

DOI: 10.5846/stxb201810292329

杨俊杰, 杨旭, 雷宇, 刘强. 云南蒙自钳嘴鹳夜栖地利用及夜栖树选择. 生态学报, 2019, 39(14): - .

YANG J J, YANG X, LEI Y, LIU Q. Nocturnal roost use and roosting tree selection of Asian openbill (*Anastomus oscitans*) in Mengzi, Yunnan, China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(14): - .

云南蒙自钳嘴鹳夜栖地利用及夜栖树选择

杨俊杰¹, 杨旭¹, 雷宇¹, 刘强^{1, 2, *}

¹ 西南林业大学湿地学院, 昆明 650224

² 国家高原湿地研究中心, 昆明 650224

摘要: 动物对夜栖地选择的灵活程度是其分布和扩散的重要因素之一。钳嘴鹳(*Anastomus oscitans*)为中国新分布种, 要了解其扩散趋势, 掌握其夜栖地需求至关重要。2015 年 11 月至 2018 年 7 月在云南蒙自坝区, 使用卫星跟踪技术对 6 只钳嘴鹳进行了夜栖地利用和夜栖树选择研究, 结果表明: (1) 钳嘴鹳可以在多种生境中夜栖, 包括林地、沼泽、岛屿等。从群体水平上分析, 钳嘴鹳主要夜栖于沼泽中, 利用率为(51.19±12.34)%, 其次为林地(31.55±11.34)%和岛屿(17.26±5.70)%; 从个体水平上来看, 不同钳嘴鹳的夜栖地利用方式差异较大, 其中 4 只主要利用沼泽, 而另外 2 只主要利用林地; (2) 随机森林分析表明: 影响钳嘴鹳夜栖树选择的首要因子为距觅食地距离, 其次为树高、地径和最低枝高度, 而人为干扰因子的影响较弱。综合来看, 钳嘴鹳对夜栖地类型以及夜栖树均表现出了极强的适应性和可塑性, 这可能是其能够快速扩散的重要原因之一。同时也表明夜栖树并不能成为一个有力的限制因子, 钳嘴鹳有可能继续向国内的南方湿地区扩散。

关键词: 钳嘴鹳; 夜栖地; 随机森林; 夜栖树选择

Nocturnal roost use and roosting tree selection of Asian openbill (*Anastomus oscitans*) in Mengzi, Yunnan, China

YANG Junjie¹, YANG Xu¹, LEI Yu¹, LIU Qiang^{1, 2, *}

¹ College of Wetlands, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

² National Plateau Wetlands Research Center, Kunming 650224, China

Abstract: The degree of flexibility in choosing a nocturnal habitat is one of the most important factors in animal distribution and dispersion. From November 2015 to July 2018, we carried out a study on the nocturnal roosting site use and roosting tree selection of six Asian openbills (*Anastomus oscitans*) using satellite tracking technology in Mengzi Basin, Yunnan Province. Our results showed that (1) the Asian openbill used three habitats as nocturnal roosting sites, comprising woodlands, swamps, and small islands in lakes. At the population level, openbills mainly roosted in swamps (51.19%±12.34%), followed by woodlands (31.55%±11.34%) and islands (17.26%±5.70%). At the individual level, there were great differences in the utilization of nocturnal roosting sites between different individuals, of which four mainly roosted in the swamp, and the other two roosted in the woodland. (3) Random forest analysis showed that the primary factors influencing nocturnal roosting tree selection of openbills were distance to foraging site, followed by tree height, ground diameter, and lowest branch height. Asian openbills were not sensitive to human disturbance. In conclusion, the studied openbills exhibited strong adaptability and plasticity in their selection of nocturnal roosting habitats and roosting trees, which may be an important reason for their rapid range expansion. Our results also indicate that nocturnal roosting trees are not a significant limiting factor for the dispersal of Asian openbills; this bird may continue to spread to wetland areas in the

基金项目: 国家自然科学基金项目(31460166)

收稿日期: 2018-10-29; 网络出版日期: 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuq03@mail.kiz.ac.cn

south of China.

