

文章编号: 0427-7104(2021)04-0451-11

上海浦东东滩湿地斑嘴鸭和绿头鸭的越冬期 空间行为与栖息地利用

叶思嘉¹, 马 硕¹, 周 锋², 韦 旭¹, 岳 衢¹, 黄美玲¹, 吴 迪³, 金惠宇³,
薄顺奇³, 袁 晓³, 罗梓菁¹, 顾建明⁴, 王天厚¹, 王正寰^{1,5}

(1. 华东师范大学 生命科学学院, 上海 200241; 2. 上海市金山区林业站, 上海 201500;
3. 上海市绿化和市容管理局, 上海 200041; 4. 上海市浦东新区林业站, 上海 201200;
5. 华东师范大学 转化科学与技术联合研究院, 上海 200241)

摘 要: 本研究使用 GPS 卫星跟踪技术, 以本地区最常见的斑嘴鸭(*Anas poecilorhyncha*) (5 只) 和绿头鸭(*A. platyrhynchos*) (4 只) 为研究对象, 研究了冬季斑嘴鸭和绿头鸭在浦东的栖息地空间利用特征. 利用固定核空间法(FKE)测得越冬季个体的平均活动范围为(15.073±25.390)km², 没有明显的种间差异. 两种鸭属鸟类的主要栖息地类型为滩涂、沟渠、农田和内陆水体, 观测到的利用率分别为 38.45%、32.46%、19.88% 和 8.85%, 滩涂和沟渠是最主要的栖息地类型且昼、夜均利用. 农田是研究区域主要的栖息地类型, 是鸭属鸟类冬季重要的取食地, 但只有部分个体使用, 且多在夜间. 所有监测个体均在夜间保持较高的活动强度, 且活动高峰出现在清晨与黄昏. 本研究比较系统地揭示了上海地区冬季斑嘴鸭和绿头鸭的栖息地利用和活动节律、活动范围等时空特征, 为高度城市化地区的鸟类保护和管理提供了基础资料.

关键词: 斑嘴鸭; 绿头鸭; 浦东东滩湿地; 越冬期; 栖息地; 行为

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

雁鸭类是上海地区越冬水鸟的代表类群之一, 也是禽流感病毒最主要的野生动物宿主类群之一. 了解越冬季鸭类的空间行为和栖息地利用则可为开展水鸟保护和提升城市生态安全提供依据. 上海位于长江口区域, 有着大面积的湿地分布, 是迁徙水鸟重要的栖息地, 迄今记录到水鸟达 163 种^[1], 雁鸭类是其中越冬水鸟的代表类群之一^[2-3]. 近年来以禽流感为代表的野生动物疫源疫病给人类正常生产生活带来很大影响^[4-5]. 而迁徙性水鸟, 尤其是雁鸭类一直以来都是禽流感病毒重要的自然宿主^[6]. 雁鸭类也是上海地区主要的禽流感病毒野生宿主^[7]. 雁鸭类在上海地区传统的分布区域——沿海滩涂又面临着围垦和人类活动加剧的局面^[8], 这些既影响雁鸭类在上海地区的栖息, 也增加了禽流感病毒向人类环境扩散的风险. 因此加强上海地区雁鸭类空间活动范围和规律的研究, 既是迁徙水鸟保护生物学的需要, 更是上海地区生态安全建设的需要.

自上世纪 80 年代以来, 浦东东滩(原南汇东滩)经历了多次大规模围垦^[9]. 围垦区的鸭科鸟类种群数量高于非围垦区域鸭科鸟类^[10], 这为我们了解人类活动干扰背景下的雁鸭类栖息地利用和空间行为模式提供了研究机会. 已有的研究显示, 越冬季雁鸭类会利用鱼塘、河道、农田栖息和觅食, 但是回避人类活动的区域^[12]. 另一方面, 雁鸭类对于围垦地区各种栖息地的利用又存在明显的节律性^[13]. 这与雁鸭类在栖息地偏好和反捕食策略之间的权衡有关^[14]. 然而, 以上研究结果均是基于野外观察数据获得的. 由于观测能力的限制, 制约了精确的、连续的鸟类空间行为数据的可获得性, 最终影响分析结果的全面性.

近年来, 随着无线电和 GPS(Global Positioning System)背负式跟踪设备在鸟类行为学研究中的应用^[15-16], 结合遥感和地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术^[17-19], 人们已经可以在更大空间尺度和更精细的时间尺度上对鸟类空间行为进行连续观测, 从而极大地推动了鸟类空间行为的研

收稿日期: 2021-02-19

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31470488); 上海市野生动植物保护管理站禽流感疫源动物监测项目

作者简介: 叶思嘉(1994—), 女, 硕士; 王正寰, 男, 教授, 通信作者, E-mail: zhawang@bio.ecnu.edu.cn

究^[20-22]. 目前这一技术已经广泛运用于鸟类的迁徙行为和栖息地利用的研究中^[23-29], 这使得我们通过使用 GPS 追踪技术研究雁鸭类在上海地区越冬季的栖息地利用模式成为可能.

因此, 本研究以上海浦东东滩冬季最常见的斑嘴鸭(*Anas poecilorhyncha*)和绿头鸭(*A. platyrhynchos*)两种鸭属鸟类为研究对象, 采用 GPS 定位跟踪技术就以下 3 个方面展开研究: 1) 鸭科鸟类的迁徙行为; 2) 浦东东滩地区鸭科鸟类的活动范围和活动节律; 3) 两种鸭物种的栖息地利用特征以及对不同类型生境的时间利用模式.

1 研究方法

1.1 研究地点

上海浦东东滩为长江口南岸潮滩, 与之相距 10 km 的长江河口心滩为九段沙^[30]. 浦东东滩南北长 40.3 km, 总面积约 122.5 km²^[31], 主要植被为海三棱藨草和芦苇, 湿地资源丰富, 是上海地区重要的水鸟栖息地, 也是上海市第一个野生动物禁猎区所在地. 同时浦东东滩又存在大面积围垦, 由于农业生产和新城建设, 该区域人为干扰较重^[8-9], 是典型的人类和野生水鸟活动交错区.

