

DOI: 10.5846/stxb202006291689

杨文军, 刘强, 袁旭, 田昆, 岳海涛. 不同恢复措施对南滇池湿地冬季水禽多样性的影响. 生态学报, 2021, 41(18): 7180-7188.

Yang W J, Liu Q, Yuan X, Tian K, Yue H T. Effects of different restoration measures on the wintering waterfowl diversity in southern Dianchi Wetland. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(18): 7180-7188.

不同恢复措施对南滇池湿地冬季水禽多样性的影响

杨文军¹, 刘 强^{2,*}, 袁 旭¹, 田 昆¹, 岳海涛²

¹ 西南林业大学生物多样性保护学院, 昆明 650224

² 西南林业大学湿地学院/国家高原湿地研究中心, 昆明 650224

摘要:恢复受损湿地生态功能是国家湿地公园建设中的重要内容,修复措施的选用会对恢复效果产生重要影响。滇池是国内重要候鸟越冬区,受长期围垦以及城市扩张的影响,湖滨区域破坏严重,近年来湿地公园建设为滇池湖滨带恢复带来了契机,但各种恢复措施的效果仍有待明确。2017年冬季以昆明南滇池国家湿地公园及临近湿地为研究区域,设置了人工重建湿地、人工恢复湿地、自然恢复湿地以及自然湖泊湿地4个对照样区,基于冬季水禽多样性进行了湿地恢复效果评价,并从景观生态学角度对结果进行了分析。结果表明:自然湖泊湿地具有最高物种丰富度,其次为自然恢复湿地、人工恢复湿地和人工重建湿地。以Simpson多样性指数评价,自然恢复湿地的水禽多样性最高(0.60±0.03),其次为自然湖泊湿地(0.46±0.04)和人工恢复湿地(0.34±0.04),人工重建湿地水禽多样性最低(0.17±0.03),由此可见自然恢复措施效果优于人工恢复和人工重建。从景观格局上分析,水禽多样性与道路面积($r=-0.735, P<0.01$)、景观形状指数($r=-0.461, P<0.01$)和景观分离度指数($r=-0.661, P<0.01$)负相关,这也表明人为干扰程度、景观形状以及破碎化程度均会对水禽造成重要影响。建议在国家湿地公园规划和建设中,降低非湿地类景观尤其是道路对整体湿地景观的分割作用,提高湿地斑块的连接性和完整性以满足水禽的空间需求,对于湖泊型的湿地公园应加强对湖滨带沼泽生境的营造,以满足涉禽的生存需求,从而增加区域的鸟类多样性。

关键词:滇池;水禽;景观格局

Effects of different restoration measures on the wintering waterfowl diversity in southern Dianchi Wetland

YANG Wenjun¹, LIU Qiang^{2,*}, YUAN Xu¹, TIAN Kun¹, YUE Haitao²

¹ College of Biodiversity Conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

² College of Wetland, Southwest Forestry University/National Plateau Wetland Research Center, Kunming 650224, China

Abstract: Restoring the ecological functions of damaged wetlands is an important part of the construction of the National Wetland Park, and restoration measures will have an important impact on the restoration effect. Dianchi Lake is an important wintering area for migratory birds in China. Due to long-term reclamation and urban expansion, the lakeside area has been severely damaged. In recent years, construction of wetland parks has brought opportunities for the restoration of Dianchi Lakeside, but the effects of various restoration measures still need to be clarified. In the winter of 2017, Kunming Southern Dianchi Lake National Wetland Park and adjacent wetlands were used as the study area, and four control sample areas were set up: constructed wetlands, enhanced wetlands, natural restored wetlands, and natural lake wetlands. Based on winter waterfowl diversity, the effect of wetland restoration was evaluated from the perspective of landscape ecology. The results showed that the natural lake wetlands had the highest species richness, followed by natural restored wetlands, enhanced wetlands, and constructed wetlands. Based on the Simpson diversity index, the waterfowl diversity of naturally restored wetlands was the highest (0.60±0.03), followed by natural lake wetlands (0.46±0.04) and enhanced wetlands

基金项目:国家自然科学基金项目(32060120, 31460166);西南林业大学科研启动基金项目(111805);云南省高原湿地科学创新团队项目(2012HC007)

收稿日期:2020-06-29; **网络出版日期:**2021-06-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cranelover@gmail.com

(0.34 ± 0.04), while the waterfowl diversity of constructed wetlands was the lowest (0.17 ± 0.03), which showed that the effect of natural restoration was better than enhancement and reconstruction. From the perspective of landscape pattern analysis, waterfowl diversity was negative correlated with road area ($r = -0.735, P < 0.01$), landscape shape index ($r = -0.461, P < 0.01$) and landscape splitting index ($r = -0.661, P < 0.01$). It also indicated that the degree of human disturbance, the shape of the landscape and the degree of fragmentation all had important impacts on waterfowl diversity. It is recommended that in the planning and construction of the National Wetland Park, the division of non-wetland landscapes, especially roads, on the overall wetland landscape should be reduced, and the connectivity and integrity of wetland patches should be improved to meet the spatial needs of waterfowl. Lake-type wetland parks should strengthen the creation of marsh in the lakeside area to meet the needs of waders, thereby increasing local bird diversity.

