



滇池湖滨区湿地鸟类栖息地适宜性评价研究

廖辰灿 毛茜 史惠灵 白皓天 李俊梅

Study on Habitat Suitability Evaluation for Wetland Birds in Dianchi Lake Wetland

Liao Chencan, Mao Qian, Shi Huiling, Bai Haotian, Li Junmei

引用本文:

廖辰灿, 毛茜, 史惠灵, 白皓天, 李俊梅. 滇池湖滨区湿地鸟类栖息地适宜性评价研究[J]. 西南林业大学学报, 2021, 41(1):78–84. doi: 10.11929/j.swfu.201909057

Liao Chencan, Mao Qian, Shi Huiling, Bai Haotian, Li Junmei. Study on Habitat Suitability Evaluation for Wetland Birds in Dianchi Lake Wetland[J]. *Journal of Southwest Forestry University(Natural Science)*, 2021, 41(1):78–84. doi: 10.11929/j.swfu.201909057

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201909057>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

滇池湖滨湿地公园园林植物地理区系类型及外来种应用研究

Study on Geographical Flora of Landscape Plants and Application of Exotic Species in Wetland Parks of Dianchi Lake
西南林业大学学报. 2020, 40(6): 58 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202003038>

云南泸沽湖省级自然保护区鸟类多样性

Bird Diversity of the Provincial Nature Reserve of Lugu Lake in Yunnan
西南林业大学学报. 2019, 39(4): 116 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201812062>

未来气候变化对贵州红心猕猴桃种植气候适宜性的影响

Effects of Future Climate Change on Climatic Suitability of *Actinidia chinensis* Growing in Guizhou
西南林业大学学报. 2018, 38(4): 46 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.04.007>

1998—2009年洞里萨湖流域湿地时空变化特征研究

The Spatial-temporal Changes of Wetland in the Tonle Sap Lake Basin from 1988 to 2009
西南林业大学学报. 2019, 39(6): 130 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201812051>

基于HJ-1A高光谱数据的滇池悬浮物浓度估测研究

A Study on the Suspended Sediment Concentration in Dianchi Lake Using HJ-1A Hyperspectral Data
西南林业大学学报. 2020, 40(4): 94 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201902056>

基于层次分析法的黑瞎子岛国家级湿地公园生态旅游资源评价

Comprehensive Evaluation of the Ecotourism Resources at Heixiazi Island National Wetland Park Based on Analytic Hierarchy Process
Yin Jingping
西南林业大学学报. 2017, 37(5): 147 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.05.022>

DOI: 10.11929/j.swfu.201909057

引文格式: 廖辰灿, 毛茜, 史惠灵, 等. 滇池湖滨区湿地鸟类栖息地适宜性评价研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2021, 41(1): 78-84.

滇池湖滨区湿地鸟类栖息地适宜性评价研究

廖辰灿¹ 毛茜^{1,2} 史惠灵¹ 白皓天¹ 李俊梅^{1,3,4}

(1. 云南大学生态学与环境学院, 云南省高原山地生态与退化环境修复重点实验室, 云南昆明 650091; 2. 昆明理工大学艺术与传媒学院, 云南昆明 650500; 3. 云南省高原湖泊生态修复及流域管理国际联合研究中心, 云南昆明 650091; 4. 云南生态文明建设智库, 云南昆明 650091)

摘要: 2018年7月至2019年5月, 每月对滇池湖滨区28个样点和主城区3个滨水公园在内的共计31个样点进行湿地鸟类丰富度和土地覆被因子的调查。通过计算显著影响湿地鸟类丰富度的土地覆被因子参数的适宜性指数(HSI)单因子指数, 采用单因素聚类分析将综合HSI(HSI_t)分类, 构建滇池湖滨区湿地鸟类栖息地的HSI模型, 以此评价该湖滨区各样点作为湿地鸟类栖息地的适宜性。结果表明: 滇池湖滨区的样点中除东大河的HSI_t显著高于其他样点为极高适宜区, 其他样点HSI_t聚类均值均小于0.6, 划分为高适宜区7个、中适宜区10个、低适宜区10个。而城区滨水公园的3个样点中, 除翠湖为低适宜区外, 莲花池、篆塘的HSI_t显著低于其他样点, 为极低适宜区。

关键词: 栖息地; 适宜性; 滇池; 湿地; 鸟类

中图分类号: S718.63

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2021)01-0078-07

Study on Habitat Suitability Evaluation for Wetland Birds in Dianchi Lake Wetland

