

DOI: 10.5846/stxb201809202057

植毅进, 卢萍, 戴年华, 邵明勤, 曾健辉. 鄱阳湖滨藕塘生境中白鹤取食行为的研究. 生态学报, 2019, 39(12): - .

Zhi Yi J, Lu P, Dai N H, Shao M Q, Zeng J H. Foraging behaviour of Siberian Cranes in lotus pond habitats surrounding Poyang Lake. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(12): - .

## 鄱阳湖滨藕塘生境中白鹤取食行为的研究

植毅进<sup>1</sup>, 卢萍<sup>2</sup>, 戴年华<sup>2</sup>, 邵明勤<sup>1,\*</sup>, 曾健辉<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022

<sup>2</sup> 江西省科学院生物资源研究所, 南昌 330096

**摘要:**2016 年 12 月—2017 年 2 月和 2017 年 12 月—2018 年 1 月, 采用焦点动物法对鄱阳湖滨藕塘生境中白鹤 (*Grus leucogeranus*) 的取食行为进行观察, 共记录 921 只次成鹤和 547 只次幼鹤的取食行为。结果表明, 白鹤栖息水深为 (17.29±8.75) cm ( $n=1468$ ), 取食水深为 (18.84±10.32) cm ( $n=600$ ), 单次取食持续时间为 (3.10±1.69) s ( $n=600$ ), 取食频次为 (12.24±3.89) 次/min ( $n=1012$ ), 取食成功频次为 (1.78±1.59) 次/min ( $n=1468$ ), 取食成功率为 (16.26±14.41) % ( $n=1012$ )。成鹤取食成功频次 ( $c^2=70.797$ ,  $df=1$ ,  $P=0.000$ ) 和取食成功率 ( $c^2=5.356$ ,  $df=1$ ,  $P=0.020$ ) 均显著高于幼鹤, 表明成鹤取食能力较幼鹤强, 成鹤可以获得更多的能量。成鹤除维持自身能量支出外, 还需要花费较多的能量用于辅食和警戒行为。成幼鹤的取食频次和单次取食持续时间无显著差异, 这与成幼鹤的体型大小、能量需求和体内氧气储存量类似有关, 也与多数研究认为幼鹤觅食经验不足, 觅食成功率低, 需要靠多次取食来补偿能量的观点不同。成鹤取食水深极显著高于幼鹤 ( $c^2=50.945$ ,  $df=1$ ,  $P<0.0001$ ), 这可能与体型和取食经验有关。不同栖息水深下白鹤的取食成功率 ( $c^2=15.297$ ,  $df=4$ ,  $P=0.004$ ) 和取食成功频次 ( $c^2=23.155$ ,  $df=4$ ,  $P<0.0001$ ) 均存在极显著差异。不同时间段的取食频次、取食成功频次和取食成功率均无显著差异, 这可能与藕塘生境中白鹤采取触觉取食有关。此外, 白鹤昼间取食行为无明显节律性, 因此昼间能量需求相似, 取食参数没有显著差异。  
**关键词:**藕塘生境; 白鹤; 取食行为; 水深; 年龄

## Foraging behaviour of Siberian Cranes in lotus pond habitats surrounding Poyang Lake

ZHI Yijin<sup>1</sup>, LU Ping<sup>2</sup>, DAI Nianhua<sup>2</sup>, SHAO Mingqin<sup>1,\*</sup>, ZENG Jianhui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China

<sup>2</sup> Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Science, Nanchang 330096, China

**Abstract:** Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) is a large-sized, endangered waterbird, with about 95% of its global population (about 3500—4000 individuals) seasonally occurring in Poyang Lake, the largest freshwater lake in China. This species is listed in the First Category of National Key Protected Wildlife Species in China, and as critically endangered by the IUCN (International Union for Conservation of Nature). Prior to 2010, the population of Siberian Cranes in China existed mainly within Poyanghu National Nature Reserve, with most cranes foraging in the natural habitat of Poyang Lake. However, an increasing number of cranes now forage in lotus ponds and rice fields that surround this lake; their distribution has also expanded into other nature reserves, such as Nanjishan Wetland National Nature Reserve. The numbers of these cranes in the lotus pond habitats can at times be more than 25% (about 1200 individuals) of the total global population. However, very less is known about the foraging strategies of the Siberian Crane in the lotus pond habitats. Here, we describe and compare the foraging behaviour of these cranes in the lotus ponds. Behaviour in lotus pond habitats differs from