Key Words: Dianchi Lake; waterfowl; landscape pattern

国家湿地公园作为国家湿地保护体系的重要组成形式,是在保护优先前提下,探索资源可持续利用的新型模式。自 2005 年设立以来,得到了快速发展,截至 2016 年已有 702 个国家湿地公园(或试点)投入建设,为我国湿地保护和可持续利用发挥了重要作用^[1]。但是,在建设工作中,也出现脱离生态学理念指导,混淆园林景观和生态景观,“重造景轻生态”、“重建设轻自然”等问题,与国家湿地公园的初衷背道而驰^[2-4]。景观生态学原理可以在系统层次上优化湿地公园空间结构和景观配置,从而促进湿地生态系统功能的实现,应该在生态系统保护和修复工作中成为重要指引,但目前还未受到足够的重视。

滇池是我国重要的候鸟越冬区,具有丰富的水禽多样性,在保护和维持地区生物多样性上具有重要地位。受历史上围湖垦殖、造塘养鱼等因素的影响,滇池湖滨带几乎破坏殆尽,水禽多样性和数量均严重下降^[5-8]。近年来一系列沿湖湿地公园的建立,为滇池湖滨湿地恢复以及生态功能提升提供了契机,但各项恢复措施的效果仍有待评估。水禽是湿地生态系统的重要组成部分,水禽多样性对湿地生态系统的健康程度具有很好的指示作用,也是衡量湿地恢复措施成效的关键指标^[9-12]。本研究以昆明南滇池国家湿地公园以及临近自然恢复湿地为研究对象,以越冬期水禽多样性作为指标来评价湿地恢复建设成效并从景观生态学角度来探讨不同恢复措施下影响水禽多样性的原因,从而为国家湿地公园的科学建设提供依据。

1 研究地概况

南滇池国家湿地公园地处滇池南岸(东经 $102^{\circ}61'72''$ — $102^{\circ}63'66''$,北纬 $24^{\circ}68'03''$ — $24^{\circ}68'57''$),平均海拔 1862 m,总面积 1220 hm^2 ,是由滇池湖体以及入湖河流构成的湖泊-河流型湿地。水禽组成以冬候鸟为主,留鸟和夏候鸟种类较少^[5-7]。

以南滇池国家湿地公园及临近湿地作为研究区域,根据建设过程中人工干预程度以及湿地的自然性共设置 4 处研究样区,其中 3 处位于南滇池国家湿地公园内,为人工恢复湿地、人工重建湿地和自然湖泊湿地,分别代表一般干预、强干预以及自然状态的湿地类型。另外 1 处位于公园北 300 m 处,为无人工干预的自然恢复湿地类型(图 1)。样区的定义如下:(1)自然湖泊湿地。为滇池的湖体组成部分,面积为 98.57 hm^2 ,长 1800 m,宽 360 m,以浅水面为主,植被以沉水植物为主,优势植物为黑藻(*Hydrilla verticillata*);(2)人工恢复湿地:面积为 68.84 hm^2 ,长 1200 m,宽 540 m,历史上曾为鱼塘,在建设过程中采用去除围堰连通滇池水体的手段进行恢复,在局部地区形成了以芦苇(*Phragmites communis*)为优势的植物群落;(3)人工重建湿地:面积为 42.24 hm^2 ,长 1700 m,宽 200 m,建设前为鱼塘或耕地,经人工改造转化为河流、草地、道路、林地等景观,水生植被以浮叶植物为主,如野菱(*Trapa incisa*);(4)自然恢复湿地:面积为 37.20 hm^2 ,长 1200 m,宽 340 m,历史上曾为滇池的湖滨组成部分,在 20 世纪 70 年代被开垦成耕地,用来种植蔬菜和花卉,2013 年前后弃耕,由于四周道路及居民区的修建,该处地势相对变低,逐渐积水转化为浅水和沼泽湿地,水深多在 50 cm 以下,植被以耐湿的禾本科植物为主。除自然湖泊湿地外,其余湿地样区的恢复期均在 5 年左右。

2 研究方法

2.1 水禽调查方法

于2017年11月6—7日、16—17日、26—27日,12月9—10日、18—19日、28—29日采用样点法进行调查,每月上中下旬各进行1次且重复调查1次。依据代表性、开阔性以及均匀性原则在研究区内每个样区内各设置4个样点(图1)。调查时使用双筒望远镜(Bushnell 8×32)、单筒望远镜(Carl Zeiss 25-45×85)顺时针扫描样区范围,记录水禽种类、数量和生境类型,对于开阔性较好的湖泊、沼泽类样点,扫描半径为500 m,其它样点为50 m。每个样点调查时间为6—10 min,计数时采用精确计数与估算相结合的方法^[13]。多数水禽的计数采用“直接计数法”,少数集群的水禽采用“团数法”估算^[6]。每次调查时间为7:30—11:30,15:30—18:30,均选择在视野清晰的天气条件下进行。