1.2 GPS 追踪器的佩戴、设置与数据回收

于 2017 年 1 月 18 日在浦东东滩世纪塘鸟类禽流感检测站(31°0'11.90"N, 121°55'28.23"E)选择了 4 只绿头鸭(*Anas platyrhynchos*)和 5 只斑嘴鸭(*A. poecilorhyncha*), 共 9 只健康且体质量($m_{\text{个体}}$)大于 600 g 的个体, 安装了背负式 GPS 卫星追踪器(HQBG2715S, 环球信士), 追踪器单个质量($m_{\text{追踪器}}$)17 g, 所有个体均达到佩戴设备小于体重 3% 的标准^[16]. 所有研究个体的基本情况详见表 1. 设定 GPS 追踪器数据周期为每小时 1 个位点. 此外, 本研究使用的 GPS 追踪器内置运动探头, 可以记录一个计时周期内(1 h)的振荡次数以反映最终动物在该时段内的活动量. 监测个体的 GPS 位点数据通过 Tracker Client 2.0^[32]回收和管理.

全部野外工作经上海市林业局和浦东新区林业站批准, 程序和操作符合上海市林业局野生动物保护的相关规定.

表 1 监测个体基本信息
Tab. 1 Basic information of tracked duck individuals

编号 ¹⁾	$m_{\text{个体}}/g$	性别	$m_{\text{追踪器}}/m_{\text{个体}}$	编号 ¹⁾	$m_{\text{个体}}/g$	性别	$m_{\text{追踪器}}/m_{\text{个体}}$
BZ001	1 000	雌	1.7%	LT001	1 120	雌	1.5%
BZ002	1 080	雄	1.5%	LT002	1 260	雄	1.3%
BZ003	1 020	雄	1.6%	LT003	925	雌	1.8%
BZ004	620	雄	2.7%	LT004	1 100	雄	1.5%
BZ005	820	雄	2.1%				

注: 1) 编号中 BZ 表示斑嘴鸭(*A. poecilorhyncha*); LT 表示绿头鸭(*A. platyrhynchos*); 所有个体均为成鸟.

1.3 监测个体越冬期活动范围计算

因为斑嘴鸭 BZ004 和绿头鸭 LT004 个体有效位点数过少(<400), 同时绿头鸭 LT002 整个越冬期主要在嵛泗列岛活动, 因此不再对这 3 个个体进行后续的数据分析.

根据 GPS 追踪器传回的有效 GPS 位点对被追踪个体的活动路径和活动范围进行跟踪. 关于监测个体越冬期数据的认定, 分为 3 种情况进行: (1) 对于监测到迁徙行为的个体, 以最早发生迁徙行为(向北方迁徙)的时间为准, 将从开始 GPS 追踪到该时间点之前的时间段内获得的位点数据作为被追踪个体在上海期间的越冬期数据; (2) 对于在迁徙季节到来前就失去信号的个体, 计算从监测开始到信号消失全过程的空间位点数据; (3) 对于整个监测期间都居留上海地区的个体, 我们以最晚开始北迁的个体离开上海的时间为节点, 将从监测开始到该时间点为止的数据作为这些居留个体的越冬期数据.

使用 ArcGIS10.4^[33]的 Home Range Tool 2.0(HRT 2.0)插件, 分别以最小凸多边形法(Minimum Convex Polygon, MCP)和固定核空间法(Fixed Kernel Estimation, FKE)计算每个个体在浦东东滩地区

的活动面积^[34]. 由于 FKE 最大的估计百分比为 95%, 为方便比较两种方法计算的活动面积, 本研究分别提供了 MCP 和 FKE 的 95%、75%、50% 等 3 个百分比水平的活动面积.

此外, 为了明确全部监测个体在浦东东滩越冬期间可能的活动范围并计算其栖息地利用方式, 有必要计算基于全部监测个体的整体活动范围. 固定核空间法(FKE)需要根据具体个体计算空间平滑度系数 k , 不适用于全部个体的整体活动范围计算^[34], 因此使用 95% MCP 法计算全部监测个体的越冬期整体活动范围.

1.4 研究区域的栖息地 GIS 解译

使用上述 95% MCP 法计算的全部监测个体的越冬期整体活动范围作为栖息地 GIS 解译区域. 使用 ArcGIS 10.4^[33], 利用 Formosat-2 卫星 2 m 级多光谱地面遥感图像(2012 年 6 月), 结合 Google Earth 图像和实地调查, 对研究地区的景观结构进行目视解译. 将研究区域的用地类型分为建筑、道路、裸地、农田、林地、草地、内陆水体、沟渠和滩涂等 9 种. 其中, 滩涂定义为沿海大堤以外的潮间带区域; 沟渠定义为大堤之内的运河和水渠; 农田为已经翻耕或已有作物的耕地; 裸地为荒弃闲置的土地; 内陆水体定义为内陆湖泊、河流、坑塘; 道路仅指不透水路面区域; 建筑定义为包括大堤、房屋以及非道路不透水地面在内的区域. 部分监测个体在上海本土周边的一些岛屿和群岛例如九段沙和嵎泗列岛活动. 限于研究能力, 这些岛屿的栖息地情况尚无法实际调研, 因此, 本研究仅探讨活动区域在浦东东滩地区的个体的栖息地利用特征.

1.5 监测个体整体栖息地利用特征

首先, 根据 GIS 解译的监测个体总活动区域内的各种用地类型的面积百分比, 作为该种用地类型的资源可获得性. 以越冬期全部有效 GPS 位点数乘以每种用地类型的百分比, 作为监测鸭科鸟类对该种用地类型的理论利用率. 其次, 以越冬期全部有效 GPS 位点实际落在某种用地类型中的数量百分比作为鸭科鸟类对该种用地类型的观测利用率, 并计算该观测利用率的 Bonferroni 95% 置信区间^[35-36]. 如果观测利用率 95% 置信区间小于理论利用率, 判断被监测鸭科鸟类对该种用地类型的利用率显著小于理论预期; 如果观测利用率 95% 置信区间包含理论利用率, 判断监测个体对该用地类型没有显著的倾向性; 如果观测利用率 95% 置信区间大于理论利用率, 判断监测个体对该用地类型的利用率显著大于理论预期.