Liao Chencan¹, Mao Qian^{1,2}, Shi Huiling¹, Bai Haotian¹, Li Junmei^{1,3,4}

(1. School of Ecology and Environmental Science/Yunnan Provincial Key Laboratory for Plateau Mountain Ecology and Restoration of Degraded Environments, Yunnan University, Kunming Yunnan 650091, China; 2. Faculty of Art and Communication, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650500, China; 3. International Cooperative Center of Plateau Lake Ecological Restoration and Watershed Management of Yunnan, Kunming Yunnan 650091, China; 4. Yunnan Ecological Civilization Construction Think Tank, Kunming Yunnan 650091, China)

Abstract: From July 2018 to May 2019, 31 sample points including 28 samples of Dianchi lakeside and 3 samples of urban waterfront park were investigated monthly for species richness of wetland birds and land cover factors. Taking the land cover parameters that significantly affect the species richness of wetland birds as the single factor index of habitat suitability index (HSI), the HSI model is further constructed to calculate the habitat suitability index (HSI) of wetland birds for various points, and the HSI_t was classified by single factor cluster analysis. The results show that among the samples in the lakeside of Dianchi Lake, the HSI_t of Dongdahe is significantly higher than that of other samples, which is extremely high, and the clustering mean of HSI_t of other samples is less than 0.6, which can be divided into 7 high, 10 middle and 10 low suitable areas. Among the 3 samples of urban waterfront park, except for Cuihu, which is a low suitable area, the HSI_t of Lianhuachi and Zhuantang are

收稿日期: 2019-09-20; 修回日期: 2019-12-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471149, 31670472)资助; 云南省州(市)县三级生态文明示范区建设协同推进研究项目(JD2019YB05)资助; 云南省高原山地生态与退化环境修复重点实验室开放基金项目(2018DG005)资助。

第1作者: 廖辰灿(1996—), 男, 硕士。研究方向: 鸟类生态学。Email: chencan.liao@139.com。

通信作者: 李俊梅(1969—), 女, 博士, 副教授。研究方向: 生态经济学、生态学、环境科学。Email: Junmli@ynu.edu.cn。

significantly lower than that of other sample points, which is extremely low.

Key words: habitat; suitability; Dianchi Lake; wetland; birds

湿地是地球上生物多样性最为丰富的自然景观环境之一，也是地球生态环境和人类社会赖以生存和发展的重要自然资源。依据鸟类生活史与湿地生境间的关系，可将生活史中对湿地生境进行利用的鸟类视为湿地鸟类，包括涉禽、游禽和一些在湿地中进行觅食或繁殖等活动的其他鸟类。湿地鸟类作为湿地生态系统中最为重要的消费者之一，对生境的变化极其敏感^[1]，国际上常将湿地生态系统中湿地鸟类的群落结构和丰度作为湿地质量的重要评估指^[2]。因此，在湿地修复中，为保护湿地鸟类，必须深入了解认识湿地鸟类和湿地生态系统其他组成部分之间的关系^[3-4]。

栖息地适宜性指数（HSI）模型通常针对目标物种，根据一个或多个相关生境变量计算评估栖息地质量^[5]。其主要用于评估保护区规划设计和决策对生境质量的潜在影响^[6]，为自然资源保护管理和生态系统恢复提供了有效的决策支持工具^[6-7]。在以往的研究中，HSI 模型的运用非常广泛，Zajac 等^[7]使用水动力模型的模拟水文数据对美国 Southwest Everglades National Park 的沉水植物构建了 HSI 模型；Choi 等^[8]以獐（*Hydropotes inermis*）为研究对象，在植被覆盖、河流水密度、土地利用等级、路网等方面收集獐的生境数据，构建其 HSI；国内在针对鱼类、鸟类、哺乳动物以及植物方面的研究工作中也均有使用 HSI 模型的案例^[9-13]。

滇池是云南最大的湖泊，是鸟类的重要栖息地和停歇场所，关于滇池湖滨区鸟类的研究有很多，主要集中在鸟类多样性和在此越冬的红嘴鸥的生态研究^[14-23]。缺乏从栖息地本身出发，评价滇池湖滨区各处作为鸟类栖息地的适宜性的相关研究。本研究选择包括滇池湖滨区 28 个样点和主城区 3 个滨水公园在内的共计 31 个样点进行湿地鸟类丰富度和土地覆被因子的调查。通过计算其中显著影响湿地鸟类丰富度的土地覆被因子参数^[24]的 HSI 单因子指数，构建滇池湖滨区湿地鸟类的 HSI 模型，以此评价该湖滨区各样点作为湿地鸟类栖息地的适宜性，以为湖滨区生态恢复规划、管理工作提供一定的参考。

