

银川平原沙湖湿地景观多样性变化特征

吴成丹¹, 翟昊², 马杰³, 李媛³, 刘曼红^{1*}

¹东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

²宁夏林业和草原局, 宁夏 银川

³北京中林国际有限公司, 北京

收稿日期: 2022年4月1日; 录用日期: 2022年5月2日; 发布日期: 2022年5月9日

摘要

为了研究宁夏银川平原沙湖湿地景观多样性的变化, 在RS和GIS技术的支持下, 从景观格局的角度分析了沙湖2015~2020年的景观分布格局。结果表明, 2015, 2020年沙湖湿地总体面积没有发生较大变化, 边界和面积基本保持完整, 水面和水量基本保持稳定, 区域内植物变化较为明显。自然裸地面积减少, 农耕地、人工设施面积减少; 沙湖湿地景观破碎化程度降低, 景观类型之间分离程度增加, 景观类型的多样性和均质性有所增加, 湖泊水面优势度下降。

关键词

湖泊湿地, 景观多样性, 沙湖

Characteristics of Landscape Diversity of Shahu Wetland in Yinchuan Plain

Chengdan Wu¹, Hao Zhai², Jie Ma³, Yuan Li³, Manhong Liu^{1*}

¹Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Ningxia Forestry and Grassland Bureau, Yinchuan Ningxia

³Beijing Zhonglin International Co., Ltd., Beijing

Received: Apr. 1st, 2022; accepted: May 2nd, 2022; published: May 9th, 2022

Abstract

In order to study the changes in landscape diversity of Shahu wetland in Yinchuan Plain, the landscape distribution pattern of Shahu from 2015 to 2020 was analyzed from the perspective of land-

*通讯作者。

scape pattern with the support of RS and GIS technology. The results showed that the overall area of Shahu wetland has not changed greatly from 2015 to 2020, the boundary and area remained basically complete, the water surface and water volume remained basically stable, and the plant changes in the region were obvious. The area of natural bare land decreased, and the area of agricultural land and artificial facilities decreased. The fragmentation degree of Shahu wetland landscape decreased, the separation degree between landscape types increased, the diversity and homogeneity of landscape types increased, and the dominance of lake water surface decreased.

Keywords

Lake Wetland, Landscape Diversity, Shahu Lake

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

景观多样性变化已成为景观生态学家讨论的热门话题[1]。并且对景观多样性的研究在土地利用规划、景观评价与设计、野生动植物保护和自然保护区建设等方面有着重要意义[2] [3]。傅伯杰认为，景观多样性研究可按斑块、类型和格局进行，斑块的数量、大小和斑块形状，景观类型的性质、多少和比例以及景观类型的空间分布、斑块与斑块之间的空间关联性和功能联系性是景观多样性研究考虑的主要要素，景观多样性对于物质迁移、能量交换、生产力水平、物种分布、扩散和动物觅食有重要影响[4]。

目前关于景观格局动态变化的研究多集中于东部平原湖泊湿地和南方湖泊湿地。如谭志强等通过决策树分类及高斯回归的方法定量评估了三峡工程运行前后，鄱阳湖和洞庭湖湿地景观格局的演变特征及其差异性[5]；朱红豆等通过选取景观多样性、景观优势度、景观均匀度、景观破碎度等指标在景观水平上分析研究了近 30 年来东平湖湿地景观格局的动态变化特征[6]；郭玉静等通过划定湖泊湿地湖滨带缓冲区域，运用秩相关分析和冗余分析研究湖滨带景观格局变化对普者黑岩溶湖泊湿地水质的影响[7]。温玉玲等采用土地利用转移矩阵、景观格局指数等方法探究了鄱阳湖环湖区近 30 年来土地利用与景观格局变化特征[8]。朱颖等对 4 个时期太湖流域湿地景观格局动态变化进行研究，并分析“退田还湖”工程实施前后湿地 ESV 变化规律，探讨工程对湿地生态效益的影响[9]。马国强等通过监督分类和目视解译相结合的方式，将遥感影像解译，对景观指数定量分析并对驱动力进行探讨，分析研究了 2012~2019 年云南异龙湖景观格局时空变化及驱动因素[10]。但对于西北干旱半干旱湖泊湿地景观格局变化的研究还不多见，且只侧重于对景观格局几何特征的简单分析和描述[11] [12]。因此本文对宁夏沙湖湿地 2015~2020 年景观格局演变进行研究，旨在为将来湖泊景观监测、保护管理对策和过程评估方法等提供参考。