1.6 监测个体对各主要栖息地类型的利用模式

当越冬期全部监测个体 GPS 位点在某一用地类型中的数量达到全部有效位点数的 5% 时, 将该用地类型判断为主要栖息地类型. 统计每小时中各监测个体实际落入各主要栖息地类型中的位点数. 如果具体监测个体的主要栖息地类型数 ≥ 3 , 使用 Kruskal-Wallis 秩检验比较该个体在 24 h 内对不同主要栖息地类型强度的差异. 如果某监测个体只有 2 种主要栖息地类型, 使用 Wilcoxon 两个独立样本秩检验.

为分析监测个体在对各主要栖息地类型利用的时间分配, 定义 07:00~18:59 为昼间, 19:00~06:59 为夜间. 首先使用 2 个独立样本的 Wilcoxon 秩检验比较每个监测个体在整个监测期间昼、夜间对某个主要栖息地类型的利用强度是否存在显著差异. 然后, 使用 2 个相关样本的 Wilcoxon 秩检验分别就每个监测个体对不同主要栖息地类型昼、夜间利用强度进行两两比较. 为控制自由度对检验结果的影响, 依据每个个体具体的主要栖息地类型数, 对显著值(P 值)进行 Bonferroni 矫正^[37].

1.7 监测个体活动节律

本研究使用的 GPS 卫星追踪器内置运动探测器, 通过记录单位时间内(1 h)的振荡次数估计佩戴个体在该时段内的活动强度. 因此, 我们使用整个越冬期每个监测个体在各个小时内的振荡次数的平均值作为该个体在该计时单位中的活动强度, 分析全部个体整体的以及每个个体在整个越冬期的 24 h 活动节律. 所有统计分析均使用 R3.5.0^[38]完成.

2 结果

2.1 斑嘴鸭和绿头鸭监测情况

研究时期为 2017 年 1 月 18 日到 2018 年 1 月 1 日, 共监测斑嘴鸭 5 只、绿头鸭 4 只, 总计 9 个个体. 其中跟踪时间最长的个体是斑嘴鸭 BZ005(315 天、7 189 位点), 最短的是绿头鸭 LT004(33 天、363 位点)

(表 2), 平均监测时长(125.0 ± 105.98) d、平均数据个数(2777.3 ± 2509.60) 个。9 只监测个体中有 4 只监测到迁徙行为, 包括 2 只斑嘴鸭(BZ002、BZ003)和 2 只绿头鸭(LT002、LT003)(表 2)。我们依据最早发生迁徙行为的个体 BZ002 的迁徙开始时间, 将越冬季的结束时间设定为 2017 年 4 月 3 日(表 2)。

表 2 监测个体 GPS 跟踪数据汇总
Tab. 2 Summary of GPS data of each tracked individual

编号	总位 点数/个	总监测 时间/d	监测时间		位点数/个	监测时间		位点数/个	$d_{\text{迁徙}}/\text{km}$
			浦东东滩越冬期			北方栖息地			
BZ001	1 192	53	2017-01-18 至 2017-03-11		1 192	—		—	—
BZ002*	3 509	268	2017-01-18 至 2017-04-03		1 730	2017-04-04 至 2017-10-13		2 779	1 018.32
BZ003*	4 363	191	2017-01-18 至 2017-04-30		2 098	2017-05-01 至 2017-07-27		2 265	211.99
BZ004	164	69	2017-01-18 至 2017-03-27		164	—		—	—
BZ005#	7 189	315	2017-01-18 至 2017-11-28		7 189	—		—	—
LT001	406	34	2017-01-18 至 2017-02-20		406	—		—	—
LT002*	2 090	310	2017-01-18 至 2017-04-05		1 436	2017-04-06 至 2017-11-23		654	962.23
LT003*	4 764	208	2017-01-18 至 2017-04-11		1 849	2017-04-12 至 2017-08-13		2 915	635.75
LT004	363	33	2017-01-18 至 2017-02-19		363	—		—	—

注: —表示没有数据; *表示监测到迁徙行为的个体; #表示斑嘴鸭 BZ005 个体整个监测期间均未离开浦东东滩地区。

2.2 监测个体在浦东东滩的活动范围

6 只在上海浦东东滩地区活动个体(4 只斑嘴鸭和 2 只绿头鸭)的主要活动范围都集中在以大治河入海口为中心的广大滩涂和周边区域(图 1)。所有个体的平均活动面积为(22.206 ± 33.264) km^2 (95% MCP)或(15.073 ± 25.390) km^2 (95% FKE)(表 3), 且物种之间没有显著差异。

表 3 监测个体的活动面积估计
Tab. 3 Evaluation of the active area of each tracked individuals

个体编号	监测时间	活动范围/ km^2					
		MCP			FKE		
		95%	75%	50%	95%	75%	50%
BZ001	2017-01-18 至 2017-03-11	1.786	0.867	0.468	1.367	0.568	0.250
BZ002	2017-01-18 至 2017-04-02	15.469	10.683	8.047	11.485	4.587	1.923
BZ003	2017-01-18 至 2017-04-29	89.068	46.181	30.591	66.371	28.608	13.037
BZ005	2017-01-18 至 2017-07-01	13.440	2.688	1.856	5.355	2.033	1.031
LT001	2017-01-18 至 2017-02-20	2.029	0.139	0.017	2.059	0.770	0.274
LT003	2017-01-18 至 2017-04-10	11.446	0.468	0.104	3.798	0.725	0.246
平均值±标准差		22.206±33.264	10.171±18.079	6.847±12.024	15.073±25.390	6.215±11.075	2.794±5.062

2.3 监测个体整体栖息地利用特征

在所有监测个体的活动范围内(图 2), 利用率(观测利用率)超过总 GPS 位点数 5% 的主要栖息地类型依次为滩涂(38.45%)、沟渠(32.46%)、农田(19.88%)、内陆水体(8.85%)(表 4)。Bonferroni Z 检验显示, 滩涂、内陆水体和沟渠的观测利用率显著大于理论利用率, 说明鸭属鸟类对这 3 类用地类型的使用存在偏好(表 4)。监测个体对于建筑、道路、裸地、林地、草地和农田的观测利用率均显著低于该用地类型的理论利用率, 均为利用较少的用地类型(表 4)。

