

济南黄河流域湿地景观空间格局变化研究

魏媛媛

山东建筑大学建筑城规学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年11月6日; 录用日期: 2024年12月12日; 发布日期: 2024年12月19日

摘要

本文运用景观生态学的原理与方法, 在RS和GIS技术支持下, 对济南黄河流域湿地景观的空间格局进行研究, 并对其变化影响因素进行了分析。结果表明: (1) 湿地面积在2015~2021年期间总体呈增长趋势, 主要由林地转化, 2015~2019年湿地面积增加147.46 km², 2019~2021年湿地面积增加232.46 km²。景观类型的分布以沿黄区域种类偏多, 湿地景观沿河流分布。(2) 湿地景观破碎度较高、连通性不强, 斑块数量有所增加, 但总体上变化不大。(3) 景观格局变化主要受人为驱动影响, 其中政策对研究区域有强制性作用。

关键词

黄河流域, 湿地, 景观格局, 优化策略

Change of Wetland Landscape Spatial Pattern in Jinan Yellow River Basin

Yuanyuan Wei

School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Nov. 6th, 2024; accepted: Dec. 12th, 2024; published: Dec. 19th, 2024

Abstract

This paper applies the principles and methods of landscape ecology to study the spatial pattern of wetland landscape in the Yellow River Basin of Jinan with the technical support of RS and GIS, and analyzes the factors affecting its changes. The results showed as follows: (1) The wetland area showed an overall growth trend during 2015~2021, mainly transforming from forest land. The wetland area increased by 147.46 km² during 2015~2019 and 232.46 km² during 2019~2021. The distribution of landscape types is more along the yellow area, and the wetland landscape is distributed along the river. (2) Wetland landscape fragmentation is high, connectivity is not strong, and the

number of patches has increased, but the overall change is little. (3) The change of landscape pattern is mainly driven by human, and the policy has a mandatory effect on the study area.

Keywords

Yellow River Basin, Wetlands, Landscape Pattern, Optimization Strategy

Copyright © 2024 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

湿地被定义为水陆生态系统交错延展的地区，其特征包括陆地终年或季节性积水以及湿润土地，并且包括着多种生物群落构成的独特生态系统。一般而言，湿地泛指长期或暂时被水体覆盖，水深不超过 2 米的低洼地区，土壤含水量丰富的草甸以及低潮时水深不超过 6 米的沿海地带[1]。湿地具有许多重要功能，如保持水土、改善水质、调节径流、调节局部气候以及保护生物多样性，为人类提供了不可或缺的生活和生产资源。在各类湿地中，河流湿地作为人类生产和生活的主要水源地，在流域生态安全 and 经济社会发展中扮演着关键的支撑角色。黄河流域自古以来一直是我国重要的生态屏障和经济带[2]。

然而，近几十年来，随着城市化和工业化的迅猛发展以及人口的增长，黄河流域的湿地经历了过度开发和破坏，导致大量湿地退化和景观结构的破碎化。这种状况使得湿地生态系统内部的生物化学过程发生了变化，进而对其生态系统服务功能和价值产生了重要影响[3]。在 2022 年《湿地公约》第十四届缔约方大会上，我国提出了推进湿地保护进程、增进湿地对民生福祉的贡献的目标[4]。对于黄河流域湿地保护与科学恢复是亟待解决的难题。

景观空间格局涵盖了景观成分在空间中的形态、组合和排列，强调了空间异质性、生态过程以及尺度之间的相互关系[5]。将景观空间格局理论运用到湿地研究中，对于理解湿地格局的演变及其趋势具有重要意义。研究湿地景观格局的方法包括定性描述法、景观生态叠置法和景观格局数量分析法，其中，景观格局数量分析法包括景观指数与景观动态模型，被广泛应用[6]。随着“3S”技术的发展，遥感技术获取地表信息，并利用地理信息系统(GIS)进行空间分析已成为主流。目前，运用地理空间技术和景观格局指数分析研究区域景观结构及其时空变化规律已成为国内外学者研究湿地景观格局的主要方法[7]。

本研究旨在深入探讨济南黄河流域湿地景观空间格局的变化特征及其驱动机制，为科学理解该地区湿地生态系统的演变过程提供理论支撑和实践指导[8]。具体而言，本研究将通过对历史时期遥感影像数据的获取和遥感解译技术的应用，分析不同时间尺度下济南地区湿地景观的空间格局及其变化情况；同时，结合地理信息系统(GIS)和景观格局指数(LPI、PD、SHDI 等)等分析方法，探讨不同影响因素对湿地景观空间格局演变的影响程度和机制。通过对济南黄河流域湿地景观空间格局变化的深入研究，我们旨在为该地区湿地生态系统的可持续管理与保护提供科学依据，为湿地保护与修复提供可行性建议，进而促进该地区生态环境质量的提升，实现经济社会可持续发展与生态文明建设的良性互动[9] [10]。