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31860611, 31560597) 资助。

收稿日期: 2018-09-20; 网络出版日期: 2019-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1048362673@qq.com

that in natural habitats, especially for foraging, vigilance, resting, and maintenance behaviours. Using focal animal observation methods, foraging behaviour of Siberian Cranes was observed between December 2016 and February 2017, and between December 2017 and January 2018. During these periods, observations of 921 individual-time adult cranes and 547 individual-time sub-adult cranes were made. The results show that the average water depth inhabited by Siberian Cranes is  $17.29 \pm 8.75$  cm ( $n = 1468$ ), while the average depth in which they forage is  $18.84 \pm 10.32$  cm ( $n = 600$ ). Foraging behaviour persisted for  $3.10 \pm 1.69$  s ( $n = 600$ ), with mean foraging frequency of  $12.24 \pm 3.89$  times/min ( $n = 1012$ ). Mean foraging success frequency and foraging success rate were  $1.78 \pm 1.59$  times/min ( $n = 1468$ ) and  $16.26 \pm 14.41\%$  ( $n = 1012$ ), respectively. Adult crane foraging success frequency ( $\chi^2 = 70.797$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.000$ ) and foraging success rates ( $\chi^2 = 5.356$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.020$ ) were both significantly higher than those of sub-adult cranes, indicating that adult cranes were more able to forage and could gain more energy. Adult cranes spent much energy on nurture and vigilance behaviour. No significant differences in foraging times and duration of foraging behaviour were apparent between adult and sub-adult cranes, which might be related to their similarity in body size, energy requirements, and oxygen storage capacity (in contrast to a theory that sub-adult cranes lack foraging experience, have low foraging success rates, and consequently have to forage more frequently to gain enough energy). Water depths in which adult cranes forage are significantly greater than those in which sub-adult cranes forage ( $\chi^2 = 50.945$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.000$ ), which might be related to body size and foraging experience. Extremely significant differences were observed in both foraging success frequency ( $\chi^2 = 15.297$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.004$ ) and foraging success rates ( $\chi^2 = 23.155$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.000$ ) for different water depths. However, no significant differences were observed in foraging frequency, foraging success frequency, and foraging success rates at different times, which might be related to the crane's tactile feeding method. In addition, cranes had similar energy requirements and foraging parameters throughout the day, with no obvious foraging rhythm.

**Key Words:** lotus pond habitat; Siberian Cranes; foraging behaviour; water depth; age

鸟类的取食行为表现为获得和处理食物的相关活动,包括搜寻、获取和处理食物等<sup>[1]</sup>。水鸟取食策略通常分为视觉取食、触觉取食和混合取食(即根据环境变化,交替使用视觉取食和触觉取食)3类<sup>[2]</sup>,取食策略通常与其取食方式(探取 Probe、啄取 Peck、扫取 Sweep 等)相对应<sup>[3]</sup>。鸟类取食行为研究较多,涉及鸡形目 Galliformes<sup>[1,4]</sup>、鸚形目 Psittaciformes<sup>[5]</sup>、鹤形目 Ciconiiformes<sup>[6]</sup>等类群。研究内容包括食物丰富度<sup>[7]</sup>、食物大小<sup>[6]</sup>、时段<sup>[4]</sup>、性别<sup>[8]</sup>、年龄、水深、天气和集群大小<sup>[9]</sup>等对取食行为的影响。当鸟类遇到食物丰富的斑块时,通常会延长在该斑块中的停留时间,放慢步行率和提高啄食率、摄食率和取食速度<sup>[10]</sup>;鄱阳湖区稻田中的灰鹤(*Grus grus*)啄食率还会随越冬期的进行而逐渐下降<sup>[11]</sup>;黑鹤(*Ciconia nigra*)成鸟搜寻较小食物的时间短于亚成鸟,棕颈鹭(*Egretta rufescens*)成鸟较亚成鸟的取食成功率高 30—250%<sup>[6,12]</sup>;此外,水深对水鸟特别是涉禽的取食行为影响明显,视觉和触觉取食的鸕鹚类均主要在浅水(1—10 cm)中觅食,因为浅水区的大型底栖猎物更丰富。海洋鸕鹚类也可在大于 10 cm 的水深中觅食,但取食效率较浅水低 20%<sup>[13]</sup>。因此,鸟类在不同条件下会表现出灵活的觅食对策,以获得足够的能量,鸟类觅食行为及影响因子的研究对物种保护和管理具有重要的理论和实践意义。

