

东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区中杓鹬的迁徙追踪

曹文华^① 柯婉娟^① 邝粉良^① 梁嘉善^② HASSELL Chris^③
MAGLIO Grace^③ MINTON Clive^③ 李永涛^④ 马志军^{①*}

① 复旦大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 上海崇明东滩湿地生态系统国家定位观测研究站, 崇明生态研究院 上海 200433, 中国; ② 香港水鸟环志组 香港, 中国;
③ 澳洲涉禽研究组 维多利亚 3193, 澳大利亚; ④ 上海市崇明区林业站 上海 202150, 中国

摘要: 追踪候鸟的迁徙活动是全面认识其生活史年周期的重要途径。中杓鹬 (*Numenius phaeopus*) 在全球广泛分布, 但在东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区的迁徙活动一直缺乏追踪研究。2018年2月, 在澳大利亚西北部的布鲁姆为捕捉到的中杓鹬成鸟佩戴平台发射终端或全球定位系统-全球移动通讯系统追踪器, 以确定其迁徙日程、迁徙路线以及迁徙停歇地和繁殖地的地理位置。我们从成功追踪的7只个体获取了6378条精度高于1 km的位点数据。分析结果表明, 在春季, 中杓鹬的迁徙时长为(36 ± 4) d, 其间在1~3个迁徙停歇地的停留日期为(23 ± 2) d, 从越冬地到繁殖地的迁徙距离为(9795 ± 346) km ($n = 7$)。追踪的中杓鹬在俄罗斯东部和中部区域繁殖, 不同个体的繁殖地纬度相近而经度范围较广。在秋季, 中杓鹬的迁徙时长为(90 ± 27) d, 相比春季迁徙时长更长; 其间, 在2~4个迁徙停歇地停留(79 ± 29) d, 从繁殖地到越冬地的迁徙距离为(10101 ± 520) km ($n = 5$)。无论在春季还是秋季迁徙, 迁徙停歇地广泛分布于东亚、东南亚沿海及内陆区域。大部分个体春季和秋季的迁徙路线相近, 成功追踪的个体均在秋季返回了上一年的越冬地, 这表明中杓鹬对越冬地具有很高的忠诚度。

关键词: 中杓鹬; 迁徙路线; 迁徙日程; 迁徙停歇地; 澳大利亚; 东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区

中图分类号: Q958.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2019) 06-775-09

Tracking the Migration of Whimbrels along the East Asian-Australasian Flyway

CAO Wen-Hua^① KE Wan-Juan^① KUANG Fen-Liang^① LEUNG Kar-Sin Katherine^②
HASSELL Chris^③ MAGLIO Grace^③ MINTON Clive^③ LI Yong-Tao^④ MA Zhi-Jun^{①*}

① Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Coastal Ecosystems Research Station of the Yangtze River Estuary, and Institute of Eco-Chongming, Fudan University, Shanghai 200433, China;

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31830089, No. 31772467), 上海市科委项目 (No. 18DZ1205002), 世界自然基金会项目 (No. 10003881);

* 通讯作者, E-mail: zhijunm@fudan.edu.cn;

第一作者介绍 曹文华, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: 16110700014@fudan.edu.cn.

收稿日期: 2019-07-30, 修回日期: 2019-09-19 DOI: 10.13859/j.cjz.201906001

② *Hong Kong Waterbirds Ringing Group, Hong Kong, China*; ③ *Australian Wader Studies Group, Victoria 3193, Australia*;
④ *Chongming Forestry Station, Shanghai 202150, China*

Abstract: Tracking the migration of migratory birds is an important way to understand the annual cycle of their life history. The Whimbrel (*Numenius phaeopus*) is widely distributed in the world, with a lack of tracking studies along the East Asian-Australasian Flyway. In February 2018, adult Whimbrels were captured in Broome, northwest Australia and were deployed with platform transmitter terminals (PTTs) or Global Positioning System-Global System for Mobile Communications (GPS-GSM) tags to explore their migration timing, migration routes, and the locations of stopover and breeding sites. A total of 6 378 records of geographical locations with higher than 1 km from seven individuals (three with PTTs and four with GPS-GSM tags) were used for analysis. We defined that birds stopped migratory flight when there were at least two geographical locations within 25 km were recorded in over 24 h. If the data before or after the critical time were absent, the median of adjacent values were used as the inference value. The migration duration was defined as the number of days between the date that birds started migration and the date that birds arrived at migration destination. The total stopover duration was defined as the sum of length of time that birds stayed at all the stopover sites along their migration route. The great-circle distance between two adjacent stopover site was used as migration distance. Results shows that during spring migration, the migration duration was 36 ± 4 d; birds spent 23 ± 2 d at 1 - 3 stopover sites; the total migration distance was $9\ 795 \pm 346$ km ($n = 7$, Table 1, 2) in spring. The breeding sites of Whimbrels were located in eastern and central Russia. The latitudes of breeding sites were similar among individuals while the longitudes of breeding sites greatly varied (Fig. 1). In autumn, the migration duration was 90 ± 27 d; birds stayed for 79 ± 29 d at 2 - 4 stopover sites; the total migration distance was $10\ 101 \pm 520$ km ($n = 5$, Table 1, 2). Stopover sites were widely distributed in coastal and inland regions in East and Southeast Asia during both spring and autumn migration. Most individuals used the similar migration routes in spring and autumn. All the individuals with tracking data for a year used the same wintering sites as the previous winter (Fig. 1), indicating that Whimbrels are highly faithful to their wintering sites.