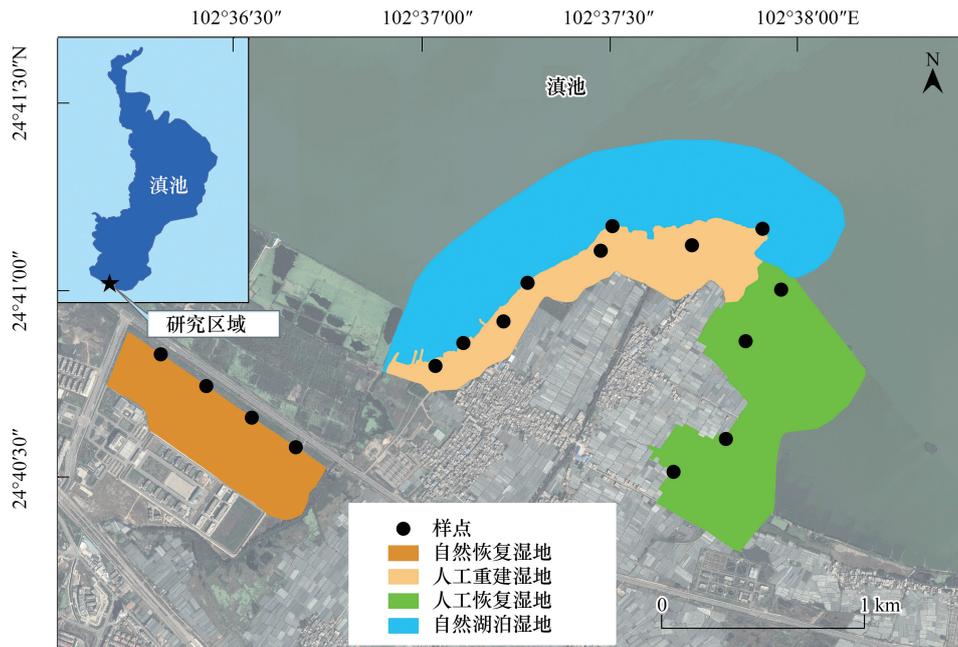


图1 水禽调查样区和样点分布

Fig.1 Distribution of sample plots and survey points in the study

2.2 景观解译

在 Google Earth 7.3 中下载 2017 年 11 月 10 日的高分辨率影像 (0.3 m) 作为景观解译底图。在 ArcView 3.2 软件中,使用 Manual Grid Editor 插件对研究区内的景观类型进行目视解译。景观类型分为浅水 (水深 0.5—1.5 m)、沼泽 (水深 < 50 cm)、草地、道路、林地及建筑物共 6 种生境类型。解译完成后在 Fragstats 4.0 软件里进行景观指数计算,选择的指数包括景观形状指数 (LSI) 和景观分离度指数 (SPLIT)。景观形状指数是通过计算某一景观形状与相同面积的圆或正方形之间的偏离程度来测量起景观复杂程度,可以反映景观的狭长程度。景观分离度指数指某一景观类型中不同斑块数个体分布的分离度),用以评价各样区内景观形状及破碎化程度^[14]

景观形状指数其表达式如下: $LSI = 0.25E / \sqrt{A}$ 式中, E 为景观中所有斑块边界的总长度, A 为景观总面积。

景观分离度指数其表达式如下: $V_i = D_{ij} / A_{ij}$ 式中, V_i 为景观类型 i 的分离度, D_{ij} 为景观类型 i 的距离指数, A_{ij} 为景观类型 i 的面积指数。

2.3 数据分析

用于统计分析的鸟类数据为每次观测 4 个样点调查到的物种个体数累加而得到,重复两次调查之间取两次调查的最大值作为每次调查结果的统计值,6 次调查结果的累加值作为最终统计结果。按照鸟类不同种群数量占鸟类统计总数的百分比(P)来确定优势度,将 $P \geq 10\%$ 定为优势种; $10\% > P \geq 1\%$ 的定为常见种; $1\% > P \geq 0.1\%$ 的定为稀有种; $P < 0.1\%$ 定为罕见种^[6-7,15]。采用 Bray-Curtis 指数对各样区内物种组成差异进行聚类分析^[16-17],采用 Simpson 指数对各样区内水禽进行多样性分析^[18-19],指数运算均在 Past 3.24 软件里完成。采用 Pearson 检验方法分析多样性指数与景观特征的相关性,所有统计均在 Excel 2016 中完成,统计值用 $\bar{X} \pm SE$ 表示。

Bray-Curtis 指数计算公式: $CN = 2jN / (Na + Nb)$ 式中, Na 为样地 A 的各物种所有个体数目和, Nb 为样地 B 的各物种所有个体数目和, jN 为样地 A 和 B 共有种中个体数目较小者之和,即 $jN = \sum_{\min} (jN_a, jN_b)$ 。

Simpson 指数计算公式: $D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$ 式中, i 种的个体数占群落中总个体数的比例为 P_i , S 为物种数目。

3 结果与分析

3.1 物种组成

研究区内共记录到水禽 6 目 7 科 28 种,13929 只次。种类上以鸭科鸟类为主,计 9 种,占所记录种类总数的 32.14%;其次为鹭科鸟类(8 种),其它类群种类均较少。从居留类型来看,以冬候鸟为主(20 种),占调查总种数的 71.43%,留鸟(8 种)仅占调查总种数的 28.57%。数量上,以红嘴鸥(*Larus ridibundus*)、骨顶鸡(*Fulica atra*)、赤膀鸭(*Anas strepera*)和黑水鸡(*Gallinula chloropus*)为优势种,分别占总个体数量的 45.99%、23.07%、11.69%和 10.18%。此外还包括常见种 2 种,为小鸕鶿(*Podiceps ruficollis*)和白鹭(*Egretta garzetta*),以及稀有种或罕见种各 11 种,包括牛背鹭(*Bubulcus ibis*)、白眼潜鸭(*Aythya nyroca*)和矶鹬(*Actitis hypoleucos*)等。