白鹤(*Grus leucogeranus*)隶属于鹤形目(Gruiformes)鹤科(Gruidae),为中国大型珍稀涉禽,国家 I 级重点保护鸟类,全球数量 3500—4000 只,IUCN 将其列为极度濒危物种<sup>[14-15]</sup>。目前白鹤的研究主要集中在食性<sup>[16]</sup>、觅食地特征<sup>[17-18]</sup>、时间分配与行为节律<sup>[19]</sup>。但有关人工生境(藕塘)中白鹤取食行为的专题研究未见报道。藕塘生境中的白鹤主要取食残留在底泥中的藕和其他植物的根茎,食物种类组成与自然生境存在较大区别。白鹤在自然生境中取食行为呈现明显的节律性,一天中存在 3 个取食高峰,而在藕塘生境中白鹤觅食行为只有 3 个小高峰,未呈现显著的节律性<sup>[9,19]</sup>。因此,白鹤在藕塘生境中可能采取了不同的觅食对策。本研究通过对鄱阳湖滨鲤鱼洲五星垦殖场藕塘生境中白鹤的取食行为的观察,目的在于:(1)掌握白鹤在藕塘

生境中的取食行为特征;(2)分析栖息水深、时段和年龄对白鹤取食行为的影响,了解白鹤在藕塘生境中的取食对策。本研究结果可为鄱阳湖滨白鹤越冬种群保护和人工生境的管理提供重要的科学依据。

## 1 研究区域与方法

### 1.1 研究区域概况

鄱阳湖(115°49'—116°46'E,28°11'—29°51'N)位于长江中游和下游交界处,长江南岸,江西北部,是中国第一大淡水湖<sup>[20]</sup>。属中亚热带季风气候,气候温和,雨量充沛,光照充足,无霜期长,多年平均气温为 16.5—17.8 ℃,最低(1月)日平均气温为 4.4 ℃,冬季多偏北风,夏季多西南风或偏东风,多年平均风速 1.8—2.7 m/s,年平均降水量为 1450—1550 mm,年日照时间 1885 h<sup>[20-21]</sup>。鄱阳湖是东亚迁徙水鸟极其重要的越冬场所,每年越冬期可为约 50—60 万只水鸟提供栖息场所,除大量的雁鸭类和鸕鹚类外,还有数量较多的鹤类、鸕鹚类等濒危物种<sup>[22]</sup>,包括世界上约 95% 的白鹤和 80% 以上的东方白鹤种群<sup>[23]</sup>。本次研究地区五星垦殖场毗邻鄱阳湖畔,位于五星垦殖场第二十一大队周边的藕塘中(图 1)。鄱阳湖五星垦殖场创建于 1962 年,由鄱阳湖围垦而成。现总面积 52 km<sup>2</sup>,耕地(藕田、稻田等)面积超过 3000 hm<sup>2</sup><sup>[19]</sup>。五星垦殖场藕塘收获后留有大量的莲藕根茎,为越冬白鹤提供了丰富的食物资源。藕塘中白鹤的数量由早期的几十只增加至 2016 年冬季的 1200 只左右,最高数量超过全球白鹤种群总数的 1/4,是白鹤数量最多的人工生境。本次观测点选在视野开阔、白鹤数量多的藕塘。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 调查方法