2. 研究区域、数据来源和研究方法

2.1. 研究区域概况

济南黄河流域湿地是位于中国山东省济南市的一个重要湿地生态系统。主要裁取了黄河流域流经济

南段的范围,它位于黄河下游,包括济南市境内的多个湖泊、河流和沼泽地区,地理位置 $116^{\circ}11' \sim 117^{\circ}58'E$ 、 $35^{\circ}59' \sim 37^{\circ}8'N$ (图 1), 总面积约为 5466.15 公顷。这片湿地被广泛认为是黄河流域最重要的湿地之一,也是中国北方最大的城市湿地。它以其丰富的自然景观和独特的生物多样性而闻名[11]。

济南黄河流域属于暖温带季风气候,四季分明。夏季炎热潮湿,冬季寒冷干燥。该地区的年降水量一般在 600 毫米至 800 毫米之间,以夏季为主要降水期。夏季气温较高,降水较多,而冬季则相对较少。年平均气温大约在 $12^{\circ}C$ 至 $14^{\circ}C$ 之间。夏季气温较高,平均在 $25^{\circ}C$ 至 $28^{\circ}C$ 左右,最高温度可达 $30^{\circ}C$ 以上;冬季气温较低,平均在 $0^{\circ}C$ 至 $3^{\circ}C$ 左右,最低温度可能在零下几度到零下十几度之间。地势相对平坦,海拔较低。整个地区属于黄土高原的一部分,地势起伏不大。但由于河流的侵蚀和沉积作用,形成了一些河谷和丘陵地貌。被众多河流和湖泊所贯穿。除了黄河还有许多支流如济水、千佛河、曲阜河等。在流域中还有大明湖、小明湖等湖泊,它们是当地最著名的湿地景点。

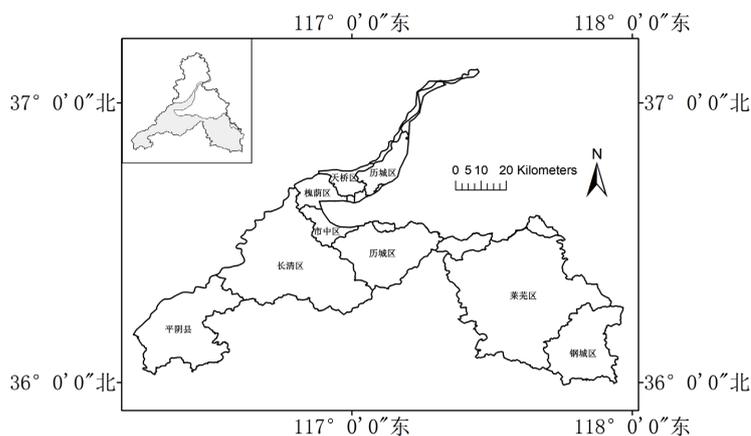


Figure 1. Geographic location of the Jinan section of the Yellow River Basin
图 1. 黄河流域济南段地理位置

2.2. 数据来源及处理

2.2.1. 数据源选择

本研究筛选使用 Landsat 系列影像数据,主要数据源为 2015、2019、2021 年 Landsat 8 OLI 遥感影像 (表 1), 这些影像的分辨率都为 30 m, 都来源于地理空间数据云平台 <http://www.gscloud.cn/>。在进行信息提取时,应选择云量尽可能少、同时又能满足研究要求的遥感影像。不同时间相的遥感数据具有较强的信息针对性,因此选择满足信息提取需求的时相是分类研究的关键之一。

Table 1. Landsat data sources

表 1. Landsat 数据源

年份	影像日期	传感器	行列号	分辨率/m
2015	2015-4-25	OLI	P122R35	30
2019	2019-5-22	OLI	P122R35	30
2021	2021-01-19	OLI	P122R35	30

2.2.2. 图像预处理

遥感图像受多因素影响,如卫星速度变化、大气和地物对电磁波的相互作用,以及随机噪声等,导

致其真实亮度值无法全面反映地物对电磁波辐射能量的实际情况。遥感学作为一门学科，旨在通过处理和分析图像的亮度值来反映地物的电磁波辐射程度，以实现地物识别等目的。因此，在进行地物识别和演变研究之前，必须先对图像进行预处理，以消除上述因素引起的干扰[12]。预处理工作包括大气校正、图像裁剪和波段组合等步骤。这些步骤的实施有助于提高遥感图像的质量，使其更适用于科学研究和应用领域。

经过 ENVI 软件处理流程，对表 1 中的 Landsat 图像进行了几何校正、辐射定标、大气校正、裁剪等处理，保留了所有波段，并将坐标轴设置为 WGS_1984 UTM_zone_51N。在处理过程中，采用了相对几何校正方法，并根据传感器参数进行了辐射定标。大气校正阶段使用了 FLAASH 模块进行处理。

2.3. 研究方法

2.3.1. 景观类型划分

景观分类是在《国家资源与环境遥感宏观调查与动态研究》土地分类系统的基础上，参考了对黄河湿地的相关研究成果，并结合了影像数据的特征。最终，将研究区划分为林地、湖泊、滩涂、人工表面、耕地和河流这六大类景观[13]。湿地景观主要包括湖泊、滩涂和河流等湿润环境类型，而非湿地景观则包括林地、人工表面和耕地等非湿润环境类型。