Key words: Whimbrel, *Numenius phaeopus*; Migration route; Migration timing; Stopover sites; Australia; East Asia-Australasian Flyway

追踪候鸟的迁徙活动是完整认识其生活史年周期的重要途径。传统研究鸟类迁徙活动的方法主要包括野外观察和环志等,虽然这些方法适合于所有候鸟且方便开展相关工作,但仅适合于在候鸟有限的活动区域开展地面调查,无法准确描述候鸟迁徙的整个过程(马志军 2009)。近 20 多年来,随着卫星追踪等鸟类迁徙追踪技术的快速发展,越来越多的候鸟迁徙时空活动被精确描述,鸟类迁徙追踪和迁徙生态的研究也成为了当前鸟类学研究的热点

(Bridge et al. 2011)。

中杓鹬 (*Numenius phaeopus*) 是全球广泛分布的长距离迁徙鸻鹬类候鸟。其繁殖地主要位于北极及近北极的高纬度地区,越冬地主要位于北亚热带以南地区。中杓鹬在全球共有 7 个亚种 (del Hoyo et al. 2018),在涵盖我国大部分区域的东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区 (East Asian-Australasian Flyway),中杓鹬有 2 个亚种 *N. p. phaeopus* 和 *N. p. variegatus* 分布,它们主要在东南亚和澳大利亚越冬,在萨哈(雅库特)

共和国的中部、北部和东部以及楚科奇地区繁殖, 东南亚和东亚等地区均有其迁徙停歇地。根据鸟类环志和野外观测, 这两个中杓鹬亚种在中国均有分布记录(郑光美 2017)。

近年来, 东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区的很多候鸟种群数量呈下降趋势, 这一现象引起了广泛关注(Hua et al. 2015, Clemens et al. 2016, Studds et al. 2017)。目前, 这个迁飞区只有不到 10% 的候鸟陆域(包括内陆和沿海区域)栖息地被列为保护地(Li et al. 2019), 候鸟的保护工作面临极大挑战。确定候鸟的关键栖息地是开展保护工作的基础。目前通过卫星追踪技术已确定了分布于美洲迁飞区和非洲-欧洲迁飞区的中杓鹬的迁徙日程、迁徙路径和关键迁徙停歇地等信息(Johnson et al. 2016, Carneiro et al. 2019), 为开展保护工作提供了重要依据(Sheehy et al. 2011)。但是对在东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区中杓鹬的迁徙活动仍缺乏了解。

澳大利亚西北部地区是中杓鹬在东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区的一个关键越冬地(del Hoyo et al. 2018)。本研究利用卫星追踪技术对在该地区越冬的中杓鹬开展迁徙追踪, 确定其迁徙日程、迁徙路线、主要迁徙停歇地以及繁殖地, 为深入认识候鸟迁徙活动规律及开展候鸟保护工作提供依据。

1 材料与方法

1.1 追踪器安装

中杓鹬的捕捉地点位于澳大利亚西北部的布鲁姆(Broome 122°E, 18°S), 该地区为东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区中杓鹬的主要越冬地之一。2018 年 2 月, 澳洲涉禽研究组(Australian Wader Study Group, AWSG)使用炮网(canon net)捕捉中杓鹬, 对中杓鹬称重、测量, 根据繁殖羽和飞羽的特征判断年龄并佩戴编码旗标。中杓鹬幼鸟在春季不进行迁徙, 因此本研究选择成鸟佩戴追踪器。