Key Words: *Anastomus oscitans*; Nocturnal roost; Random forest analysis; Nocturnal roosting tree selection

夜栖地是动物夜间休息的场所,昼行性动物在夜晚睡眠时感知能力下降,导致其极易受到天敌攻击,因此,夜栖方式和夜栖地的质量在很大程度上关系到动物个体的生存^[1]。夜栖地选择是一个复杂的行为决策过程,需要对多种环境因素进行综合考量,包括安全性、能量代价、受干扰程度等^[2]。受生存环境及自身行为的影响,不同动物或个体间对夜栖地因子重要性的考量往往会有所不同^[3]。另外,如果过于依赖某种夜栖环境,就会对动物的分布和扩散造成限制^[4]。

钳嘴鹳(*Anastomus oscitans*)隶属于鹳形目鹳科钳嘴鹳属,原分布于印度、泰国、斯里兰卡、越南等南亚及东南亚国家,2006 年在我国首次出现,随后分布区不断扩大,目前已广布于西南各省区^[5-7]。掌握钳嘴鹳的夜栖生境需求信息,对于科学判断其扩散趋势并制定合理的管理策略具有重要意义。而目前国内外尚无钳嘴鹳夜栖习性的研究,基于此目的,使用卫星跟踪技术^[8-10]对云南蒙自坝区栖息地的钳嘴鹳进行了夜栖地利用及夜栖树选择研究。

1 研究地概况

研究区域位于云南省蒙自坝区内,主要包括长桥海、大屯海两个湖泊及周边区域(23°22′—23°28′N,103°16′—103°25′E)。属南亚热带高原季风气候区,年平均气温为 18.7 °C,年无霜期 340 d,平均降雨量 834.2 mm。研究区内地形平坦,平均海拔 1300 m^[11],为云南南部的重要农耕区,主要作物为水稻(*Oryza sativa*)、葡萄(*Vitis vinifera*)、石榴(*Punica granatum*)等。常见树种为桉树(*Eucalyptus robusta*)、柏树(*Platycladus orientalis*)等。在该处栖息的钳嘴鹳数量不稳定,可在几十只至千余只间波动^[7]。

2 研究方法

2.1 数据收集

在钳嘴鹳经常活动的觅食地,布设脚套进行捕捉^[12]。采用背负式为捕获的钳嘴鹳佩戴跟踪器(Anit-GT 0325,杭州粤海)。该类型跟踪器为太阳能充电,尺寸为 60 mm × 25 mm × 29 mm,重量 25 g,定位精度为 5—20 m,设定定位频率为 2—4 小时获取 1 个 GPS 位点。结合位点的聚集状态、定位时间以及即时速度确定夜栖地位置。具体条件为:夜栖时间范围 20:00 至次日早上 6:00,瞬时速度为 0。

根据卫星跟踪数据返回的经纬度信息在野外实地验证夜栖地生境类型,确定钳嘴鹳实际利用的夜栖树 63 棵。另外,在林区内随机选取 96 棵树作为对照。本研究中主要依据安全性、人为干扰以及能量代价三个方面设定环境因子,其中安全性因子 4 个,包括地径、树高、冠幅和最低枝高度,人为干扰因子 2 个,包括距道路距离和距村庄距离;能量消耗因子 1 个,为夜栖地距最近觅食地距离,本研究区域地势平缓,故未考虑地形因素的影响。因果树在种植过程中去除了中间主干顶端,在 1.3 m 处均为侧枝,因此无法测量胸径,故选用地径来反映树木的粗细程度。各因子的测量方法如下:

- (1) 树高:用测高器测量树木最高处到地面的垂直距离;
- (2) 地径:用卷尺测量树木距地面 0.3 m 处的直径;
- (3) 最低枝:用测高器测量树木最低枝到地面的垂直距离;
- (4) 冠幅:用皮尺测量树木东西和南北方向的宽度,取平均值;
- (5) 距道路距离:夜栖点到最近道路的距离;
- (6) 距村庄距离:夜栖点到最近村庄的距离;
- (7) 距觅食地距离:夜栖点到最近觅食地的距离。

距离量算均在 ArcGIS 9.3 中进行。

2.2 数据分析

夜栖树以及对照树的样本量均 > 30 , 故采用非参数 Mann-Whitney U 检验比较夜栖树与对照树之间的差异显著性。统计计算均在 SPSS 20.0 中进行, 描述性统计值采用平均值 $\pm$ 标准误 (mean $\pm$ SE) 表示。

