

生态修复视角下浙江省白鹭适应型驳岸特征指标分析及修复策略研究

Research on Characteristic Index Analysis and Restoration Strategy of Adaptive Revetment for Egrets in Zhejiang Province Under the Perspective of Ecological Restoration

项杰¹ 邹伟¹ 李胜^{2*} 陶一舟²
XIANG Jie¹ ZOU Wei¹ LI Sheng^{2*} TAO Yizhou²

(1. 浙江农林大学园林设计院有限公司, 杭州 311300; 2. 浙江农林大学风景园林与建筑学院, 杭州 311300)
(1. Zhejiang A&F University Landscape Architecture Institute, Hangzhou, Zhejiang, China, 311300; 2. College of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou, Zhejiang, China, 311300)

文章编号: 1000-0283(2025)02-0105-09
DOI: 10.12193/j.laing.2025.02.0105.012
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2024-08-07
修回日期: 2024-10-12

摘要

白鹭作为生物景观和生态指示物种, 其栖息地有效的生态恢复对提升区域物种多样性具有重要意义。从鸟类栖息地生态修复的视角出发, 根据浙江省白鹭的迁徙路线选取了22个白鹭觅食区进行实地调研, 并利用RStudio软件对白鹭数量与自然水岸特征指标进行皮尔逊(Pearson)相关性分析与线性回归分析, 量化研究白鹭觅食区的自然水岸特征。结果显示, 白鹭数量与水岸坡度呈显著负相关, 与水岸宽度呈显著正相关, 而与植被覆盖度及水质数据相关性较弱。基于实地调研与分析结果, 提出三项生态修复策略建议: (1) 驳岸坡度应控制在2%以内, 并适当增加水深在10.4±5 cm区域的驳岸宽度, 驳岸形态可根据具体环境构建湖泊类、河道类、水田类、小岛类和水塘类5种形式; (2) 驳岸植物群落结构应以灌草两层和草本一层为宜, 植物种类选择需考虑白鹭的隐蔽性及其食源生物的生存环境; (3) 驳岸区域的水质应尽量保持与现有觅食区水质数据相近, 以满足白鹭食源生物的生存需求。旨在为白鹭觅食区的生态修复提供参考依据, 对维护生物多样性及改善生态环境具有重要意义。

关键词

白鹭觅食区; 驳岸特征指标; 生态修复; 修复策略

Abstract

Egrets, as bioscape and ecological indicator species, have habitats whose effective ecological restoration is vital for enhancing regional species diversity. This study, from the perspective of bird habitat ecological restoration, selected 22 egret foraging areas along their migration routes in Zhejiang Province for field investigation. Using RStudio software, Pearson correlation and linear regression analyses were conducted to quantify the relationship between egret numbers and natural shoreline characteristics. The results show that egret numbers are significantly negatively correlated with shoreline slope and significantly positively correlated with shoreline width, while correlations with vegetation cover and water quality are weaker. Based on the field investigation and analysis, three ecological restoration strategies are recommended: (1) Shoreline slopes should be controlled within 2%, and the width of shorelines in areas with water depths of 10.4±5 cm should be appropriately increased. Shoreline morphology can be designed in five forms: lake, river, paddy field, island, and pond; (2) The structure of shoreline plant communities should ideally consist of a two-layer shrub-grass structure or a single herbaceous layer, with plant species selected to consider the concealment needs of egrets and the habitat requirements of their prey; (3) The water quality in shoreline areas should closely match the existing water quality of foraging areas to meet the habitat needs of egret prey species. This study provides a reference for the ecological restoration of egret foraging areas and is significant for maintaining biodiversity and improving the ecological environment.

Keywords

egret foraging area; revetment characteristic indicators; ecological restoration; restoration strategy

项杰

1994年生/男/浙江金华人/硕士/工程师/
研究方向为风景园林规划设计与生态修复

邹伟

1995年生/男/安徽合肥人/硕士/助理工
程师/研究方向为风景园林规划设计与生态
修复

李胜

1979年生/男/浙江温州人/硕士/副教授/
研究方向为风景园林技术科学与生态修复、
风景园林遗产保护研究

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 8357573@qq.com

基金项目:

国家林业和草原局软科学项目“国家公园体系下的解说系统构建研究——自然教育视角”(编号: 2020131027); 浙江省基础公益研究计划项目“乡村振兴战略背景下的浙江森林特色小镇绩效评价体系研究”(编号: LGN19E080002)

城市化的进程对自然鸟类栖息的植被、水质、食源生物等多方面都有破坏作用^[1-5]，国内外对于鸟类栖息地的生态修复内容主要包括城市森林斑块恢复、湖泊等水生栖息地修复、生境网络构建、植物群落营建、湿地区域改造以及鸟类多样性提升等方面^[6-11]。在当前鸟类栖息地的生态修复研究中，国内外现有研究主要侧重于多种鸟类种群栖息地整体修复策略，而对于鸟类栖息地的专项修复内容缺乏量化研究^[12-15]。

“一行白鹭上青天”“西塞山前白鹭飞”。白鹭形态优雅、羽毛白净，从古至今都有文人对其给予高度评价。白鹭是浙江地区较为常见的鹭科鸟类，是风景园林中可持续的自然生物景观，国内外对白鹭等鹭科鸟类肝脏、肾脏内的金属含量研究表明白鹭是有效的环境污染指示生物^[16-21]，且白鹭种群的数量、栖息等行为活动都可以成为白鹭生存区域内环境质量评价的依据。白鹭觅食区是栖息地的重要组成部分^[22]，由于白鹭的食物以鱼类为主，兼少量的蛙类、甲壳类和水生昆虫^[23]，水岸区域是白鹭的主要觅食场所，包括湖泊、河道、水塘、稻田、沼泽、溪流等。已有研究表明岛屿与水岸线是鹭类觅食和活动的主要场所^[24-26]。此外，国内外研究表明白鹭对觅食场所有一定的环境质量要求，且白鹭食源生物生存环境中的水质情况对白鹭觅食活动有着重要影响，故白鹭对水岸区域的环境质量具有一定的指示作用^[27-28]，可以良好地反映水域生态环境质量。

本研究旨在生态修复的视角下，以浙江省白鹭觅食区水岸特征为研究对象，量化白鹭觅食区自然水岸的各项特征，对水岸特征指标进行相关性分析和线性回归分析，进而结合自然白鹭觅食区的水岸特征，探析人工修复过程中的白鹭适应型驳岸的修复策略。