2. 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1. 研究区域概况

银川平原位于宁夏回族自治区，是在新生代断陷盆地基础上发育起来的冲积平原，是“一带一路”和生态安全屏障的重要节点之一。它属于中温带典型的大陆性气候，是宁夏湖泊和湿地分布最集中的地区[13]。沙湖是宁夏平原上典型的湿地湖泊，在区域经济和社会发展中发挥着重要的生态作用。

沙湖位处 1999 年建立的宁夏石嘴山市平罗县西南部沙湖自然保护区内，地理坐标为 106°19'6"E~

106°24'10"E, 38°45'17"N~38°49'42"N, 面积 1494 hm², 海拔 1020 m, 沙湖是封闭型城市湖泊, 常年无自然生态基流补水, 无输出水道; 由于蒸发量大, 每年都需要通过从黄河人工补水维持水位, 多年沉积; 同时, 还受旅游开发与周边农业、工业活动的影响, 水质逐渐恶化。为改善沙湖水质, 截至 2020 年, 已实施了多项综合治理措施, 如: 建立绿化隔离沟、氧化塘, 河底清淤, 抽排受污染水、补黄河水, 退渔、退耕还湿等[14]。

2.2. 数据来源

本研究主要数据源包括影像数据有 2008、2009 年丰水期的 CBERS 卫星 CCD 相机数据, 部分 SPOT5 和 LandsatTM 数据, 2015 年夏季、2016 年夏季高分 1 号数据, 2017 年高分 2 号数据, 2018、2019 年资源 3 号卫星数据中截取沙湖影像, 影像均为正射影像, 层次丰富、纹理清晰、色调均匀、反差适中, 云量≤10%, 分辨率 20~1 米, 其中 2015 年以后的影像数据分辨率≥2.5 m, 并进行几何精校正、波段组合、图像增强和图像镶嵌预处理, 通过 DEM 进行地形校正, 统一转换为大地 2000 坐标, 1985 国家基准高程(如图 1)。为了保持研究一致性和延续性, 将湖泊湿地按类型、斑块分类, 类型根据生态特征分为 10 个, 调用沙湖“国土三调”数据与宁夏湿地产权确权数据进行套嵌, 然后将相关地类从新归类, 并用 Arcgis10.8 软件勾图, 用 frastats4.2 软件计算景观指数。2020 年 6~9 月, 分景观类别同一地点实地拍摄景观、地物, 实地拍摄使用大疆无人机, 建立解译标志, 采取分组 2 次不同人员分别判读、互相验证的方法, 减少随机误差, 沙湖湿地景观综合正判率达到 90% 以上。景观格局分类如表 1, 分为湖泊水面、沉水植被、浮水植被、挺水植被、湖滨草地、灌木林地、乔木林地、自然裸地、农耕地和人工设施十种类型。