在动物栖息地选择的过程中, 不同环境因子的重要性往往有所不同^[13], 为确定影响钳嘴鹳夜栖树选择的主要因子, 使用随机森林 (Random Forest) 算法构建生境选择模型。随机森林模型中不用顾虑一般回归分析面临的多元共线性问题, 便于计算变量的非线性作用, 而且可以体现变量间的交互作用, 对离群值也不敏感, 在动物生境选择研究中应用日趋广泛^[14-16]。另外, 随机森林模型可以对各生境变量的重要性进行评估, 通过 Mean Decrease Gini 指数计算每个变量对分类树每个节点上观测值异质性的影响, 从而比较变量的重要性, 该值越大表示该变量的重要性越大。随机森林中还可以给出每个生境变量对选择结果的影响程度。随机森林模型中有两个重要自定义参数 mtry、ntree 必须进行优化以提升模型的准确率, 使数据处理过程中出现的常规错误次数最少^[17-18]。根据误差率最低原则以及误差率与 ntree 大小关系, 设定 mtry 值为 6、ntree 值为 400 来构建最优随机森林模型。随机森林分析使用 R 3.4.4 中的 randomForest 包完成。

3 结果与分析

3.1 夜栖地利用

2015 年 11 月到 2017 年 12 月共捕获 6 只钳嘴鹳并佩戴跟踪器 (其中 1 个跟踪器故障, 仅能 16 小时获取 1 个有效位点), 获得夜栖位点 6152 个。

卫星跟踪数据证实钳嘴鹳共有 12 处夜栖地。通过实地验证夜栖点对应的生境类型, 发现钳嘴鹳利用的夜栖地类型较为多样, 包括林地、沼泽和岛屿共 3 种类型 (图 2)。在这些夜栖地中, 林地型夜栖地有 5 处, 分布在大屯海西北岸、南岸以及长桥海西岸, 主要树种为桉树、柏树和石榴树, 树高 (7.41 ± 0.57) m (表 1); 岛屿型夜栖地 5 处, 分布在大屯海和长桥海湖中, 岛屿面积为 (7909.19 ± 5306.63) m^2 , 离岸距离 (404.79 ± 75.60) m; 沼泽型夜栖地 2 处, 分布在长桥海南岸及东北岸, 沼泽面积为 (48674.83 ± 13745.10) m^2 , 水深约 10—20 cm, 主要植被为凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*)。从群体来看, 钳嘴鹳对沼泽的利用率最高, 为 (51.19 ± 12.34) %, 其次为林地 (31.55 ± 11.34) %, 对岛屿型夜栖地的利用率最低, 为 (17.26 ± 5.70) %。

从个体来看, 根据对各种类型夜栖地的利用程度, 可以分为两种类型, 第一类是以沼泽作为主要夜栖地的个体, 该类型共有 4 只 (编号 0808008、8114、2029、2074), 另外一类为主要利用林地夜栖的个体, 共有 2 只 (编号 0095、1164) (图 1)。

3.2 夜栖树选择

对生境因子进行 Mann-Whitney U 检验, 结果发现树高、地径、最低枝、冠幅、距觅食地距离这 5 个生境因子在夜栖树和对照树之间存在显著差异 ($P < 0.05$), 距道路距离和距村庄距离无显著差异 ($P > 0.05$)。通过与对照树相比, 可以看出钳嘴鹳偏好选择距觅食地距离较近、树较高、地径较大、最低枝较高、冠幅较大的树上夜栖 (表 1)。

运用随机森林模型分析钳嘴鹳夜栖树选择中各环境因子的重要性, 结果发现影响钳嘴鹳夜栖树选择最重要的因子为距觅食地距离, 其次为树高、地径、最低枝、冠幅, 而距村庄距离和距道路距离对钳嘴鹳影响较小 (表 2)。