2016 年 12 月—2017 年 2 月和 2017 年 12 月—2018 年 1 月,借助单筒望远镜(SWAROVSKI, 20—60×),采用焦点动物法对鄱阳湖滨五星垦殖场藕塘生境中白鹤的取食行为进行观察,记录 1 min 内成鹤或幼鹤的取食频次和成功频次。记录取食频次前,先记录目标动物的栖息水深、取食水深和单次取食持续时间。成鹤和幼鹤的取食行为记录间隔分别约为 10 min 和 20 min。每次随机选择白鹤(成鹤或幼鹤)个体进行取食行为的记录,尽量不要重复选择同一个体,以减少重复取样,尽可能表现整体状况。栖息水深和取食水深的记录方法如下:将白鹤的腿分 5 个等级:I 级(<1/3 跗蹠)、II 级(1/3—2/3 跗蹠)、III 级(2/3—1 跗蹠)、IV 级(跗蹠关节—<1/2 胫骨)和 V 级(>1/2 胫骨);将白鹤的喙至整个脖子分 6 个等级:H1(<1/3 喙)、H2(1/3—2/3 喙)、H3(2/3—1 喙)、B1(喙<1/3 脖子)、B2(1/3—2/3 脖子)和 B3(>2/3 脖子),根据动物志的平均量度,将上述白鹤栖息位置的 5 个等级和白鹤取食位置的 6 个等级分别换算成栖息水深和取食水深,每个等级水深范围的中值记为平均水深(表 1 和表 2)<sup>[24]</sup>。出现下列任一标准记录为 1 次取食行为:(1)白鹤的喙进入水面寻找食物开始,至喙离开水面;(2)喙埋入水中表层,但出现明显停顿或吞咽动作;(3)当白鹤出现啄食泥土翻找食物,喙频繁出入水面时,以出现明显停顿记作 1 次。记作 1 次取食成功以掷头吞咽或喉咙发生运动伴随着吞咽为依据。根据当地冬季日照实际情况,将一天中的记录时间分为上午(7:00—11:00)、中午(11:01—14:00)和下午(14:01—17:00)3 个时段。研究区域内共发现白鹤约 1000 只,白鹤家庭群包括 2 成、2 成 1 幼、2 成 2 幼和 1 成 1 幼,本次共记录了 921 只次成鹤和 547 只次幼鹤的取食行为,平均每小时约观察成鹤 5 只和幼鹤 3 只,合计观察白鹤个体约 500 只。

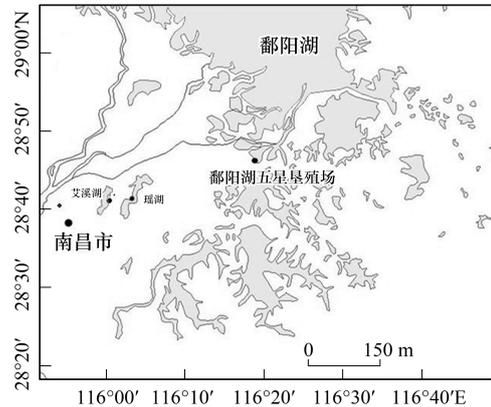


图 1 研究地点区域图

Fig.1 The survey area of study area

表 1 鄱阳湖滨藕塘生境中白鹤的栖息水深

Table 1 Inhabiting water depth of Siberian Cranes in lotus pond surrounding Poyang Lake

水深级别 Water depth grades	栖息水深 Inhabiting water depth	水深范围/cm Scope of water depth	平均水深/cm Average depth
I	<1/3 跗蹠	0—8.50	4.25
II	1/3—2/3 跗蹠	8.60—17	12.80
III	2/3—1 跗蹠	17.10—25.50	21.30
IV	跗蹠关节—1/2 胫骨	25.60—30.50	28.05
V	>1/2 胫骨	30.60—35.50	33.05

表 2 鄱阳湖滨藕塘生境中白鹤的取食水深

Table 2 Foraging water depth of Siberian Cranes in lotus pond surrounding Poyang Lake

水深级别 Water depth grades	取食水深 Foraging water depth	水深范围/cm Scope of water depth	平均水深/cm Average depth
H1	<1/3 喙	0—6.03	3.02
H2	1/3—2/3 喙	6.04—12.07	9.05
H3	2/3—1 喙	12.08—18.10	15.09
B1	喙—1/3 脖子	18.11—27.15	22.62
B2	1/3—2/3 脖子	27.16—36.20	31.68
B3	>2/3 脖子	36.21—45.25	40.73