采用腿跨式(leg-looped)佩戴中国湖南环球信士公司(Hunan Global Messenger Technology

Co, Ltd)生产的 7 g 重的 HQBG1107 型太阳能追踪器和美国微波遥测公司(Microwave Telemetry, Inc.)生产的 5 g 重的太阳能追踪器。追踪器与旗标的总重量不超过中杓鹬体重的 3%, 可认为对其正常活动不会带来明显的影响(Phillips et al. 2003)。佩戴追踪器的个体在观察一段时间后, 确认其活动正常、状态良好之后放飞。本研究成功追踪了 7 只中杓鹬(分别编号为 No. 1~7)的迁徙活动, 其中 3 只(No. 1~3)佩戴的为中国湖南环球信士公司的追踪器, 其余 4 只(No. 4~7)佩戴的为美国微波遥测公司的追踪器。No. 2 和 No. 3 在秋季迁徙过程中追踪器信号丢失, 其余 5 只中杓鹬(No. 1 和 No. 4~7)均获得完整一年的迁徙追踪数据。

1.2 数据筛选和分析

1.2.1 数据筛选 中国湖南环球信士公司生产的追踪器采用全球定位系统(Global Positioning System, GPS)定位, 利用全球移动通讯系统(Global System for Mobile Communications, GSM)传输数据(GPS-GSM)。数据的采集频率设置为每 2~6 h 采集 1 次。定位数据分为无效位点和不同精度等级的有效位点, 有效位点数据精度分为 A~E 共 5 个级别, 精度依次为 5 m、10 m、20 m、100 m 和 1 000 m 以内。本研究利用该追踪器共获取 3 150 条位点数据, 其中无效位点数据有 371 条, 精度 A~E 的位点数据量分别为 2 132、517、93、26、11 条。

美国微波遥测公司生产的追踪器为平台发射终端(Platform Transmitter Terminal, PTT), 利用 Argos 卫星进行定位和数据传输。数据的采集频率设置为约每 4 h 采集 1 次。定位数据划分为 3、2、1、0、A、B 和 Z 7 个精度等级, 其中 3、2、1、0 的精度分别为 < 150 m、150~350 m(不包含 350 m)、350~1 000 m 和 > 1 000 m; 精度为 A、B、Z 的位点数据为由于信号不稳定而无法估算精度。本研究利用该追踪器共获取 6 703 条位点数据, 精度 3、2、1、0、A、B 和 Z 的位点数据量分别为 906、1 097、1 596、1 322、918、836 和 28 条。

本研究选取精度在 1 km 以内的位点数据用于中杓鹬的迁徙追踪分析, 达到该精度的位点数据共 6 378 条, 占总数据量的 65%。

1.2.2 迁徙状态判定 中杓鹬的生活史年周期可分为越冬期、春季迁徙期、繁殖期以及秋季迁徙期, 其中, 迁徙期包括迁徙飞行和迁徙途中停歇两种状态。本研究将在 25 km 范围以内包含不同日期 (> 24 h) 的两个位点的区域定义为迁徙停歇地 (郭家良等 2015)。如果临界点前后的数据有缺失, 则取相邻位点记录时间的中间值作为推断值。停歇时间为在停歇地停留的时间长度, 整个迁徙过程停歇的总时间为鸟类迁徙途中在各停歇地的停留时间之和。

1.2.3 迁徙距离计算 本研究中鸟类迁徙距离为使用 R 的“Geosphere”软件包计算的大圆弧距离 (Hijmans et al. 2016)。每个个体总的迁徙距离为越冬地、各个迁徙停歇地和繁殖地之间的弧面距离之和。根据每个个体繁殖地、迁徙停歇地和越冬地的地理位置, 用 ArcGIS

2 结果

2.1 春季迁徙期

7 只中杓鹬离开越冬地布鲁姆开始春季迁徙的日期为 4 月 17 日至 4 月 20 日 (平均 4 月 19 日)。所有中杓鹬迁徙最初阶段的路线相似, 均直接北上, 途经中国东部地区 (图 1)。追踪个体在 5 月 23 日至 6 月 1 日 (平均 5 月 25 日) 抵达位于俄罗斯的繁殖地 (表 1)。

在春季迁徙初期, 7 只中杓鹬迁徙路线十分相似。在经过中国黄渤海地区后, 其迁徙路线逐渐分开, 飞往各自不同的繁殖地 (图 1)。中杓鹬春季迁徙距离达 $(9\ 795 \pm 346)$ km, 在中杓鹬春季迁徙的 2 ~ 4 段连续飞行中, 离开越冬地的第一段飞行距离是最长的, 占迁徙总距离的 51%。中杓鹬春季迁徙期迁徙时长共计 (36 ± 4) d, 7 只中杓鹬在春季迁徙过程中有 1 ~ 3 个迁徙停歇地, 分布于中国台湾、福建、浙江、上海、江苏、山东、河北、辽宁、内蒙