该研究将为未来鸟类栖息地的生态修复工作提供基础的数据参考。

1 研究区域概况

浙江省位于中国东南沿海的长江三角洲地区，地理坐标为东经118° 01'—123° 10'；北纬27° 06'—31° 11'。浙江省拥有丰富的鹭鸟资源，包括9属18种，占中国鹭鸟种数的90%，种类丰富^[29-30]。鹭科白鹭属包括大白鹭、中白鹭、小白鹭和黄嘴白鹭，它们共同组成了白鹭种群。白鹭广泛分布于浙江省，是种群密度极高的夏候鸟^[31-32]。

浙江省的白鹭迁徙路线主要有两条。春季北迁路线：宁波鄞州—绍兴上虞—杭州余杭—湖州德清，宁波和台州沿海部分白鹭从海上迁徙。秋季南迁路线：湖州德清—杭州余杭—绍兴上虞—宁波鄞州—台州三门，湖州德清—杭州余杭—金华兰溪^[32]。白鹭于4月初到4月中旬陆续迁到浙江中部地区，6—9月数量达到顶峰，9月下旬开始迁离。

2 研究方法

2.1 调研过程

本研究选取迁徙路线城市中白鹭现状日常觅食的区域作为调查样地，样地控制为10 m×10 m，且样地间距1 km以上，每个城市的迁徙路线上选择4~5处白鹭觅食区域，共计22处调查区域，并进行分类编号（图1）。为增加研究结果的准确性，在相同调查区域对相同指标进行两次实地调研。

浙江省白鹭的迁徙数量于6—9月达到顶峰，故按照白鹭迁徙到各调查点的时间顺序进行实地调研和数据测绘（图2），因疫情原因两次实地调研分别在2018和2023年进行。具体调研时间排序如下：6月中旬—宁波鄞州、

6月下旬—绍兴上虞、7月上旬—余杭良渚、7月下旬—湖州德清、9月上旬—台州三门^[32-33]。

2.2 调研内容

根据白鹭的捕食习性和生理特征（跼蹠形态、惊飞特征）及其食源生物的生存活动需求确定调研内容与调研仪器。

（1）白鹭数量统计：由于白鹭觅食活动大部分位于开阔地带，容易被观察和计数，因此选择适合白鹭觅食的天气情况，在鸟类活动的高峰阶段（7:00—10:00；16:00—18:00）对觅食区域的白鹭数量进行直接观测，间距30 min观测一次，每个样点计数时间定为10 min，并使用单反相机进行拍照统计^[34-37]。

（2）水岸坡度测定：每处区域间隔大于2 m，利用坡度仪测定统计5组坡度数据。

（3）水岸宽度测定：以白鹭10.4 cm的平均跼蹠高度这一生理特征为依据^[23]，测量水深在10.4±5 cm处至水岸线的水平距离D。

（4）水岸形态绘制：利用无人机拍摄水岸平面，以CAD、Photoshop软件进行平面绘制。

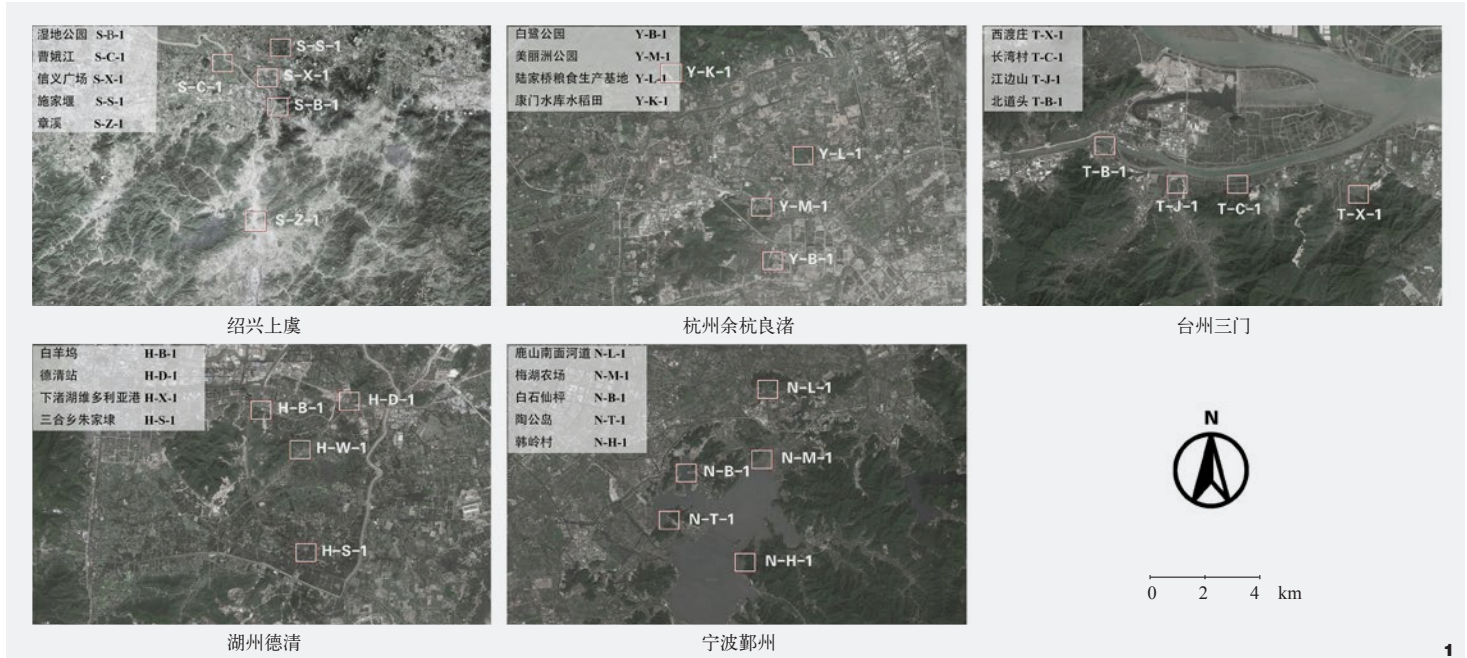
（5）水岸植物调研：乔木为主的觅食区利用卷尺设置10 m×10 m的样地，灌木为主的觅食区利用卷尺设置4 m×4 m的样地，对样地内的植物种类、数量、冠幅进行统计。

（6）水质数据测定：利用德国莫斯特试纸对觅食区水质数据进行测定，统计NO₃⁻、Cl⁻、pH值、dKH和dGH这5类水质数据。

2.3 分析方法

对白鹭觅食区的白鹭数量、水岸坡度、水岸宽度、植物盖度（Fraction Vegetation Coverage, FVC）以及水质数据进行统计，将2018年与2023年两次调研数据进行综合对比，使研究结果更为准确。

利用R语言对白鹭觅食区的白鹭数量和



1



2

图1 白鹭觅食区调查区域分布
Fig. 1 Regional distribution of egrets foraging area investigation