2.3.2. 景观指数选取

景观格局分析通常采用景观指数的方法。景观格局指数不仅具备定量描述景观结构构成的能力，同时也能够反映景观的空间配置特征。这些指标不仅可以有效反映景观格局的特征和演变，而且它们的变化还能够体现景观格局与过程在不同时间维度下的内在关系[14]。

在本研究中，我们使用 FragStats 4.2 进行景观格局指数的计算。4 个斑块类型水平指数包括最大斑块指数(LPI)、平均斑块面积(MPS)、斑块密度(PD)和聚集度指数(AI)；4 个景观水平指数包括斑块类型面积 CA、斑块数量(NP)、蔓延度指数(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)。有关各指数的具体含义和计算方法，请参阅邬建国等人的参考文献[15]。

3. 结果与分析

3.1. 济南黄河流域湿地景观时空变化分析

3.1.1. 时间变化分析

研究表明，研究区的湿地面积(包括湖泊、滩涂和河流)占据了总研究区域的 10.72%至 17.78%之间，且自 2015 年以来湿地面积呈逐渐增加的趋势。林地一直是该区域的主要景观类型，其面积占据了研究区总面积的 50%以上，2015 年时已达到 2629.97 km²。其次是耕地，截至 2021 年，耕地面积占据最大，达到 1925.78 km²。在其后的排列中，依次为人工表面建设用地、滩涂、河流、湖泊。尽管湿地在整个研究区域中存在，但其面积占比相对较小。

湿地景观类型中，湖泊面积呈现上升趋势，2015~2021 年前后增加了 144.02 km²，在 2021 年达到峰值 212.65 km²；滩涂面积也在 2015~2021 年间呈现上升的趋势，前后相差 281.54 km²，变化幅度最大；河流面积在 2019 年达到峰值，之后河流面积逐渐下降，共缩小了 45.64 km²，总体呈现“增加-减少”的趋势。研究发现，济南的地形、水文条件、气候等因素会影响湿地的形成和维持，限制了湿地的扩展。在非湿地景观类型中，林地面积总体不断减少，2015~2021 共减少了 824.67 km²，2019 年处于波谷，随着对于退耕还林力度的加大，林地面积开始增加，总体呈“减少-增加”的趋势；人工表面建设用地面积呈不断减少的趋势，前后共减少了 615.69 km²；而耕地面积波动最大，总体呈上升趋势，共增加了 1066.82 km²。两两时期之间的湖泊、滩涂、耕地的面积动态都为正值(见表 2)。

Table 2. Area of landscape types and motivational attitudes in the study area, 2015~2021
表 2. 2015~2021 年研究区景观类型面积及动态度

土地利用类型	面积/km ²			动态度/%	
	2015 年	2019 年	2021 年	2015 年与 2019 年间	2019 年与 2021 年间
林地	2629.97	1206.53	1805.30	-0.11	0.17
湖泊	68.63	72.30	212.65	0.01	0.65
滩涂	274.92	386.99	556.46	0.08	0.15
人工表面	1317.01	1697.71	701.32	0.06	-0.20
耕地	858.96	1759.21	1925.78	0.21	0.03
河流	233.77	265.47	188.13	0.03	-0.10

3.1.2. 空间变化分析

从景观类型分布图看，沿黄河区域景观种类较多，人类大都择水而居，滨水生态环境与人类文明发展密不可分，沿黄生态带聚集了各种景观类型[16]。中部主要为鲁中南山地丘陵生态屏障，景观类型主要是林地，种类较少，其中也分布有少量滩涂和河流，林地在前半期大幅度减少，后来随着人类保护生态环境的意识逐渐增强，于后半期林地面积逐渐扩大并呈上升趋势。大汶河上游分布在莱芜区一带，加之西部山区的围绕，形成山环水绕的格局，为此处带来了优美的自然景观，吸引人类居住，景观用地类型逐渐丰富。湖泊和滩涂主要分布在山间间隙处，主要来源于山间汇水。研究区主要分布着黄河、大汶河、瀛汶河及玉符河等河流，河流面积先增加后又逐渐减少。耕地面积主要分布在沿黄地带和莱芜区域，前期大幅度增加后缓慢增加(图 2)。