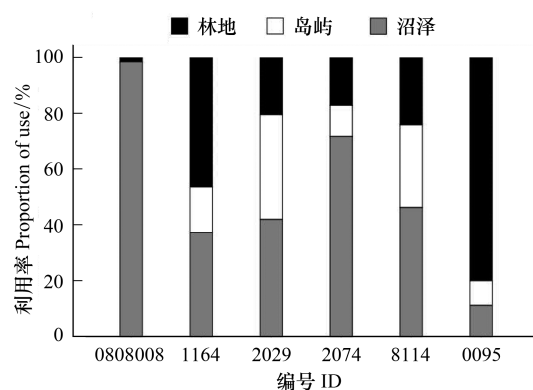


图1 钳嘴鹳夜栖地利用个体间差异比较

Fig.1 Nocturnal roost use of tracked Asian openbills

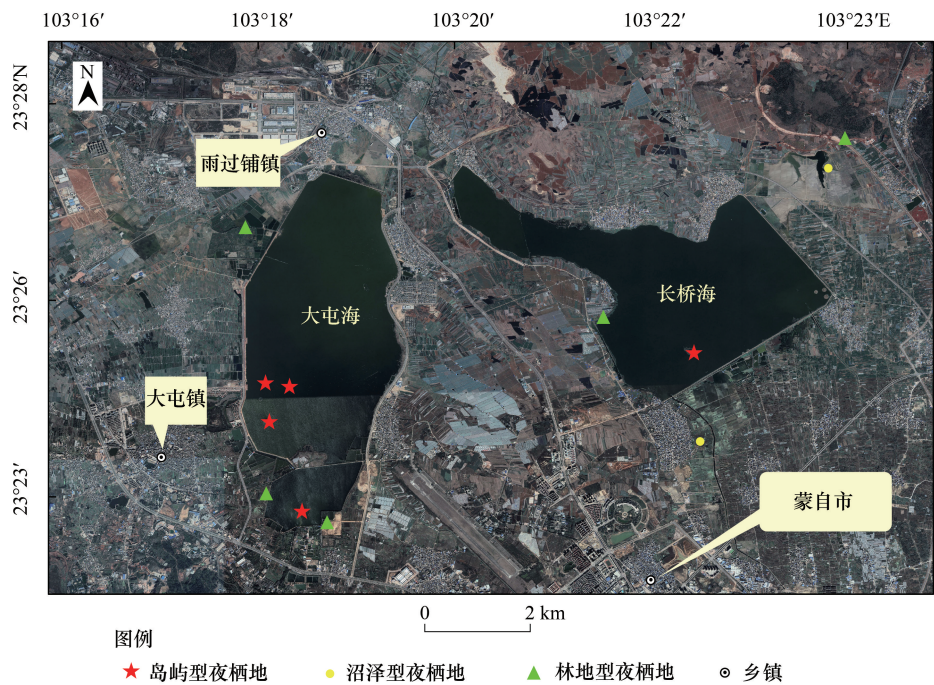


图 2 钳嘴鹳夜栖地分布

Fig.2 Distribution of nocturnal roosting sites of Asian openbills

表 1 钳嘴鹳夜栖树和对照树参数比较

Table 1 Comparison on habitat variables between nocturnal trees and control trees				
生境变量 Habitat variables	夜栖树 Nocturnal trees (n = 63)	对照树 Control trees (n = 96)	Z	P
树高 Height/m	7.44±0.57	4.50±0.14	- 5.311	0.000
地径 Ground diameter/m	0.26±0.02	0.17±0.01	- 4.767	0.000
最低枝 Lowest branch height/m	1.15±0.16	0.54±0.05	- 3.044	0.002
冠幅 Crown breadth/m	6.46±0.49	4.71±0.11	- 2.950	0.003
距道路距离 Distance to road/m	124.00±12.08	143.95±10.02	- 1.071	0.284
距村庄距离 Distance to village/m	432.90±45.36	436.15±35.82	- 0.460	0.646
距觅食地距离 Distance to foraging site/m	799.14±98.85	1692.11±97.04	- 6.173	0.000

表 2 随机森林对影响钳嘴鹳夜栖树选择各个因子的重要性排序

Table 2 Ranking importance of each habitat variable by random forest			
生境变量 Habitat variables	Mean Decrease Gini	生境变量 Habitat variables	Mean Decrease Gini
距觅食地距离 Distance to foraging site/m	24.10	冠幅 Crown breadth/m	6.85
树高 Height/m	14.97	距道路距离 Distance to road/m	5.50
地径 Ground diameter/m	10.47	距村庄距离 Distance to village/m	5.98
最低枝 Lowest branch height/m	7.33		

通过随机森林模型分析单个环境因子对钳嘴鹳夜栖树选择的影响,根据随机森林重要性排序的结果,选取重要性值排名前 4 的生境变量进行分析,结果表明距觅食地距离、树高、地径、最低枝这 4 个生境变量对钳嘴鹳夜栖树选择影响较大(图 3)。距觅食地距离这一因子的主要作用范围在 300—3000 m,在该区间内影响曲线呈递减趋势,说明在该距离范围内钳嘴鹳偏好选择距觅食地较近的夜栖树夜栖,随着距觅食地距离地增加,钳嘴鹳选择该区域夜栖树的几率减小。树高方面,根据影响曲线判断,树高对钳嘴鹳对夜栖树的选择性明显分为两段,即 3—4 m 和 5—10 m,总体来看,随着树高增大选择可能性也逐渐增大,之所以分成两段实际上