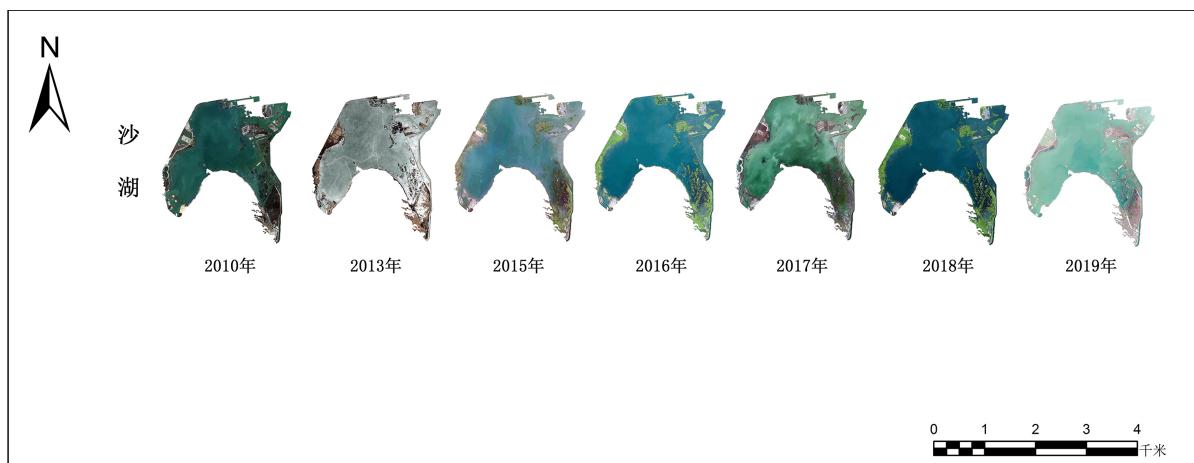


Figure 1. Remote sensing images of Shahu in recent ten years

图 1. 近十年沙湖遥感影像

Table 1. List of Shahu wetland landscape types

表 1. 沙湖湿地景观类型一览表

一级序号	湿地景观类型	二级序号	对应“国土三调”地类
1	湖泊水面	1-1	沟渠
		1-2	河流水面
		1-3	湖泊水面
		1-4	坑塘水面

Continued

2	沉水植被	2-1	从湖泊水面中勾画
3	浮水植被	3-1	从湖泊水面中勾画
4	挺水植被	4-1	从湖泊水面中勾画
5	湖滨草地	5-1	公园和绿地
		5-2	其他草地
6	灌木林地	6-1	灌木林地
7	乔木林地	7-1	其他林地
8	自然裸地	8-1	沙地
		8-2	裸土地
		8-3	内陆滩涂
9	农耕地	8-4	盐碱地
		9-1	水浇地
		9-2	水田
10	人工设施	10-1	公路用地
		10-2	公共设施用地
		10-3	机关团体新闻出版用地
		10-4	科教文卫用地
		10-5	农村道路
		10-6	商业服务设施用地
		10-7	水工建筑用地
		10-8	特殊用地

2.3. 研究方法

近年来,许多学者致力于景观生态系统空间特征的测量和指标体系的建立,产生了许多景观格局评价指标[15] [16]。本文通过景观斑块密度(PD)、平均斑块分维数(FRAC_MN)、分离度指数(SPLIT)、景观多样性指数(SHDI)、景观均匀度指数(SHI)和景观优势度指数(D)分析景观格局演变特征。

2.3.1. 确定沙湖湿地景观边界

以2016、2017年宁夏湿地产权确权试点数据中的湖泊湿地斑块的边界为基准,以2010年全国第二次湿地资源调查—宁夏区调查中划定的湖泊湿地斑块的边界为补充,确定沙湖的边界数据。

2.3.2. 明确沙湖湿地景观组分

明确各类型景观格局分类和要素斑块组成,将沙湖湿地景观分为10类。

2.3.3. 勾画景观组分

结合实地调查,使用Arcgis10.8在2015、2020年影像图上勾绘景观组分,并分别计算面积。

2.3.4. 计算景观指数

运用 fragstata4.2 软件计算 2015 年和 2020 年景观指数。

1) 景观的斑块密度(PD)

景观斑块密度(PD)是指一个景观类型中不同斑块数量的个体分布分离度[17]。计算公式如下：

$$PD = \sum_{i=1}^m ni/A \quad (1)$$

PD 为斑块密度, n 为斑块的总个数, i 为斑块类型, A 为景观的总面积。

2) 平均斑块分维数(FRAC_MN)

分维数是指利用分形理论测量单个斑块的形状复杂度, 平均斑块分维数是所有斑块分形维数的算术平均值[18]。计算公式如下：

$$FRAC_MN = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n 2 \ln \left(\frac{0.25 P_{ij}}{\ln a_{ij}} \right) / N \quad (2)$$

FRAC_MN 为平均斑块分维数, P_{ij} 为斑块 ij 的周长, a_{ij} 为斑块 ij 的面积, N 为景观中斑块的总数量, m 为景观类型数量, n 为某类景观类型的斑块数。一般分维数指标处于 1~2, 越靠近 1, 斑块的形状越简单, 越靠近 2, 斑块的程度越复杂。

3) 分离度指数(SPLIT)

景观分离度指某一景观类型中不同斑块数个体分布的分离度[19]。计算公式如下：

$$Fi = Di/Si, \quad Di = 1/2 \sqrt{n/A}, \quad Si = Ai/A \quad (3)$$

D 为斑块的分离度, Si 为景观类型的面积指数, Ai 为斑块类型 i 的面积, A 为景观的总面积, i 为斑块类型, n 为斑块的总个数。

4) 景观多样性指数(SHDI)

景观多样性指数是指景观元素或生态系统在结构、功能以及随时间变化方面的多样性, 它反映了绿地景观类型的丰富度和复杂度[20]。计算公式如下：

$$H = -\sum_{i=1}^m Pi \ln Pi \quad (4)$$

H 为多样性指数; Pi 为景观类型 i 所占面积比例; m 为景观类型数量;

5) 景观均匀度指数(SHEI)