1 研究地概况

滇池是云贵高原上的一个大型浅水湖泊，位于云南省昆明市主城西南。东经 102°37' ~ 102°48'，北纬 24°40' ~ 25°03'，湖面海拔 1886 m，面积为 330 km²。滇池流域多年平均最高气温为 22.9 °C；多年平均最低气温为 10.0 °C；多年平均气温为 15.8 °C；多年平均湿度为 70%^[25]。滇池流域雨季在 6—7 月，年降雨量一般为 1035 mm，夏冬两季气候适宜，全年干湿分明。滇池湖滨区是滇池水域的变化带和处于水陆间对滇池水域起保护作用的过渡带，是滇池生物多样性最丰富的场所，具体范围是从正常高水位 1887.4 m 水位线向陆地延伸 100 m 至湖内 1885.5 m 之间的地带^[26]。本研究大部分调查地点都选取在滇池周边环境现状且参考罗康等^[21]以往的滇池鸟类调查资料，一共设置了 31 个观察点，其中包括 28 个湖滨区样点以及 3 个滨水公园样点（图 1）。

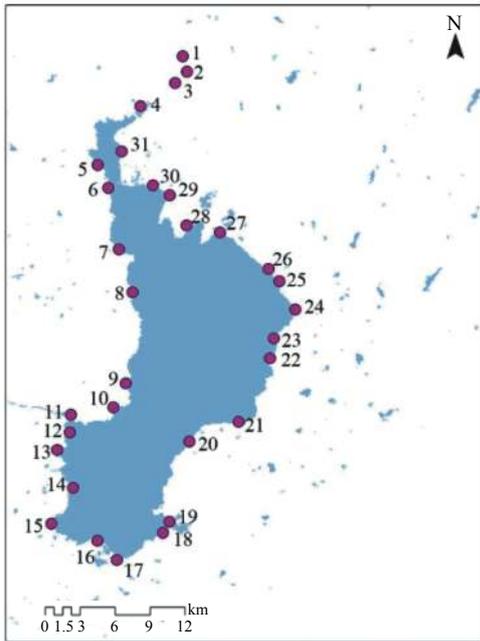
2 研究方法

2.1 数据来源与处理

鸟类调查时间自 2018 年 7 月至 2019 年 5 月，每月中下旬各选取连续数天 8:00—12:00 及 14:00—18:00 进行。依次对包括环滇池湖滨区的 28 个样点及主城区 3 个滨水公园在内共计 31 个样点采用以样点法和样线法相结合，总体采用固定距离样线法^[27]进行鸟类调查。记录调查过程中各样点内的鸟类种类、数量以及鸟类刚被观察到时所处于的具体微生境和行为。鸟种识别与分类参考《中国鸟类野外手册》^[28]及《中国鸟类分类与分布目录第 2 版》^[29]。

土地覆被数的数据通过样方法获得，以样点为中心绘制 1 km×1 km 的正方形样方。计算该区域中的建设用地面积占比、沉水植物面积占比、坑塘水面面积占比以及挺水植物边缘密度比，这 4 个显著影响滇池湖滨区范围内湿地鸟类丰富度的土地覆被因子参数^[24]。其中，挺水植物边缘密度比等于挺水植物的边缘长度的总和除以挺水植物总面积。为精确评估各个样地的土地覆被数据，使用实地调研和无人机相结合的方式获取样地的影像，并使用面向对象的分类方法利用 eCo-

gnition Developer 8.7^[30] 和 ArcGIS 10^[31] 进行土地覆被分类。



31个样点位置: 1 莲花池, 2 翠湖, 3 篆塘, 4 大观楼, 5 省委党校, 6 草海大堤, 7 晖湾, 8 西华湿地, 9 工人疗养院, 10 浪泥湾, 11 海口, 12 海丰湿地, 13 友谊隧道, 14 大河尾, 15 太史村, 16 东大河, 17 鸽子窝湾, 18 大湾山, 19 小渔村, 20 兴隆村, 21 古滇名城, 22 捞鱼河, 23 大渔湿地, 24 乌龙村, 25 呈贡湿地南, 26 呈贡湿地北, 27 宝丰湿地, 28 福宝湿地, 29 盘龙江入湖口, 30 滇池老码头, 31 观景大道。

