

DOI: 10.5846/stxb201804260951

黄田, 徐正刚, 周立波, 赵运林. 水位波动对洞庭湖越冬小天鹅家域的影响. 生态学报, 2019, 39(22): 8657-8666.

Huang T, Xu Z G, Zhou L B, Zhao Y L. Home range associated with water surface variations for wintering 5-year-old individuals in Dongting Lake. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(22): 8657-8666.

水位波动对洞庭湖越冬小天鹅家域的影响

黄田^{1,2}, 徐正刚^{1,3}, 周立波⁴, 赵运林^{3,*}

1 湖南城市学院 信息与电子工程学院, 益阳 413002

2 湖南农业大学 生物科学技术学院, 长沙 410128

3 中南林业科技大学 林业遥感大数据与生态安全湖南省重点实验室, 长沙 410004

4 湖南省动物物联网工程技术研究中心, 长沙 410205

摘要:洞庭湖是小天鹅在我国的重要越冬地之一,为探讨洞庭湖水位变动对越冬小天鹅活动的影响,本研究于2014—2015年利用卫星跟踪技术对洞庭湖自然保护区18只越冬小天鹅活动轨迹进行跟踪,采用最小凸多边形(MCP)和核心密度估计(KDE)方法估算了越冬中、后期不同水位条件下小天鹅的家域。同时,基于MODIS遥感数据提取洞庭湖水体面积、计算水体淹没时间指数(STI),进而开展了水位与家域关系、栖息地选择模式等方面的分析和探讨。结果表明:水位对小天鹅家域起制约作用,随着水位上升小天鹅家域范围会明显减小;越冬期间小天鹅喜欢在空间相邻的浅水和草地综合性区域活动,食物资源分布和可获得性是小天鹅活动区发生改变的主要原因。

关键词:水位;家域;卫星跟踪;小天鹅

Home range associated with water surface variations for wintering 5-year-old individuals in Dongting Lake

HUANG Tian^{1,2}, XU Zhenggang^{1,3}, ZHOU Libo⁴, ZHAO Yunlin^{3,*}

1 School of Information and Electronic Engineering, Hunan City University, Yiyang 413002, China

2 School of Biological Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

3 Key Laboratory of Big Data and Ecological Safety in Hunan Province, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

4 Hunan Provincial Engineering Technology Research Center of Animal Internet of Things, Changsha 410205, China

Abstract: Dongting Lake is an important wintering habitat of 5-year-old individuals in China. To explore the effect of water level changes in Dongting Lake on the activities of wintering 5-year-old individuals, satellite tracking was carried out for 18 5-year-old individuals in the Dongting Lake between 2014 and 2015. The home range of 5-year-old individuals at different water levels during the wintering period were estimated via the Minimum Convex Polygons (MCP) and Kernel Density Estimation (KDE) methods. The MODIS remote sensing data were used to extract the surface water of Dongting Lake during the wintering period and calculate the Submergence Time Index (STI), followed by correlation analysis and spatial superposition analysis of the home range, water level, and STI. The water level restricts the home range size of 5-year-old individuals, which is then significantly reduced with an increase in the water level. During the wintering period, the favorite habitat of 5-year-old individuals is the integrative area of shallow water and grasslands, and the distribution and availability of food resources are the primary reasons for the changes in the home range.

基金项目:湖南省自然科学基金项目(2019JJ40012);湖南省科技创新平台与人才计划项目(2017TP2014, 2018TP1042, 2016TP1014)

收稿日期:2018-04-26; 网络出版日期:2019-09-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyl8291290@163.com

Key Words: water level; home range; satellite-tracking; 5=. *0# 4(/01@+ ' *0#

洞庭湖是中国的第二大淡水湖泊,国际重要湿地,有丰富的野生动植物资源,是我国南方重要的水鸟越冬地和东亚



1984 UTM Zone 49N) 输出数据格式为* .tif。

1.2 家域计算

利用 ArcMET 10.1.12 工具包估算小天鹅家域(Movement Ecology Tools for ArcGIS, 下载地址 <http://www.movementecology.net>) ,该工具支持 MCP、KDE 等多种家域估算方法。KDE 采用最优平滑指数(href) 法来判定 h 值,即根据输入点的空间方差计算平滑参数的最优值^[14]。MCP 家域计算结果为矢量数据,KDE 家域计算结果为栅格数据,为方便空间叠加与数据统计,通过提取等值线的方式转换为矢量数据。