景观均匀度指数(SHEI)反映的是景观中的各斑块在面积分布上的均匀程度, 通常用多样性指数与它的最大值之比来表示[21], 计算公式如下：

$$E = (H/H_{\max}) 100\% \quad (5)$$

E 为景观均匀度指数, $H_{\max} = \log(m)$, H_{\max} 为最大多样性指数。

6) 景观优势度指数(D)

景观优势度指数(D)表示景观多样性对最大景观多样性指数的偏离程度, 或描述景观由少数几个斑块类型控制的程度, 它与多样性指数相反, 是多样性指数的最大值与实际计算值之差[22], 其值越大, 表明该区域斑块的种类与面积比差异越大。计算公式如下：

$$D = H_{\max} + \sum_{i=1}^m (Pi \times \ln Pi) \quad (6)$$

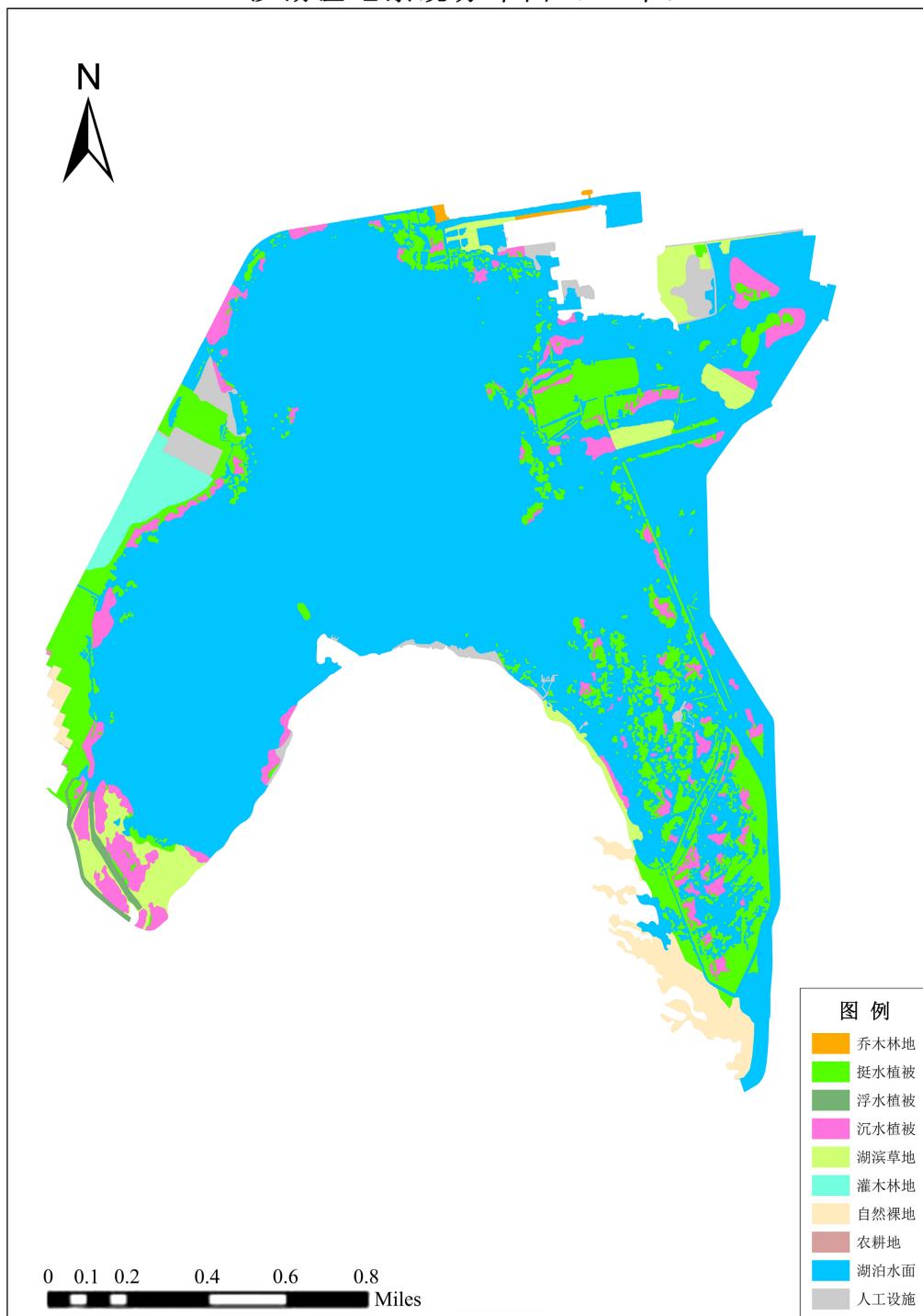
D 为景观优势度指数, H_{\max} 为最大多样性指数, Pi 为景观类型 i 所占面积比例。

