

沿黄城市蓝绿空间时空演变及驱动力分析

——以泰安市为例

张芳源¹, 贾艳艳^{1*}, 郑海燕²

(1. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018; 2. 淄博市周村区园林绿化服务中心, 山东 淄博 255300)

摘要:基于2000—2020年土地利用类型数据,采用景观指数、景观动态度、地理探测器等方法,分析沿黄城市泰安市蓝绿空间时空演变特征及其驱动因素。结果表明,1)近20 a泰安市蓝绿空间规模整体呈减少趋势,动态度为 -0.41% ,面积减少 131.24 km^2 ,但呈现明显的阶段性特征,前10 a变化剧烈,动态度为 -0.82% ,后10 a动态度仅为 0.005% 。2)2000—2020年,蓝绿空间景观格局指数发生了显著变化,且各指数在前10 a的变化程度更大;类型水平上,绿色空间和蓝色空间的景观形状整体趋于规则、均有连片发展趋势,但绿色空间的景观形状更复杂、分布离散度更大;景观水平上,蓝绿空间破碎度呈减弱趋势,但景观连通性下降、景观异质性增强。3)地理探测分析表明,社会经济因素是蓝绿空间分异的主导因子,生产总值、人口密度、第一与第二产业产值等社会经济因素对蓝绿空间变化的解释力显著大于高程等自然因素。研究认为城镇化进程中需要加强对国土空间的科学管控,应加强泰安市蓝绿空间的完整性、连通性保护。该研究为泰安市蓝绿空间优化与管理、区域可持续发展提供一定参考。

关键词:蓝绿空间;景观格局;时空演变;地理探测器;黄河沿线城市

中图分类号:X37 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2024)02-0148-08

Spatiotemporal Evolution and Driving Forces of Urban Blue-Green Space Along the Yellow River——A Case Study of Tai'an City

ZHANG Fang-yuan¹, JIA Yan-yan^{1*}, ZHENG Hai-yan²

(1. Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China;

2. Zibo Zhoucun District Landscaping Service Center, Zibo 255300, Shandong, China)

Abstract: Based on the land use type data from 2000 to 2020, the spatiotemporal evolution characteristics of blue-green space and its driving factors in Tai'an City, a city along the Yellow River, were analyzed by using landscape index, landscape dynamic attitude and geographical detector tool. The results showed that 1) the scale of blue-green space in Tai'an City had been decreasing overall in the last 20 years, with a kinetic attitude of -0.41% and an area of 131.24 km^2 , presenting obvious stage characteristics. The change was dramatic in the first 10 years, with a -0.82% dynamic attitude, and only 0.005% in the second 10 years. 2) From 2000 to 2020, the blue-green spatial landscape pattern index changed significantly, and the indices changed more in the first 10 years. At the type level, the landscape shape of green space and blue space as a whole tended to be regular and both had the development trend of contiguity, but the landscape shape of green space was more complex and the distribution was more discrete. At the landscape level, the fragmentation of blue-green space showed a weakening trend, the landscape connectivity decreased and the landscape heterogeneity increased. 3) Geographical detection analysis showed that socio-economic factors were

收稿日期:2023-01-12 修回日期:2023-04-12

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2021QD124);国家自然科学基金(32301658);泰安市社会科学重点课题(23-ZD-007)。

第一作者:张芳源。研究方向:景观生态规划和风景园林规划设计。E-mail:zfy13853359845@126.com

*通信作者:贾艳艳,博士,副教授。研究方向:景观生态规划、风景园林规划和绿色空间生态系统服务。E-mail:jiayanyan1011@163.com

the dominant factors of blue-green spatial differentiation. The explanatory power of socio-economic factors such as GDP, population density, primary and secondary industry output values on blue-green spatial changes was significantly greater than that of natural factors such as elevation. The study concludes that the scientific control of land space needs to be strengthened in the process of urbanization, and the integrity and connectivity of blue-green space in Tai'an City should be protected. This research provides some reference for the optimization and management of blue-green space and sustainable development of the region in Tai'an City.

Key words: blue-green space; landscape pattern; spatial-temporal evolution; geographic detector; city along the Yellow River

蓝绿空间是指一个区域内的蓝色空间和绿色空间,蓝色空间指区域内自然水体和人工水体的分布,绿色空间是指植被覆盖的区域^[1]。蓝绿空间是斑块和廊道共同构成的复合生态系统,其协同效应形成生态屏障,进而影响生态安全格局的构建^[2]。蓝绿空间是生态系统循环中的氧源、碳汇,具有调节气候,改善空气质量,提高人居环境质量,改善生态环境的功能^[3-4]。但是随着城镇化建设的发展,城市扩张与生态保护的矛盾日益突出,大量的蓝绿空间被破坏、侵占,导致土壤退化、水土流失、生物多样性锐减等生态环境问题^[5]。城市蓝绿空间与人类生活空间密切相关,城市生态环境的改善和建设主要依赖于城市的蓝绿空间,因此,近年来蓝绿空间已成为多个学科的研究热点^[6]。目前的研究主要见于以下几个方面:城市蓝绿空间格局对城市内涝、雨洪调蓄功能的影响^[7];蓝绿空间对居民心理健康效应的研究^[8-9];蓝绿空间演变与冷岛、热岛效应的耦合关系^[10-11];以城市中心区或城市群为研究区,分析蓝绿空间格局演变及驱动因素的研究^[12-13]等。上述研究中方法的可行性得到有效验证,为本研究提供了重要参考,也对区域生态文明建设和绿色发展的有序推进具有重要的现实意义,但整体上关于蓝绿格局演变及其驱动机制的研究较少。