反映了对两类树的选择,即相对低矮的石榴树、柏树以及相对高大的桉树。地径方面,钳嘴鹳喜欢地径较大的夜栖树,选择的夜栖树地径约在 8—25 cm 之间,随着地径的增大,选择可能性也逐渐增大;最低枝方面,钳嘴鹳主要选择范围为 30—80 cm,同样也是随着最低枝高度增加,选择可能性也逐渐增大(图 3)。

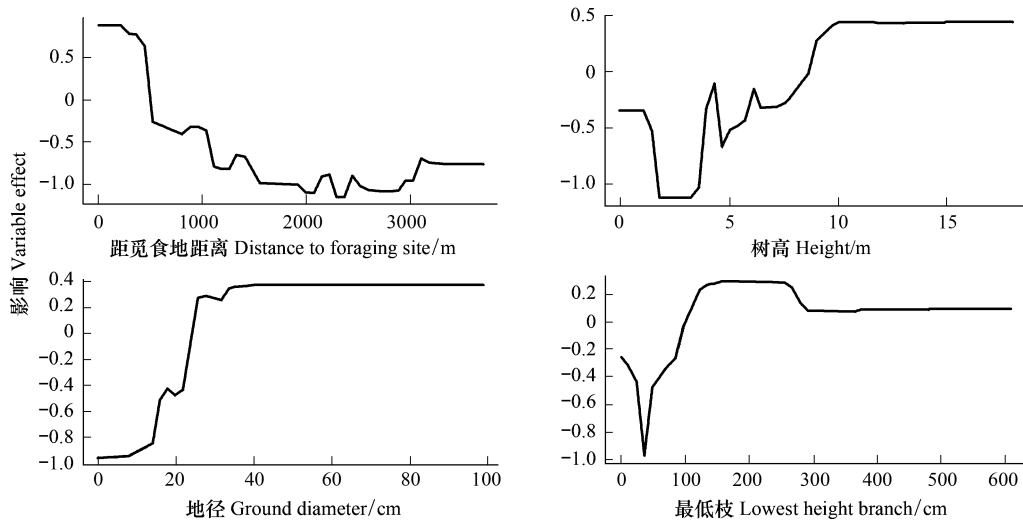


图 3 单个变量对钳嘴鹳夜栖树选择的影响

Fig.3 Influence of single variable on selection of nocturnal tree of Asian openbills

4 讨论

4.1 夜栖地利用

动物分布受多种生物和非生物因子的影响,对各因子的耐受度和适应程度会直接影响其空间分布范围和面积^[19-20]。如果对某一因子的适应性较差,该因子就会成为主要限制因子,影响物种分布^[21-22]。不同鸟类夜栖时所利用生境的多样性会有很大不同。某些鸟类对特定夜栖地类型极端依赖,而有些鸟类则比较灵活,如黑颈鹤(*Grus nigricollis*)除了在浅水沼泽中夜栖以外,还可以脱离水环境的限制,在远离湿地的山坡灌丛中过夜^[23-24]。由于夜间观察困难,目前对于鹤类夜栖习性的研究极为匮乏,大部分物种缺乏详实资料,但普遍认为鹤类偏爱在树上或高大建筑物上夜栖^[25]。如对分布在波兰西南部白鹳(*Ciconia ciconia*)的研究表明,白鹳主要在树上夜栖,其次为电线杆,未发现其在沼泽中夜栖,这表明白鹳夜栖时对高大物体较为依赖^[26]。本研究中,钳嘴鹳与白鹳的夜栖习性差异较大,表现为对夜栖地类型的利用更为多样化,除了可以在林地中夜栖之外,还可以在缺乏林木的沼泽和岛屿上夜栖,该发现更新了对鹤类夜栖习性的认识。针对环境变化做出对应的适应性行为对野生动物的分布和扩散非常重要^[27-28]。若能够利用类型多样的生境就意味着动物能突破一些环境因子的限制,占据更多的生态位,从而扩大自身的分布范围^[29]。对于钳嘴鹳来讲,能够突破对高大树木或建筑物的依赖,多样化的利用各种生境可能是其种群扩散的推动力之一。白腹隼雕(*Hieraaetus fasciatus*)曾经仅在悬崖上筑巢,由于筑巢地资源稀缺,其种群分布受到很大限制,后来有部分种群开始适应在高大树木上营巢,此种筑巢方式的改变导致了白腹隼雕在欧洲的快速扩散^[30]。这和本研究中的推论一致。