### 1.2.1 数据处理

采用 Kolmogorov—Smirnov 对所有数据进行正态分布拟合检验,大部分数据呈非正态分布。因此本文选用 Kruskal-Wallis H 检验(多独立样本)方法进行统计分析<sup>[25]</sup>,分别检验不同栖息水深、时段和年龄之间取食频次、取食成功频次、取食成功率(1 min 内成功取食频次/总取食频次)的差异、不同年龄间取食水深和取食持续时间的差异。用卡方分析成幼鹤取食成功频次与失败频次的差异。文中数据表示为平均数±标准误( $\bar{x} \pm SE$ ),显著性水平设置为  $\alpha=0.05$ 。所有统计分析均借助 SPSS 21.0 和 Excel 2013 完成。

## 2 结果

鄱阳湖滨藕塘生境中,白鹤栖息水深为(17.29±8.75) cm( $n=1468$ ),取食水深为(18.84±10.32) cm( $n=600$ ),单次取食持续时间为(3.10±1.69) s( $n=600$ ),取食频次为(12.24±3.89)次/min( $n=1012$ ),取食成功频次为(1.78±1.59)次/min( $n=1468$ ),取食成功率为(16.26±14.41)%( $n=1012$ )(表 3)。

表 3 鄱阳湖滨藕塘生境中白鹤的取食行为参数

Table 3 Foraging behaviour parameters of Siberian Cranes in lotus pond surrounding Poyang Lake

取食参数 Foraging parameters	样本量 Sample size	范围 Scope	平均值±标准误 Average depth±standard deviation
栖息水深/cm Inhabiting water depth	1468	0—35.50	17.29±8.75
取食水深/cm Foraging water depth	600	0—45.25	18.84±10.32
单次取食持续时间/s Each foraging behaviour duration	600	1—9	3.10±1.69s
取食频次/(次/min) Foraging frequency	1012	1—24	12.24±3.89
取食成功频次/(次/min) Foraging success frequency	1468	0—12	1.78±1.59
取食成功率/% Foraging success rate	1012	0—80.00	16.26±14.41

### 2.1 年龄对白鹤取食行为的影响

本研究可作为年龄对白鹤取食行为影响分析的有效数据为 1468 只次,其中成鹤 921 只次,幼鹤 547 只次。Kruskal-Wallis H 检验结果表明,成鹤取食成功频次极显著高于幼鹤( $c^2 = 70.797, df = 1, P < 0.0001$ ),取食成功率也显著高于幼鹤( $c^2 = 5.380, df = 1, P = 0.020$ ),成幼鹤的取食频次无显著差异( $c^2 = 2.356, df = 1, P = 0.125$ ) (表 4)。卡方检验也表明,成鹤( $n = 664$ )取食成功频次极显著高于幼鹤( $n = 348$ ) ( $P = 0.001$ )。成鹤的取食水深极显著高于幼鹤( $c^2 = 50.945, df = 1, P < 0.0001$ ),成幼鹤的取食持续时间无明显差异( $P = 0.117$ ) (表 4)。

表 4 鄱阳湖滨藕塘中成幼鹤的取食行为参数

Table 4 Foraging behaviour parameters of adult and sub-adult Siberian Cranes in lotus pond surrounding Poyang Lake

取食参数 Foraging parameters	成鹤 Adult Siberian Cranes			幼鹤 (n=547) Subadult Siberian Cranes (n=547)		
	n	范围	平均值±标准误	n	范围	平均值±标准误
取食频次(次/min) Foraging frequency	921	2—24	12.41±3.92	547	1—22	11.91±3.81
取食成功频次(次/min) Foraging success frequency	921	0—12	2.04±1.68	547	0—8	1.36±1.33
取食成功率/% Foraging success rate	921	0—80.00	17.20±15.28	547	0—75.00	14.46±12.38
取食水深/cm Foraging water depth	304	0—45.25	21.65±10.21	296	0—45.25	15.96±9.63
单次取食持续时间/s Each foraging behaviour duration	304	1—8	3.19±1.67	296	1—9	3.01±1.72