古、吉林、黑龙江等 11 个省级行政区以及萨哈 (雅库特) 共和国西部地区, 停歇总时长为 (23 ± 2) d (表 1、2)。迁徙停歇地多位于中国沿海区域, 其中 No. 1、2、5 和 6 四只个体所有的春季迁徙停歇地均位于中国沿海区域, No. 3 的春季迁徙停歇地均位于中国内陆区域, No. 4 和 7 在中国内陆和沿海地区以及在萨哈 (雅库特) 共和国的内陆地区均有迁徙停歇地的分布 (图 1、表 2)。

2.2 繁殖期

所有追踪中杓鹬的繁殖地均位于俄罗斯地区, 其中 No. 1、No. 2、No. 4、No. 6 和 No. 7 的繁殖地位于萨哈 (雅库特) 共和国东北部, No. 3 的繁殖地位于克拉斯诺亚尔斯克东部, No. 5 的繁殖地位于楚科奇中部。不同中杓鹬个体间繁殖地的经度差异较大 ($105 \sim 173^\circ$ E), 但纬度差异较小 ($65 \sim 69^\circ$ N)。追踪的 7 只中杓鹬在繁殖地停留时间平均为 (62 ± 8) d, 其中 No. 2 的停留日期最长 (75 d), No. 5 的停留日期最短 (51 d)。

2.3 秋季迁徙期

在秋季迁徙过程中, No. 3 和 No. 2 分别在 9 月 15 日和 10 月 14 日失去信号, 未能追踪其秋季迁徙的完整过程, 其余 5 只中杓鹬均追踪到其返回越冬地。7 只中杓鹬于 7 月 16 日至 8 月 6 日 (平均 7 月 26 日) 离开繁殖区域开始秋季迁徙 (表 1)。大部分中杓鹬秋季迁徙路径与春季迁徙路径十分相似, 在离开繁殖地后, 由中国东部沿海地区南下。只有 No. 5 的秋季迁徙路线与春季完全不同, 在离开俄罗斯堪察加半岛后跨越西太平洋飞往越冬地, 其一年的迁徙路径呈顺时针环形 (图 1)。成功追踪秋季迁徙整个过程的 5 只中杓鹬的秋季迁徙总距离平均为 $(10\ 101 \pm 520)$ km, 平均迁徙时长为 (90 ± 27) d, 最终于 9 月 18 日至 11 月 25 日 (平均 10 月 22 日) 返回越冬地 (表 1)。所有返回越冬地的个体均回到上一年的越冬地。