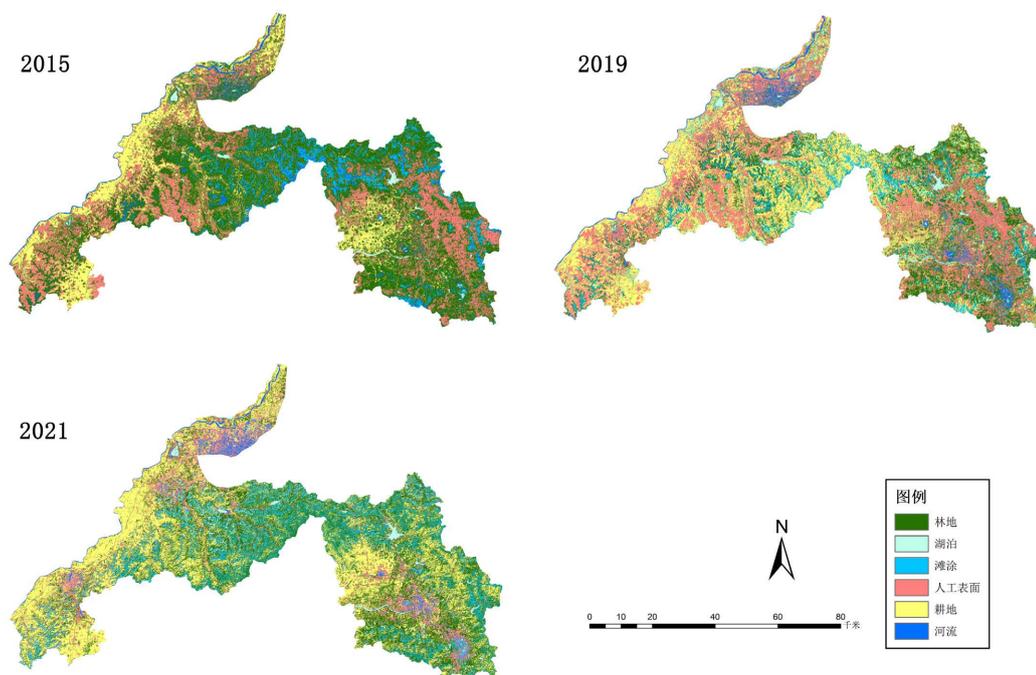


Figure 2. Distribution of landscape types in the Jinan section of the Yellow River Basin, 2015, 2019 and 2021
图 2. 2015 年、2019 年、2021 年黄河流域济南段景观类型分布图

利用 ArcGis10.7 软件,通过转移矩阵得到研究区 2015~2021 年土地利用转移矩阵(表 3)[17]。由表中可知:2015~2019 年间研究区湿地景观类型的增长面积主要是由林地转化而来,其中,林地向河流、湖泊、滩涂的转化面积分别为 134.49 km²、7.55 km²、128.49 km²,主要贡献率最高。而湿地景观的缩减面积也主要转化为了林地,其中,河流向林地转化了 39.55 km²,滩涂向林地转化了 70.68 km²。这说明湿地景观与林地的转换较为密切。湿地景观内部也有一定的转变,主要为河流向滩涂转化了 103.27 km²。除此之外,林地转为人工表面的面积为 526.15 km²。2019~2021 年间研究区域的湿地景观面积增长主要来自于耕地和林地。耕地向河流、湖泊、滩涂的转化面积分别为 13.32 km²、44.24 km²、176.95 km²,林地向河流、湖泊、滩涂的转化面积分别为 34.79 km²、41.72 km²、184.98 km²。湿地景观内部亦由一定的相互转变。另外,耕地的扩张主要来自人工表面建设用地,面积达 1013.36 km²,主要贡献度占耕地总面积的一半以上。林地的主要贡献者为耕地和人工表面,耕地向林地转化 693.59 km²,人工表面向林地转化 372.18 km²。其他类型偏少。

总的来说,2015~2021 年间林地的贡献度最高,达到 1523.06 km²,林地向耕地、河流、湖泊、人工表面、滩涂的转化面积分别为 520.68 km²、86.72 km²、94.46 km²、445.65 km²、375.55 km²,主要贡献率最高。湿地景观类型的增长面积主要来自于林地。

Table 3. Area transfer matrix for landscape types in the study area, 2015~2021 (km²)

表 3. 2015~2021 年研究区景观类型面积转移矩阵(km²)

时间	景观类型	耕地	河流	湖泊	林地	人工表面	滩涂
2015~2019 年	耕地	569.05	3.96	1.57	79.71	160.08	44.63
	河流	5.13	70.41	4.23	39.55	11.53	103.27
	湖泊	0.86	6.94	53.22	5.06	1.75	0.75
	林地	920.19	134.49	7.55	913.27	526.15	128.49
	人工表面	194.29	20.94	5.15	97.51	995.56	3.61
	滩涂	68.16	28.23	0.46	70.68	1.58	105.89
2019~2021 年	耕地	678.25	13.32	44.24	693.59	152.48	176.95
	河流	10.45	80.99	19.75	20.80	84.15	49.12
	湖泊	1.36	18.15	48.92	0.63	2.86	0.38
	林地	192.39	34.79	41.72	570.83	181.47	184.98
	人工表面	1013.36	37.92	4.31	372.18	263.12	6.57
	滩涂	28.70	2.69	53.53	146.71	16.94	138.20
2015~2021 年	耕地	565.54	4.84	2.19	206.38	70.47	9.58
	河流	7.55	50.78	30.93	73.73	25.40	45.63
	湖泊	1.75	18.39	42.08	1.13	4.52	0.77
	林地	520.68	86.72	94.46	1107.07	445.65	375.55
	人工表面	822.92	24.50	6.89	304.36	151.74	6.63
	滩涂	4.23	2.29	35.83	111.63	2.99	118.03

