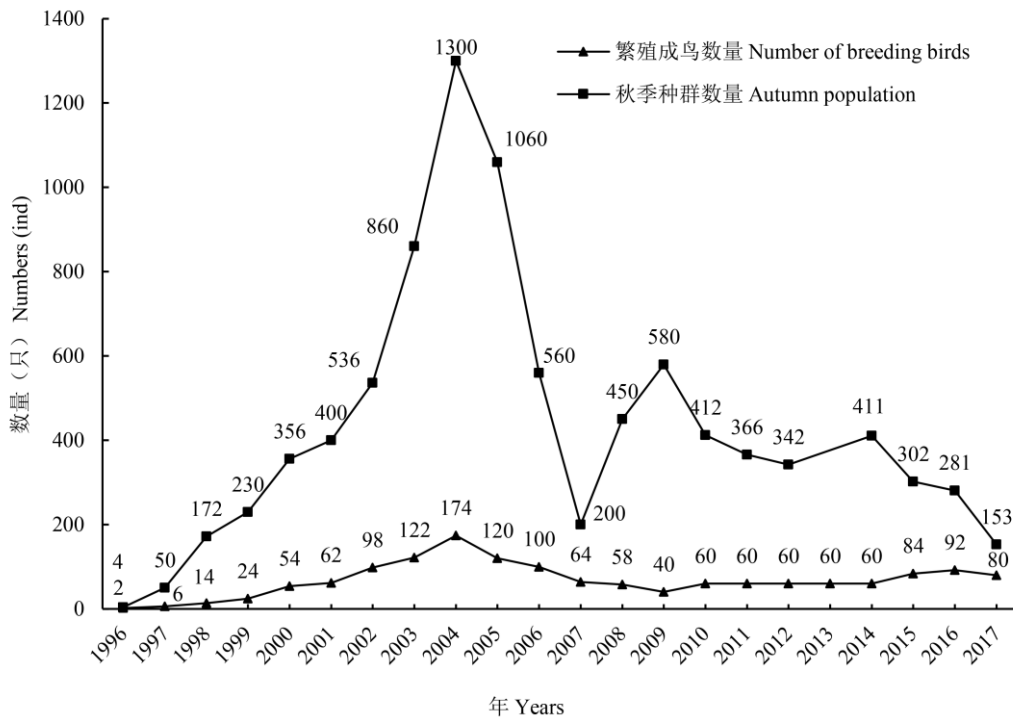


图2 1996至2017年乌梁素海疣鼻天鹅种群数量及变化

Fig. 2 Population number and changes of Mute Swan in Wuliangsu Lake from 1996 to 2017

季种群数量 2008 和 2009 年有所回升后 2010 年开始又下滑。2013 年秋季，因疣鼻天鹅常年集群活动区域大规模施工建设旅游景区，严重干扰正常的集群活动，使疣鼻天鹅分散并提前迁离，未能统计到有效数据。

致谢 野外调查、搜集资料和访谈工作得到乌梁素海保护区管理站马海明站长和张长龙巡护员（原乌梁素海渔场职工）的帮助和支持，谨致深切谢意！

参 考 文 献

- Liu X, Ma M. 2017. Swans killed by poison in China. *Swan News*, 13(1): 26-31.
- Ma M, Cai D. 2000. Swans in China. Maple Plain, Minnesota USA: The Trumpeter Swan Society, 1-105.
- Ma M, Zhang T, Blank D, et al. 2012. Geese and ducks killed by poison and analysis of poaching cases in China. *Goose Bulletin*, 15(1): 2-11.
- 郝林, 路全忠, 冯丽红. 2011. 鱼类种群及鱼产量变化对乌梁素海

渔业资源发展的影响. *北方环境*, 23(9): 155-156.

何连生, 席北斗, 雷宏军, 等. 2013. 乌梁素海综合治理规划研究. 北京: 中国环境出版社, 1-90.

蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 2016. 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 24(5): 511.

李畅游, 史小红. 2014. 乌梁素海沉积物环境地球化学特征研究. 北京: 科学出版社, 12-19.