中杓鹬在秋季迁徙途中有 2 ~ 4 个迁徙停歇地, 主要分布于东亚及东南亚沿海区域, 停

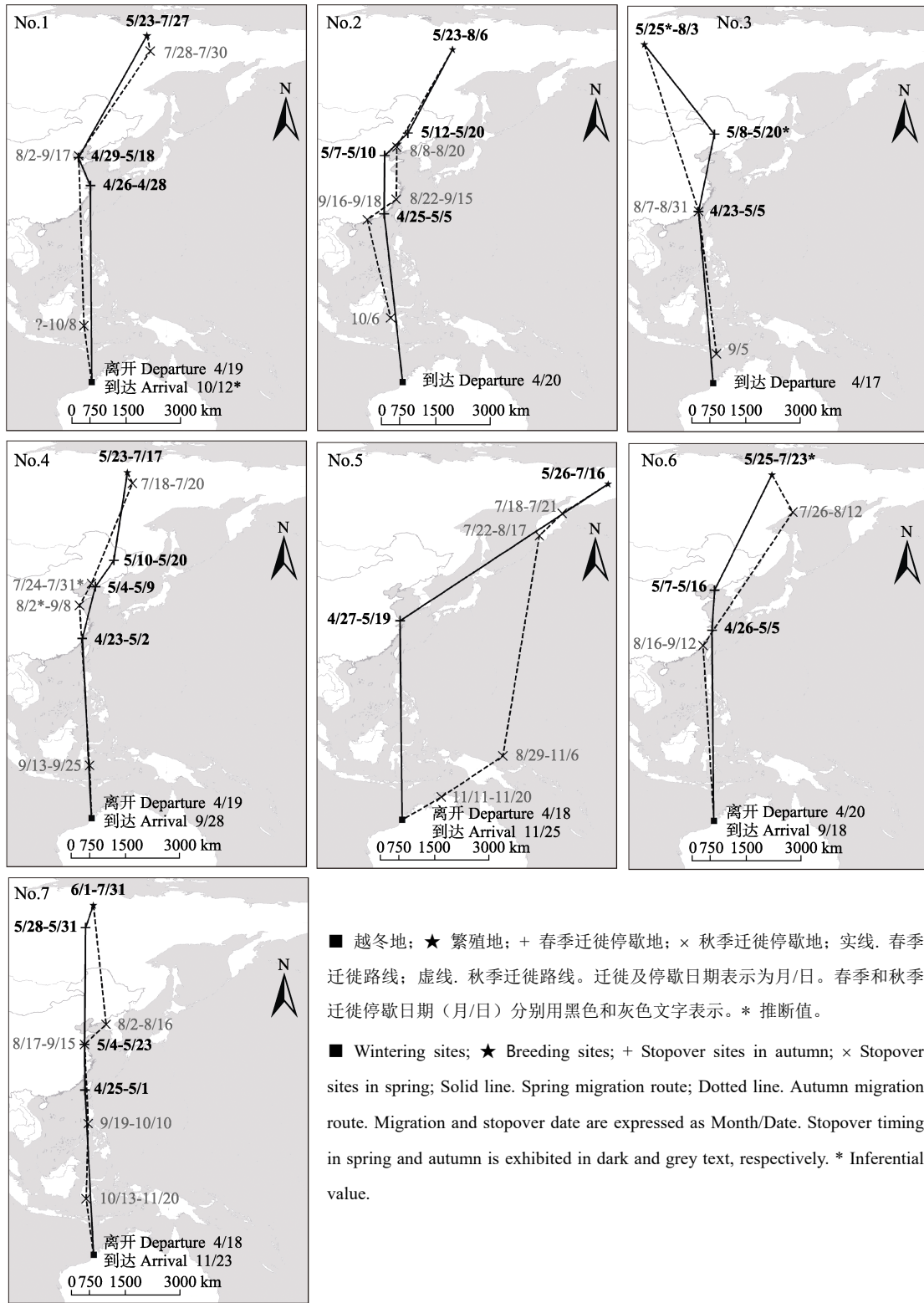


图 1 中杓鹬的迁徙路线和主要迁徙停歇地

Fig. 1 Migration routes and major stopover sites of Whimbrels

表 1 中杓鹬的迁徙日程及迁徙距离

Table 1 Migration timing and distances of Whimbrels

	个体编号 Individual number							平均 (标准差) Mean (SD)
	1	2	3	4	5	6	7	
离开越冬地日期 (月-日) Wintering ground departure date (Month-date)	4-19	4-20	4-17	4-19	4-18	4-20	4-18	4-19
春季停歇时长 Spring stopover duration (d)	21	20	24*	24	22	21*	28	23 (2)
到达繁殖地日期 (月-日) Breeding ground arrival date (Month- date)	5-23	5-23	5-25*	5-23	5-26	5-25	6-1	5-25
离开繁殖地日期 (月-日) Breeding ground departure date (Month- date)	7-27	8-6	8-3	7-17	7-16	7-23*	7-31	7-26
秋季停歇时长 Autumn stopover duration (d)	—	—	—	58*	112	44	102	79 (29)
到达越冬地日期 (月-日) Wintering ground arrival date (Month- date)	10-12*	—	—	9-28	11-25	9-18	11-23	10-22
春季迁徙时长 Spring migration duration (d)	34	33	38*	34	37	35	44	36 (4)
秋季迁徙时长 Autumn migration duration (d)	77*	—	—	73	130	57*	115	90 (27)
春季迁徙距离 Migration distance (km)	9 782	9 483	9 615	9 697	10 616	9 690	9 679	9 795 (346)
秋季迁徙距离 Migration distance (km)	9 822	—	—	9 701	11 124	9 995	9 866	10 101 (520)

* 表示推断值。*: inferential value.

表 2 中杓鹬的停歇地点和停歇日期长度

Table 2 Stopover location and duration of Whimbrels

个体编号 Individual Number	春季迁徙 Spring migration			秋季迁徙 Autumn migration		
	停歇次数 Stopover times	停歇地 Stopover sites	停歇时长 (d) Stopover duration	停歇次数 Stopover times	停歇地 Stopover sites	停歇时 长 (d) Stopover duration
1	2	上海市浦东新区 Pudong New District, Shanghai	2	3	俄罗斯萨哈 (雅库特) 共和国汤普斯基区 Tomponsky District, Sakha Republic, Russia	2
		山东省东营市 Dongying City, Shandong Province	19		山东省东营市 Dongying City, Shandong Province	46
					印度尼西亚南苏拉威西省瓦久县 Wajo, Sulawesi Selatan, Indonesia	-
2	3	福建省漳浦县 Zhangpu County, Fujian Province	10	-	辽宁省兴城市 Xingcheng City, Liaoning Province	12
		河北省黄骅市 Huanghua City, Hebei Province	2		浙江省平阳县 Pingyang County, Zhejiang Province	24
		吉林省双辽市 Shuangliao City, Jilin Province	8		广东省中山市 Zhongshan City, Guangdong Province	2
3	2	福建省晋江市 Jinjiang City, Fujian Province	12	-	福建省石狮市 Shishi City, Fujian Province	24
		内蒙古自治区科尔沁左翼中旗 Horqin Zuoyi Zhongqi, Inner Mongolia Autonomous Region	12*			
4	3	福建省霞浦县 Xiapu County, Fujian Province	9	4	俄罗斯萨哈 (雅库特) 共和国维柳伊斯基区 Verkhnevilyuysky District, Sakha Republic, Russia	2
		辽宁省庄河市 Zhuanghe City, Liaoning Province	5		辽宁省盖州市 Gaizhou City, Liaoning Province	7*