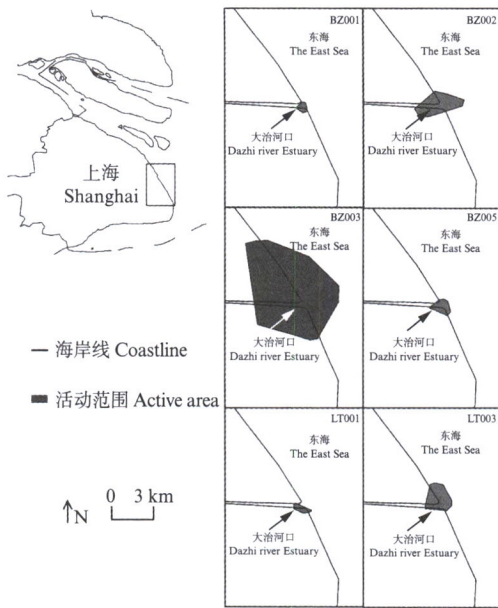


图 1 监测个体越冬期在上海浦东东滩地区的活动范围

Fig. 1 The summary of the activity area of each tracked anatid individual during the wintering period in the Dongtan Wetland of Pudong, Shanghai

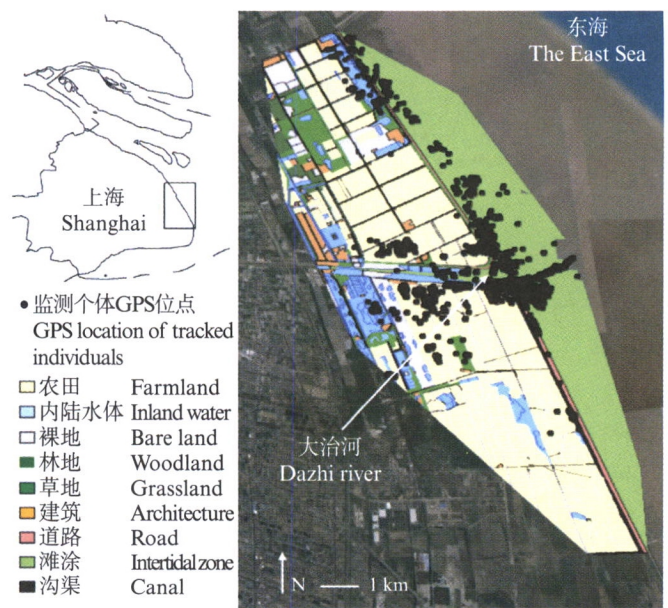


图 2 上海浦东东滩地区全部监测个体活动范围内的用地类型分布

Fig. 2 Landuse distribution in the activity area of all the tracked individuals in Dongtan Wetland of Pudong, Shanghai

表 4 汇总监测个体 GPS 数据反映的各类栖息地利用强度

Tab. 4 Intensities of all types of habitat use reflected by aggregated GPS data of all tracked individuals

用地类型	$S_{\text{可用}}/\text{km}^2$	观测利用率/%	GPS 位点数/个	理论利用率/%	GPS 位点数/个	Bonferroni 95%置信区间	选择性 ¹⁾
建筑	2.45	0.00	0	2.45	186	[0,0]	-
道路	1.58	0.32	3	1.58	120	[0,0.07]	-
农田	40.44	19.88	1 868	40.44	3 079	[19.07,20.69]	-
裸地	4.78	0.12	11	4.78	364	[0.05,0.19]	-
林地	2.17	0.00	0	2.17	165	[0,0]	-
草地	4.47	0.20	19	4.47	355	[0.11,0.29]	-
内陆水体	7.97	8.85	832	7.97	607	[8.28,9.42]	+
滩涂	30.35	38.45	3 613	30.35	2 310	[37.47,39.43]	+
沟渠	5.59	32.46	3 050	5.59	426	[31.51,33.41]	+

注：1) +表示显著利用，-表示显著回避。

2.4 监测个体栖息地利用模式

从全部个体的总数据来看，监测个体对 4 类主要栖息地类型(滩涂、农田、内陆水体和沟渠)的利用存在显著差异($\chi^2_3 = 54.433, P < 0.001$)。所有个体在昼间(07:00~9:00)以及夜间(19:00~24:00)呈现两个活动高峰。农田夜间利用强度高于白天。内陆水体基本只在白天被利用。滩涂的夜间利用略高于白天且在两个活动高峰时利用强度最高。沟渠全天利用较为平均，但夜间利用强度更大，在多数个体中于 06:00 左右利用强度最大(图 3，见第 456 页)。

(1) 斑嘴鸭和绿头鸭在一天中主要有两个活动高峰：第一个活动高峰均出现在 7 时左右，第二个活动高峰在 18:00 左右(BZ001、LT003)或 21 时左右(BZ002、BZ003、BZ005)。相比之下，BZ003 和 BZ005 夜间活动强度均高于白天(图 3)。

(2) 除 BZ001($W = 193, P = 0.051$)外所有追踪个体对不同生境类型栖息地利用模式不同。BZ002($\chi^2_2 = 40.933, P < 0.001$)、BZ003($\chi^2_3 = 26.064, P < 0.001$)、BZ005($\chi^2_2 = 63.29, P < 0.001$)、LT001($W = 0, P < 0.001$)、LT003($\chi^2_2 = 28.927, P < 0.001$)对不同生境类型栖息地利用强度存在显著性差异(图 3)。