### 3.2 栖息水深对白鹤取食行为的影响

本研究可作为水深对白鹤取食行为影响分析的有效数据为 1468 只次(I:225 只次(15.33%)、II:591 只次(40.26%)、III:310 只次(21.12%)、IV:209 只次(14.24%)、V:133 只次(9.06%))。Kruskal-Wallis H 检验结果表明,不同水深下的白鹤取食频次( $c^2 = 7.998, df = 4, P = 0.092$ )无显著差异(表 5),不同栖息水深下白鹤的取食成功率( $c^2 = 15.297, df = 4, P = 0.004$ )和取食成功频次( $c^2 = 23.155, df = 4, P < 0.0001$ )均存在极显著差异。其中, I 级水深的白鹤取食成功率极显著低于 II 级( $c^2 = 9.002, df = 1, P = 0.003$ )和 III 级( $c^2 = 14.453, df = 1, P < 0.0001$ )。I 级水深的白鹤取食成功频次极显著低于 III 级( $c^2 = 16.756, df = 1, P < 0.0001$ )和 V 级( $c^2 = 8.368, df = 1, P = 0.004$ ), II 级水深的白鹤取食成功频次极显著低于 III 级( $c^2 = 10.912, df = 1, P = 0.001$ )。

表 5 鄱阳湖滨藕塘中白鹤在不同栖息水深下的取食行为参数

Table 5 Foraging behaviour parameters of Siberian Cranes in lotus pond surrounding Poyang lake under different water depths

取食参数 Foraging parameters	水深 Water depth					
	I	II	III	IV	V	P
取食频次/(次/min) Foraging frequency	12.46±3.36	11.91±3.97	12.11±3.98	13.34±3.76	12.98±4.08	0.092
取食成功频次/(次/min) Foraging success frequency	1.44±1.22ac	1.69±2.56a	2.09±1.82b	1.91±1.60abc	1.91±1.49bc	<0.001
取食成功率/% Foraging success rate	11.65±9.87a	16.41±14.34b	18.79±16.92b	15.90±12.99ab	15.51±13.86ab	0.004

相同字母表示没有显著差异

### 2.3 时段对白鹤取食行为的影响

在不同时段记录到的白鹤数量分别为:上午 448 只次、中午 507 只次和下午 513 只次。Kruskal-Wallis H 检验结果表明,不同时段白鹤的取食频次( $c^2 = 0.513, df = 2, P = 0.774$ )、取食成功频次( $c^2 = 4.439, df = 2, P = 0.109$ )和取食成功率( $c^2 = 1.274, df = 2, P = 0.529$ )均无显著差异(表 6)。

表 6 鄱阳湖滨藕塘中白鹤在不同时段下的取食行为参数

Table 6 Foraging behaviour parameters of Siberian Cranes in lotus pond surrounding Poyang lake during different periods

取食参数 Foraging parameters	时段 Time frame			P
	7:00—11:00	11:00—14:00	14:00—17:00	
取食频次 Foraging frequency(次/min)	12.17±4.06	12.22±4.07	12.32±3.55	0.774
取食成功频次 Foraging success frequency(次/min)	1.69±1.54	1.80±1.67	1.86±1.54	0.109
取食成功率 Foraging success rate/%	15.86±14.40	16.26±14.69	16.59±14.02	0.529

### 3 讨论

#### 3.1 年龄对白鹤取食行为的影响

成鹤取食成功率和成功频次均显著高于幼鹤,并且成幼鹤的取食成功频次与失败频次也存在极显著差异,这表明成鹤的取食能力较幼鹤强。另外,成鹤除维持自身能量支出外,还需要花费更多的能量对幼鹤进行辅食和加强警戒,确保幼鹤在安全的环境下取食,因此它们需要更多的成功取食频次<sup>[9]</sup>。幼鹤的能量除了靠自身取食获取外,还可依靠成鹤的辅食,因此较低的取食成功频次和成功率仍能满足其自身的能量需求。多数研究认为,幼鹤处于生长发育期,由于觅食经验不足,觅食成功率低,需要多次取食来补偿食物的总获取量<sup>[19]</sup>。本文研究结果则表明,成鹤和幼鹤的取食频次无显著差异,单次取食持续时间也无显著差异。这一事实说明,藕塘生境中幼鹤能量需求中的一部分需要靠成鹤的辅食来提供,而不是靠自身多次取食来补偿。白鹤行为时间分配中,幼鹤的取食时间比例为什么较成鹤长,这与成幼鹤寻找食物的时长、处理食物时长还是与其他因素有关,还有待进一步研究。单次取食持续时间无显著差异,也可能与成幼鹤具有类似的体型大小和氧气储存量有关。成鹤的取食深度极显著大于幼鹤,幼鹤取食深度主要集中在 B2 级,成鹤主要集中在 H1 级,这可能与成幼鹤的体型和取食经验的差异有关。深水区获取食物难度一般较大,成功取食需要的时间也相对较长(表 5),幼鹤取食经验不足,在较深的水体中获取食物比较困难,它们选择更浅且取食相对容易的水体,用与成鹤相似的取食持续时间获取食物(表 4)。由于藕塘白鹤种群数量相对较大,白鹤无法在大范围内交替使用不同的藕塘,藕塘中一些易取食的浅水区域的食物资源可能消耗较快,成鹤利用自身丰富的取食经验在食物资源相对丰富的更深水体中获得供自身和辅食用的食物(表 4,5)。不同水体中食物资源的时空动态以及这些变化与成幼鹤取食行为的定量关系还有待进一步深入研究。