3. 结果与分析

3.1. 沙湖湿地的景观特征

2015年, 2020年沙湖湿地均分布有上述10个景观类型, 分别有斑块632个, 415个, 如图2。2015年、2020年沙湖湿地各景观类型的斑块数量、面积, 斑块数量变化、景观类型面积变化如表2。

沙湖湿地景观分布图 (15年)



沙湖湿地景观分布图 (20年)

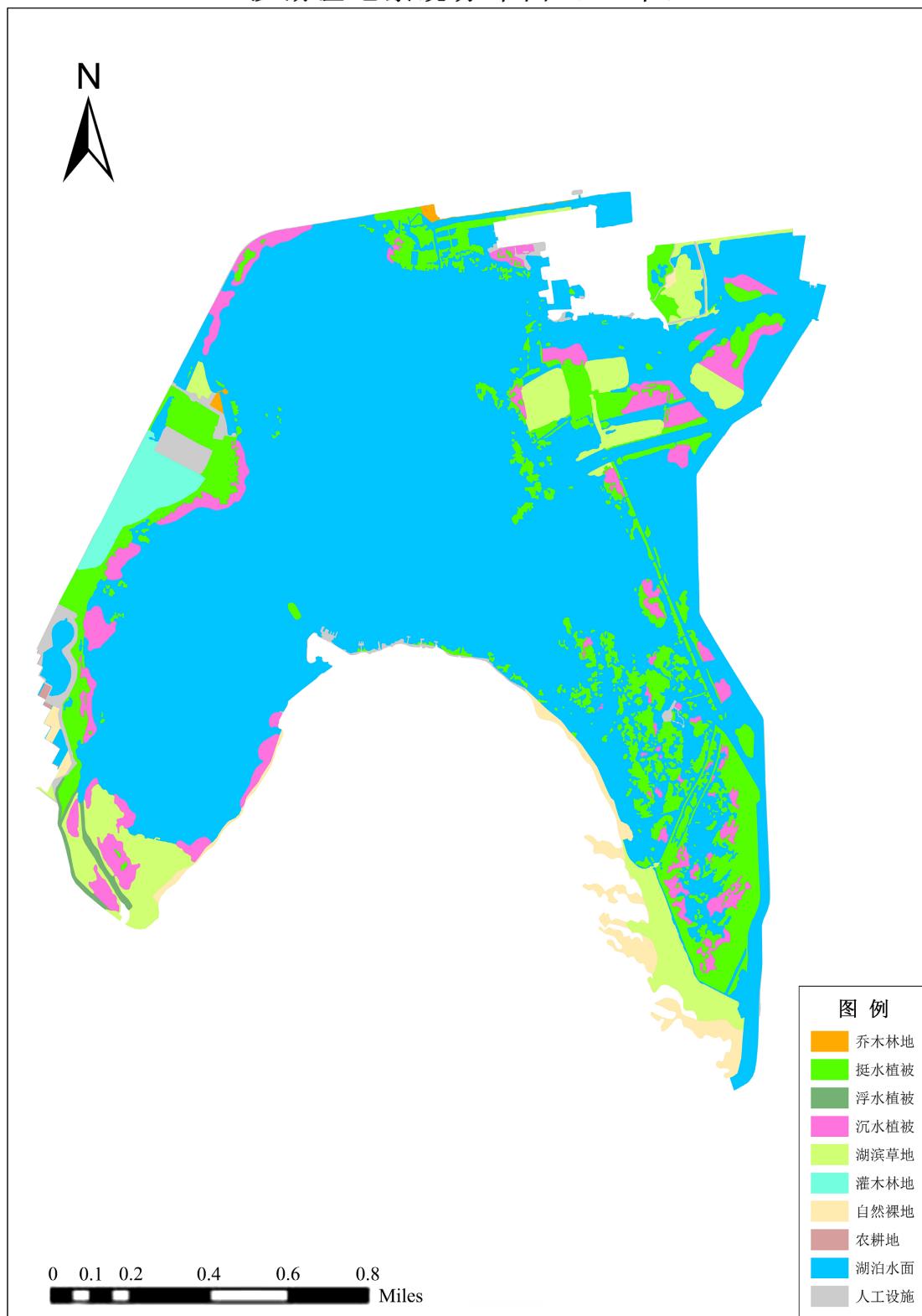


Figure 2. Distribution of wetland patches in Shahu in 2015 and 2020
图 2. 2015 年、2020 年沙湖湿地斑块分布图