图1 滇池湖滨区样点位置

Fig. 1 Location of sample points in Dianchi Lakeside

2.2 构建滇池湖滨区鸟类 HSI 模型

通过计算每一个环境参数的 HSI 单因子指数, 并进一步构建 HSI 模型来评估栖息地的综合质量^[7]。HSI 单因子指数范围为 [0,1], 当单因子指数为 0 时表示栖息地极不适宜目标物种, 当单因子指数为 1 时表示栖息地极适宜目标物种^[6], 最后使用单因子指数构建 HSI 综合模型。

1) 单因子指数计算。单因子指数范围为 [0,1], 因此对 4 个土地覆被参数进行归一化。沉水植物面积占比, 挺水植物边缘密度比, 坑塘水面面积占比对湿地鸟类物种丰富度影响为正面, 其单因子指数计算公式如下:

$$HSI_i = (P_i - P_{\min}) / (P_{\max} - P_{\min}) \quad (1)$$

式中: HSI_i 为沉水植物面积占比, 挺水植物边缘密度比, 坑塘水面面积占比的单因子指数, P_i 为沉水植物面积占比, 挺水植物边缘密度比, 坑塘水面面积占比的数值, P_{\min} 和 P_{\max} 分别为 P_i 的最小

值和最大值。

建设用地面积占比对湿地鸟类物种丰富度影响为负面, 其计算公式如下:

$$HSI_b = (P_{\max} - P_b) / (P_{\max} - P_{\min}) \quad (2)$$

式中, HSI_b 为建设用地面积占比的单因子指数, P_b 为建设用地面积占比, P_{\min} 和 P_{\max} 分别为 P_b 的最小值和最大值。

2) HSI 建模。综合考虑土地覆被因子对湿地鸟类物种丰富度的影响, 本研究采用的综合 HSI 模型公式^[9-10] 为:

$$HSI_t = \frac{HSI_b + HSI_s + HSI_e + HSI_p}{4} \quad (3)$$

式中: HSI_b 、 HSI_s 、 HSI_e 和 HSI_p 分别为建设用地面积占比, 沉水植物面积占比, 挺水植物边缘密度比, 坑塘水面面积占比的单因子指数。

聚类分析是针对无响应变量的数据, 通过分析其相似性从而进行分组的方法, 其中 K-Means 又是最为常用的聚类分析方法。由于 HSI_t 是单变量, 因此使用基于 K-Means 的单变量聚类分析。

使用 R 3.5.3^[32] 中的 Ckmeans.1d.dp 包^[33] 利用基于距离的最优聚类算法, 将 HSI_t 分为 5 类 (极高适宜区、高适宜区、中适宜区、低适宜区、极低适宜区)。

3 结果与分析

3.1 鸟类调查结果

2018 年 7 月至 2019 年 5 月, 鸟类调查结果共记录鸟种 145 种, 按《中国鸟类分类与分布目录第 2 版》^[29] 进行分类, 分别隶属 14 目 45 科。按六大生态类群可划分为鸣禽 80 种; 涉禽 28 种; 游禽 17 种; 攀禽 10 种; 猛禽 7 种; 陆禽 3 种。其中鸣禽、涉禽、游禽鸟类的种类和数量占据绝对优势, 后 3 类生态型的鸟类除个别种外大多为偶见种。

3.2 适宜性指数计算结果

滇池湖滨区 28 个样点和主城区 3 个滨水公园在内的共计 31 个样点的建设用地单因子指数 (HSI_b) 平均为 0.75, 标准差为 0.25, 83.87% 的样点其 HSI_b 大于 0.6。沉水植物单因子指数 (HSI_s) 平均为 0.18, 标准差为 0.27, 12.91% 的样点其 HSI_s 大于 0.6。挺水植物边缘密度比单因子指数 (HSI_e) 平均为 0.21, 标准差为 0.21, 3.23% 的样点其 HSI_e 大于 0.6。坑塘水面单因子指数 (HSI_p) 平均为 0.21, 标准差为 0.22, 6.46% 的样点

其 HSI_p 大于 0.6（单因子适宜性指数计算结果见表 1~4）。

表 1 建设用地单因子指数 (HSI_b)

Table 1 Single factor index of construction land (HSI_b)

HSI_b	面积占比/%	样点数占总样点数百分比/%
$0 \leq HSI_b < 0.2$	68.40 ~ 77.37	6.45
$0.2 \leq HSI_b < 0.4$	57.21	3.23
$0.4 \leq HSI_b < 0.6$	32.26 ~ 34.28	6.45
$0.6 \leq HSI_b < 0.8$	16.51 ~ 27.85	32.26
$0.8 \leq HSI_b \leq 1$	0.76 ~ 15.00	51.61