1.3 水面变动分析

选用归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 提取水面是湖泊遥感监测中常用的手段^[15-18],MODIS 遥感数据提取水面步骤如下:

(1) 计算 NDVI

$$NDVI = \frac{(E_2 - E_1)}{(E_2 + E_1)} \quad (1)$$

式中, E_1 为 MODIS 数据第 1 波段的地表反射率, E_2 为第 2 波段的地表反射率,利用 ENVI 5.3 软件的波段运算(Band Math) 指令计算 NDVI。

(2) 确定水体阈值

NDVI 的值域为 [-1, 1]。一般情况下,水体的 NDVI 值为负数,如果有水生植物覆盖在水面,则 NDVI 值会稍偏高。另外云、雪的 NDVI 值也为负值,植被、建筑、裸露土壤的 NDVI 值则很高。为消除水生植物的影响,采用两个规则来识别水体^[15],NDVI ≤ 0.15 用来区分水体和植被;DN 值(Digital Number) 指遥感影像元亮度值,本研究中将遥感反射率 × 10000,得到 DN 值。Band2 的 DN < 1200 用来区分水体与建筑、裸露的土壤。即一个像素的值满足规则 1 或规则 2,则识别为水体。

(3) 消除云层的影响

洞庭湖地区 12 月—3 月阴雨天气较多,阈值提取法可能将云层识别为水体。根据云的光谱特征,云在可见光和近红外波段均具有较高的反射率^[19],因此,当 band1 和 band2 的 DN 值均 > 2 000 时,可认为该像素不是水体,需将其剔除。本研究中共有 19 幅数据由于云量太大,剔除云层影响后的水体严重失真,没有纳入水体提取。最终,提取了 2013—2015 年 3 个越冬期共 56 幅水体范围图。

(4) 复合生成月水体范围

为进一步降低卫星过境时天气和云量影响,采用最大值复合方法(MVC) 合成每月水体范围图,合成值为 1 或 0,1 表示水体淹没区,0 表示非水区域。

(5) 淹没时间指数计算

淹没时间指数(STI) 可以对湖泊水体的时间和空间变化进行定量描述,可用来表达小天鹅越冬期间洞庭湖水体的动态特征,STI 计算公式如下:

$$STI = \frac{\sum_{i=1}^{12} (I_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^{12} X_i} \times 100 \quad (2)$$

其中: I_i : 当年 10、11、12 月,翌年 1、2、3 月; X_i : + 月水淹范围; X_i : + 月天数; $\sum_{i=1}^{12} X_i$: 越冬期总天数。

STI 计算结果为栅格数据,计算过程在 ArcGIS 10.1 软件中完成。

1.4 家域与水面叠加分析

利用 ArcGIS 10.1 的 Tabulate Area 工具实现家域与水面叠加分析,参数 Input raster or feature zone data 的值设定为 STI 栅格数据,参数 Zone field 的值设定为 STI 的 Value 字段,参数 Input raster or feature class data 的值设定为家域矢量数据,参数 Class field 的值设定为 Object ID 字段,参数 Processing cell size 的值与 STI 栅格大小一致,设定为 250 m,最后对输出结果进行汇总和统计。为研究水位波动对家域范围大小的影响,将越冬期划分为不同的水位平稳窗口期,采用 KDE 方法估算每个窗口期的小天鹅的家域,使用 Pearson 相关分析检

验家域面积与水位的相关性。统计分析 with 图表制作在 R 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 小天鹅卫星跟踪情况

2014 年—2015 年间卫星跟踪器共采集有效位点 26997 个,研究区内 0 速度点 18747 个(表 1)。跟踪的 18 只小天鹅中除 10 只小天鹅未获取到到位点数据,其他小天鹅均获得至少 250 个位点,监测时间主要集中于小天鹅越冬中、后期(1 月—4 月)。