3.2. 景观格局变化特征分析

3.2.1. 斑块类型水平指数的景观格局演变

最大斑块指数的生态学意义是在景观范围内占优势的斑块，其指数值对确定景观中的优势斑块有一定帮助[18]。由表 4 可知，湿地景观类型的整体优势度较低，2015~2019 年河流的 LPI 呈上升的趋势，达到峰值 0.27%，但 2019~2021 年间 LPI 持续下降达到 0.10%；湖泊的 LPI 总体呈极缓慢上升的趋势，变化幅度不大，整体不占优势。经推断，这段时期由于城市的开发与扩张，导致湿地景观不断退化，人工建设用地面积不断增加。此外，林地景观的 LPI 在 2015 年达到峰值 9.58%，但之后逐渐下降，2019 年达到最低值 0.52%，虽然之后逐步上升，但对比 2015 年的 LPI 数值，林地的整体优势度明显下降。

Table 4. Maximum patch index for landscape types in the study area, 2015~2021

表 4. 2015~2021 年研究区景观类型最大斑块指数

年份	2015	2019	2021
景观类型	最大斑块指数/% (LPI)	最大斑块指数/% (LPI)	最大斑块指数/% (LPI)
林地	9.58	0.52	2.68
湖泊	0.05	0.06	0.06
滩涂	0.03	0.03	0.03
人工表面	0.67	0.83	0.63
耕地	0.93	2.01	1.63
河流	0.09	0.27	0.10

平均斑块面积(MPS)表征了景观的破碎化程度和景观的异质性。湖泊的 MPS 呈先上升后下降的趋势，整体景观破碎度增加；滩涂景观的 MPS 变化幅度不大，且处于较低水平，分布零散；河流景观的 MPS 总体呈下降趋势，2019 年达到最低值，之后可以看出上升趋势，说明此阶段景观破碎度不断减小。林地的平均斑块面积总体在不断缩小，林地景观破碎化程度呈上升趋势。耕地的 MPS 不断扩张，景观斑块完整，破碎度降低(表 5)。

Table 5. Average patch size of landscape types in the study area, 2015~2021

表 5. 2015~2021 年研究区景观类型平均斑块面积

年份	2015	2019	2021
景观类型	平均斑块面积/hm ² (MPS)	平均斑块面积/hm ² (MPS)	平均斑块面积/hm ² (MPS)
林地	6.05	1.46	2.68
湖泊	1.80	2.15	0.92
滩涂	1.37	1.09	1.66
人工表面	2.85	4.17	0.93
耕地	2.62	3.31	4.08
河流	1.02	0.71	0.83

斑块密度(PD)体现斑块类型级别上的破碎度,景观级别的异质性和破碎度以及单位面积的异质性[19]。湖泊、滩涂、人工表面的PD总体呈上升的趋势,表明该3种斑块类型继续受人为干扰严重,并向着景观破碎化程度加重的趋势发展。景观的破碎化程度与生态系统资源的保护息息相关,直接影响到湿地的生态功能。林地、耕地、河流的PD先升高后降低,先由于自然发展,景观破碎度增加,随着人类干预增强,单一湿地景观斑块内部开始聚集,单一湿地景观斑块内部景观破碎度开始逐渐降低(表6)。

Table 6. Density of landscape type patches in the study area, 2015~2021

表 6. 2015~2021 年研究区景观类型斑块密度

年份	2015	2019	2021
景观类型	斑块密度/(块/100hm ²)	斑块密度/(块/100hm ²)	斑块密度/(块/100hm ²)
	(PD)	(PD)	(PD)
林地	2.23	4.33	3.48
湖泊	0.20	0.18	1.22
滩涂	1.07	1.87	1.75
人工表面	2.41	2.10	3.93
耕地	1.71	2.75	2.45
河流	1.22	1.99	1.19

聚集度指数(AI)表征不同斑块的汇集程度与扩展趋势,聚集度指数越大,景观连通度越高[20]。滩涂的聚集度指数不断下降,说明景观连通度不断降低。湖泊、人工表面的聚集度指数呈现先升高后降低的趋势,整体变化较大,延展性降低,景观破碎。林地、耕地、河流的AI先降低后上升,表明景观连通性有逐渐提高的趋势。湿地景观类型中以湖泊的聚集程度最高,景观更加连通(表7)。

Table 7. Landscape type aggregation index for the study area, 2015~2021

表 7. 2015~2021 年研究区景观类型聚集度指数

年份	2015	2019	2021
景观类型	聚集度指数/%	聚集度指数/%	聚集度指数/%
	(AI)	(AI)	(AI)
林地	80.89	64.41	68.22
湖泊	80.74	82.70	65.10
滩涂	64.78	63.70	60.48
人工表面	78.13	79.86	58.22
耕地	82.10	78.48	81.07
河流	66.62	56.32	58.42

3.2.2. 景观水平指数的景观格局演变

湖泊的斑块类型面积不断增高,2019~2021年增幅最大,2021年达到峰值21647.43 hm²。滩涂的CA也呈现缓慢增高的趋势。林地的斑块类型面积在2015~2019年降低、2019~2021年升高,推断前期因为