表 2 沉水植物单因子指数 (HSI_s)

Table 2 Single factor index of submerged macrophytes (HSI_s)

HSI_s	面积占比/%	样点数占总样点数百分比/%
$0 \leq HSI_s < 0.2$	0 ~ 0.77	74.19
$0.2 \leq HSI_s < 0.4$	1.12 ~ 1.43	9.68
$0.4 \leq HSI_s < 0.6$	2.28	3.23
$0.6 \leq HSI_s < 0.8$	2.40 ~ 2.93	9.68
$0.8 \leq HSI_s \leq 1$	3.89	3.23

表 3 挺水植物边缘密度比单因子指数 (HSI_e)

Table 3 Single factor index of marginal density ratio of emergent plants (HSI_e)

HSI_e	挺水植物边缘密度比/%	样点数占总样点数百分比/%
$0 \leq HSI_e < 0.2$	1.38 ~ 42.16	54.84
$0.2 \leq HSI_e < 0.4$	46.34 ~ 85.72	35.48
$0.4 \leq HSI_e < 0.6$	118.16 ~ 124.51	6.45
$0.6 \leq HSI_e < 0.8$	—	0
$0.8 \leq HSI_e \leq 1$	225.57	3.23

注：—表示无数据。

表 4 坑塘水面单因子指数 (HSI_p)

Table 4 Single factor index of pond water surface (HSI_p)

HSI_p	面积占比/%	样点数占总样点数百分比/%
$0 \leq HSI_p < 0.2$	0.08 ~ 4.78	64.52
$0.2 \leq HSI_p < 0.4$	5.78 ~ 9.85	19.35
$0.4 \leq HSI_p < 0.6$	12.02 ~ 13.67	9.68
$0.6 \leq HSI_p < 0.8$	15.78	3.23
$0.8 \leq HSI_p \leq 1$	25.90	3.23

3.3 基于 HSI 模型的湿地鸟类栖息地适宜性评价结果

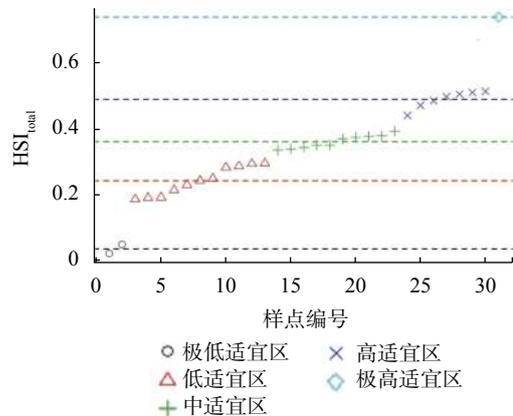
滇池湖滨区 28 个样点和主城区 3 个滨水公园在内的共计 31 个样点的湿地鸟类 HSI_{total} 最小值为

0.02，最大值为 0.74，平均值为 0.34，标准差为 0.15。使用指定 5 类聚类类别数的单因素聚类分析将 HSI_t 分为极高适宜区、高适宜区、中适宜区、低适宜区、极低适宜区（表 5，图 2）。其中样点 16 东大河的 HSI_t 明显高于其他样点，为极高适宜区；其他样点 HSI_t 均小于 0.6，包括高适宜区 7 个、中适宜区 10 个、低适宜区 10 个。而城区滨水公园的 3 个样点中，翠湖为低适宜区，莲花池、篆塘的 HSI_t 明显低于其他样点，为极低适宜区。

表 5 滇池湖滨区鸟类 HSI_t

Table 5 HSI_t of birds in Dianchi Lakeside

适宜程度	样点编号	HSI_t	聚类均值	样点数占总样点数百分比/%
极高适宜区	16	0.74	0.740457	3.23
高适宜区	6,19,20,21,26,27,31	0.44 ~ 0.51	0.489623	22.58
中适宜区	7,12,13,14,17,22,23,24,28,29	0.34 ~ 0.39	0.361176	32.26
低适宜区	2,4,5,8,9,10,11,15,18,25,30	0.18 ~ 0.29	0.240768	35.48
极低适宜区	1,3	0.02 ~ 0.05	0.033392	6.45