图2 白鹭觅食区调研实景
Fig. 2 Real scenes of egrets foraging area investigation

水岸坡度、宽度、FVC以及水质进行皮尔逊 (Pearson) 相关性分析, 分析觅食区白鹭数量与水岸特征的具体量化指标之间的相关

性程度。

在相关性分析的基础上, 筛选出与白鹭数量有较强相关性的变量, 白鹭数量作为因

变量, 其他变量作为自变量。利用R语言对白鹭数量及其相关水岸因子进行线性回归分析, 分析显著性强的水岸特征指标与觅食区

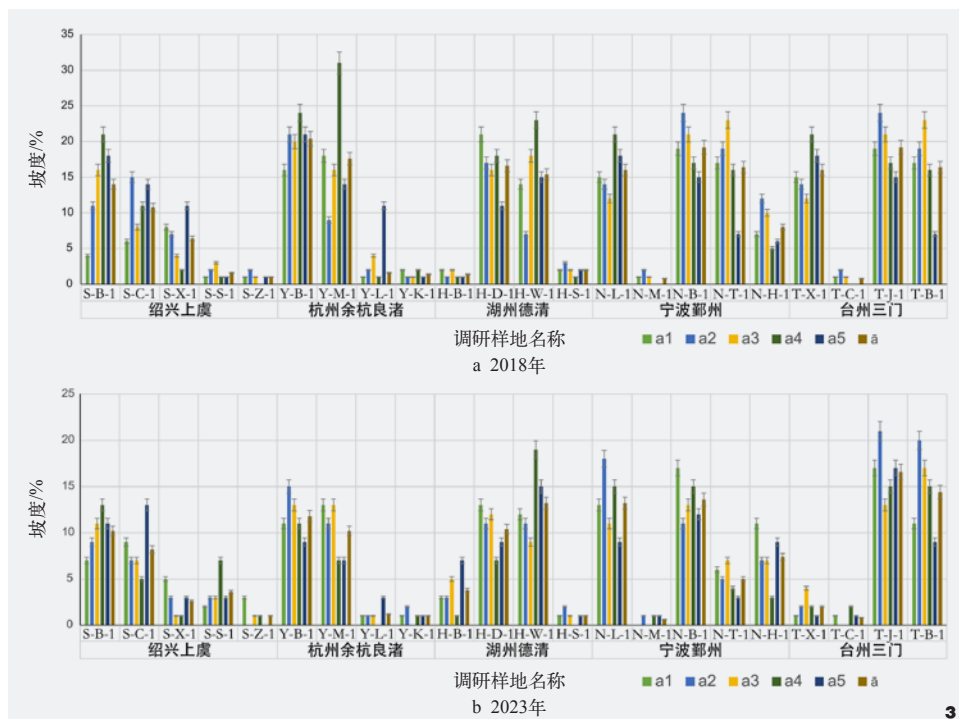


图3 白鹭栖息地觅食区水岸坡度
Fig. 3 Egret foraging area waterfront slope

白鹭数量的关系。

3 结果与分析

3.1 水岸特征调研结果

3.1.1 觅食区水岸坡度

水岸坡度在白鹭的觅食活动中具有重要作用，对其驻足的稳定性有影响。22处调查样地中包括了河道、小岛、水田、湖滨、水塘等多种类型。测量数据中，a1-a5表示对水岸坡度进行的5次实地测绘， \bar{a} 表示每处调查样地5次测绘数据的平均值。

研究发现，各调查样地的坡度存在较大差异，而同一调查样地的坡度差异较小，表明在一定坡度范围内，白鹭在同一地区选择觅食活动场所时存在多种坡度的倾向，并且同一觅食场所的坡度相对一致，坡度变化较小。2018年调查数据显示：在5个

调查点中，各调查样地的水岸平均坡度 \bar{a} 为0.8%~20.4%，水岸平均坡度值的标准差为5.07%~18.81%，各调查样地中5组水岸坡度标准差为0.49%~7.34%（图3-a）。2023年调查数据显示：在5个调查点中，各调查样地的水岸平均坡度 \bar{a} 为0.6%~16.6%，水岸平均坡度值的标准差为3.49%~7.01%，各调查样地中5组水岸坡度标准差为0.49%~3.98%（图3-b）。

3.1.2 觅食区水岸形态

22处调查样地所处的环境差异明显，呈现多样的岸线形态。根据水岸形态的调查结果，在2018年和2023年两次调研过程中，调查样地的水岸形态未有变动，因此选取绍兴上虞湿地公园S-B-1等15处代表性岸线形态进行绘制。这些调查点涵盖了湖泊、河道、水

田、小岛、水塘5种类型。

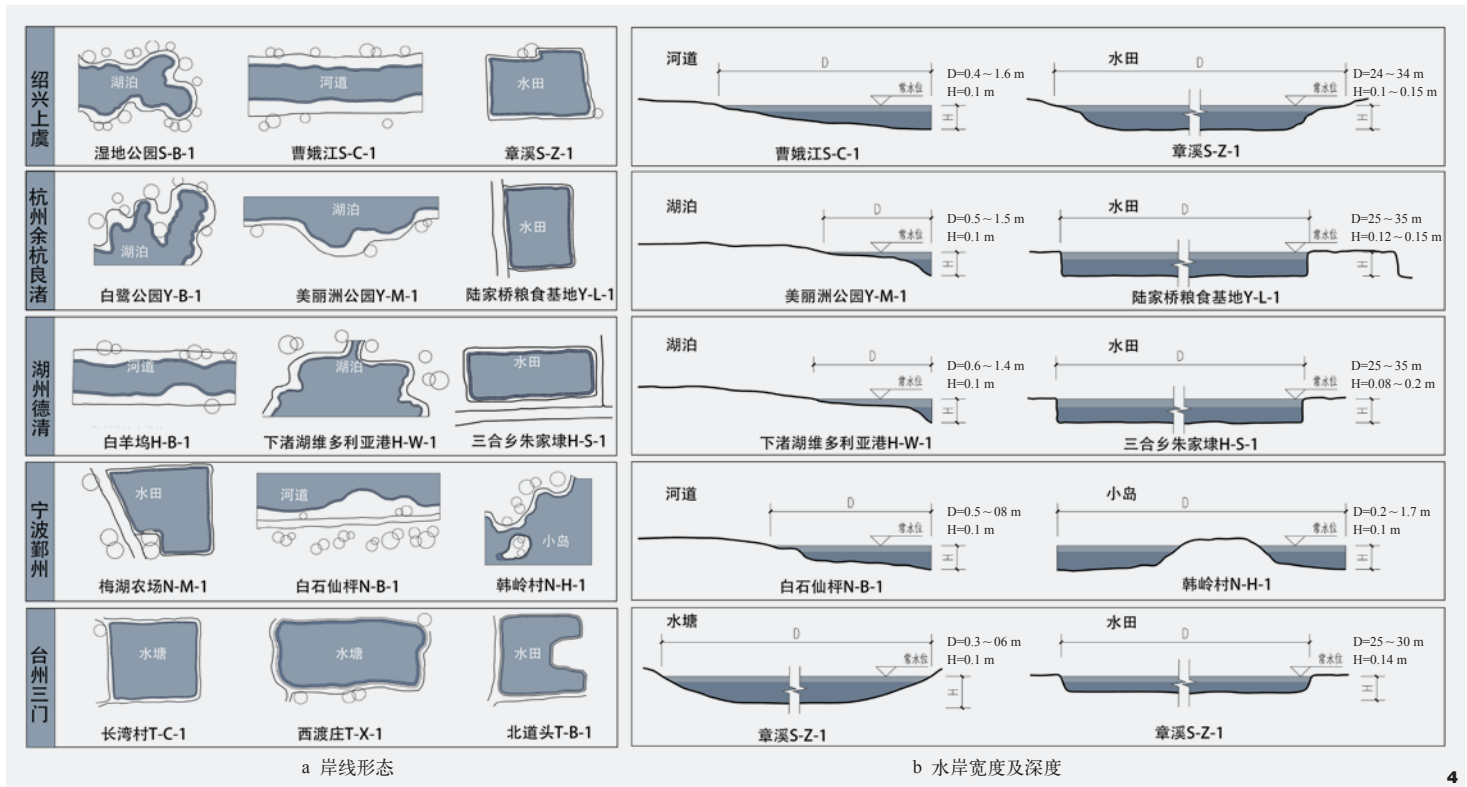
由图4-a可知，在湖泊水岸平面中，水岸线呈曲率多变的曲线形态，局部包含小型水湾；河道岸线平面较为平滑，局部出现突起或内凹；小岛水岸平面呈环绕岛屿的闭合曲线；水塘水岸平面整体平滑，局部存在折角；水田水岸平面沿水田轮廓分布，整体较为平直。