人工建设用地的面积不断增大,但随着人们对于生态保护的重视,林地的面积不断增加。人工表面的 CA 不断下降。耕地的 CA 不断上升。河流的斑块类型面积呈现先上升后下降的趋势。据表格推断滩涂和耕地增加的面积可能大部分来自于人工表面建设用地(表 8)。

Table 8. Study area landscape type patch type area, 2015~2021

表 8. 2015~2021 年研究区景观类型斑块类型面积

年份	2015	2019	2021
景观类型	斑块类型面积/hm ²	斑块类型面积/hm ²	斑块类型面积/hm ²
	(CA)	(CA)	(CA)
林地	260389.71	121246.92	179880.84
湖泊	6913.44	7242.93	21647.43
滩涂	28205.28	39233.52	55655.64
人工表面	132542.19	168854.4	70649.37
耕地	86536.53	175150.71	192063.15
河流	23989.77	27139.05	19109.52

如表 9 所示,湖泊、人工表面 NP 随时间增长呈现先减少后增多的趋势;林地、滩涂、耕地河流 NP 随时间增长呈现先增加后减少的趋势。结合 CA 的变化趋势,林地 CA 的先减少后增多趋势与 NP 的先增多后减少趋势呈负相关,表明该斑块类型在景观格局上大幅集中。总体上,各单个湿地斑块类型在景观格局上的景观破碎度降低,呈现趋于集中的趋势。

Table 9. Number of landscape type patches in the study area, 2015~2021

表 9. 2015~2021 年研究区景观类型斑块数量

年份	2015	2019	2021
景观类型	斑块数量/块	斑块数量/块	斑块数量/块
	(NP)	(NP)	(NP)
林地	43,058	83,306	67,076
湖泊	3837	3371	23,552
滩涂	20,581	35,926	33,605
人工表面	46,578	40,460	75,672
耕地	33,071	52,862	47,093
河流	23,617	38,308	22,910

景观中的蔓延与破碎程度关系着生态功能的变化,其连接性的大小影响着生态过程中物质和能量的流通转换,对生态过程产生着重要影响[21]。本研究采用景观的蔓延度指数(CONTAG)衡量该特征。CONTAG 描述了景观中不同斑块类型在空间分布上的集聚趋势。当蔓延度值较高时,景观中某种优势景观类型在景观中的占比较大,并形成了良好的连接;反之,景观的破碎化程度较高。2015 年、2019 年和 2021 年 CONTAG 的数值分别为 70.056、67.8806 和 67.4111 (表 10)。可见,在 2015 年至 2021 年期间,

景观的连通性有所降低，各个斑块趋于分散。这表明在这段时间内，各湿地类型斑块受到了较大幅度的人为干扰。

Table 10. Landscape type spread index and Shannon diversity index for the study area, 2015~2021

表 10. 2015~2021 年研究区景观类型聚集度指数

指标类型	2015	2019	2021
蔓延度指数/% (CONTAG)	70.056	67.8806	67.4111
香农多样性指数(SHDI)	0.9657	1.0025	1.0078

在本研究中，采用香农均匀度指数(SHEI)来描述景观的优势度。当该数值较小时，表示景观由多个比例大致相等的类型组成，反之则表示景观受到少数几个类型的支配[22]。2015年、2019年和2021年的SHEI分别为0.9657、1.0025、1.0078。该数值变化较为平缓，表明景观受单一景观类型支配的程度相对较高。在2021年，SHEI达到最大值，表明在这一年附近景观类型最为丰富，随后逐渐下降。

综合上述两参数在2015年至2021年期间的变化规律，可见研究区域内的景观结构较为单一，景观异质性较低，且单一景观优势度较高。该过程表明由于人为规划进行干扰，致使单一优势景观不断突出，景观复杂性不断降低，削弱了景观的异质性。

3.3. 研究区景观格局变化的影响因素

济南黄河流域湿地景观破碎化程度不断增加，湿地面积增幅不明显，影响因素包含以下内容。黄河来水量持续减少是一个严峻的环境问题，对黄河流域的湿地生态系统构成了严重威胁。作为中国的第二大河流，黄河在黄河流域的湿地中扮演着至关重要的生态功能和保护角色。然而，由于多种因素的综合影响，黄河来水量的减少可能引发湿地相关问题。湿地面积的不显著增加可能是由于来水量减少导致湿地的生态环境恶化和退化，加上湿地植被减少以及土地干旱化等多种因素共同作用的结果[23]。为了解决这一问题，中国政府和相关部門需要采取一系列有效的措施，包括加强水资源管理、推动生态保护和恢复工作、控制土地利用等方面的工作，以全面保护黄河流域的湿地生态系统，促进湿地面积的逐步恢复和保护。