5 条水平线表示每个集群的中心。

图 2 滇池湖滨区鸟类 HSI_t 聚类分析

Fig. 2 HSI_t cluster analysis of birds in Dianchi Lakeside

在调查的样点中，运用单因素聚类分析将 31 个样点的 HSI_t 划分为 5 个类别。分别是 1) 极高适宜区：16 东大河；2) 高适宜区：6 草海大堤、19 小渔村、20 兴隆村、21 古滇名城、26 呈贡湿地北、27 宝丰湿地、31 观景大道；3) 中适宜区：7 晖湾、12 海丰湿地、13 友谊隧道、14 大河尾、17 鸽子窝湾、22 捞鱼河、23 大渔湿地、24 乌龙村、28 福保湿地、29 盘龙江入湖口；4) 低适宜区：2 翠湖、4 大观楼、5 省委党校、8 西华湿地、9 工人疗养院、10 浪泥湾、11 海口、15 太史湾、18 大湾山、25 呈贡湿地南、30 滇池老码

头；5) 极低适宜区：1 莲花池、3 篆塘。

4 结论与讨论

本研究对 28 个滇池湖滨区样点及 3 个城区滨水公园样点进行鸟类和土地覆被因子调查，依据《中国鸟类分类与分布目录第 2 版》^[29] 分类，共记录鸟种 145 种，分别隶属 14 目 45 科。按六大生态类群可划分为鸣禽 80 种，涉禽 28 种，游禽 17 种，攀禽 10 种，猛禽 7 种，陆禽 3 种。其中鸣禽、涉禽、游禽的种数和数量占据绝对优势，本研究以主要由这 3 类生态型的湿地鸟类物种丰富度为指标，计算中对其具有显著性影响的土地覆被因子的 HSI 单因子指数。构建滇池湖滨区湿地鸟类的 HSI 模型，以此计算各样点的湿地鸟类的综合栖息地适宜性指数 HSI_t 。再通过单因素聚类分析将 HSI_t 分类，评价湖滨区各样点作为湿地鸟类栖息地的适宜性。结果表明：滇池湖滨区的样点中除东大河的 HSI_t 显著高于其他样点为极高适宜区，其他样点 HSI_t 均小于 0.6，包括高适宜区 7 个、中适宜区 10 个、低适宜区 10 个。而城区滨水公园的 3 个样点中，翠湖为低适宜区，莲花池、篆塘的 HSI_t 显著低于其他样点，为极低适宜区。

在调查的 4 个土地覆盖参数中，建设用地面积占比的增加会使得鸟种丰富度随之下降，其中以迁徙繁殖的鸟类反应最为强烈^[34-35]。一些对栖息地变化较为敏感的鸟类，通常无法适应栖息地的严重破碎化，会从原本的栖息地中消失^[36]。同时伴随而来的人为干扰也会惊飞鸟类，并且对鸟类的孵卵行为造成影响。沉水植物是众多游禽在越冬期间的主要食物来源^[37]，同时也是大型底栖动物的适宜生境^[38]，间接的为涉禽等捕食性提供了食物来源。因此，在一定范围内，随着样点的沉水植被面积占比增加，鸟类多样性也逐步提升，其中对游禽和涉禽的物种丰富度影响最为突出。挺水植物边缘密度比是指生长在坑塘水域边缘的挺水植物密度大小，坑塘周围的挺水植物是许多鸟类的筑巢区和隐蔽所。鸟类距离隐蔽所越近，对接近中的捕食者有着更高的容忍度^[39]。同时坑塘边缘的挺水植物也为鸟类提供了较为安全的廊道，鸟类可以减少警戒时间，将更多的精力分配给觅食等其他活动^[40]。因此在一定范围内，坑塘周围挺水植被边缘密度比和鸟类多样性成正比，其中以涉禽和鸣禽最为突出。坑塘水面面积比是指样地中坑塘水面的面积占样地面积的百分比。在湿地生境中，不同种的鸟类对坑塘的需求

不一，大型水鸟普遍警戒距离较长，对人为干扰的耐受程度较低^[35, 41-42]，因此更偏爱大型坑塘。其中，游禽因其喜好在水域活动，水面面积越大意味着可供其利用的栖息地面积越大，对于干扰具有更大的缓冲作用，因此其栖息地利用受水面面积大小的影响最为突出^[43]。