表 1 小天鹅卫星跟踪数据

Table 1 List of satellite tracking information of *;*<*0, 15°02′(#*0,

年份 Year	编号 ID	来源 Source	位点数 Amount	0 速度点 Speed = 0	非 0 速度点 Speed > 0	定位期间 Tracking period	迁走时间 Migration time
2014	1&	捕捉	843	771	72	2014.03.07—2014.04.10	2014.04.10
	2&	捕捉	353	334	19	2014.03.07—2014.03.22	2014.03.22
	3&	捕捉	179	172	7	2014.03.07—2014.03.14	2014.03.14
	4&	捕捉	1226	1102	124	2014.03.07—2014.04.27	2014.04.27
	5&	捕捉	575	556	19	2014.03.07—2014.04.03	2014.04.03
	6&	捕捉	347	332	15	2014.03.07—2014.03.22	2014.03.22
2015	7&	捕捉	366	337	29	2015.01.28—2015.02.13 2015.02.15—2015.02.16 2015.03.02—2015.03.10	2015.03.12
	8&	捕捉	1097	1010	87	2015.01.28—2015.03.25	2015.03.25
	9&	捕捉	351	324	27	2015.01.28—2015.02.14 2015.03.01—2015.03.06	2015.03.06
	10&	捕捉	0	0	0	—	—
	11&	救助	250	225	25	2015.02.08—2015.02.18 2015.02.21—2015.02.22	—
	12&	救助	162	145	17	2015.02.08—2015.02.14	—
	13&	救助	108	105	3	2015.02.08—2015.02.12	—
	14&	救助	1033	835	198	2015.02.08—2015.03.27	2015.03.27
	15&	救助	1053	957	96	2015.02.08—2015.03.25	2015.03.25
	16&	救助	166	153	13	2015.02.08—2015.02.14 2015.02.15—2015.02.17 2015.02.25—2015.02.27	2015.02.27
	17&	救助	915	872	43	2015.02.08—2015.03.03 2015.03.05—2015.03.20 2015.03.22—2015.03.27	2015.03.27
	18&	救助	783	710	73	2015.02.08—2015.03.13	2015.03.13

研究期间,0 速度位点所占的比例为 91.2%,静止位点比例较非静止位点比例高。位点数据质量较好,定位精度主要集中在 A、B 等级(表 2)。

2.2 越冬期间洞庭湖水位变动

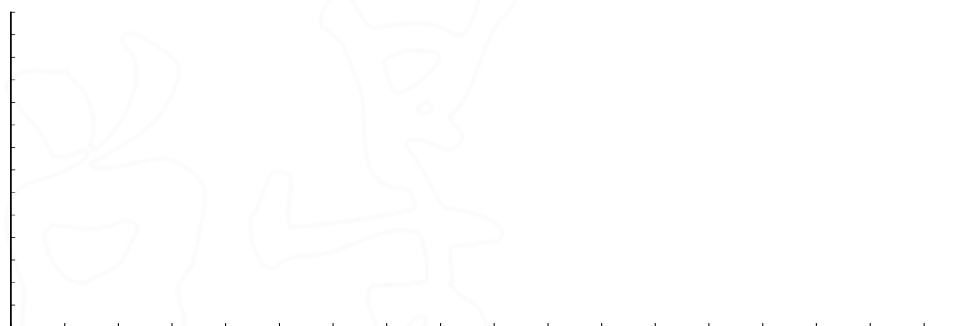
小天鹅越冬期间洞庭湖水位波动特征较为明显,根据卫星跟踪起止时间和水位变化特征,将跟踪期划分 WL1、WL2 和 WL3 三个水位变化期(图 1)。2014 年 WL1 期从 3 月 8 日至 3 月 25 日,水位呈小幅下降趋势,WL2 期从 3 月 26 日至 4 月 7 日,水位呈台阶式上升,WL3 期从 4 月 8 日至小天鹅迁走前夕,期间水位逐步上涨,涨幅达 3.28 m。2015 年 WL1 期从 2 月初至 2 月 21 日,水位处于平稳状态,WL2 期从 2 月 22 日至 3 月 4 日,水位逐步上升,涨幅达 2.12 m,WL3 期从 3 月 4 日至小天鹅迁走前,水位呈小幅度波动。