各样区中,自然湖泊湿地的水禽种类和数量(20 种 11697 只次)最高,其次为自然恢复湿地(16 种 688 只次)和人工恢复湿地(15 种 890 只次),人工重建湿地(9 种 654 只次)最低。自然湖泊湿地中水禽种类以鸭科鸟类为主,占该样区记录种数的 35.00%,在数量上以鸥类占优势,主要为红嘴鸥。人工重建湿地和人工恢复湿地种类上均以鹭科鸟类为主,数量上以秧鸡类占优势,主要为骨顶鸡和黑水鸡。自然恢复湿地水禽组成的种类和数量均是以鹭科鸟类为主(表 1)。

表 1 各样区水禽不同类群组成

Table 1 Composition of different species of waterfowl in various areas

类群 Class groups	组成 Composition	自然恢复湿地 Natural restored wetlands	自然湖泊湿地 Natural lake wetland	人工恢复湿地 Enhanced wetlands	人工重建湿地 Constructed wetlands
秧鸡类 Rail	种类/占比	2/12.50%	3/15.00%	3/20.00%	2/22.22%
	数量(只次)/占比	94/13.66%	3286/28.09%	664/76.41%	591/90.37%
鸭类 Duck	种类/占比	2/12.50%	7/35.00%	4/26.67%	1/11.11%
	数量(只次)/占比	3/0.44%	1791/15.31%	65/7.30%	6/0.92%
鸕鶿类 Grebe	种类/占比	1/6.25%	2/10.00%	1/6.67%	1/11.11%
	数量(只次)/占比	36/5.23%	263/2.25%	64/7.19%	22/3.36%
鹭类 Egret	种类/占比	7/43.75%	4/20.00%	5/33.33%	3/33.33%
	数量(只次)/占比	444/64.53%	26/0.22%	61/6.85%	12/1.83%
鸥类 Gull	种类/占比	1/6.25%	1/5.00%	1/6.67%	1/11.11%
	数量(只次)/占比	2/0.29%	6321/54.04%	34/3.82%	22/3.36%
鸻鹬类 Plover	种类/占比	3/18.75%	3/15.00%	1/6.67%	1/11.11%
	数量(只次)/占比	109/15.84%	10/0.09%	2/0.22%	1/0.15%

3.2 水禽多样性

自然恢复湿地的水禽多样性最高(0.60±0.03),其次为自然湖泊湿地(0.46±0.04)和人工恢复湿地(0.34±0.04),人工重建湿地的水禽多样性最低(0.17±0.03)(图2)。

从 Bray-Curtis 指数可以看出,人工重建湿地和人工恢复湿地的水禽组成,种类和数量上基本一致其相似性最大,为 84.59%。种类上以游禽为主的自然湖泊湿地与以涉禽为主的人工重建湿地和自然恢复湿地的水禽组成上相异,相似性分别为 2.80%和 2.65%(图2)。

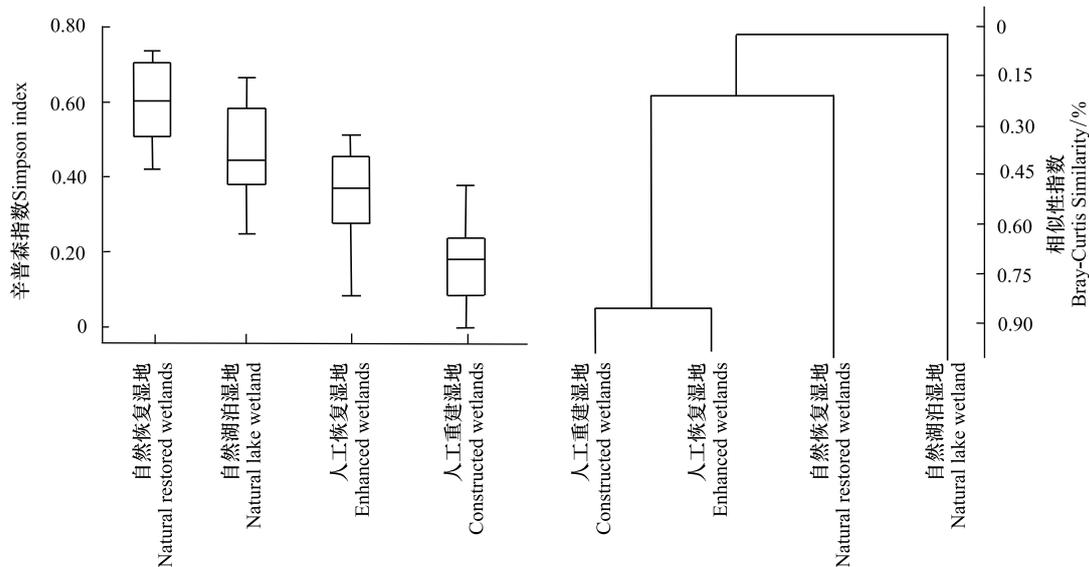


图2 不同样区水禽多样性指数

Fig.2 Diversity index of waterfowl in different areas

3.3 景观格局与水禽多样性关系

影像解译的结果表明 4 个对照样区内的景观构成存在较大差异。自然湖泊湿地生境组成最为单一,仅包括浅水一种。人工恢复湿地包含 5 种生境类型,以浅水(55.61%)和沼泽(26.45%)为主要类型。人工重建湿地亦包含 5 种生境类型,但以非湿地类的草地(32.51%)和林地(24.45%)为主要景观。自然恢复湿地景观构成主要为沼泽(56.57%)和浅水(42.62%)(表2)。