续表 2

个体编号 Individual Number	春季迁徙 Spring migration			秋季迁徙 Autumn migration		
	停歇次数 Stopover times	停歇地 Stopover sites	停歇时长 (d) Stopover duration	停歇次数 Stopover times	停歇地 Stopover sites	停歇时 长 (d) Stopover duration
5	1	黑龙江省木兰县 Mulan County, Heilongjiang Province	10	4	江苏省连云港市 Lianyungang City, Jiangsu Province	37*
		上海市崇明区 Chongming District, Shanghai	22		印度尼西亚东南苏拉威西省邦巴纳县 Bombana, Sulawesi Tenggara, Indonesia	12
					俄罗斯勘察加边疆区卡拉金斯基区 Karaginsky District, Kamchatka Krai, Russia	3
					俄罗斯勘察加边疆区乌斯季-博利舍列茨基区 Ust-Bolsheretsky District, Kamchatka Krai, Russia	26
6	2	浙江省象山县 Xiangshan County, Zhejiang Province	10*	2	巴布亚新几内亚马努斯省 Manus, Papua New Guinea	74
		辽宁省大连市 Dalian City, Liaoning Province	11*		澳大利亚北领地东阿利盖特河区 South Alligator, Northern Territory, Australia	9
7	3	台湾省台南市 Tainan City, Taiwan Province	6	4	俄罗斯哈巴罗夫斯克边疆区鄂霍次克区 Okhotsky District, Khabarovsk Krai, Russia	17
		江苏省响水县 Xiangshui County, Jiangsu Province	19		福建省福清市 Fuqing City, Fujian Province	27
		俄罗斯萨哈(雅库特)共和国维柳伊斯基区 Verkhnevilyuysky District, Sakha Republic, Russia	3		朝鲜平安南道文德郡 Mundok, South Pyongan Province, North Korea	14
					江苏省响水县 Xiangshui County, Jiangsu Province	29
					菲律宾布拉干省 Bulacan, Philippines	21
					印度尼西亚南苏拉威西省瓦久县 Wajo, Sulawesi Selatan, Indonesia	38

. 推断值; -. 无法确定。. Inferential value; -. Uncertain.

歇总时长平均为 (79 ± 29) d。No. 1 在 9 月 18 日至 10 月 1 日间传回的所有位点无效, 故无法确认该时间段内的迁徙停歇情况; No. 2 和 No. 3 的秋季迁徙数据缺失, 未能追踪完整一年的迁徙活动。No. 4、No. 5 和 No. 6 这 3 只个体在南迁和北迁过程中利用不同的迁徙停歇地, 而 No.1 和 No.7 在南迁和北迁过程利用同一处迁徙停歇地, 分别位于山东省东营市 (No. 1) 和江苏省响水县 (No. 7)。No. 5 是完整追踪南迁活动的个体中停歇时长最长的 (112 d), 其中, 在马努斯岛停歇了 74 d。No. 6 的秋季迁徙时长最短 (44 d), 但仍然比所有个体的春季迁徙日程更长 (表 1, 2)。

3 讨论

大部分候鸟在春季迁徙时采取“时间最小化策略”, 尽早到达繁殖地以增加成功繁殖的机会, 因此春季比秋季的迁徙速度更快、用时更短 (Nilsson et al. 2013)。本研究表明, 在澳大利亚越冬的中杓鹬的春季迁徙总时长不到秋季迁徙总时长的三分之一, 这与大部分候鸟的时间策略相同。然而在冰岛繁殖 (Carneiro et al. 2019) 和在加拿大繁殖 (Johnson et al. 2016) 的中杓鹬秋季迁徙速度比春季迁徙速度更快。在冰岛和在加拿大繁殖的中杓鹬的繁殖地与本研究在俄罗斯繁殖的中杓鹬繁殖地纬度相近, 但