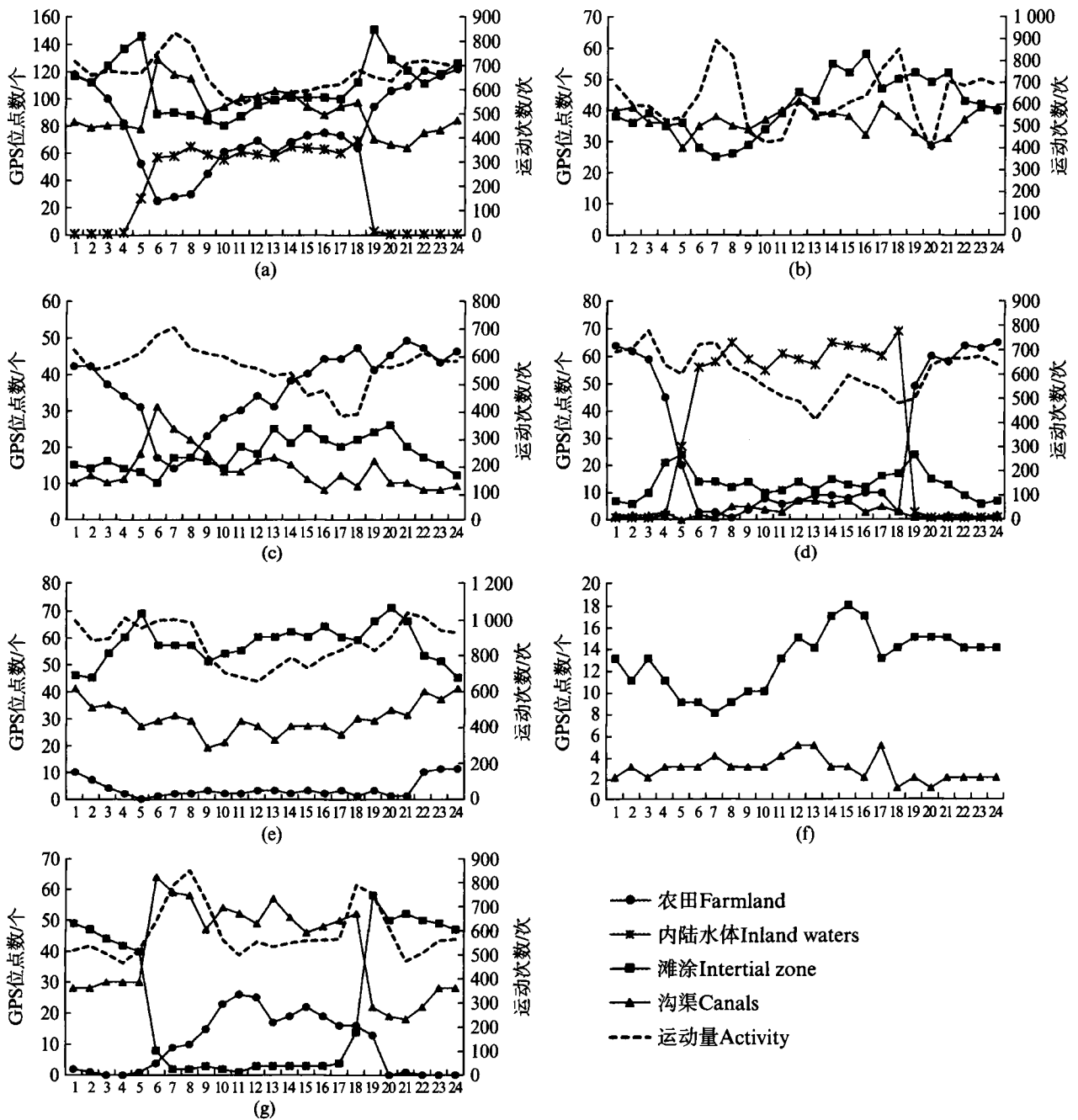


图 3 监测个体活动量和对各类栖息地利用强度的 24 h 分布

Fig. 3 Habitat use and activity intensities of tracked individuals in 24 h

(a) 全部个体的整体情况;(b) BZ001;(c) BZ002;(d) BZ003;(e) BZ005;(f) LT001,该个体的运动量探头失灵无法记录,故未提供运动量统计;(g) LT003.

(3) 不同追踪个体对不同类型栖息地昼夜利用程度并不一致. 所有追踪个体均利用了滩涂和水渠: 仅 BZ002 和 LT003 对滩涂的昼夜利用程度上存在显著性差异;BZ003、BZ005、LT001、LT003 4 个个体对水渠的昼夜利用程度存在显著性差异. 监测期间,在 4 个利用农田的追踪个体中,BZ003 和 LT003 对农田昼夜利用程度存在显著性差异;只有 BZ003 利用了内陆水体,且对内陆水体的昼夜利用存在显著差异. BZ001 对滩涂和沟渠的昼夜利用程度均不存在显著性差异(表 5).

(4) 同一时期(白天或夜晚)斑嘴鸭和绿头鸭对不同类型栖息地利用强度多存在显著性差异. 无论白天还是夜晚,斑嘴鸭和绿头鸭对农田和滩涂利用强度均存在显著性差异;在夜晚,斑嘴鸭和绿头鸭对农田和沟渠的利用强度存在显著性差异(表 6).

表 5 监测个体全天各种栖息地中 GPS 位点的分布
Tab. 5 Distribution of GPS locations of each tracked individual in the four types of habitat

监测区域	监测时间	BZ001	BZ002	BZ003	BZ005	LT001	LT003	总计
滩涂	24 h	41.4±9.3	18.0±4.4	13.1±4.9	57.6±7.0	13.0±2.8	24.1±22.8	109.1±19.6
	07:00~18:59	42.0±1.4	19.8±3.5^a	13.3±2.1	58.3±3.6	13.2±3.3	3.6±3.4^a	94.8±9.2
	19:00~06:59	40.8±7.3	16.3±4.8^b	13.0±6.8	56.9±9.4	12.8±2.2	44.7±12.5^b	123.4±16.6
沟渠	24 h	36.8±4.0	13.8±5.7	3.2±2.1	30.1±5.9	2.8±1.1	40.4±14.6	90.3±16.6
	07:00~18:59	37.8±3.1	14.9±5.1	4.7±1.9^a	6.1±3.8^a	3.4±1.2^a	51.9±4.3^a	100.3±9.4
	19:00~06:59	35.7±4.7	12.8±6.5	1.7±0.8^b	34.2±4.8^b	2.3±0.6^b	28.9±11.9^b	80.4±16.6
农田	24 h	—	36.0±10.3	28.8±26.6	3.7±3.4	—	10.0±9.5	77.8±30.3
	07:00~18:59	—	32.5±10.7	6.5±3.1^a	2.3±0.7	—	18.1±5.4^a	59.2±16.2
	19:00~06:59	—	39.5±8.8	51.0±19.8^b	5.1±4.4	—	1.8±3.7^b	96.5±30.1
内陆水体	24 h	—	—	34.6±29.7	—	—	—	34.7±29.7
	07:00~18:59	—	—	61.3±4.0^a	—	—	—	61.3±4.0
	19:00~06:59	—	—	8.0±16.8^b	—	—	—	8.1±17.1