表 2 跟踪位点精度分析

Table 2 The positioning precision of GPS points

精度等级 Positioning precision	2014		2015	
	数量 Number of GPS points	百分比 Percent	数量 Number of GPS points	百分比 Percent
A	1788	54.73%	2232	39.34%
B	1204	36.85%	2762	48.69%
C	78	2.39%	575	10.14%
D	197	6.03%	104	1.83%
E	0	0	0	0
合计(Total)	3267	100%	5673	100%

2014 年和 2015 年 2—4 月 洞庭湖水位变化趋势基本一致 整体呈逐步上升趋势。从 3 月初开始 2015 年水位较 2014 年上涨更加迅速和明显(图 1)。



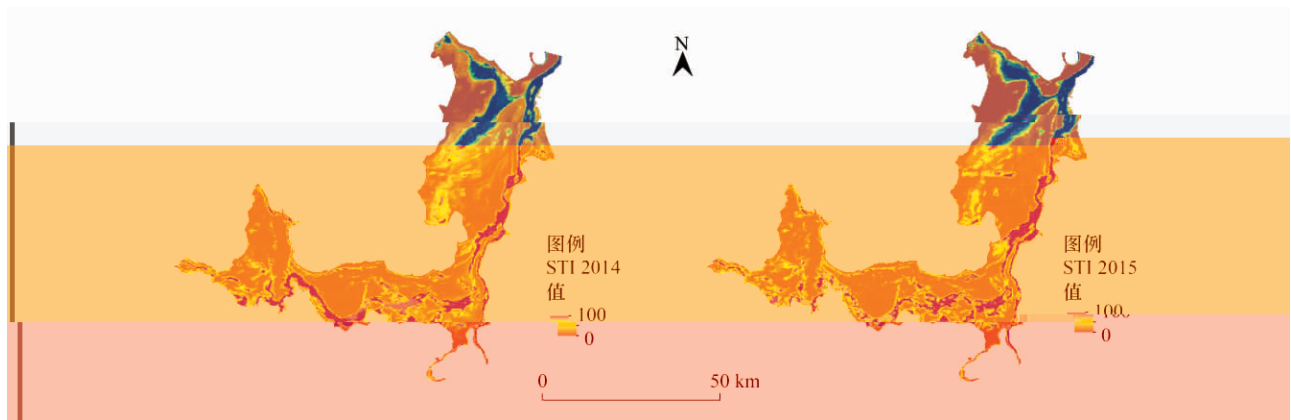


图4 2014—2015年洞庭湖水体淹没时间指数图

Fig.4 The SIT of Dongting Lake in 2014—2015

2015年春季洞庭湖水位上涨速度较快,导致STI低值区面积较2014年减少,高值区面积增加,其中A类用地面积减小了7.21%,B类用地面积减少了3.5%,C、D、E、F、G类用地面积都有一定增加(表4)。

表4 2014—2015年STI统计表
Table 4 The SIT trend in 2014—2015

等级 Levels	淹没时间指数 STI	面积与比例 (Area and percent)		生境 Habitat types
		2014	2015	
A	0	1104.56(41.10%)	910.88(33.89%)	始终都没有被水淹没的区域,多为地势较高的湖洲、滩地等
B	(0%—20%)	794.31(29.56%)	700.31(26.06%)	邻近湖洲且少被水淹没的苔草地
C	[20%—40%)	165.25(6.15%)	302.69(11.26%)	含水成份不同的沼泽地
D	[40%—60%)	105.31(3.92%)	148.44(5.52%)	
E	[60%—80%)	105.38(3.92%)	133.81(4.98%)	
F	[80%—100%)	149.81(5.57%)	210.31(7.83%)	大部分时间淹没、仅水位很低时才偶尔裸露的浅水区,有着丰富的水草,是越冬水鸟重要的活动区域
G	100%	262.94(9.78%)	281.13(10.46%)	一直都被淹没的开阔水体,如湖泊核心、主河道等