本研究调查的 31 个样点中，市区的 3 个滨水公园中鸟类物种丰富度最低，除了印证本研究的 HSI_t 分类外，分析认为在这 3 个样点内持续存在的强烈人为干扰也是导致这些样点内鸟类种数较低的原因之一。同时在计算过程中，发现有 2 处样点内计算得出的湿地鸟类 HSI_t 与实际观察的鸟类种数不符。1) 样点 9 工人疗养院的湿地鸟类 HSI_t 显示该地为低适宜区，但是实地调查发现该样地的鸟类多样性却较高。分析原因是该样地背靠群山，部分林鸟会从山上移动到样地内活动，使得观察到的鸟类丰富度增加。2) 样点 21 古滇名城的湿地鸟类 HSI_t 显示该地块为高适宜区，但实地调查结果显示该地块鸟类多样性在 31 个样点中仅为中等程度。分析认为误差的原因在于该地块受到强度较高的人为管控，样地内的坑塘水面均被硬化路面人为所分割成小块水面，严重缺乏沉水植物和挺水植物。同时该地块人为干扰严重，众多游客的惊扰以及工人对草坪和水生植物的频繁管护也使得鸟类不愿意在此地栖息。本研究为湖滨区生态恢复规划管理工作提供了一定的参考意义，湖滨区进行规划时应当保持地块的生境多样性，合理配置湖滨区的坑塘比例；各坑塘间可通过种植挺水植物提高连通度，使得生物在其间得以自由迁移；适度保留部分沿岸滩涂和沉水植物，为游禽及涉禽提供觅食地和栖息地；在相邻湿地公园之间建设生态廊道，使得各绿地彼此连通，提高之间生物的迁移率，同时适度减少湖滨区的人为干扰。

[参 考 文 献]

- [1] Furness R W, Greenwood J J D. Birds as monitors of environmental change[M]. Dordrecht: Springer netherlands, 1993.
- [2] Frazier S. Directory of wetlands of international importance: an update[M]. Switzerland: Ramsar convention bureau, 1996.
- [3] Malakoff D. Ecology: restored wetlands flunk real-