3.1.3 觅食区水岸宽度及深度

白鹭觅食区水岸宽度是指以白鹭10.4 cm的平均跖蹠高度这一生理特征为依据^[23]的水深小于跖蹠高度的水岸宽度，测量水深在10.4±5 cm处至水岸线的水平距离D，在2018年和2023年两次调研过程中，调查样地的水岸结构基本没有变动，因此选取绍兴上虞曹娥江S-C-1等在内的10处代表性水岸竖向断面进行绘制。由图4-b可知，在湖泊、河道、水塘、小岛等调查样地中，水深H在10.4±5 cm处至水岸线的水平距离D为0.2~1.7 m；而在水田类调查样地中，水深H为0.08~0.2 m，水平距离D为24~35 m。其中，河道类的觅食区水岸地形较为平缓，坡度变化较小；湖泊类的觅食区水岸地形由缓坡向陡坡变化明显；水塘和小岛类水岸的地形较其他类型的水岸稍显陡峭；水田类觅食区的水岸可分为直立型和缓坡型，地形平坦，并且水田类调查样地的白鹭数量明显多于其他调查样地。

3.2 水岸植物特征调研结果

水岸区域内的植物对白鹭的觅食活动具有隐蔽作用，并且对白鹭食源生物的生存活动也有重要的作用。在两次调研过程中，对22处水岸区域的植物种类与FVC进行数据统计。由图5可知，水岸区域的植物群落以草本一层和灌草两层结构为主，其他类

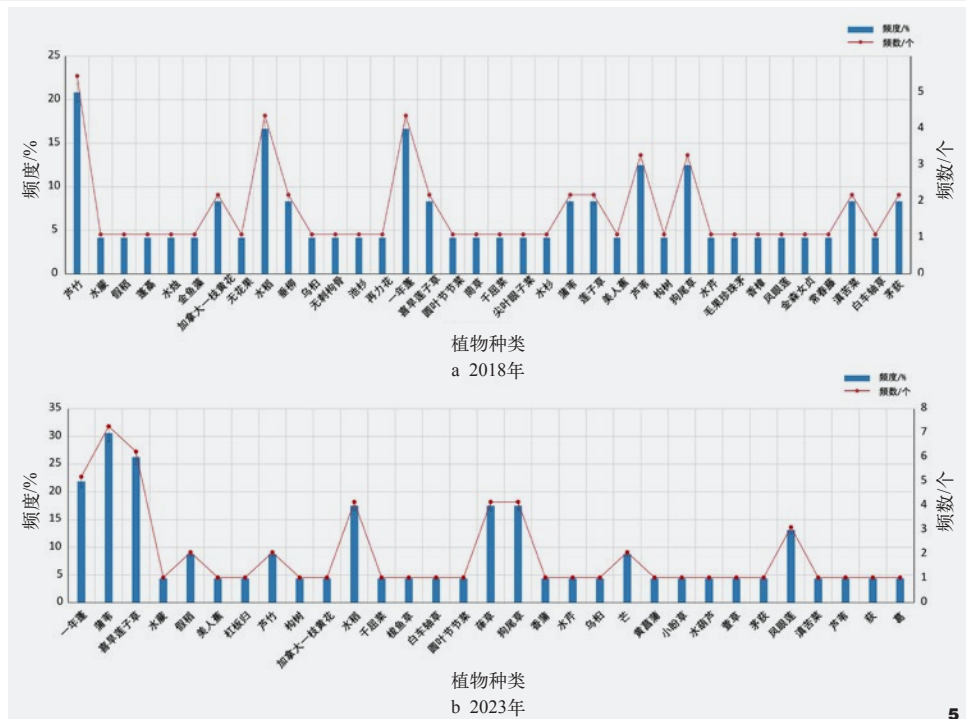


4

型的群落结构较为稀少。2018年植物种类中芦竹、水稻、一年蓬、芦苇、狗尾草的频度在13.64%以上，加拿大一枝黄花、垂柳、喜旱莲子草、蒲苇、莲子草、滇苦菜、茅荻的频度在9.09%以上。2023年植物种类中一年蓬、蒲苇、喜旱莲子草的频度在22.73%以上，水稻、葎草、狗尾草、滇苦菜、假草、芦竹、芒的频度在9.09%以上。2018年的FVC为0.04%~47.79%，2023年FVC为0.112%~32.68%，且两年结果均显示了各调查样地的FVC差异较大(图6)。