#### 3.2 水深对白鹤取食行为的影响

水深是限制水鸟栖息地利用的最重要因子,可影响水鸟的取食行为和取食能耗<sup>[22]</sup>。本次藕塘生境中白鹤平均取食水深为(18.84±10.32) cm,与鄱阳湖自然生境中白鹤取食深度为 10—20cm,平均取食水深(20.4±7) cm 的结果相似<sup>[26-27]</sup>。表明白鹤在不同生境下具有类似的取食水深。本研究中白鹤的栖息水深主要在 II(40.26%)和 III(21.12%)级的水深中,合计比例高达 61.48%,II 级和 III 级水深范围约为 8.60—25.50 cm。此外,白鹤在 III 级栖息水深下的取食成功率和取食成功频次均最高,表明白鹤在藕塘生境中的最适栖息水深在 17.10—25.50cm(III 级)左右。这可能与 III 级水深食物资源、取食难易程度有关。III 级平均水深也正好与白鹤自然生境中栖息的平均水深类似。因此建议越冬期藕塘水深维持在 III 级水深范围内,不宜过深,以便白鹤更有效地获取足够的食物。

#### 3.3 时段对白鹤取食行为的影响

本研究中白鹤在上午、中午和下午 3 个时段的取食频次、取食成功频次和取食成功率均无显著差异。这可能存在以下两个原因:(1)涉禽的取食策略包括视觉取食、触觉取食和混合取食<sup>[2]</sup>,草洲生境中白鹤多为视觉取食,在浅水则以触觉取食为主,因为藕塘中的植物根茎大多埋于底泥中,并且藕塘内水质与鄱阳湖自然生境内浅滩附近的浅水区相比更浑浊,导致白鹤直接通过视觉啄取食物的难度增加,白鹤在藕塘生境中大都使用触觉取食策略进行取食,因此不同时段的取食成功率无显著差异;(2)现有研究表明,白鹤在自然生境中取