表 6 监测个体各种栖息地类型昼夜间利用强度的比较
Tab. 6 Comparison of the utilization intensities between habitat types in daytime and night by each tracked individual

监测区域	监测时间	BZ001	BZ002	BZ003	BZ005	LT001	LT003
农田-内陆水体	昼间(7:00~18:59)	—	—	V=0, P=0.003	—	—	—
	夜间(19:00~6:59)	—	—	V=73, P=0.008	—	—	—
农田-滩涂	昼间(7:00~18:59)	—	V=65, P=0.005	V=0, P=0.002	V=0, P=0.002	—	V=78, P=0.003
	夜间(19:00~6:59)	—	V=78, P=0.003	V=75, P=0.009	V=0, P<0.001	—	V=0, P=0.003
农田-沟渠	昼间(7:00~18:59)	—	V=73.5, P=0.008	V=46, P=0.066	V=0, P=0.002	—	V=0, P=0.003
	夜间(19:00~6:59)	—	V=76, P=0.004	V=78, P=0.002	V=0, P=0.002	—	V=0, P=0.003
滩涂-沟渠	昼间(7:00~18:59)	V=24.5, P=0.271	V=14.5, P=0.059	V=78, P=0.002	V=78, P=0.002	V=78, P=0.002	V=0, P=0.003
	夜间(19:00~6:59)	V=22, P=0.195	V=16.5, P=0.084	V=78, P=0.002	V=78, P<0.001	V=78, P=0.002	V=66, P=0.037
滩涂-内陆水体	昼间(7:00~18:59)	—	—	V=78, P=0.002	—	—	—
	夜间(19:00~6:59)	—	—	V=13, P=0.045	—	—	—
沟渠-内陆水体	昼间(7:00~18:59)	—	—	V=78, P=0.003	—	—	—
	夜间(19:00~6:59)	—	—	V=28, P=1.0	—	—	—

注：Z 值均基于正秩，当 $P < 0.05$ 或 $P > 0.95$ 时为显著差异，—表示无数据。

3 讨论

3.1 迁徙的时间与路径

本研究结果表明,4月上旬为浦东东滩斑嘴鸭和绿头鸭普遍的迁飞时间,迁徙成功率高,除1个个体中途折返外,其余个体均到达繁殖地(表2)。斑嘴鸭和绿头鸭在浦东东滩的停留时间较长,且部分个体(BZ005)在接下来的繁殖季并不发生迁徙行为(表3)。这一现象在研究洪泽湖地区雁鸭类的迁徙行为时也有报道,部分斑嘴鸭和绿头鸭个体甚至会在洪泽湖地区繁衍^[12]。食物资源以及潜在配偶(家禽)资源可能是改变其迁徙节律的主要原因。

3.2 空间活动范围

本研究结果表明,浦东东滩的斑嘴鸭和绿头鸭都有自己相对固定的活动范围,未观察到监测个体去附近其他适合鸟类越冬的地方(例如崇明东滩和九段沙)活动。监测个体活动范围大小变异较大,且受制于样本量,没有发现越冬期活动范围存在种间差异(表3)。但是,所有个体的活动范围都在大治河河口附近,且不同个体之间活动区域有重合(图1),结合鸟群现场观察,支持不同鸭科鸟类物种之间存在明显的种间吸引和互利现象^[39]的观点。

有研究指出,雁鸭类的活动范围与物种、年龄和性别没有关系,只与个体使用的觅食地点和栖息地类型的多样性有关^[15],本研究中,只利用两种栖息地类型的斑嘴鸭 BZ001 与绿头鸭 LT001 的活动范围面积最小,利用三种栖息地类型的斑嘴鸭 BZ002、BZ005 与绿头鸭 LT003 的活动范围面积其次,利用了4种栖息地类型的斑嘴鸭 BZ003 的活动范围面积最大,活动范围的大小之间并不存在种间差异(图1,表3)。这是否意味着控制鸭科鸟类的栖息地与觅食地数量,可以减少它们的活动范围面积,降低它们携带的禽流感病毒的影响范围,有待后续研究。

3.3 栖息地利用特征

虽然一些人造栖息地确实可以提供水鸟适宜地栖息,但不能完全替代自然栖息地的生态服务功能^[40]。本研究发现的4种鸭科鸟类主要栖息地类型中,除了滩涂为自然栖息地外,其余3种均为人造栖息地,但是滩涂的利用率是所有4种栖息地中最高的(表5),这体现了自然栖息地对野生水鸟的重要性。另一方面,虽然6只主要监测个体的栖息地利用方式不尽相同(图3),但是滩涂和沟渠却是它们都利用的栖息地类型(表6),其中沟渠作为人造栖息地成为利用强度仅次于自然栖息地的生境类型(表5)。华宁等^[41]指出人工湿地环境影响水鸟栖息的主要环境因子是水面积和人为干扰强度。研究区域中的沟渠主要由围垦区的运河和灌溉水渠组成,宽阔的河道上极少有人类活动,因此为鸭科鸟类的栖息提供了条件。