Table 2. The statistics of landscape types, patches and areas of Shahu in 2015 and 2020
表 2. 2015 年、2020 年沙湖湿地景观类型斑块、面积统计

景观类型	2015 年 斑块数量	2020 年 斑块数量	斑块数量 变化	2015 年 面积	2020 年 面积	斑块面积 变化
湖泊水面	25	19	-0.2400	1104.1106	1073.3272	-0.0279
沉水植被	96	56	-0.4167	73.4181	76.4862	0.0418
浮水植被	2	2	0.0000	6.4388	5.3292	-0.1723
挺水植被	446	271	-0.3924	179.4887	173.3474	-0.0342
湖滨草地	7	14	1.0000	52.282	89.358	0.7092
灌木林地	1	1	0.0000	21.7985	23.0375	0.0568
乔木林地	9	3	-0.6667	2.1993	1.8254	-0.1700
自然裸地	7	13	0.8571	32.5067	27.6569	-0.1492
农耕地	8	7	-0.1250	0.2656	0.6863	1.5840
人工设施	31	29	-0.0645	22.0151	23.4747	0.0663
合计	632	415	-0.3434	1494.5234	1494.5288	0.0000

与 2015 年对比, 湖泊水面、沉水植被、挺水植被、乔木林地、农耕地、人工设施的斑块数量减少, 湖滨草地、自然裸地斑块数量增加, 浮水植被和灌木林地的斑块数量没有变化。湖泊水面、浮水植被、挺水植被、乔木林地、自然裸地的斑块面积减少, 沉水植被、湖滨草地、灌木林地、农耕地和人工设施的斑块面积增加。

计算 10 个景观类型的斑块密度(PD)、平均斑块分维数(FRAC_MN)、分离度指数(SPLIT), 如表 3。

Table 3. Statistics of PD, FRAC_MN and SPLIT of each landscape types in Shahu in 2015 and 2020
表 3. 沙湖湿地 2015、2020 年各景观类型的斑块密度、平均斑块分维数、分离度指数统计

类型	2015 年 PD	2020 年 PD	2015 年 FRAC_MN	2020 年 FRAC_MN	2015 年 SPLIT	2020 年 SPLIT
湖泊水面	1.6728	1.2713	1.1621	1.1038	1.8489	2.0634
沉水植被	6.4235	3.747	1.1511	1.1512	15417.9279	10095.7791
浮水植被	0.1338	0.1338	1.2631	1.2668	107736.0264	157272.2459
挺水植被	29.8423	18.1328	1.1342	1.1262	1167.0106	733.0582
湖滨草地	0.4684	0.9368	1.1752	1.1516	3354.2973	1766.4864
灌木林地	0.0669	0.0669	1.1025	1.1034	4700.6014	4208.6143
乔木林地	0.6022	0.2007	1.4976	1.3296	1125536.553	1513650.807
自然裸地	0.4684	0.8698	1.3385	1.1933	3417.6155	18135.725
农耕地	0.5353	0.4684	1.4751	1.434	94315430.71	10793227.85
人工设施	2.0742	1.9404	1.3579	1.4039	27022.449	22328.2247

与 2015 年对比, 湖泊水面、沉水植被、挺水植被、乔木林地、农耕地、人工设施的斑块密度减少, 湖滨草地、自然裸地的斑块密度增加, 浮水植被和灌木林地的斑块密度没有变化。湖泊水面、挺水植被、湖滨草地、乔木林地、农耕地的平均斑块分维数下降, 浮水植被、自然裸地、人工设施的平均斑块分维数增加。沉水植被、挺水植被、湖滨草地、灌木林地、农耕地、人工设施的分离度指数下降, 湖泊水面、浮水植被、乔木林地、自然裸地的分离度指数上升。

分别计算沙湖湿地景观的斑块密度(PD)、平均斑块分维数(FRAC_MN)、分离度指数(SPLIT)、景观多样性指数(SHDI)、景观均度指数(SHEI)、景观优势度指数(D), 如表 4。

Table 4. Indice list of PD, FRAC_MN, SPLIT, SHDI, SHEI, D of Shahu in 2015 and 2020
表 4. 2015、2020 年沙湖景观斑块密度、分维数、分离度、多样性、均匀度、优势度指数一览