李建茹, 李畅游, 李兴, 等. 2013. 乌梁素海浮游植物群落特征及其与环境因子的典范对应分析. *生态环境学报*, 22(6): 1032-1040.

李霞. 2010. 乌梁素海湿地雁鸭类资源、迁徙动态及疣鼻天鹅繁殖生态学. 呼和浩特: 内蒙古师范大学硕士学位论文, 28-37.

马鸣, 才代, 纪荣博, 等. 1993. 野生天鹅. 北京: 中国气象出版社, 1-115.

潘艳秋, 邢莲莲, 杨贵生. 2006. 近十年来乌梁素海湿地鸟类区系演变初探. *内蒙古大学学报*, 3(2): 170-174.

孙荣, 孙国富, 祁振荣, 等. 1990. 乌梁素海渔场志. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1-70.

邢莲莲, 杨贵生. 1996. 乌梁素海鸟类志. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1-80.

邢莲莲, 杨贵生 张永让, 等. 1988. 内蒙古乌梁素海鸟类区系及生态分布的研究. 内蒙古大学学报, 19(3): 524-534.

张荫荪, 唐瑞惠, 马学宽, 等. 1963. 内蒙古乌梁素海地区鸭类的初步调查. 动物学杂志, 5(3): 120-122.

赵格日乐图, 灵燕, 高敏. 2018. 乌梁素海三种野生天鹅种群数量与分布动态研究. 湿地科学与管理, 14(2): 42-45.

赵格日乐图, 灵燕, 高敏, 等. 2017. 乌梁素海疣鼻天鹅迁徙行为和种群数量调查研究. 内蒙古师范大学学报, 46(5): 704-707.

赵军, 郑玉琴, 黄三霞, 等. 2002. 乌梁素海湿地植被考察. 内蒙古草业, 14(2): 21-22.

江苏省南部发现棕脸鹟莺

Rufous-faced Warbler (*Abroscopus albogularis*) Found in Southern Jiangsu Province

2017年4月21日, 笔者在江苏省南京市老山国家森林公园狮子岭(32°3'48"N, 118°32'50"E)记录到1只体长约10 cm的小型雀形目鸟类在低矮树枝间跳跃, 并拍摄到清晰照片(图1), 记录时周围无其他相似个体。该个体上体和尾橄榄绿色, 下体白色, 头部棕色, 侧冠纹黑色, 喉部具细密的白底黑色纵纹, 胸部有一圈较模糊的黄色胸带, 足部为粉褐色。查阅《中国鸟类野外手册》(约翰·马敬能等 2000), 鉴定为棕脸鹟莺(*Abroscopus albogularis*)。



图1 棕脸鹟莺(摄于江苏南京)

Fig. 1 Rufous-faced Warbler taken in Nanjing, Jiangsu

棕脸鹟莺隶属于雀形目(Passeriformes)树莺科(Cettiidae), 是我国南方较为常见的留鸟, 分布于西南、华南、东南各省, 包括台湾和海南, 主要栖息于常绿林及竹林密丛生境。经与各地观鸟爱好者交流, 并查阅中国鸟类记录中心记录, 笔者发现, 自2010年以来, 棕脸鹟莺在江苏南部的南京、无锡、镇江、常州等地区偶有发现, 全年除7月、9月和10月外, 各月份均有目击记录或目击报道(中国鸟类记录中心 2010, 2014)。经查阅《中国鸟类分类与分布名录》(第三版)(郑光美 2017), 确认棕脸鹟莺是江苏省鸟类分布新记录种。

周延^① 韦铭^② 鲁长虎^{①*}

① 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 生物与环境学院 南京 210037; ② 昆明市朱雀鸟类研究所 昆明 650224

基金项目 环境保护部“生物多样性专项”, 江苏省高校优势学科建设工程项目(PAPD);

* 通讯作者, E-mail: luchanghu@njfu.edu.cn;

第一作者介绍 周延, 男, 博士; 研究方向: 鸟类学、生态学; E-mail: zhouyan.eco@foxmail.com.

收稿日期: 2018-03-16, 修回日期: 2018-11-04 DOI: 10.13859/j.cjz.201901018