另一方面,已有研究结果表明,越冬期鸭科鸟类很少利用稻田^[42-43]。本研究中,虽然总体数据上显示农田生境的利用率低于预期(表4),且不同的个体在农田上的使用差异明显(图3),但是一些个体(BZ002和BZ003)在夜间存在大量利用农田生境的现象(图3)。现场观察显示,冬季收割后的农田上有大量遗弃稻谷,这为植食性的鸭科鸟类提供了食物资源。鸭科鸟类光顾的农田都在远离村庄的地方,并且利用时间多为夜间(图3),这与人类田间作息时间是相反的。鸭科鸟类避开了人类作业的高峰期,说明人类活动仍然是主要的干扰源。其次,田间有家犬和家猫的活动痕迹,同时观察到一只斑嘴鸭尸体残骸有明显的食肉哺乳动物啃食痕迹。以上现象说明,农田虽然有鸭科鸟类需要的食物资源,但是较强的人类活动干扰和被捕食风险,限制了它们的利用率。因此,虽然浦东东滩农田面积很大,但实际利用率却不高。农田是浦东东滩地区人类活动、家养动物活动较密集的区域,深入研究野生鸭科鸟类对农田的利用问题对于分析人类和野生动物的交互作用,进而分析这种交互作用对野生动物疫源疫病的传人风险等都有重要意义。

本次研究的监测个体较少,出现了单个个体斑嘴鸭 BZ003 对内陆水体的利用量较大而干扰整个数据集的统计结果的现象(图3)。因此,进一步研究鸭科鸟类对内陆水体的利用问题则需要监测更多个体,对每个个体进行单独分析,才能得到更准确的结果。

3.4 活动节律

本次研究结果表明,斑嘴鸭和绿头鸭对栖息地的利用存在时间节律(图3)。已有研究^[13]表明,越冬季野生鸭属鸟类白天行为主要以休息为主,而夜间有取食行为。结合本次研究的结果,推测不同的栖息地可

能对鸭科鸟类的作用不同,有些为栖息地点,有些为觅食地点。

本次研究发现,斑嘴鸭和绿头鸭在清晨与黄昏存在活动高峰,而在夜间均保持较高的活动强度(图3)。研究表明,水禽需要依靠摄食抵御夜间低温恶劣的环境^[44],所以在黄昏与清晨存在高强度的觅食现象^[13]。因此,本次研究中鸭属鸟类在清晨与黄昏出现的活动高峰可能是觅食行为。限于技术手段,我们尚无法确定监测个体在各栖息地的具体行为,而传统的观察法如瞬时扫描和目标动物观察法可以直接了解到研究个体的行为规律^[45],故今后的研究方向应将GPS追踪法与传统的观察法结合起来。

致谢:感谢上海市浦东新区林业站的工作人员为本项目的开展提供实验动物和后勤保障。

参考文献:

- [1] 蔡音亭,唐仕敏,袁晓,等.上海市鸟类记录及变化[J].复旦学报(自然科学版),2011,50(3): 334-343.
- [2] 裴恩乐,袁晓,汤臣栋,等.上海沿江沿海湿地南迁水鸟群落的动态变化[J].复旦学报(自然科学版),2007,46(6): 906-912.
- [3] 郭文利,袁晓,裴恩乐,等.上海南汇东滩湿地鸟类资源调查[J].四川动物,2010,29(5): 596-604.
- [4] COX N J, SUBBARAO K. Global epidemiology of influenza: Past and present[J]. *Annual Review of Medicine*, 2000,51: 407-421.
- [5] SHORTRIDGE K F, PEIRIS J, GUAN Y. The next influenza pandemic: Lessons from Hong Kong[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2003,94: 70-79.
- [6] OLSEN B, MUNSTER V J, WALLENSTEN A, et al. Global patterns of influenza A virus in wild birds[J]. *Science*, 2006,312(5772): 384-388.
- [7] ZHOU L, LIU J, PEI E, et al. Novel avian influenza A(H5N8) viruses in migratory birds, China, 2013—2014[J]. *Emerging Infectious Diseases*, 2016,22(6): 1121-1123.
- [8] MA Z, MELVILLE D S, LIU J, et al. Ecosystems management rethinking China's new great wall[J]. *Science*, 2014,346(6212): 912-914.
- [9] 徐俊杰,陈勇.基于RS与GIS的南汇东滩围垦研究[J].上海国土资源,2011,32(3): 18-22.
- [10] 颜凤,刘本法,余仁栋,等.围填海对盐城珍禽自然保护区越冬水鸟群落及空间分布的影响[J].生态科学,2018,37(6): 20-29.
- [11] 张斌.长江口滩涂围垦后土地类型变化对水鸟的影响[D].上海:华东师范大学,2012.
- [12] 唐剑,鲁长虎,袁安全.洪泽湖东部湿地自然保护区雁鸭类种类组成、数量及生境分布[J].动物学杂志,2007(1): 94-101.
- [13] 桑莉莉.崇明东滩堤内次生人工湿地越冬水鸟的行为模式[D].上海:华东师范大学,2009.
- [14] ZOU Y, TANG C, NIU J, et al. Migratory waterbirds response to coastal habitat changes: Conservation implications from long-term detection in the Chongming Dongtan Wetlands, China[J]. *Estuaries and Coasts*, 2016,39(1): 273-286.
- [15] LEGAGNEUX P, BLAIZE C, LATRAUBE F, et al. Variation in home-range size and movements of wintering dabbling ducks[J]. *Journal of Ornithology*, 2009,150(1): 183-193.
- [16] TAKEKAWA J Y, NEWMAN S H, XIAO X, et al. Migration of waterfowl in the east asian flyway and spatial relationship to HPAI H5N1 outbreaks[J]. *Avian Diseases*, 2010,54(1): 466-476.
- [17] TUCKER K, RUSHTON S P, SANDERSON R A, et al. Modelling bird distributions—a combined GIS and Bayesian rule-based approach[J]. *Landscape Ecology*, 1997,12(2): 77-93.
- [18] 田波,周云轩,张利权,等.遥感与GIS支持下的崇明东滩迁徙鸟类生境适宜性分析[J].生态学报,2008(7): 3049-3059.
- [19] 黄慧敏,赵运林,王定兴,等.基于RS和GIS的洞庭湖小天鹅越冬生境选择研究[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2013,22(01): 62-66.
- [20] 关鸿亮,通口广芳.卫星跟踪技术在鸟类迁徙研究中的应用及展望[J].动物学研究,2000(5): 412-415.
- [21] 伍和启,杨晓君,杨君兴.卫星跟踪技术在候鸟迁徙研究中的应用[J].动物学研究,2008(3): 346-352.
- [22] 马志军.鸟类迁徙的研究方法和研究进展[J].生物学通报,2009,44(3): 5-9.