	PD	FRAC_MN	SPLIT	SHDI	SHEI	D
2015 年	42.2877	1.1614	1.8428	0.9852	0.4279	0.5721
2020 年	27.7680	1.1582	2.0533	1.0434	0.4531	0.5469

3.2. 沙湖湿地的景观格局变化特征

与 2015 年相比, 沙湖湿地的优势斑块没有发生变化, 依然是湖泊水面, 面积占比分别为 73.88% 和 71.82%, 保证了湖泊湿地基本特征。从景观层面上, PD 减少了 34.34%, 即单位面积上斑块数量减少了 1/3 强, 表明生态修复后景观破碎化程度降低; 景观层面上 FRAC_MN 减少了 0.27%, 类型层面上人工设施的 FRAC_MN 中的增加了 3.39%, 反映了生态修复后人类活动略有减少, 这与人工设施斑块数量减少契合, 沙湖作为自然保护区在绿盾行动中拆除了一些人工设施, 同时增加了道路、桥梁的设施, 导致面积增加。SPLIT 增加了 11.42%, 表明景观类型之间分离程度有所增加, 主要由于挺水植被斑块数量减少所致; SHDI 指数增加了 5.91%, SHEI 指数增加了 5.89%, 优势度指数降低了 4.41%, 表明沙湖景观类型的多样性和匀质性有所增加, 优势度下降, 主要是由于生态修复后湖滨草地增加了 70.92%, 灌木林地增加了 5.68%, 自然裸地降低了 14.92%, 作为优势景观的湖泊水面略有降低。

4. 讨论

通过对比发现, 2015 年, 2020 年沙湖景观的各项指数都发生了较大变化, 斑块密度降低, 说明景观破碎化程度降低; 平均斑块分维数升高, 分维数一般在 1~2 之间, 指标越接近 2 表示人类活动干扰强度越低; 分离度升高, 分离度越高表明景观破碎化越严重, 对湖泊湿地健康呈逆向作用; 多样性指数升高, 多样性指数越高, 说明该区域各种景观要素面积比接近, 景观异质性较高[23], 对于湖泊湿地健康呈正向作用; 沙湖的优势景观依然是湖泊水面, 优势景观为湖泊水面则可表征湖泊特征, 可为正向指标, 若不是湖泊水面则应为逆向指标[24]。

湿地景观多样性变化是自然因素和人为因素共同作用的结果, 自然因素是在较大的时空尺度上作用于景观格局, 引起大面积的景观发生变化。人为因素则是景观格局变化的直接驱动力[6]。沙湖是封闭型湖泊, 常年无自然生态基流补水, 无输出水道; 由于蒸发量大, 每年都需要通过从黄河人工补水维持水位, 多年沉积, 湖泊地势升高, 影响了湿地植被的生长, 从而影响了湿地景观多样性。人为因素主要是 2017 年以后, 对中央环保督查指出的沙湖自然保护区内的主要人类活动点位进行了整治清理; 2018 年以后, 国家出台了《湿地保护修复制度方案》, 制定了河湖长制, 实施了黄河河道“清四乱”措施。影响了沙湖湿地的景观多样性。

景观多样性变化研究时间尺度不同结果不同,如东平湖湿地和鄱阳湖环湖区湿地近30年来景观格局的动态变化特征,由于土地利用不同带来的景观多样性变化非常显著,本文仅对近5年来沙湖景观格局的变化进行研究,研究的时间尺度显然很小[6] [8]。与鄱阳湖景观格局变化研究对比[5],沙湖位于西北干旱半干旱区,属于温带大陆性气候,是城市内陆湖泊,易受城市活动的干扰;沙湖面积小,也易对其进行生态修复。

5. 结论

本文从景观格局的角度出发,主要研究沙湖湿地景观尺度、景观特征、景观格局变化这3项内容,分析比较了2015年,2020年沙湖湿地景观多样性变化。2015,2020年沙湖湿地总体面积没有发生较大变化,边界和面积基本保持完整,水面和水量基本保持稳定,区域内植物变化较为明显,自然裸地面积减少,农耕地、人工设施面积减少。2015,2020年沙湖湿地景观破碎化程度降低,景观类型之间分离程度增加,景观类型的多样性和均质性有所增加,优势度下降。通过实施多项综合治理修复措施,短时间影响了沙湖湿地的景观多样性。