随着环境改变,生境的适宜性会发生变化,动物亦会做出行为上的调整^[31-32]。安全性、能量代价和人为干扰是动物选择夜栖地的基本要素^[2,33-35]。在本研究中,钳嘴鹳在不同的时期会利用不同的栖息地类型,这可能跟环境要素发生改变有关。在 3 种夜栖地类型中,岛屿被水体包围,可以阻隔陆地天敌接近,安全性最高,但四周空旷导致风力较大,不利于钳嘴鹳保持体温;浅水沼泽安全性也较高,但研究区内的两处沼泽型夜栖地均位于村庄附近,干扰较大;林地处于陆地上,最容易遭受天敌攻击,被捕食风险较大。因此,在风力较大时,如果选择在高大树木上夜栖,由于树体晃动,会严重影响夜间休息,另外在岛屿上也极易引起体温散失,此

时在安全性高且避风的沼泽中夜栖最为适宜;当人为干扰较大时(道路施工、偷猎等),岛屿远离干扰,适宜度最高;当人为干扰、风力均较小时,各种夜栖地的适宜度类似,此时钳嘴鹳对夜栖地的选择可能是随机的。综合来看钳嘴鹳并不是单一地选择某种类型的栖息地,而是根据环境变化权衡各类型栖息地适宜性后做出最优选择。

4.2 夜栖树选择

树栖是钳嘴鹳的重要夜栖方式之一,本研究表明钳嘴鹳对夜栖树具有明显的选择性。通过比较夜栖树和对照树的生境因子可以看出距觅食地距离、树高、地径、最低枝、冠幅存在极显著差异,随机森林分析进一步表明距觅食地距离是影响钳嘴鹳夜栖树选择的最重要因子,其次为树高、地径和最低枝高度,而对人为干扰因子的选择性不强。飞行运动是高耗能活动,通常鸟类会尽量缩减觅食地与夜栖地之间的距离,以减少能量消耗^[23,36-37]。所以钳嘴鹳倾向于选择距离觅食地较近的树木作为夜栖树,以便尽快进入觅食状态,减少用于寻找食物的时间和能量消耗^[38]。该种现象也见于黑颈长尾雉(*Syrnaticus humiae*)和鸮嘴鹳(*Ibidorhyncha struthersii*)^[39-40]以及一些树栖性的灵长类^[41-42]。树高、地径以及最低枝高度是夜栖树的属性,反映出钳嘴鹳对夜栖树安全性和舒适性的需求。高大树木会增大捕食者爬树的难度,增加钳嘴鹳发现天敌的缓冲时间,从而降低被捕食风险,具有更高的安全性,另外树体也较稳固,在风力大的时候不易发生剧烈晃动。四川雉鹑(*Tetraophasis szechenyii*)在冬季选择夜栖树时也会选择平均胸径偏大的夜栖树^[43]。在本研究中人为干扰因子为次要因子,表明钳嘴鹳对干扰的容忍度较高。在调查中也发现钳嘴鹳夜栖时并不会特意回避村庄和道路,甚至有些夜栖树就位于村镇中,这可能与当地居民的爱鸟意识较高有关。钳嘴鹳为专性捕食螺类的鸟类,在当地会大量食用外来入侵种福寿螺(*Pomacea canaliculata*),从而减轻了福寿螺对当地农业生产造成的损害。因此当地居民认为钳嘴鹳为益鸟,并不会去驱赶或伤害钳嘴鹳。印度关于钳嘴鹳筑巢行为的研究中也发现钳嘴鹳会靠近水体和人类居住地的地方筑巢,可以容忍一定程度的人类干扰^[44]。在四川稻城县著杰寺开展的白马鸡研究中也发现,白马鸡并不回避人类活动地,反而喜好在寺庙周边活动,这与寺庙僧人的护鸟意识密切相关^[45]。

总体来看,钳嘴鹳并不是严格的夜晚树栖物种,在群体和个体水平上,均表现出较高的多样性和灵活性。除了可以利用多种生境以外,对夜栖树的要求也较低,且对人为干扰容忍度较高。本研究表明在钳嘴鹳的扩散过程中,夜栖树并不能成为一个强有力的限制因子,今后钳嘴鹳有可能继续向中国南方的湿地分布区扩散。

参考文献(References):