3.3 水质特征调研结果

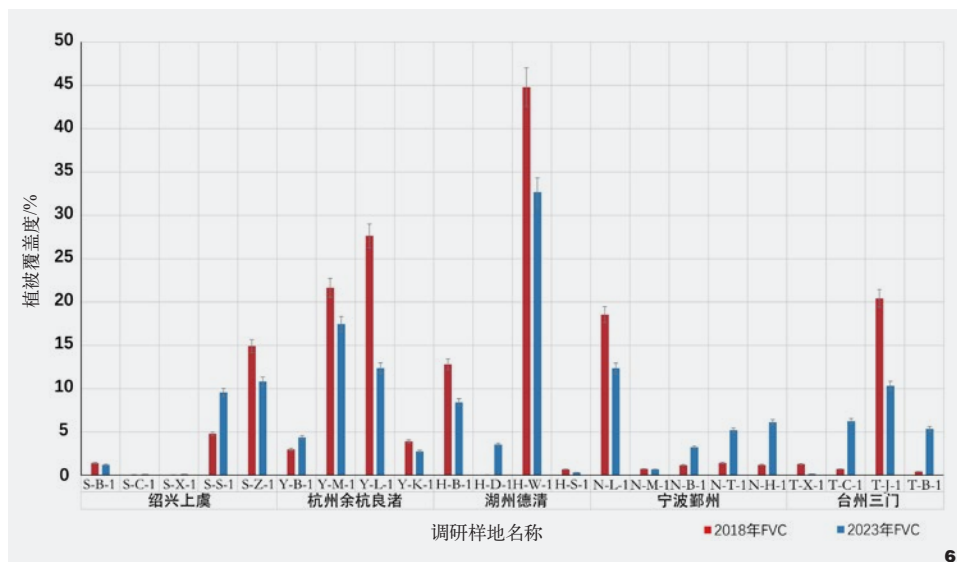
白鹭的食源生物主要包括鱼类、蛙类、水生昆虫等，白鹭觅食区水域的水体酸碱度(pH)、碳酸盐硬度(dKH)、钙镁盐硬度



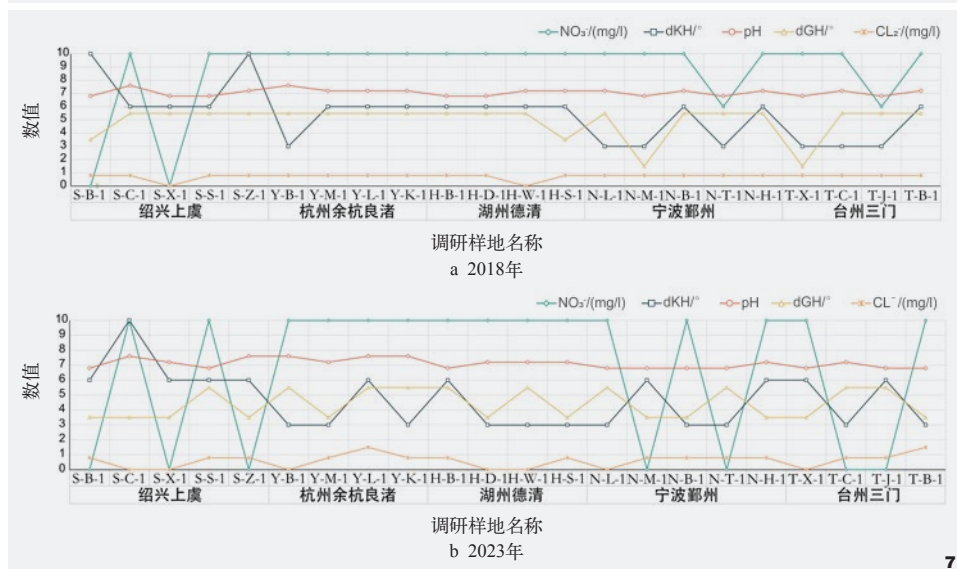
5

图4 觅食区水岸形态、宽度及深度
Fig. 4 Waterfront morphology, width and depth in foraging areas

图5 植物种类的频度与频数
Fig. 5 Frequency and number of plant species



6



7

图6 植被覆盖度
Fig. 6 Fractional vegetation cover

图7 水质统计数据
Fig. 7 Water quality statistics

(dGH)、硝酸盐(NO_3^-)以及氯(Cl^-)的含量会直接影响白鹭食源生物的生存活动。2018年和2023年两次调研过程中,对 NO_3^- 和 Cl^- 含量、pH值、dKH和dGH这5类水质数据进行测定。两次调研的水质情况差异较小。由图7可知:(1)22处调查样地的 NO_3^- 含量均低于10 mg/L。2018年绍兴上虞各调查样地的 NO_3^-

含量存在较大差异,宁波鄞州与台州三门调查样地的 NO_3^- 含量略有差异。2023年绍兴上虞、宁波鄞州、台州三门调查样地的 NO_3^- 含量均有较大差异。(2)22处调查样地的dKH为3~10°,且大多为3~6°。绍兴上虞各调查样地的dKH差异较大,其他调查样地的dKH差异较小。(3)22处调查样地之间的pH差异

较小,pH值范围为6.4~7.6,总体呈弱酸性或弱碱性。(4)22处调查样地的dGH为0~7°,且大多为3~7°。(5)22处调查样地的 Cl^- 含量均低于0.8 mg/L,余杭良渚和台州三门局部调查样地的 Cl^- 含量略高,其他调查样地无明显差异。

3.4 水岸特征指标分析

3.4.1 相关性分析

对上文统计的22处调研区域中包括水岸坡度、水岸宽度、植物特征、水质数据和白鹭数量在内的共9项指标进行均值化处理。结果显示:数据的分布特点均为偏态分布,水质 NO_3^- 和FVC离群点较多(图8)。

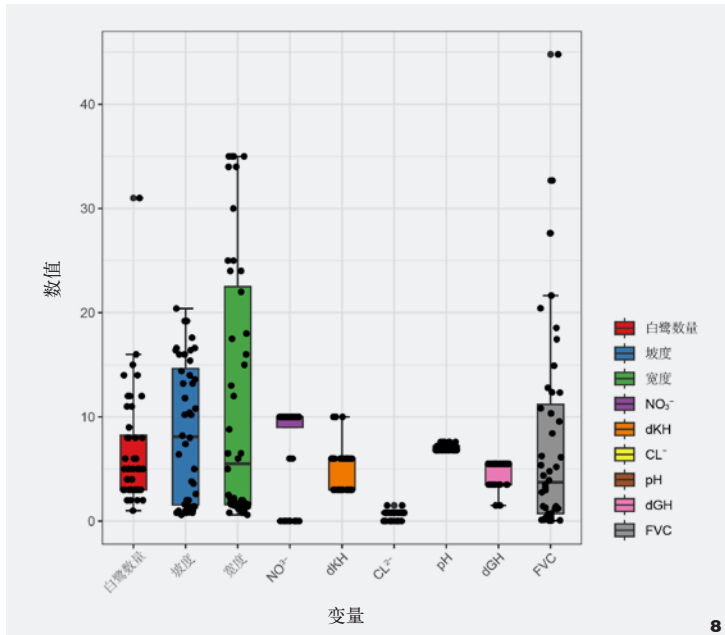
将各均值变量进行相关性分析:(1)白鹭数量与水岸坡度呈现显著负相关关系($R = -0.54, p < 0.001$);(2)白鹭数量与水岸宽度呈现显著正相关关系($R = 0.7, p < 0.001$);(3)白鹭数量与水质、pH和植被覆盖度均无显著相关性关系(图9)。