它们的越冬地纬度差异较大：本研究的中杓鹬在南半球越冬，在加拿大繁殖的中杓鹬的越冬地在赤道附近（Johnson et al. 2016），而在冰岛繁殖的中杓鹬的越冬地位于北半球（约 10° N）（Carneiro et al. 2019）。迁徙距离影响着鸟类的迁徙停歇决定和迁徙时间策略，从而影响鸟类的迁徙速度（Hedenström et al. 1997）。越冬地纬度差异所导致的迁徙距离差异，可能是本研究的中杓鹬与在冰岛和在加拿大繁殖的中杓鹬春季和秋季迁徙速度存在差异的原因之一。春季和秋季迁徙途中的环境差异（如天气条件、迁徙停歇地的质量）也会影响鸟类的迁徙速度（Kemp et al. 2010），适宜飞行的天气条件和食物丰富的迁徙停歇地都有助于候鸟加快迁徙速度。另外，不同种群的生态差异（如换羽特征等）也可能影响春季和秋季的迁徙速度。换羽影响鸟类的飞行，换羽时间及其持续的时长以及换羽的地点影响着迁徙日程和迁徙速度（Kiat et al. 2016, Verhoeven et al. 2016）。通过对不同种群的生物学和生态学特征比较，可为理解迁徙策略和迁徙速度的种群间差异提供依据。

来自同一种群的不同个体在秋季和春季可以使用相似的或完全不同的迁徙路径（Klaassen et al. 2010, Vansteelant et al. 2017, Briedis et al. 2018）。大部分中杓鹬个体在春秋两季的迁徙路径相似，且秋季主要在东亚及东南亚地区迁徙停歇。但 No. 5 个体的春秋两季迁徙路径完全不同：其秋季从俄罗斯堪察加半岛跨越西太平洋飞往巴布亚新几内亚的马努斯岛，秋季迁徙路线位于春季迁徙路线的东侧，其一年的迁徙路径呈顺时针的环形。这可能与不同季节的环境条件差异有关，如高质量的迁徙停歇地、利于飞行的天气条件和捕食风险等（La Sorte et al. 2014, Briedis et al. 2018）。另外，No. 5 的繁殖地位于楚科奇中部，与其他个体相距较远，其原因有待于进一步研究。

本研究确定了东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区中杓鹬的迁徙日程、迁徙路线以及关键迁徙

停歇地，为开展该物种的保护提供了重要依据。本研究发现，所有成功完成往返迁徙活动的个体均回到上一年的越冬地，这表明中杓鹬对越冬地具有很高的忠诚度。虽然追踪的中杓鹬来自同一越冬地，但其繁殖地的分布范围较广，不同个体间的繁殖地纬度相似，但经度相差较大。由于缺少对中杓鹬连续多年的追踪，目前还不了解其对繁殖地是否也具有较高的忠诚度。

长距离的迁徙飞行消耗大量能量，因此鸟类需要在开始迁徙之前积累足够的能量（Adriaensen 1990）。中杓鹬离开越冬地后的第一段迁徙飞行的距离是春季迁徙所有连续飞行距离中最长的，约占整个春季迁徙总距离的一半，这说明中杓鹬在越冬地的能量积累对其春季迁徙飞行起着至关重要的作用。此外，对于很多长距离迁徙的候鸟，它们迁徙期的大部分时间是在停歇地度过的（Hedenström et al. 1997）。中杓鹬在春季和秋季的迁徙途中均至少要中途停歇一次，且停歇时间长度占迁徙期总时间长度的一半以上，这意味着这些迁徙停歇地对于中杓鹬的能量补给非常关键。研究表明，在东亚-澳大利西亚候鸟迁飞区，中杓鹬的迁徙停歇地广泛分布于东亚、东南亚的沿海及内陆区域，其中停留时间较长的停歇地多位于中国东部沿海地区，这说明中国东部沿海地区对中杓鹬的保护起着关键作用。近年来，东部沿海地区受到滩涂过度围垦、外来植物入侵、人类活动强烈干扰等多重威胁，栖息地丧失和退化现象严重（Hua et al. 2015）。候鸟依赖繁殖地、迁徙停歇地和越冬地维持其完整的生活史年周期，任何一个区域的栖息地丧失或退化都可能对候鸟的迁徙活动带来致命影响，维持候鸟迁徙网络的完整性是维持种群稳定的关键。

致谢 感谢澳洲涉禽研究组、维多利亚涉禽研究组以及 2018 年西北澳野外考察团队对野外工作的支持和协助，感谢 Jon Coleman、Roz Jessop、朱冰润、Michael Dawkins、Prue Wright 和 Robert Bush 对追踪器安装和维护等工作的协助。