政府政策在塑造景观格局变化方面发挥了强制性的作用。研究表明，研究区的自然驱动力对景观变化的影响相对较小，而经济因素并不能充分解释研究区湿地面积的变化。与此相反，政府政策在研究区湿地景观变化中扮演了显著的角色，特别是在湿地景观扩张方面。研究强调，山东省为了保护本地湿地景观，相继颁布了一系列相关政策，《山东省湿地保护工程实施规划(2016~2020)》《山东省湿地保护转型升级实施方案》和《山东省湿地保护办法》等[24]。

随着城市化进程的加快，人类活动对湿地的影响日益加深。《济南市城市总体规划(2011~2020年)》明确指出，自1999年以来，济南市人口增长速度明显加快，尤其是近几年来，随着经济社会的快速发展和人们生活水平的不断提高，济南市人口数量增长速度加快，特别是近几年来，随着全市经济社会持续快速发展和人民生活水平不断提高，全市人口数量增长速度加快，对湿地资源的需求越来越大。

城市的迅速扩张对土地资源需求量大增，然而，济南市的土地面积却有限，这导致了城市建设用地的不断扩展，进而影响到湿地面积。然而，湿地减少并非仅仅是满足土地需求的代价，更是自然生态系统的崩溃。湿地是生态平衡不可或缺的组成部分，它承载着丰富的生物多样性，调节着气候和水文循环。随着城市建设的不断推进，许多珍贵的湿地逐渐消失，这不仅威胁着各类濒危物种，也加剧了城市的环境问题。

4. 湿地景观格局优化策略

4.1. 生态优先策略

在济南的黄河流域湿地地区，应该设立相应的生态保护区，明确生态环境保护的范围和目标。同时，相关部门还要加强对生态保护区的管理和监督，严格限制生产、建设等活动对生态环境的影响。针对已经受到破坏的湿地，需要开展湿地的恢复和保护工作。包括湿地植被的恢复、水文条件的修复等，以恢复湿地的生态系统功能。加强对污染物的治理，控制各种污染源的排放；加强对湿地生态系统的监测和评估，及时发现和纠正生态破坏行为。

4.2. 系统规划策略

基于济南黄河流域湿地各区域生态承载力的不同以及场地拥有的各类景观资源，对其进行系统性的分区规划设计和管理工作，充分发挥系统性规划的整合力优势。首先，针对湿地生态系统的构建，应划分湿地重点保护区和湿地展示区，以保护和恢复原有的湿地景观为主要目标。其次，在确保湿地生态系统正常运行的前提下，进行生态旅游系统的规划设计。这涵盖了开发各类型的观赏和湿地景观体验活动，为周边城市居民提供生活娱乐空间的同时，重点打造湿地科普宣传教育景观。通过这些措施，旨在实现湿地保护和旅游开发的有机结合，促进可持续发展，提升区域生态和社会的整体品质。

4.3. 立体廊道策略

为了满足济南黄河流域湿地中生物繁殖和迁徙的需求，我们提出构建立体廊道系统，以尽量减少人类活动对湿地内生物正常生命活动的影响。构建立体廊道系统是一项非常具有前瞻性和创新性的生态保护举措，可以有效减少人类活动对湿地内生物正常生命活动的影响，促进生物的繁殖和迁徙[25]。立体廊道的设计应充分考虑自然地貌的影响，并根据地形起伏和湖泊水渠的具体情况合理设计空中走廊、鱼道和下穿隧道等结构。这样的设计能够灵活联系保护区内湿地斑块，使之形成完整的生态网格，从而加强各系统之间的连通性。

5. 结论与建议

在 2015 年至 2021 年期间，研究区的湿地面积呈现出上升的趋势，但总体增幅不显著。具体而言，湖泊和滩涂的面积波动上升，而人工建设用地的面积则呈现出“增加 - 减少”的趋势。尽管林地面积占据了研究区面积的一半左右，但却呈现出逐渐减少的趋势；湿地与林地之间的相互转换频繁，湿地景观间的转换幅度较小。研究区的景观类型分布在沿黄区域较为丰富，其中湿地景观主要分布在河流及其临岸地带。在景观类型中，湿地景观并不占据主导地位。湿地景观类型相对较为分散，而非湿地景观则呈现出较为完整的斑块分布。基于以上分析，针对湿地保护与耕地保护提出相关建议。

设立科学合理的湿地保护红线对于湿地保护和耕地有效管理至关重要[26]。首先，必须建立完备的湿地生态评价指标体系，这是实现湿地保护和耕地管理的前提。其次，需要明确定位和功能，将占比较高且连片集中的自然湿地区域划定为湿地核心保护区和缓冲区。在这些区域内，要坚决贯彻退耕还湿政策，严禁进行大规模开发利用，以确保湿地生态系统的稳定性和完整性。最后，在划定红线时应尽量使湿地斑块集中连片，提高斑块之间的连通性，从而为维护生物多样性提供必要的。

加强耕地水土流失治理，完善耕地占补平衡政策，并推进盐碱地等耕地后备资源的综合利用是农业可持续发展的关键。首先，应实施“三治”结合的治理策略，即联合处理坡耕地、侵蚀沟、和土壤风蚀等问题。其次，有必要进一步完善耕地占补平衡政策，以确保耕地资源的合理利用和长期稳定。最后，要加强农田基础设施建设，特别是完善灌溉系统，推进耕地整治项目，包括旱地的格田化和水田的条田化，