参考文献

- [1] Jung, H.-J. Pungryu: Transcendent Ways of Seeing Landscape[C]//第17届中日韩风景园林学术研讨会论文集:自然文化遗产与美好生活. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 122-131.
- [2] 王向荣. 自然与文化视野下的中国国土景观多样性[J]. 中国园林, 2016, 32(9): 33-42.
- [3] 王梦琪. 基于景观特征评价的秦岭北麓长安区段景观认知研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021. <https://doi.org/10.27393/d.cnki.gxazu.2021.000719>
- [4] 傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其生态意义[J]. 地理学报, 1996, 51(5): 454-462.
- [5] 谭志强, 许秀丽, 李云良, 张奇. 长江中游大型通江湖泊湿地景观格局演变特征[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10): 1619-1629.
- [6] 朱红豆, 刘晓, 于泉洲, 张亚茹, 柴丽杰. 近30年东平湖湿地景观格局演变研究[J]. 山东国土资源, 2019, 35(6): 44-49.
- [7] 郭玉静, 王妍, 刘云根, 郑毅, 张超, 侯磊. 普者黑岩溶湖泊湿地湖滨带景观格局演变对水质的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(5): 1711-1721.
- [8] 温玉玲, 李红波, 张小林, 王晓龙, 黄琪, 蔡永久. 近30年来鄱阳湖环湖区土地利用与景观格局变化研究[J/OL]. 环境科学学报, 2022: 1-10. <https://doi.org/10.13671/j.hjkxxb.2021.0537>. 2022-03-23.
- [9] 朱颖, 王杉, 冯育青. 近30年太湖流域湿地生态系统服务价值对景观格局变化的响应: 基于“退田还湖”工程的实施[J]. 中国园林, 2022, 38(1): 88-93. <https://doi.org/10.19775/j.cla.2022.01.0088>
- [10] 马国强, 肖剑平, 吴鸿章, 李俊冬, 汪靖山, 李旭. 云南异龙湖景观格局时空变化及驱动因素研究[J]. 西部林业科学, 2022, 51(1): 9-15+28. <https://doi.org/10.16473/j.cnki.xblykx1972.2022.01.002>
- [11] 郭攀, 邱云峰. 利用卫星遥感技术开展中国西北地区湖泊湿地变化研究[J]. 科技信息(学术研究), 2008(29): 637-638.
- [12] 木希叶乐. 内蒙古达里诺尔自然保护区湿地时空变化及驱动因素分析[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2021. <https://doi.org/10.27230/d.cnki.gnmsu.2021.000671>
- [13] 白林波, 石云. 基于3S的湿地景观格局动态变化研究——以银川平原为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(6): 29-32.
- [14] 翟昊, 刘曼红, 明霄阳, 刘笳旻, 商琳友, 徐磊, 于洪贤. 宁夏沙湖生态修复前后浮游植物群落结构变化与水质评价[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(8): 84-89. <https://doi.org/10.13759/j.cnki.dlx.2021.08.016>
- [15] 丁圣彦, 梁国付. 近20年来河南沿黄湿地景观格局演化[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 653-661.
- [16] 张保华, 王雷, 白振华, 潘庆龙, 庆新, 肖燕. 基于景观格局指数的基本农田保护区集中连片性研究——以济南市历城区为例[J]. 山东国土资源, 2014, 30(2): 80-82.
- [17] 徐潇. 太阳岛风景区景观生态健康评价及优化策略研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.

<https://doi.org/10.27009/d.cnki.gdblu.2019.000679>

- [18] 岳文泽. 基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [19] 魏伟, 石培基, 雷莉, 周俊菊, 颜斌斌. 基于景观结构和空间统计方法的绿洲区生态风险分析——以石羊河武威、民勤绿洲为例[J]. 自然资源学报, 2014, 29(12): 2023-2035.
- [20] 陈书芳. 基于生态旅游的梅山地区景观格局与规划设计研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2018.
- [21] 张海博. 听水河流域景观格局与水土流失的关联分析及优化配置[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2020. <https://doi.org/10.26949/d.cnki.gblyu.2020.000042>
- [22] 王洪成. 亚布力国家森林公园森林景观格局分析及生态评价[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [23] 张月, 张飞, 王娟, 任岩, Abduwasit, G., Kung, H.-T., 陈芸. 近 40 年艾比湖湿地自然保护区生态干扰度时空动态及景观格局变化[J]. 生态学报, 2017, 37(21): 7082-7097.
- [24] 恭映璧. 长沙城市湿地景观格局时空演变与驱动机制研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.