3.4.2 线性回归分析

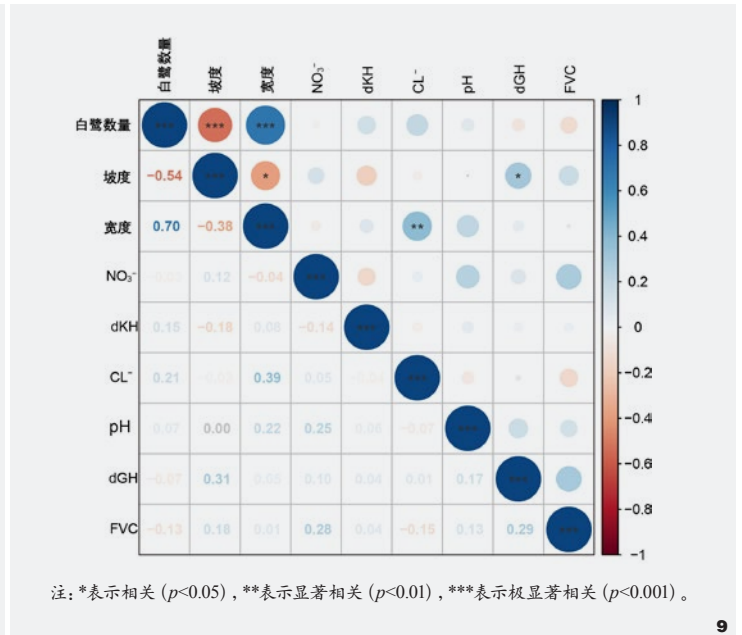
基于相关性分析结果,利用R语言对白鹭数量与水岸坡度、水岸宽度这两个相关性较强的影响因子进行线性回归分析。以水岸宽度、水岸坡度作为自变量,白鹭数量作为因变量,建立线性回归模型。

线性回归模型为 $y = 0.30803x + 3.17228$,其决定系数 $R^2 = 0.49$,且通过显著性检验得 $p < 0.001$ 。由图10-a可知,在水岸宽度40 m范围内,随着觅食区单位长度内的水岸宽度的增加,白鹭数量呈现明显的上升趋势。

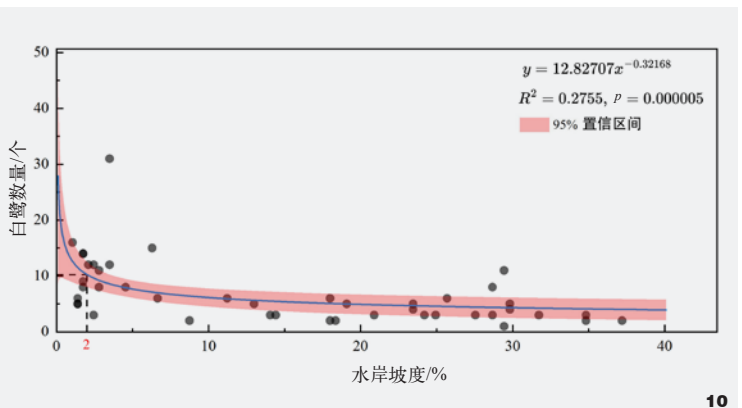
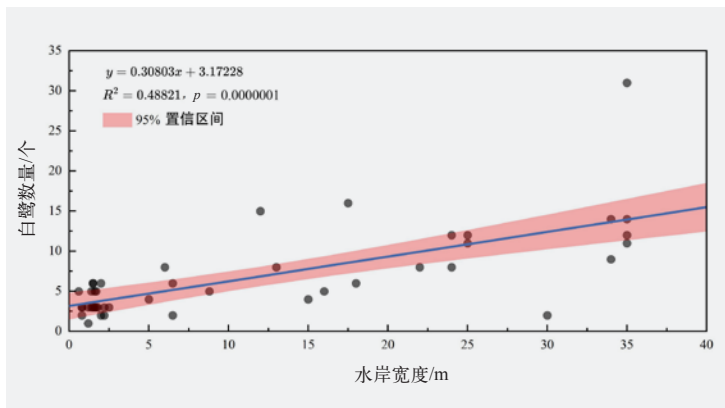
水岸坡度指标作为自变量,白鹭数量为因变量的线性回归模型为 $y = 12.82707x^{-0.32168}$,其决定系数 $R^2 = 0.28$,且通过显著性检验得 $p < 0.001$ 。由图10-b可知,坡度从2%趋向于0



8



9



10

图8 白鹭数量与水岸特征指标均值箱线图
Fig. 8 Mean box plot of egret abundance and waterfront characteristic index

图10 白鹭数量与水岸宽度、水岸坡度线性关系
Fig. 10 Linear relationship between egret abundance and waterfront width, waterfront slope

图9 白鹭数量与水岸特征指标相关性图
Fig. 9 Correlation chart of egret abundance and waterfront characteristic index

时, 白鹭数量显著上升, 且数量增加速率加快; 坡度大于2%时, 随着坡度的增加, 白鹭数量逐渐下降, 且下降速率变缓。这表明水岸坡度对白鹭数量有显著影响, 并且其影响在小于2%的低坡度范围内尤为显著。

4 适应型驳岸修复策略建议

水岸是指白鹭进行觅食活动的自然滨水区域, 在外业调研过程中将坡度、宽度、形

态等统称为水岸特征。驳岸是人工营造的园林要素, 下文在参考自然水岸特征的基础上, 归纳人工营造区域驳岸的生态修复策略。

4.1 驳岸特征生态修复策略

(1) 驳岸坡度: 现有研究中的滩涂区域、乡村滨水区域等白鹭觅食区的驳岸坡度的控制一般保持在1:15以下或控制在10%以下^[24,26,38], 本研究结合实地调研与数据统

计分析, 建议在白鹭觅食区适应型驳岸的修复过程中, 驳岸坡度可尽量控制在2%以内。此外, 湖泊、河道、小岛、水塘营造的驳岸坡度尽量控制平缓, 且由缓坡逐渐向陡坡变化, 满足白鹭食源生物的生存环境需求。

(2) 驳岸宽度: 现有研究表明鹭科鸟类觅食水深为15~40 cm, 可区分浅水区与深水区^[39-41], 且控制水位线3 m范围内的水深为0~30 cm^[24], 数据来源于整体鹭科鸟类或局