表2 不同湿地区域的生境类型

Table 2 Habitat types in different wetland areas

类型 Type	生境 Habitat	自然恢复湿地 Natural restored wetlands	自然湖泊湿地 Natural lake wetland	人工恢复湿地 Enhanced wetlands	人工重建湿地 Constructed wetlands
湿地类 Wetland type	浅水	15.90 hm ² /42.62%	98.78 hm ² /100.00%	38.36 hm ² /55.61%	5.53 hm ² /13.06%
	沼泽	21.10 hm ² /56.57%	0	18.24 hm ² /26.45%	8.08 hm ² /19.09%
非湿地类 Non wetland type	草地	—	—	7.78 hm ² /11.28%	13.76 hm ² /32.51%
	林地	—	—	1.86 hm ² /2.69%	10.35 hm ² /24.45%
	道路	0.24 hm ² /0.64%	—	2.74 hm ² /3.98%	4.61 hm ² /10.90%
	建筑	0.06 hm ² /0.17%	—	—	—

—:表示未有该生境

人工重建湿地的景观形状整体呈狭长形(LSI=19.38)且隔离度较大(SPLIT=29.56),破碎化最为强烈,主要原因是道路以及非湿地类景观贯穿于整个区域内,造成了强烈的分割作用。人工恢复湿地的景观形状整体较规则(LSI=8.79),但恢复区内的旅游步道仍然形成了较强的分割作用,造成了整体景观一定程度上的破碎化(SPLIT=5.80)。自然恢复湿地的景观形状较为规则(LSI=10.82)且景观隔离度较小(SPLIT=2.98),破碎

化程度较低。自然湖泊湿地景观类型组成单一,且无任何道路和非湿地景观分割,其景观形状最为规则(LSI=2.19)且景观隔离度最小(SPLIT=1.00)破碎化程度最弱(图3)。

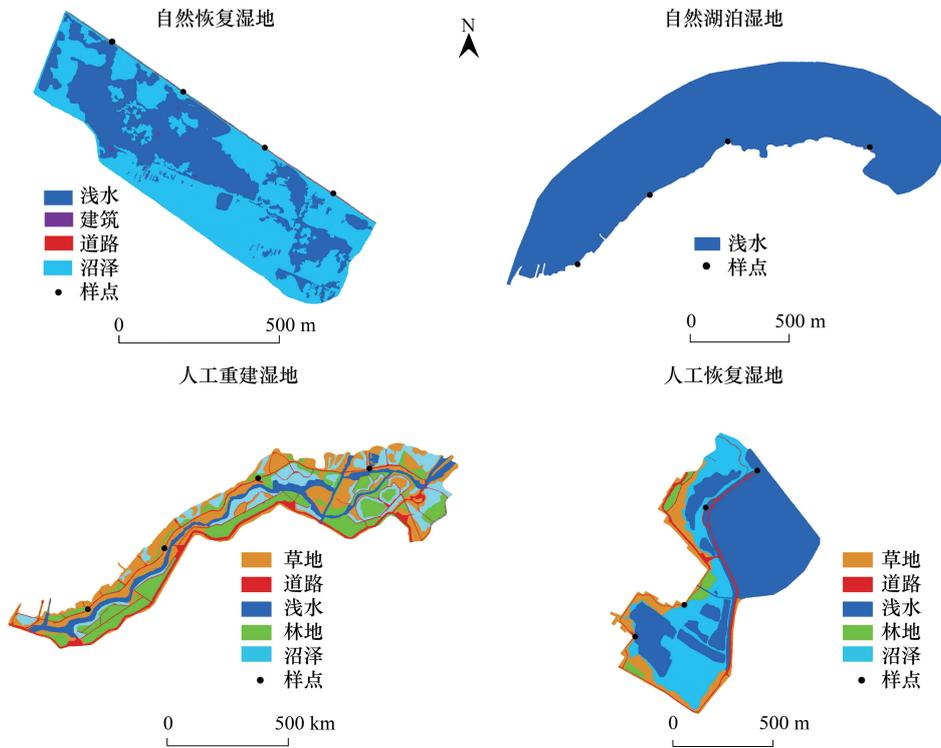


图3 南滇池湿地各样区景观组成和分布

Fig.3 Landscape composition and distribution of South Dianchi lake wetland

结合水禽多样性和景观特征来分析,道路面积、景观形状指数和景观分离度指数均对湿地鸟类多样性具有显著影响(表3)。道路面积与水禽多样性呈线性负相关($r=-0.735, P<0.01$),表明道路对景观的分割作用以及行人和车辆带来的严重干扰,是人工重建湿地中水禽多样性较低的重要因素之一。景观形状指数($r=-0.461, P<0.01$)以及景观分离度指数($r=-0.661, P<0.01$)与水禽多样性均呈显著负相关关系。景观形状指数表示景观总体形状偏离圆形的程度,形状指数的增加表示景观形状更为狭长,也意味着有越多的空间暴露在外界干扰之中,而景观分离度指数代表景观完整度以及水禽适宜生境间的连通性,景观分离度指数的增大意味着连通性的降低,两者均对维持水禽多样性具有不利影响。