- [1] Menzel M A, Carter T C, Chapman B R, Laerm J. Quantitative comparison of tree roosts used by red bats (*Lasiurus borealis*) and Seminole bats (*L. seminolus*). *Canadian Journal of Zoology*, 1998, 76(4): 630-634.
- [2] 原宝东, 蒋爱伍, 李晓东, 鲁长虎. 鸟类夜栖地选择研究进展. *生态学杂志*, 2012, 31(8): 2145-2151.
- [3] 原宝东, 闫永峰, 程志营, 鲁长虎. 黑颈长尾雉春夏夜栖地特征与差异性分析. *林业科学*, 2017, 53(9): 143-150.
- [4] Rasoloharijaona S, Randrianambinina B, Zimmermann E. Sleeping site ecology in a rain-forest dwelling nocturnal lemur (*Lepilemur mustelinus*): implications for sociality and conservation. *American Journal of Primatology*, 2008, 70(3): 247-253.
- [5] 罗祖奎, 任峻, 刘文, 李振吉, 李性苑. 贵州草海发现钳嘴鹳. *动物学杂志*, 2013, 48(2): 240-240.
- [6] Liu Q, Buzzard P, Luo X. Rapid range expansion of Asian Openbill *Anastomus oscitans* in China. *Forktail*, 2015, 31: 141-143.
- [7] 韩联宪, 韩奔, 梁丹, 高歌. 亚洲钳嘴鹳在中国西南地区的扩散. *四川动物*, 2016, 35(1): 149-153.
- [8] Rutz C, Hays G C. New frontiers in biologging science. *Biology Letters*, 2009, 5(3): 289-292.
- [9] 王勇, 张正旺, 郑光美, 李建强, 徐基良, 马志军, Biancucci A L. 鸟类学研究: 过去二十年的回顾和对未来发展的建议. *生物多样性*, 2012, 20(2): 119-137.
- [10] Bouten W, Baaij E W, Shamoun-Baranes J, Camphuysen K C J. A flexible GPS tracking system for studying bird behaviour at multiple scales. *Journal of Ornithology*, 2013, 154(2): 571-580.
- [11] 杨岚, 李恒. 云南湿地. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [12] Liu Q, Li F S, Buzzard P, Qian F W, Zhang F, Zhao J L, Yang J X, Yang X J. Migration routes and new breeding areas of Black-Necked Cranes. *Wilson Journal of Ornithology*, 2012, 124(4): 704-712.
- [13] 王成, 董斌, 朱鸣, 黄慧, 赵抗抗, 吕典, 崔玉环, 高祥. 升金湖湿地越冬鹤类栖息地选择. *生态学杂志*, 2018, 37(3): 810-816.
- [14] Mochizuki S, Murakami T. Change in habitat selection by Japanese macaques (*Macaca fuscata*) and habitat fragmentation analysis using temporal