食行为呈现明显的节律性,一天中存在 3 个取食高峰,而在藕塘生境中白鹤觅食行为只有 3 个小高峰,未呈现显著的节律性<sup>[9,19]</sup>。因此白鹤在藕塘生境中一天的能量需求和取食参数类似。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 罗旭,艾怀森,韩联宪.高黎贡山白尾梢虹雉取食行为及春季取食地特征.西南林学院学报,2010,30(6):64-67.
- [ 2 ] Santos C D, Miranda A C, Granadeiro J P, Lourenço, P M, Saraiva S, Palmeirim J M. Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *Acta Oecologica*, 2010, 36(2): 166-172.
- [ 3 ] Dias M P, Granadeiro J P, Palmeirim J M. Searching behaviour of foraging waders: does feeding success influence their walking? *Animal Behaviour*, 2009, 77(5): 1203-1209.
- [ 4 ] 张正旺,尹荣伦,郑光美.笼养黄腹角雉繁殖期取食活动性的研究.动物学研究,1989,10(4):333-339.
- [ 5 ] 杨晓君,文贤继,王淑珍,杨岚,杨红军,董荣梅,张玉坤,董鑫,李元春.笼养大紫胸鸚鵡取食活动.动物学研究,2000,21(2):115-120.
- [ 6 ] 鲍伟东,罗小勇,孟志涛,彭宝明,李飞,沈成.北京地区黑鹳越冬期的取食行为.动物学杂志,2006,41(5):57-61.
- [ 7 ] Santos C D, Saraiva S, Palmeirim J M, Granadeiro J P. How do waders perceive buried prey with patchy distributions? The role of prey density and size of patch. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, 372(1/2): 43-48.
- [ 8 ] 邝粉良.黑颈鹤越冬初期的觅食行为和产卵前后行为的性别差异[D].昆明:西南林学院,2008.
- [ 9 ] 袁芳凯,李言阔,李凤山,李佳,缪沪君,谢光勇.年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期间行为模式的影响.生态学报,2014,34(10):2608-2616.
- [ 10 ] Fortin D. Searching behavior and use of sampling information by free-ranging bison (*Bos bison*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2003, 54(2): 194-203.
- [ 11 ] 蒋剑虹,戴年华,邵明勤,黄志强,卢萍.鄱阳湖区稻田生境中灰鹤越冬行为的时间分配与觅食行为.生态学报,2015,35(2):270-279.
- [ 12 ] Bates EM, Ballard BM. Factors influencing behavior and success of foraging Reddish Egrets (*Egretta rufescens*). *Waterbirds*, 2014, 37(2): 191-203.
- [ 13 ] Bellio M, Kingsford R T. Alteration of wetland hydrology in coastal lagoons; implications for shorebird conservation and wetland restoration at a Ramsar site in Sri Lanka. *Biological Conservation*, 2013, 167: 57-68.
- [ 14 ] 郑光美.世界鸟类分类与分布名录.北京:科学出版社,2002.
- [ 15 ] 单继红,马建章,李言阔,钱法文,涂晓斌.近十年来鄱阳湖区越冬白鹤种群数量与分布.动物学研究,2012,33(4):355-361.
- [ 16 ] 宫蕾.安徽沿江湖泊越冬白头鹤(*Grus monacha*)觅食生态的研究[D].合肥:安徽大学,2013.
- [ 17 ] 孙志勇,黄晓凤.鄱阳湖越冬白鹤觅食地特征分析.动物学杂志,2010,45(6):46-52.
- [ 18 ] 吴建东,李凤山, Burnham J. 鄱阳湖沙湖越冬白鹤的数量分布及其与食物和水深的关系.湿地科学,2013,11(3):305-312.
- [ 19 ] 邵明勤,龚浩林,戴年华,植毅进,徐宁,卢萍.鄱阳湖围垦区藕塘越冬白鹤的时间分配与行为节律.生态学报,2018,38(14):5206-5212.
- [ 20 ] 车育婧,蒋梅鑫,钟业喜.基于土地利用变化的鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值时空变化研究.江西师范大学学报:自然科学版,2018,42(1):45-51.
- [ 21 ] 朱治州,钟业喜,徐羽.鄱阳湖流域生态系统服务价值演变研究.江西师范大学学报:自然科学版,2017,41(5):538-545.
- [ 22 ] Shao M Q, Jiang J H, Guo H, Zeng B B. Abundance, distribution and diversity variations of wintering water birds in Poyang Lake, Jiangxi Province, China. *Pakistan Journal of Zoology*, 2014, 46(2): 451-462.
- [ 23 ] 崔鹏,夏少霞,刘观华,吴建东,曾南京,伍旭东.文思标,罗盛金,纪伟涛,雷富民.鄱阳湖越冬水鸟种群变化动态.四川动物,2013,32(2):292-296.
- [ 24 ] 赵正阶.中国鸟类志.长春:吉林科学技术出版社,2001.
- [ 25 ] 吕九全,李保国.秦岭川金丝猴的日间活动时间分配.兽类学报,2006,26(1):26-32.
- [ 26 ] 张笑辰,金斌松,陈家宽,吴建东,刘观华,马志军.鄱阳湖四种水鸟的栖息地利用与水深和食物的关系.动物学杂志,2014,49(5):657-665.
- [ 27 ] 胡振鹏.白鹤在鄱阳湖越冬生境特性及其对湖水位变化的响应.江西科学,2012,30(1):30-35,120-120.