部区域的测绘。本研究根据调研数据的分析结果,建议在白鹭适应型驳岸的宽度修复方面,湖泊、河道、水塘、小岛类的驳岸可尽量加宽水深在 10.4 ± 5 cm范围的水域,便于增大白鹭的觅食区域。

(3) 岸线形态:在国内外已有的研究中,白鹭因区域环境的差异会选择不同类型的觅食区域,包括湿地、溪流、滩涂、水库、池塘、农田等类型^[26,38,42-44]。本文选取浙江省内白鹭代表性的迁徙点^[30-34]进行调研,将省内不同类型的觅食区水岸进行分类,归纳形成浙江省典型的白鹭觅食区水岸类型,包括湖泊类、河道类、水田类、小岛类、水塘类5种类型。因此,建议在岸线形态的修复方面,采用自然的岸线形态,以更适合白鹭的觅食活动。白鹭适应型驳岸可根据实际场地情况,仿造5类自然水岸形式进行修复。

4.2 植物群落生态修复策略

现有白鹭觅食区的植物群落研究主要包括在不同生境空间构建差异化的植物群落^[39]、挺水植物^[41]与沉水植物^[29]种植的种类选择,以及浅水与深水区的植物覆盖率对比^[41],并针对不同地区的觅食区生境提出相应的植物种类选择建议^[24,26,41]。本文结合实地调研与数据分析结果,总结出适合浙江省白鹭觅食区的植物层次与植物种类:(1)植物层次方面,建议以灌草两层和草本一层的植物层次为主;(2)植物种类的选择需考虑植物的地域性与白鹭食源生物的适宜性,筛选出适于白鹭觅食区生态驳岸种植的植物种类,如表1。

4.3 水质特征生态修复策略

根据现有研究,觅食区域水质的控制主要包括控制污水流入和水体净化两个方面^[38-39],水体本身及基质沉淀物等均影响着

表1 植物选择表
Tab. 1 Plant selection chart

植物类型 Plant type	植物种名(拉丁学名) Plant name
湿生植物	千屈菜(<i>Lythrum salicaria</i>)、香蒲(<i>Typha orientalis</i>)、蒲苇(<i>Cortaderia selloana</i>)、菖蒲(<i>Acorus calamus</i>)、水葱(<i>Scirpus validus</i>)、鸢尾(<i>Iris tectorum</i>)、芦竹(<i>Arundo donax</i>)、池杉(<i>Taxodium distichum</i>)、垂柳(<i>Salix babylonica</i>)、水杉(<i>Metasequoia glyptostroboides</i>)
水生植物	金鱼藻(<i>Ceratophyllum demersum</i>)、荷花(<i>Nelumbo nucifera</i>)、睡莲(<i>Nymphaea</i>)、茭白(<i>Zizania latifolia</i>)、苦草(<i>Vallisneria spiralis</i>)、黑藻(<i>Hydrilla verticillata</i>)、水芹(<i>Oenanthe javanica</i>)、水稻(<i>Oryza glaberrima</i>)、水蕨(<i>Ceratopteris thalictroides</i>)、圆叶节节菜(<i>Rotala rotundifolia</i>)
陆生植物	葎草(<i>Humulus scandens</i>)、狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)、滇苦菜(<i>Picris divaricata</i>)

白鹭食源生物的生存活动^[25]。现有研究中水质部分主要以表述性结论为主,具体水质数据的控制研究较为不足。本文通过对各觅食区域中 NO_3^- 和 Cl^- 含量、pH值、dKH和dGH这5类水质数据的测定与分析,得出在白鹭觅食区生态修复的工作中,建议尽量保持驳岸水域的水质情况与白鹭自然觅食区的水域水质相近,以满足白鹭食源生物的生存活动,包括:水质数据中 NO_3^- 含量宜低于10 mg/L; dKH宜为3~6°; pH范围宜为6.4~7.6,呈弱酸性或弱碱性为宜; dGH宜为3~7°; Cl^- 含量宜低于0.8 mg/L。

5 不足与展望

本文从生态修复的视角出发,以白鹭的生理特征及其觅食习性为依据,结合白鹭的迁徙路线选取调查区域进行实地调研,并量化分析白鹭觅食区水岸的自然特征,通过相关性分析和线性回归分析,归纳出白鹭数量与水岸特征指标的关系,结合定量的分析结果与定性的归纳特征,提出白鹭觅食区驳岸的生态修复策略。然而,本文在研究过程中也存在一些不足之处,分析结果显示白鹭数量与水岸坡度和宽度的相关性显著,但与水质和植被特征指标的相关性表现较弱,并且箱线图显示 NO_3^- 含量和FVC存在较多异常值,

这都与样本数量较少有关。因此,未来的研究应考虑扩大样本数量,并提高数据收集的精度,以得出更准确可靠的结论。

在生态修复的定量研究过程中,需进一步补充研究内容并探索更为严谨的研究方法。尽管本文通过量化自然觅食区水岸特征得出的白鹭适应型驳岸营建要点更加契合生态修复后的自然效果,但还需在更多的案例实证中验证其有效性。本文的研究结果为浙江省内湿地公园、城市公园等白鹭栖息地的生态修复提供参考数据,同时具体的特征指标也可为后期局部区域白鹭觅食活动的范围控制提供研究基础。LWJ

注:文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 孙喆,陆诗韵.北京市郊铁路对乡村地区鸟类栖息地连通性的影响及优化[J].风景园林,2023,30(04):50-57.
- [2] YARDI K D, BHARUCHA E, GIRADE S. Post-restoration Monitoring of Water Quality and Avifaunal Diversity of Pashan Lake, Pune, India Using a Citizen Science Approach[J]. Freshwater Science, 2019, 38(2): 332-341.
- [3] 王春晓,何建华,刘殿锋,等.土地利用变化对鸟类栖息地连通性的影响——以鄂州市为例[J].生态学报,2022,42(10):4197-4208.