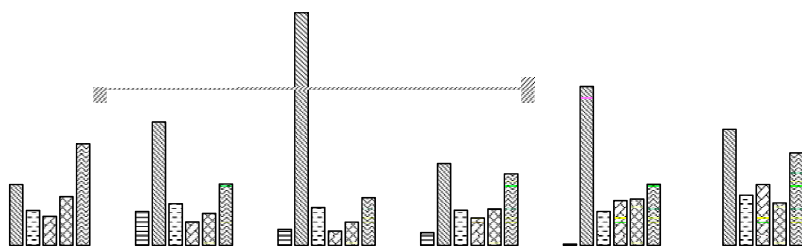
2.5 家域与水面叠加分析

越冬期水鸟对栖息地的需求相对简单,一般只需要觅食地和休息地两种类型的栖息地^[20]。为进一步研究小天鹅对栖息地的利用情况,将越冬期小天鹅家域与水体淹没时间指数进行空间叠加分析,结果表明:越冬期小天鹅对栖息地类型偏好由高到低依次为B、G、F、C、E、D、A(图5)。其中,B类用地占家域面积的平均比例为29.78%,并且在水位快速上涨期间更加明显,如2014年WL3期达53.78%,2015年WL2期达36.68%;G类用地占家域面积的平均比例为25.55%,并且在水位较低期间更加明显,如2014年WL1期为36.55%,2015年WL1期为38.88%;F类用地占家域面积的平均比例为16.77%,并且在每年3月份表现更加明显,如2014年WL1期达23.45%,2015年WL3期达21.34%;C、E、D、A四类用地占家域面积的平均比例相对较小,分别为8.98%、8.79%、7.67%、2.46%。

3 讨论与结论

3.1 水位影响食物资源分布和可获得性

本研究结果表明,越冬期间小天鹅家域大小与水位呈负相关,水位上升将压缩小天鹅家域,与刘成林等人的研究结果一致,即水位越高水陆过渡带(候鸟栖息地)面积越小^[21]。张冬梅认为这种现象的主要原因是水





- time series. *Natural Hazards*, 2012, 62(1): 93-100.
- [16] Feng L, Hu C M, Chen X L, Cai X B, Tian L Q, Gan W X. Assessment of inundation changes of Poyang Lake using MODIS observations between 2000 and 2010. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 121: 80-92.
- [17] 丁莉东, 吴昊, 王长健, 覃志豪, 章其祥. MODIS 图像湖泊水体信息的快速识别与制图. *海洋测绘*, 2006, 26(06): 31-34.
- [18] Khandelwal A, Karpatne A, Marlier M E, Kim J, Lettenmaier D P. An approach for global monitoring of surface water extent variations in reservoirs using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 113-128.
- [19] 李微, 方圣辉, 佘袁勇, 郭建星. 基于光谱分析的 MODIS 云检测算法研究. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2005, 30(5): 435-438, 443-443.
- [20] 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.
- [21] 刘成林, 谭胤静, 林联盛, 陶海南, 谭晦如. 鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响. *湖泊科学*, 2011, 23(1): 129-135.
- [22] 张冬梅. 水位和食物资源变化对越冬白头鹤(*Nycticorax nycticorax*) 觅食行为的影响[D]. 合肥: 安徽大学, 2015.
- [23] 段酬苍, 赵运林, 李立, 徐正刚, 吴良, 王双业. 救助小天鹅越冬期行为节律研究. *野生动物学报*, 2016, 37(3): 216-220.
- [24] 张梅清, 赵运林, 徐正刚, 廖嘉欣, 李立, 黄田, 段酬苍. 洞庭湖越冬小天鹅食性研究. *西南林业大学学报*, 2016, 36(4): 121-125.
- [25] 陈正勇, 王国祥, 吴晓东, 王立志, 徐伟伟, 俞振飞. 不同水深条件下菹草(*Glycerhiza subterranica*) 的适应对策. *湖泊科学*, 2011, 23(6): 942-948.
- [26] 何伟, 王国祥, 杨文斌, 陈秋敏, 陆贻超. 水深梯度对菹草生长的影响. *生态学杂志*, 2009, 28(7): 1224-1228.
- [27] 曹昀, 王国祥, 黄齐. 水深对菹草生长的影响研究. *人民黄河*, 2009, 31(11): 72-73.
- [28] 孟竹剑, 夏少霞, 于秀波, 饶滴滴, 金斌松. 鄱阳湖越冬雁类食源植被适宜取食时间窗口. *生态学报*, 2018, 38(21): 7539-7548.
- [29] Kernohan B J, Gitzen R A, Millsbaugh J J. Chapter 5—Analysis of Spatial Data. *Wildlife and Conservation Biology*, 2001, 5: 111-121.