- [23] HIGUCHI H, OZAKI K, FIJITA G, et al. Satellite tracking of white-naped crane migration and the importance of the Korean demilitarized zone[J]. *Conservation Biology*, 1996, **10**(3): 806-812.
- [24] 马鸣,魏顺德,程军. 卫星跟踪下的黑鹳迁徙[J]. *动物学杂志*, 2004(2): 102.
- [25] 杨晓君,钱法文,李凤山,等. 中国首次卫星跟踪黑颈鹤研究初报[J]. *动物学研究*, 2005(6): 657-658.
- [26] 高立波. 卫星跟踪黑颈鹤(*Grus nigricollis*)迁徙路线以及迁徙停歇地现状初步研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2006.
- [27] 黄田,徐正刚,彭姣,等. 基于卫星跟踪的洞庭湖越冬小天鹅迁徙路线研究[J]. *四川动物*, 2018, **37**(4): 361-372.
- [28] KUANG F, WU W, KE W, et al. Habitat use by migrating Whimbrels (*Numenius phaeopus*) as determined by bio-tracking at a stopover site in the Yellow Sea[J]. *Journal of Ornithology*, 2019, **160**(4): 1109-1119.
- [29] 张余广,马一丹,李晓民. 基于GMS+GPS技术对白琵鹭幼鸟扩散的研究[J]. *野生动物学报*, 2018, **39**(3): 579-583.
- [30] 李道季,陈吉余. 上海浦东东滩与九段沙生态环境的比较[J]. *长江流域资源与环境*, 1997(3): 92-96.
- [31] 路珊. 上海浦东东滩围垦后农业种植养殖区对水鸟群落影响研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [32] 环球信士. 环球信士卫星追踪数据服务平台用户手册 V2. 0[D/OL]. (2020-09-15)[2020-11-15]. http://www.hqxs.net/Content/UploadFiles/file/20200915/20200915140200_4224.pdf
- [33] ESRI. ArcGIS-Complete Integrated System[CP/OL]. (2020-09-15)[2020-11-15]. <http://esri.com/arcgis>.
- [34] 刘晓庆,王小明,王正襄,等. 固定核空间法和最小凸多边形法估计藏狐家域的比较[J]. *兽类学报*, 2010, **30**(2): 163-170.
- [35] NEU C W, BYERS R C, PEEK J M. A technique for analyzing utilization-availability data[J]. *Journal of Wildlife Management*, 1974, **38**: 541-545.
- [36] 王正襄. 四川省石渠县藏狐的生态学研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [37] RICE, WILLIAM R. Analyzing tables of statistical tests[J]. *Evolution*, 1989, **43**(1): 223-225.
- [38] R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing[CP/OL]. (2020-09-15)[2020-11-15]. <https://www.R-project.org/>.
- [39] REED J M, DOBSON A P. Behavioural constraints and conservation biology: Conspecific attraction and recruitment[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1993, **8**(7): 253-256.
- [40] MA Z J, LI B, ZHAO B, et al. Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? A case study on Chongming Island, China[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2004, **13**(2): 333-350.
- [41] 华宁,马志军,马强,等. 冬季水鸟对崇明东滩水产养殖塘的利用[J]. *生态学报*, 2009, **29**(12): 6342-6350.
- [42] ELPHICK C S, ORING L W. Winter management of Californian rice fields for waterbirds[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1998, **35**(1): 95-108.
- [43] 刘昊. 人工湿地生境在水鸟保护中的作用研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
- [44] 马雪峰,田秀华,何相宝,等. 笼养东方白鹳越冬行为的研究[J]. *野生动物*, 2006(2): 36-39.
- [45] 沙剑斌. 繁殖期赤膀鸭昼间行为时间分配及雌雄行为差异[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.

Spatial Behavior and Habitat Use of *Anas poecilorhyncha* and *A. platyrhynchos* in Winter at Dongtan Wetland of Pudong, Shanghai

YE Sijia¹, MA Shuo¹, ZHOU Feng², WEI Xu¹, YUE Qu¹, HUANG Meiling¹, WU Di³, JIN Huiyu³, BO Shunqi³, YUAN Xiao³, LUO Zijing¹, GU Jianming⁴, WANG Tianhou¹, WANG Zhenghuan^{1,5}

(1. School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Jinshan District Forestry Station, Shanghai 201500, China; 3. Shanghai Landscaping and City Appearance Administrative Bureau, Shanghai 200041, China; 4. Pudong District Forestry Station, Shanghai 201200, China; 5. Joint Translational Science and Technology Research Institute, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: In this study, we studied the spatial behavior and habitat use pattern of the two most common ducks, five spot-billed ducks (*Anas poecilorhyncha*) and four mallards (*A. platyrhynchos*) in Dongtan Wetland of Pudong, Shanghai using GPS satellite tracking technology. The studies showed that the two anatid species began northward migration in early April. Each individual had a relatively fixed activity range during the wintering period with an average area of (15.073 ± 25.390) km² (95% FKE), and there was no significant difference between species. Main habitat types used by tracked ducks included the intertidal zone, canal, farmalands, and inland water, the utilization percentages are 38.45%, 32.46%, 19.88% and 8.85% respectively. Among them, the intertidal zone and canal were the two types of mainly used habitat by all tracked individuals. Although farmland is the main type of landform in the study area, and are potential feeding ground of ducks in winter, it was only used by four tracked individuals and mainly used at night to avoid human disturbance in the daytime. All tracked individuals kept active at night and showed activity peaks at dusk and early morning. These findings were the first to systematically reveal the temporal and spatial characteristics of habitat utilization, activity patterns and activity range of ducks in winter in Shanghai, providing basic data for waterbird conservation and management in highly urbanized areas.

Keywords: *Anas poecilorhyncha*; *Anas platyrhynchos*; Dongtan Wetland of Pudong; overwintering; habitat; behavior