- world test [J]. *Science*, 1998, 280(5362): 371–372.
- [4] 崔庆江, 张丽锋, 和秀全, 等. 云南箐花甸国家湿地公园鸟类多样性 [J]. *西部林业科学*, 2020, 49(2): 106–112.
- [5] Thomasma L E. Standards for the development of habitat suitability index models [J]. *Wildlife society bulletin*, 1981, 19: 1–171.
- [6] Burgman M A, Breininger D R, Duncan B W, et al. Setting reliability bounds on habitat suitability indices [J]. *Ecological applications*, 2001, 11(1): 70–78.
- [7] Zajac Z, Stith B, Bowling A C, et al. Evaluation of habitat suitability index models by global sensitivity and uncertainty analyses: a case study for submerged aquatic vegetation [J]. *Ecology and evolution*, 2015, 5(13): 2503–2517.
- [8] Choi J, Lee S. Application of habitat evaluation procedure with quantifying the eco-corridor in the process of environmental impact assessment [J]. *International journal of environmental research and public health*, 2019, 16(8): 1437.
- [9] 易炜, 郭爱, 陈新军. 不同环境因子权重对东海鲈鱼栖息地模型的影响研究 [J]. *海洋学报*, 2017, 39(12): 90–97.
- [10] 朱井丽, 高忠斯, 邹红菲, 等. 基于 MAXENT 模型的松嫩平原丹顶鹤秋迁期生境适宜性评价 [J]. *野生动物学报*, 2018, 39(4): 852–857.
- [11] 陈强强, 李美玲, 王旭, 等. 新疆塔什库尔干野生动物自然保护区马可波罗盘羊潜在生态廊道识别 [J]. *生物多样性*, 2019, 27(2): 186–199.
- [12] 丁晨晨, 胡一鸣, 李春旺, 等. 印度野牛在中国的分布及其栖息地适宜性分析 [J]. *生物多样性*, 2018, 26(9): 951–961.
- [13] 陈杰, 龙婷, 杨蓝, 等. 东北红豆杉生境适宜性评价 [J]. *北京林业大学学报*, 2019, 41(4): 51–59.
- [14] 赵雪冰, 吴金亮, 杨明, 等. 云南鸟类新纪录: 三趾鸥 [J]. *四川动物*, 2009, 28(5): 752.
- [15] 赵雪冰, 王紫江, 吴兆录. 红嘴鸥繁殖地与越冬地的环境和生活习性对比 [J]. *云南大学学报 (自然科学版)*, 2008, 30(S2): 387–390.
- [16] 赵雪冰, 和之雪, 王英, 等. 云南省鸟类新纪录: 中杓鹬 [J]. *四川动物*, 2013, 32(1): 155.
- [17] 杨岚, 韩联宪, 王淑珍, 等. 云南水禽资源的调查研究 [J]. *动物学研究*, 1988(S1): 23–31.
- [18] 吴忠荣, 刘越强, 刘菡, 等. 滇池草海越冬水鸟种类、数量与栖息环境调查 [J]. *林业调查规划*, 2008, 33(3): 33–36.
- [19] 吴兆录, 郑曼丽, 潘帮珍, 等. 红嘴鸥在昆明城区的停留时间及其影响因素 [J]. *四川动物*, 2008, 27(3): 351–355.
- [20] 王紫江, 何纪昌, 匡邦郁. 昆明地区的鸟类区系 [J]. *云南大学学报 (自然科学版)*, 1984, 2(2): 57–73.
- [21] 罗康, 白皓天, 吴兆录, 等. 滇池湿地的鸪鹛类及铁嘴沙鸫和弯嘴滨鹬云南新分布 [J]. *四川动物*, 2013, 32(6): 926–931.
- [22] 韩联宪, 陈崇祥, 初涛, 等. 云南昆明滇池冬季水鸟调查 [C]//中国鸟类学研究: 第四届海峡两岸鸟类学术研讨会文集. 昆明: 中国鸟类学会、台北市野鸟学会、中国野生动物保护协会, 2000.
- [23] 罗康. 滇池湖滨区湿地鸟类群落及其栖息地选择影响因素研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2014.
- [24] Mao Q, Liao C C, Wu Z L, et al. Effects of land cover pattern along urban-rural gradient on bird diversity in wetlands [J]. *Diversity*, 2019, 11(6): 86.
- [25] 温庆, 张刘东, 代启亮. 滇池流域近 30 年参考蒸腾蒸发量计算方法探讨 [J]. *人民珠江*, 2018, 39(12): 36–43.
- [26] 张洪, 雷冬梅, 黎海林, 等. 滇池流域建设用地景观格局与滇池水质关系分析 [J]. *水土保持通报*, 2013, 33(4): 103–107.
- [27] Merikallio E. Finnish birds: their distribution and numbers [J]. *Fauna fennica*, 1958, 5(1): 1–181.
- [28] 马敬能, 菲利普斯, 何芬奇. 中国鸟类野外手册 [M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.
- [29] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [30] Trimble. eCognition developer 8.7 reference book[CP/OL][2019–09–01]. <http://www.ecognition.com>.
- [31] Esrie. Arcgis desktop: release 10[M]. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2011.
- [32] R development core team. A language and environment for statistical computing[M]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.
- [33] Wang H Z, Song M Z. Ckmeans.1d.dp: optimal k-means clustering in one dimension by dynamic programming [J]. *The R Journal*, 2011, 3(2): 29.
- [34] Walcott C F. Changes in bird life in Cambridge, Massachusetts from 1860 to 1964 [J]. *The Auk*, 1974, 91(1): 151–160.
- [35] 鲍明霞. 城市鸟类对人为干扰的耐受距离研究 [D]. 合肥: 安徽大学, 2018.
- [36] Fleischer A L J, Bowman R, Woolfenden G E. Variation in foraging behavior, diet, and time of breeding of Florida scrub-jays in suburban and wildland habitats [J].

- The Condor, 2003, 105(3): 515–527.
- [37] 张笑辰, 秦海明, 金斌松, 等. 鄱阳湖浅碟湖泊沉水植物冬芽的分布及对植食水鸟的食物贡献 [J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6589–6596.
- [38] 渠晓东, 余杨, 张敏, 等. 城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系 [J]. 环境科学, 2018, 39(2): 783–791.
- [39] Stankowich T, Blumstein D T. Fear in animals: a meta-analysis and review of risk assessment [J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2005, 272(1581): 2627–2634.
- [40] Bjørvik L M, Dale S, Hermansen G H, et al. Bird flight initiation distances in relation to distance from human settlements in a Tanzanian floodplain habitat [J]. Journal of ornithology, 2015, 156(1): 239–246.
- [41] Fernández-Juricic E, Jokimäki J. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and Northern Europe [J]. Biodiversity and Conservation, 2001, 10(12): 2023–2043.
- [42] Fernández-Juricic E. Can human disturbance promote nestedness? A case study with breeding birds in urban habitat fragments [J]. Oecologia, 2002, 131(2): 269–278.
- [43] 张美. 崇明东滩四类人工湿地环境因子变化与水鸟栖息地选择的研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2013.

(责任编辑 张 坤)