并加强耕地平整工作。同时, 还需推进补充耕地道路网络的建设, 以防止因缺乏种植条件而引发的荒废现象。这些措施将有助于提高耕地的生产力和可持续利用率, 促进农业的健康发展。

注 释

文中所有图片均为作者自绘。

参考文献

- [1] 孙姝博, 孙虎, 徐崑尧, 等. 运城黄河湿地景观空间格局变化及其驱动因素[J]. 水生态学杂志, 2021, 42(1): 17-25.
- [2] 赵政楠, 茹少峰. 黄河流域生态补偿的时空格局、区域差异及分布动态演进[J]. 环境科学, 2024, 45(10): 5853-5867.
- [3] 安欣欣, 狄俊明. 关于水生态文明建设的认识与思考[C]// 河海大学, 甘肃省水利学会. 2023 中国水资源高效利用与节水技术论坛论文集. 2023: 6.
- [4] 韩爽, 张华兵. 江苏盐城小微湿地高质量发展路径研究[J]. 盐城师范学院学报(人文社会科学版), 2024, 44(1): 28-35.
- [5] 贺雨晴. 国家级城市新区公园绿地景观格局研究[C]// 中国城市规划学会. 人民城市, 规划赋能——2022 中国城市规划年会论文集(08 城市生态规划). 2023: 16.
- [6] 程敏, 张丽云, 崔丽娟, 等. 滨海湿地生态系统服务及其价值评估研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7509-7518.
- [7] Lim, J., Kim, S., Kim, J. and Kim, S. (2024) Effects of 3S Business Intelligence Systems for Nursing Students: A Repeated-Measures Randomized Control Trial. *BMC Nursing*, **23**, Article No. 35. <https://doi.org/10.1186/s12912-023-01686-y>
- [8] 黄露滴. 基于 RS 和 GIS 的天府新区景观格局动态演变及预测分析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2018.
- [9] 于君宝, 王永丽, 董洪芳, 等. 基于景观格局的现代黄河三角洲滨海湿地土壤有机碳储量估算[J]. 湿地科学, 2013, 11(1): 1-6.
- [10] Wang, X., Xiao, X., Xu, X., Zou, Z., Chen, B., Qin, Y., *et al.* (2021) Rebound in China's Coastal Wetlands Following Conservation and Restoration. *Nature Sustainability*, **4**, 1076-1083. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00793-5>
- [11] 王怡冰, 李成亮, 张鹏, 等. 济南南部山区土地利用/覆被变化对碳储量的影响研究[J]. 中国环境科学, 2024, 44(7): 3986-3998.
- [12] 刘进前. 基于遥感的沿海湿地景观格局与生态系统服务价值时空变化研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2023.
- [13] 梁龙祺, 岳彩荣. 基于 GIS 的石家庄市土地利用变化分析及预测[J]. 林业调查规划, 2016, 41(1): 1-5+10.
- [14] 崔永峰, 赵培强. 连城国家级自然保护区景观格局动态变化分析[J]. 中国水土保持, 2020(5): 44-47.
- [15] 邬建国. 景观生态学——概念与理论[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42-52.
- [16] 刘敏, 任亚鹏, 王萍. 山西黄河文化: 内涵、符号与旅游开发——基于晋西沿黄旅游景区比较研究[J]. 晋中学院学报, 2018, 35(4): 39-43.
- [17] Fu, Y., *et al.* (2009) Analysis and Simulation Prediction on LUCC of Xining City Based on RS and GIS. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **25**, 211-218.
- [18] 刘淳, 刘明, 王克林, 等. 湘江流域中上游景观格局及其变化[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1822-1827.
- [19] 祁元, 王一谋, 王建华. 农牧交错带西段景观结构和空间异质性分析[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 2006-2014.
- [20] 孙若修. 晋西黄土区典型坡面草本植被格局对侵蚀产沙的影响研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2021.
- [21] 张新雨. 基于 ArcGIS 与 CA-Markov 模型的东营市滨海湿地景观格局优化研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2022.
- [22] Lin, W., Li, Y., Xu, D. and Zeng, Y. (2018) Changes in Landscape Pattern of Wetland around Hangzhou Bay. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **3**, 153-159. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-iv-3-153-2018>

- [23] 常剑峤. 浅析黄河的水沙状况及其治理[J]. 中学地理教学参考, 1986(6): 1-4.
- [24] 山东省人民政府关于山东省湿地保护工程实施规划(2016-2020年)的批复[J]. 山东省人民政府公报, 2016(21): 7-8.
- [25] 陈波, 包志毅. 土地利用的优化格局——Forman教授的景观规划思想[J]. 规划师, 2004, 20(7): 66-67.
- [26] 赵志强, 许晓龙, 袁青, 等. 2000-2020年哈尔滨松花江湿地景观格局演变及驱动因素分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2024, 48(2): 219-226.