- [4] 邓文洪, 赵匠, 高玮. 破碎化次生林斑块面积及栖息地质量对繁殖鸟类群落结构的影响[J]. 生态学报, 2003(06): 1087-1094.
- [5] 张婷婷, 彭昭杰, 张昊楠, 等. 2000-2015年丹顶鹤重要繁殖地景观格局变化研究[J]. 生态学报, 2019, 39(10): 3770-3776.
- [6] 沈舟, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于生境组团化分析与景观廊道模拟的南京市白鸕生境网络构建与优化[J]. 生态学报, 2024, 44(08): 3303-3316.
- [7] PENG L, LIU Q, WANG Q, et al. Effects of Urbanization and Vegetation on Bird Diversity in a Megacity of Central China[J]. Biological Conservation, 2024, 297: 110718.
- [8] DING Z, CAO J, WANG Y. The Construction and Optimization of Habitat Networks for Urban-natural Symbiosis: A Case Study of the Main Urban Area of Nanjing[J]. Forests, 2023, 14(1): 133.
- [9] 杨麟, 裘鸿菲, 武静. 武汉东湖绿心鸟类栖息地保护与生态修复策略[J]. 中国园林, 2023, 37(06): 93-98.
- [10] 李郊, 李成之, 王冰, 等. 洪泽湖湿地小微湿地鸟类栖息地营造研究[J]. 湿地科学与管理, 2024, 20(02): 66-69.
- [11] 王绍权, 雷光春, 周延, 等. 云龙湖风景区鸟类多样性现状及生境修复策略分析[J]. 湿地科学, 2024, 22(02): 236-244.
- [12] CORRELL M D, STRASSER E H, GREEN A W, et al. Quantifying Specialist Avifaunal Decline in Grassland Birds of the Northern Great Plains[J]. Ecosphere, 2019, 10(1): e02523.
- [13] 车铭哲, 于劲翔. “以鸟为本”理念下的滨海湿地生态修复规划——以北戴河七里海潟湖湿地生态修复项目为例[J]. 规划师, 2019, 35(07): 55-59.
- [14] 刘旭, 张文慧, 李咏红, 等. 湿地公园鸟类栖息地营造研究——以北京琉璃河湿地公园为例[J]. 生态学报, 2018, 38(12): 4404-4411.
- [15] 陈庆. 水鸟栖息地影响因素及修复技术研究综述[J]. 湿地科学与管理, 2018, 14(04): 59-63.
- [16] 赵亦欢, 邵学新, 余敏芬, 等. 杭州湾鸕科鸟类集群栖息区表层土壤的磷饱和度和磷流失风险[J]. 湿地科学, 2023, 21(01): 104-112.
- [17] 夏秋焯, 倪才英, 赵中华, 等. 鄱阳湖夏候鸟小白鸕对环境样品中重金属的富集研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11): 1540-1544.
- [18] SOLIMAN K M, MOHALLAL E M E, ALQAHTANI A R M. Little Egret (*Egretta garzetta*) as a Bioindicator of Heavy Metal Contamination from Three Different Localities in Egypt[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27: 23015-23025.
- [19] ASHRAF A, KHALID A, KHAN I, et al. Integrated Multiphase Ecological Risk Assessment of Heavy Metals for Migratory Water Birds in Wetland Ecosystem: A Case Study of Dongzhangwu Wetland, China[J]. Science of the Total Environment, 2023, 889: 164102.
- [20] SILVA R C A, SAIKI M, MOREIRA E G, et al. The Great Egret (*Ardea alba*) as a Bioindicator of Trace element Contamination in the São Paulo Metropolitan Region, Brazil[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2018, 315: 447-458.
- [21] KIM J, OH J M. Effect of the Environmental Quality and Food Chain on Trace Element Concentrations in Heron and Egret Chicks at Pyeongtaek Colony, Korea[J]. Ecotoxicology, 2014, 23: 1305-1313.
- [22] 朱曦, 邹小平. 中国鸕类北京[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [23] 朱曦. 四种鸕行为生态学[C]// 中国动物科学研究——中国动物学会第十四届会员代表大会及中国动物学会65周年年会论文集. 北京: 中国动物学会, 1999.
- [24] 严少君, 朱曦, 俞益武. 华中区城市型鸕鸟栖息地营造技术[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(06): 697-700.
- [25] 姜婧怡, 张月明, 高煜童. 基于鸟类栖息地营造的湿地景观设计——以北戴河七里海潟湖湿地为例[J]. 园林, 2019(06): 56-61.
- [26] 戚修远, 张颖, 周晨, 等. 乡村鸕鸟栖息地设计策略探析——以湖南省宁乡市箭楼村为例[J]. 园林, 2023, 40(02): 43-50.
- [27] 阮禄章, 张迎梅, 赵东芹, 等. 白鸕作为无锡太湖地区环境污染指示生物的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 23(02): 263-268.
- [28] 张丹, 张军, 欧阳盼, 等. 南昌市常见鸟类对环境Cu、Pb、Cd重金属污染物的指示作用研究[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2013, 37(03): 319-323.
- [29] 朱曦, 杨春江. 浙江鸕类研究[J]. 浙江林学院学报, 1988, 5(3): 243-258.
- [30] 张孚允, 杨若莉. 中国鸕类迁徙研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [31] 朱曦, 杨士德, 邹小平. 浙江省鸕科鸟类组成、密度和生物量研究[J]. 浙江林学院学报, 1998(01): 83-86.
- [32] 李慧霞, 徐爱俊, 方陆明, 等. 浙江省白鸕分布与迁徙规律[J]. 浙江农林大学学报, 2015(6): 883-889.
- [33] 项杰. 风景园林视角下浙江省“白鸕园”营造技术研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
- [34] 楚国忠, 郑光美. 鸟类栖息地研究的取样调查方法[J]. 动物学杂志, 1993(6): 47-52.
- [35] 王勇, 许洁, 杨刚, 等. 城市公共绿地常见木本植物组成对鸟类群落的影响[J]. 生物多样性, 2014, 22(02): 196-207.
- [36] 裘杰. 基于游憩行为的郊野绿道鸟类生境优化设计研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2024.
- [37] 陈水华, 丁平, 范忠勇, 等. 城市鸟类对斑块状园林栖息地的选择性[J]. 动物学研究, 2002(01): 31-38.
- [38] 王婷婷. 杭州城市公园绿地鸟类栖息地景观营造研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2023.
- [39] 张清. 基于鸟类栖息地营造的郊野公园规划设计研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2021.
- [40] 闫佳伦, 董宇翔, 叶可陌, 等. 基于鸟类栖息地营造的郊野公园规划设计研究——以石家庄龙泉湖公园东区为例[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(12): 153-166.
- [41] 李相逸, 崔冬瑾, 马超, 等. 基于鸟类生境修复与营造的湿地生态设计策略[J]. 中国园林, 2020, 36(05): 133-138.
- [42] LEE Y K, KIM D W, JANG B S, et al. The Use of Feeding Habitats of Five Species of Herons During the Breeding Season in South Korea[J]. Kor J Ornithol, 2012, 19: 141-149.
- [43] BUCHSBAUM R, CLARK W. Selection of Estuarine Feeding Habitats by Snowy and Great Egrets in the Great Marsh Estuary, Northeastern Massachusetts, USA[J]. Waterbirds, 2020, 43(3-4): 251-262.
- [44] FIDORRA J C, FREDERICK P C, EVERS D C, et al. Selection of Human-influenced and Natural Wetlands by Great Egrets at Multiple Scales in the Southeastern USA[J]. The Condor: Ornithological Applications, 2016, 118(1): 46-56.