表3 景观特征与水禽多样性关系

Table 3 Relationship between landscape characteristics and waterfowl diversity

类型 Type	Simpson 指数 Simpson index	浅水 Shallow water	沼泽 Swamp	道路 Road	面积 Area	景观形状指数 Landscape Shape Index	景观分离度指数 Splitting index
Simpson 指数 Simpson index		0.103	0.441	0.000	0.633	0.001	0.000
浅水 Shallow water	0.249		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
沼泽 Swamp	0.119	-0.586		0.364	0.007	0.773	0.116
道路 Road	-0.735	-0.635	0.140		0.005	0.000	0.000
面积 Area	0.074	0.931	-0.404	-0.412		0.000	0.000
景观形状指数 Landscape Shape Index	-0.461	-0.830	0.045	0.764	-0.833		0.000
景观分离度指数 Splitting Index	-0.661	-0.564	-0.240	0.869	-0.511	0.901	

矩阵下三角为相关系数,上三角为 P 值

4 讨论

4.1 恢复措施对南滇池湿地水禽多样性的影响

恢复受损湿地是目前湿地保护管理工作的重要内容,在规划和建设过程中,恢复措施的选用对恢复成效具有重要影响^[20]。滇池是我国极具代表性的高原湖泊,虽然海拔较高,但是由于特殊的地理位置,形成了冬季温暖的气候条件,由此吸引了众多候鸟到此越冬,历史上曾是我国重要的候鸟越冬区^[21-24]。自 20 世纪 60 年代,湖滨湿地区逐步被围垦而转化为耕地或鱼塘,湖滨沼泽几乎被破坏殆尽。随着昆明城市扩张,人口增多以及现代农业的发展,大量生活污水以及农田污水被排泄到滇池中,造成滇池水质的严重污染和富营养化,蓝藻频繁爆发。同时海菜花(*Ottelia acuminata*)、黑藻、苦草(*Vallisneria spiralis*)等沉水植物,在滇池大面积消失^[5]。生境丧失以及水生植被退化造成滇池越冬水禽的种类和数量逐年下降^[9, 25-26]。2010 年后,昆明开始实施滇池湖滨“四退三还一护”工程,即通过退塘、退田、退人、退房,实现还湖、还林、还湿地,达到护水目标。与此同时一系列的湿地公园开始建设,其中南滇池国家湿地公园的建设便是恢复滇池湖滨带的重要举措。在南滇池湿地公园的建设中,根据不同区域的受破坏程度,采用了人工恢复和人工重建两种技术方法来恢复,没有使用自然恢复手段。通过和湿地公园邻近的自然恢复湿地对比发现,以水禽多样性指数衡量,自然恢复的效果远好于人工恢复和人工重建湿地,甚至超过了自然湖泊湿地。有些鸟种仅在自然恢复湿地中记录到,如彩鹇(*Plegadis falcinellus*)、彩鹳(*Rostratula benghalensis*)等。自然恢复偏重于借助自然生态系统的自我修复和自我组织能力来进行湿地恢复,成本低但成效慢,因此在湿地公园建设中往往偏向选择人工促进或重建方法来实现^[20]。但是,由于对湿地生态系统认知的局限性或者对园林景观营造的偏向性,过多的人为干预和工程建设往往导致恢复效果欠佳^[27]。本研究表明,湿地即使遭到破坏,在恢复水文条件后仍完全凭借自身的恢复能力实现较好的生态功能,而过多的人为干预却适得其反。因此在湿地公园建设中,应该优先选用自然恢复手段,辅以适当的人工干预,如破除堤坝、本土植物补种等,虽然花费时间较长,但恢复后景观更加自然,系统功能性更好。

4.2 景观特征对水禽多样性的影响

水禽多样性受不同尺度的环境因素影响。在微生境尺度上,如水生植物种类和分布、水深、干扰源距离等会对水禽的觅食、休息等行为造成直接影响;而在景观尺度上,景观格局也会对水禽施加影响,如景观形状和水禽的安全性有关,景观的破碎化程度或适宜生境的连通程度会影响鸟类的运动以及能量消耗^[28-31]。本研究表明道路面积、景观形状指数和景观分离度指数均对水禽多样性具有重要影响。道路系统对鸟类的负面影响主要体现在两个方面:首先是直接的干扰作用,车辆、行人以及发出的噪声均为严重干扰鸟类的正常行为^[32-34];其次是对湿地类景观的分割作用,可以将连通的景观分割成一系列的小斑块,将生境内部区域更多的暴露于干扰之下。景观形状指数反映的是景观偏离圆形或正方形的程度,指数增大意味着在形状上愈加狭长,核心生境也越来越小,如沿着湖岸平行方向人工修建河流,不仅违背自然规律,而且使得总体景观抗干扰能力减弱。景观破碎化是威胁生物多样性的主要因素之一,景观破碎化程度的加深会严重影响鸟类多样性^[35-37]。如夏鸽^[38]以上海金海湿地为例研究了景观格局对鸟类群落多样性的影响,发现鸟类多样性与景观破碎度呈负相关,而与景观连通性呈正相关。对于湿地鸟类来讲,多数种类喜欢开阔、人为干扰少的浅水或沼泽生境,因此在国家湿地公园规划和建设中,应该从湿地鸟类的具体生态需求出发,在景观尺度上合理配置各种景观,构建适宜鸟类生存的景观格局。