- remotely sensed data in Niigata Prefecture, Japan. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2011, 13(4): 562-571.
- [15] 李欣海. 随机森林模型在分类与回归分析中的应用. *应用昆虫学报*, 2013, 50(4): 1190-1197.
- [16] Dixon A, Li X H, Rahman M L, Batbayar N, Zhan X J. Characteristics of home range areas used by Saker Falcons (*Falco cherrug*) wintering on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Bird Conservation International*, 2017, 27(4): 525-536.
- [17] 张雷, 王琳琳, 张旭东, 刘世荣, 孙鹏森, 王同立. 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例. *生态学报*, 2014, 34(3): 650-659.
- [18] 高若楠, 苏喜友, 谢阳生, 雷相东, 陆元昌. 基于随机森林的杉木适生性预测研究. *北京林业大学学报*, 2017, 39(12): 36-43.
- [19] Cassini M H. *Distribution Ecology: from Individual Habitat use to Species Biogeographical Range*. New York: Springer, 2013.
- [20] Stralberg D, Carroll C, Pedlar J H, Wilsey C B, McKenney D W, Nielsen S E. Macrorefugia for North American trees and songbirds: climatic limiting factors and multi-scale topographic influences. *Global Ecology and Biogeography*, 2018, 27(6): 690-703.
- [21] Dias M P, Granadeiro J P, Lecoq M, Santos C D, Palmeirim J M. Distance to high-tide roosts constrains the use of foraging areas by dunlins: implications for the management of estuarine wetlands. *Biological Conservation*, 2006, 131(3): 446-452.
- [22] Sommer B, Beger M, Harrison P L, Babcock R C, Pandolfi J M. Differential response to abiotic stress controls species distributions at biogeographic transition zones. *Ecography*, 2018, 41(3): 478-490.
- [23] 贺鹏, 孔德军, 刘强, 余红忠, 赵建林, 杨晓君. 云南纳帕海越冬黑颈鹤夜栖地特征. *动物学研究*, 2011, 32(2): 150-156.
- [24] Lu G Y, Wang R X, Ma L R, Yang X J. Characteristics of dry upland roosts of the black-necked crane (*Grus nigricollis*) wintering in Yongshan, China. *Wilson Journal of Ornithology*, 2017, 129(2): 323-330.
- [25] Hancock J A, Kushlan J A, Kahl M P. *Storks, Ibises, and Spoonbills of the World*. London: Academic Press, 1992.
- [26] Antczak M, Dolata P. Night roosts, flocking behaviour and habitat use of the non-breeding fraction and migrating White Storks *Ciconia ciconia* in the Wielkopolska region (SW Poland)//Tryjanowski P, Sparks T H, Jerzak L, eds. *White Stork in Poland: Studies in Biology, Ecology and Conservation*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2006: 209-224.
- [27] Robin F, Piersma T, Meunier F, Bocher P. Expansion into an herbivorous niche by a customary carnivore: Black-Tailed Godwits feeding on rhizomes of *Zostera* at a newly established wintering site. *Condor: Ornithological Applications*, 2013, 115(2): 340-347.
- [28] Pikesley S K, Broderick A C, Cejudo D, Coyne M S, Godfrey M H, Godley B J, Lopez P, López-Jurado L F, Merino S E, Varo-Cruz N, Witt M J, Hawkes L A. Modelling the niche for a marine vertebrate: a case study incorporating behavioural plasticity, proximate threats and climate change. *Ecography*, 2015, 38(8): 803-812.
- [29] 卢光义. 滇东北永善越冬黑颈鹤(*Grus nigricollis*)山坡型夜栖地选择[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
- [30] Dias A, Palma L, Carvalho F, Neto D, Real J, Beja P. The role of conservative versus innovative nesting behavior on the 25-year population expansion of an avian predator. *Ecology and Evolution*, 2017, 7(12): 4241-4253.
- [31] Arthur S M, Manly B F J, McDonald L L, Garner G W. Assessing habitat selection when availability changes. *Ecology*, 1996, 77(1): 215-227.
- [32] 张国钢, 张正旺, 杨凤英, 李世广. 山西五鹿山自然保护区褐马鸡栖息地的选择. *林业科学*, 2010, 46(11): 100-103.
- [33] Thompson III F R, Fritzell E K. Ruffed Grouse winter roost site preference and influence on energy demands. *Journal of Wildlife Management*, 1988, 52(3): 454-460.
- [34] Liu Z H, Zhao Q K. Sleeping sites of *Rhinopithecus bieti* at Mt. Fuhe, Yunnan. *Primates*, 2004, 45(4): 241-248.
- [35] 袁玲, 张春兰, 张海, 符运南, 张才有, 林贤梅, 胡慧建. 海南原鸡繁殖期夜栖地的选择. *四川动物*, 2009, 28(5): 652-657.
- [36] Chapman C A. Spider monkey sleeping sites: use and availability. *American Journal of Primatology*, 1989, 18(1): 53-60.
- [37] Anderson J R. Sleep, sleeping sites, and sleep-related activities: awakening to their significance. *American Journal of Primatology*, 1998, 46(1): 63-75.
- [38] 杨旭, 刘强, 雷宇, 刘慧, 杨俊杰. 云南蒙自长桥海钳嘴鹳时间分配与活动节律. *西南林业大学学报*, 2018, 38(3): 214-219.
- [39] 蒋爱伍, 周放, 陆舟, 韩小静, 孙仁杰, 李相林. 广西黑颈长尾雉对夜宿地的选择. *动物学研究*, 2006, 27(3): 249-254.
- [40] 叶元兴, 王楠, 丁长青. 钳嘴鹳夜栖地报道. *四川动物*, 2013, 32(2): 253-254.
- [41] Sigg H, Stolba A. Home range and daily march in a Hamadryas baboon troop. *Folia Primatologica*, 1981, 36(1/2): 40-75.
- [42] von Hippel F A. Use of sleeping trees by black and white colobus monkeys (*Colobus guereza*) in the Kakamega Forest, Kenya. *American Journal of Primatology*, 1998, 45(3): 281-290.
- [43] 张波, 徐雨, 王彬, 冉江洪, 吴永杰, 李八斤. 四川雉鹑的冬季夜栖地选择. *动物学杂志*, 2016, 51(4): 536-542.
- [44] Pramanik A K, Santra K B, Manna C K. Nest-building behaviour of the asian open billed stork *Anastomus oscitans*, in the Kulik Bird Sanctuary, Raiganj, India. *Our Nature*, 2010, 7(1): 39-47.
- [45] 贾非, 王楠, 郑光美. 冬季白马鸡群体夜栖地特征分析. *生态学杂志*, 2005, 24(2): 153-158.