参 考 文 献

- Adriaensens F, Dhondt A A, Matthysen E. 1990. Bird migration. *Nature*, 347(6288): 23.
- Bridge E S, Thorup K, Bowlin M S, et al. 2011. Technology on the move: recent and forthcoming innovations for tracking migratory birds. *Bioscience*, 61(9): 689-698.
- Briedis M, Kurlavicius P, Mackeviciene R, et al. 2018. Loop migration, induced by seasonally different flyway use, in Northern European Barn Swallows. *Journal of Ornithology*, 159(4): 885-891.
- Carneiro C, Gunnarsson T G, Alves J A. 2019. Faster migration in autumn than in spring: seasonal migration patterns and non-breeding distribution of Icelandic whimbrels *Numenius phaeopus islandicus*. *Journal of Avian Biology*, 50(1): doi: 10.1111/jav.01938.
- Clemens R S, Rogers D I, Hansen B D, et al. 2016. Continental-scale decreases in shorebird populations in Australia. *Emu*, 116(2): 119-135.
- del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J, et al. 2018. *Handbook of the Birds of the World Alive*. Barcelona: Lynx Edicions.
- Hedenström A, Ålerstam T. 1997. Optimum fuel loads in migratory birds: distinguishing between time and energy minimization. *Journal of Theoretical Biology*, 189(3): 227-234.
- Hijmans R J, Williams E, Vennes C. 2016. R package 'geosphere'. [CP/OL]. [2019-02-17]. <https://cran.r-project.org/package=geosphere>.
- Hua N, Tan K, Chen Y, et al. 2015. Key research issues concerning the conservation of migratory shorebirds in the Yellow Sea region. *Bird Conservation International*, 25(1): 38-52.
- Johnson A S, Perz J, Nol E, et al. 2016. Dichotomous strategies? The migration of whimbrels breeding in the eastern Canadian sub-Arctic. *Journal of Field Ornithology*, 87(4): 371-383.
- Kemp M U, Shamoun B J, van Gasteren H, et al. 2010. Can wind help explain seasonal differences in avian migration speed? *Journal of Avian Biology*, 41(6): 672-677.
- Kiat Y, Izhaki I. 2016. Moulting strategies affect age differences in autumn migration timing in east Mediterranean migratory passerines. *PLoS ONE*, 11(1): e0147471.
- Klaassen R H G, Strandberg R, Hake M, et al. 2010. Loop migration in adult marsh harriers *Circus aeruginosus*, as revealed by satellite telemetry. *Journal of Avian Biology*, 41(2): 200-207.
- La Sorte F A, Fink D, Hochachka W M, et al. 2014. Spring phenology of ecological productivity contributes to the use of looped migration strategies by birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1793): 20140984.
- Li J, Hughes A C, Dudgeon D. 2019. Mapping wader biodiversity along the East Asian-Australasian flyway. *PLoS ONE*, 14(1): e0210552.
- Nilsson C, Klaassen R H G, Ålerstam T. 2013. Differences in speed and duration of bird migration between spring and autumn. *American Naturalist*, 181(6): 837-845.
- Phillips R A, Xavier J C, Croxall J P. 2003. Effects of satellite transmitters on albatrosses and petrels. *Auk*, 120(4): 1082-1090.
- Sheehy J, Taylor C M, Norris D R. 2011. The importance of stopover habitat for developing effective conservation strategies for migratory animals. *Journal of Ornithology*, 152(Suppl 1): 161-168.
- Studds C E, Kendall B E, Murray N J, et al. 2017. Rapid population decline in migratory shorebirds relying on Yellow Sea tidal mudflats as stopover sites. *Nature Communications*, 8: 14895.
- Vansteelandt W M G, Shamoun-Baranes J, van Manen W, et al. 2017. Seasonal detours by soaring migrants shaped by wind regimes along the East Atlantic Flyway. *Journal of Animal Ecology*, 86(2): 179-191.
- Verhoeven M A, van Eerbeeck J, Hassell C J, et al. 2016. Fuelling and moult in Red Knots before northward departure: a visual evaluation of differences between ages, sexes and subspecies. *Emu*, 116(2): 158-167.
- 郭家良, 刘雪华, 杨萍, 等. 2015. 豆雁在中国的春季迁徙路线及迁徙停歇地. *动物学杂志*, 50(2): 288-293.
- 马志军. 2009. 鸟类迁徙的研究方法和研究进展. *生物学通报*, 44(3): 5-9.
- 郑光美. 2017. 中国鸟类分类与分布名录. 3 版. 北京: 科学出版社, 74.