本研究表明不同的恢复措施会对各区域的水禽多样性水平产生重要影响,但是,无论是自然恢复还是施加促进效应的人工恢复或重建,仅仅是反映了人作为管理者对受损湿地生态系统产生的影响程度。水禽多样性是湿地功能性的体现,这种功能的实现和湿地的结构紧密联系,而景观水平上的湿地结构特征即扮演着重要角色。从多样性水平上来看,自然恢复湿地的湿地鸟类多样性最高,甚至超过了自然湖泊湿地。自然恢复湿地从旱地转换为湿地,仅经过了 5 年的演替时间,植物的组成极为单一且缺乏典型湿地的植被特点,却维持

了较高水平的湿地鸟类多样性,主要原因是在景观特征上满足了水禽的生存需求。自然恢复湿地样地的边缘形状呈长方形,虽然在形状上不是最优,但景观的构成比较适宜,中间部分为浅水水面,可以满足游禽类的需求,外围被沼泽生境环绕,隔绝了大部分人为干扰,同时沼泽也满足了涉禽类特别是鹭类的需求。而自然湖泊湿地虽然人为干扰程度也较低,但单一的浅水生境,仅能满足游禽类的需求,而涉禽类无法在此栖息。人工重建湿地生物多样性水平最低,在形状以及景观完整度上均不符合景观生态学的基本原理以及鸟类的需求。首先从形状上,该样区整体呈东西向狭长形,这种形状易形成强烈的边缘效应,使得鸟类极易受到外围干扰的影响。其次从破碎化程度来看,密集的道路以及非湿地类景观将样区分割成大量的小斑块,使得整体景观极为破碎,带来的强干扰以及资源片段化均不利于水禽的栖息,从而造成极低的多样性水平。人工恢复湿地样区,是经破除鱼塘堤埂形成的近自然水体,在景观类型的配置上较为合适,但过度建设的步道以及栈道不仅破坏了湿地景观完整性,车辆以及游人也带来了强烈的人为干扰,在某种程度上降低了该区域的水禽多样性。对比四种湿地的水禽多样性,可以发现:自然恢复湿地和天然湖泊湿地较人工建设的湿地,在维持水禽多样性方面具有更高的价值。这与其他研究结果具有相似之处,如 Sebastián-González 等^[39]在西班牙西南部的瓜达尔基维尔河口,对 5 个恢复湿地、5 个自然湿地和 10 个人工湿地中水禽群落研究,发现人工建设湿地的价值始终低于恢复和自然湿地。Bellio 等^[40]对斯里兰卡东南部的自然湿地和人工湿地的水禽群落研究发现,虽然人工湿地能为大量水禽提供栖息地,但其价值仍不能代替丧失的自然湿地。刘云珠等^[41]对中国西部洞庭湖的恢复湿地、零散自然湿地和人工杨树林三种典型中水鸟群落结构和多样性研究中发现,恢复湿地为越冬水鸟提供了广泛分布栖息地,但同时其群落结构更简单,生物多样性也较低;而零散分布的自然湿地为越冬水鸟提供了栖息地,尽管水鸟数量少,但该区域的鸟类群落多样性指数较高。

5 结论

国家湿地公园已成为我国湿地保护体系中的重要组成部分,对我国湿地保护目标的实现起着至关重要的作用。在规划和建设过程中,应充分重视景观生态学的指导作用,科学制定恢复措施。在具体工作中,应该以维持和提高较高水平的水禽多样性为重要要求,在景观尺度上充分考虑水禽的空间需求,合理配置各类景观。在景观类型上应以浅水或沼泽等湿地类景观为主,避免建设大量草地、林地和旅游道路。在恢复措施中,应以自然恢复为主,人工促进为辅,依靠自然的力量恢复湿地的结构和功能。对于湖泊型湿地,湖滨带的破坏往往是造成湿地鸟类多样性降低的主要原因,因此在湿地恢复工作中,应该重点考虑对湖滨带的恢复,特别是构建鹭类或鸬鹚类等水禽依赖的沼泽生境,从而提高整体的生物多样性水平。

参考文献 (References):

- [1] 张广海, 曲正. 我国国家公园研究与实践进展. 世界林业研究, 2019, 32(4):57-61.
- [2] 刘亮亮. 中国国家公园评价体系研究[D]. 福州:福建师范大学, 2010.
- [3] 唐芳林, 张金池, 杨宇明, 王梦君. 国家公园效果评价体系研究. 生态环境学报, 2010, 19(12):2993-2999.
- [4] 马国强, 周杰珑, 丁东, 周泳欣, 缪志缙, 和正军. 国家公园生态旅游野生动植物资源评价指标体系初步研究. 林业调查规划, 2011, 36(4):109-114.
- [5] 杨岚, 李恒. 云南湿地. 北京:中国林业出版社, 2010.
- [6] Wang R X, Wu F, Chang Y Y, Yang X J. Waterbirds and their habitat utilization of artificial wetlands at Dianchi lake: implication for waterbird conservation in Yunnan-Guizhou plateau lakes. Wetlands, 2016, 36(6):1087-1095.
- [7] 杨文军, 刘强, 何娟, 李晏琼. 云南中部湖群越冬水禽群落特征. 生态学杂志, 2020, 39(6):1858-1864.
- [8] Wang X D, Kuang F L, Tan K, Ma Z J. Population trends, threats, and conservation recommendations for waterbirds in China. Avian Research, 2018, 9(1):14.
- [9] Ma Z J, Cai Y T, Li B, Chen J K. Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. Wetlands, 2010, 30(1):15-27.
- [10] Green A J, Elmberg J. Ecosystem services provided by waterbirds. Biological Reviews, 2014, 89(1):105-122.
- [11] 王强, 吕宪国. 鸟类在湿地生态系统监测与评价中的应用. 湿地科学, 2007, 5(3):274-281.

- [12] Gregory R D, Van Strien A. Wild bird indicators; using composite population trends of birds as measures of environmental health. *Ornithological Science*, 2010, 9(1):3-22.
- [13] Bibby C J, Burgess N D, Hill D A. *Bird Census Technique*. 2nd ed. London: Academic Press, 2000.
- [14] 邬建国. 景观生态学——格局、过程尺度与等级(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [15] 郑光美. 鸟类学. 北京: 北京师范大学出版社, 1995.
- [16] Clarke K R, Gorley R N, Somerfield P J, Warwick R M. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 3rd ed. Plymouth: Primer-E, 2014.
- [17] 马古兰 A E, 麦吉尔 B J. 生物多样性——测量与评估前沿. 韩博平, 官昭瑛, 杨阳, 译. 北京: 科学出版社, 2019.
- [18] Lande R, DeVries P J, Walla T R. When species accumulation curves intersect: implications for ranking diversity using small samples. *Oikos*, 2000, 89(3):601-605.
- [19] Magurran A E. 生物多样性测度. 张峰, 译. 北京: 科学出版社, 2011.
- [20] 马广仁. 国家湿地公园湿地修复技术指南. 北京: 中国环境出版社, 2017.
- [21] 吴忠荣, 刘越强, 刘菡, 王俊华, 韩联宪. 滇池草海越冬水鸟种类、数量与栖息环境调查. *林业调查规划*, 2008, 33(3):33-36.
- [22] 韩联宪, 邓章文, 鲁红林, 李晶晶, 程闯, 韩奔. 越冬期人工投食与自然觅食红嘴鸥形态特征比较. *西南林业大学学报*, 2012, 32(3):104-106.
- [23] 白林壮, 韩联宪, 鲁红林, 邓章文, 岩道. 滇池越冬红嘴鸥幼鸟比例及种群数量变化研究. *西南林业大学学报*, 2014, 34(4):107-110.
- [24] 吴兆录, 潘帮珍, 王紫江, 赵雪冰. 圈养条件下滇池地区越冬红嘴鸥的食物选择. *动物学杂志*, 2008, 43(4):102-108.
- [25] Li C L, Yang Y, Wang Z, Yang L, Zhang D M, Zhou L Z. The relationship between seasonal water level fluctuation and habitat availability for wintering waterbirds at Shengjin Lake, China. *Bird Conservation International*, 2019, 29(1):100-114.
- [26] Luo K, Wu Z L, Bai H T, Wang Z J. Bird diversity and waterbird habitat preferences in relation to wetland restoration at Dianchi Lake, south-west China. *Avian Research*, 2019, 10:21.
- [27] 马广仁. 中国湿地公园建设研究. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- [28] 戚仁海. 生境破碎化对城市化地区生物多样性影响的研究——以苏州为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [29] 胡远东. 大庆城市异质景观形成对湖泊湿地环境与生物多样性的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2015.
- [30] 孙喜娇, 胡灿实, 张明明, 粟海军. 贵州大学校园及周边绿地的鸟类多样性及其与景观格局间关系. *四川动物*, 2018, 37(6):693-702.
- [31] 邱廉, 陶婷婷, 韩善锐, 杨文字, 栾夏丽, 邱燕宁, 刘茂松, 徐驰. 宏生态尺度上景观破碎化对物种丰富度的影响. *生态学报*, 2017, 37(22):7595-7603.
- [32] 李敏. 向海湿地鸟类多样性的时空动态研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- [33] Morelli F, Jerzak L, Pruscini F, Santolini R, Benedetti Y, Tryjanowski P. Testing bird response to roads on a rural environment; a case study from Central Italy. *Acta Oecologica*, 2015, 69:146-152.
- [34] Morelli F, Beim M, Jerzak L, Jones D, Tryjanowski P. Can roads, railways and related structures have positive effects on birds? -a review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2014, 30:21-31.
- [35] Chang C Y. Landscape structure and bird's diversity in the rural areas of Taiwan. *Journal of Environmental Sciences*, 2003, 15(2):241-248.
- [36] Guadagnin D L, Peter Á S, Perello L F C, Maltchik L. Spatial and temporal patterns of waterbird assemblages in fragmented wetlands of southern Brazil. *Waterbirds*, 2005, 28(3):261-272.
- [37] Marzluff J M, Ewing K. Restoration of fragmented landscapes for the conservation of birds: a general framework and specific recommendations for urbanizing landscapes. *Restoration Ecology*, 2001, 9(3):280-292.
- [38] 夏鸽. 景观格局对鸟类群落多样性的影响——以上海金海湿地为例[D]. 上海: 上海师范大学, 2015.
- [39] Sebastián-González E, Green A J. Reduction of avian diversity in created versus natural and restored wetlands. *Ecography*, 2016, 39(12):1176-1184.
- [40] Bellio M G, Kingsford R T, Kotagama S W. Natural versus artificial-wetlands and their waterbirds in Sri Lanka. *Biological Conservation*, 2009, 142(12):3076-3085.
- [41] 刘云珠, 史林鹭, 朵海瑞, 彭波涌, 吕偲, 朱轶, 雷光春. 人为干扰下西洞庭湖湿地景观格局变化及冬季水鸟的响应. *生物多样性*, 2013, 21(6):666-676.