泰安市地处黄河下游,是典型的沿黄城市,境内的黄河流域面积占山东省境内黄河流域面积的 47.5%,占全市总面积的 83.20%,是山东省唯一一个所辖县(市、区)全域覆盖的市,对黄河下游生态保护和高质量发展具有举足轻重的作用。但随着城镇扩张、人类干扰的加剧等活动导致泰安市景观格局改变、生境退化、生态系统服务功能衰退等生态安全问题,并已引起学者关注。目前,已有研究主要包括泰安市景观格局与生境质量演变及其相关性^[14]、泰山森林生态系统服务功能评估^[15]、泰安市山水林田湖草生态修复区治理模式、生态脆弱性评价与生态修复对策研究等^[16],但关于泰安市蓝绿空间格局时空演变及驱动力的研究相对较少。基于此,本研究以 2000—2020 年的土地利用数据为基础,采用景

观指数、地理探测器等方法,揭示沿黄城市泰安市蓝绿空间时空演变特征及其驱动因素,以为泰安市蓝绿空间优化与管理、区域可持续发展提供参考依据,助力黄河流域生态保护和高质量发展。

1 研究区概况

泰安市位于山东省中部,是黄河流域下游段的重要沿黄城市之一,因泰山而得名,地处 116°20′—117°59′ E, 35°38′—36°28′ N,辖泰山区、岱岳区、新泰市、肥城市、宁阳县和东平县,总面积 7 762 km²,由于缺少部分西部数据,本研究区面积为 7 745.72 km²(图 1)。2020 年,泰安市年末常住人口 547.22 万人,地区生产总值 2 766.5 亿元。属暖温带大陆性半湿润季风气候区,年平均气温 12.9℃,年平均降水量 727.9 mm,降水集中于 6—9 月,平均无霜期 195 d。地形自东北向西南倾斜,山地、丘陵、平原、河流、湖泊皆备,地貌类型多样,境内有大小河流 466 条,其中大汶河贯穿市域东西,自西向东注入东平湖、连接黄河,是黄河下游最大的支流。生态功能地位突出,拥有泰山、徂徕山等国家森林公园 6 处,泰安汶河、肥城康王河、东平滨湖等国家湿地公园 3 处,泰山区域是华北平原重要的生态屏障。同时,泰安市历史文化底蕴厚重,是国家历史文化名城,境内的泰山被誉为“五岳之首”,是世界自然与文化双遗产。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

基础数据为泰安市 2000、2010 年和 2020 年的土地利用/覆被类型栅格数据,空间分辨率为 30 m,来源于中国科学院资源环境科学数据中心网站(<http://www.resdc.cn>)。DEM 数据空间分辨率 30 m,来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。根据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)和中国科学院土地利用/土地覆被分类系统,并结合研究目的将研究区景观类型分为 6 类:耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地。本研究的绿色空间

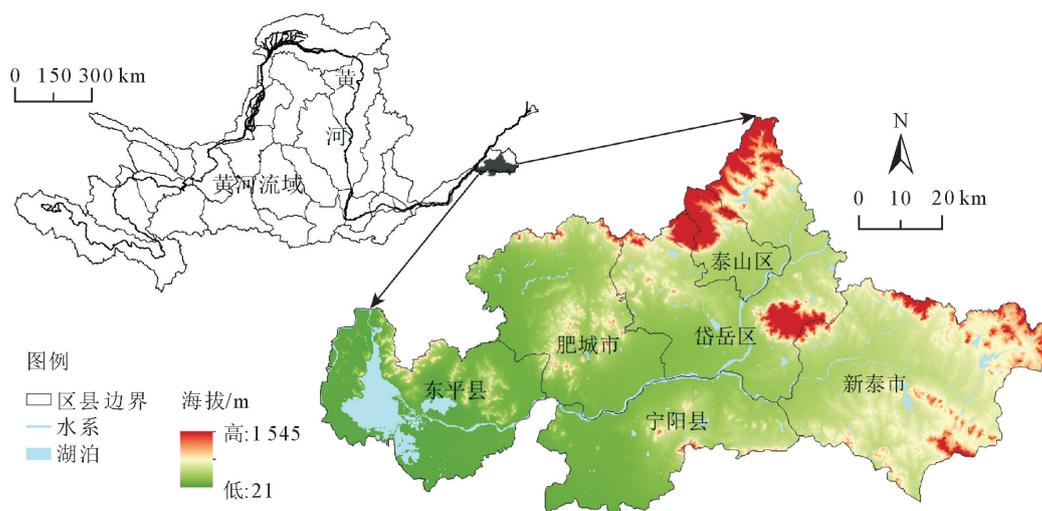


图1 泰安市区位及高程图

Fig. 1 Location and elevation map of Tai'an City

是指区域内所有林地、草地的覆盖区域,蓝色空间是指区域内所有自然及人工水域。社会经济和人口数据来自于2001、2011年和2021年《泰安市统计年鉴》、泰安市人民政府及泰安市自然资源和规划局官网等。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵可有效地反映2个时期不同地类之间的相互转换关系,能够详细反映出泰安市地类变化特征及地类之间的流向,并定量表征各地类之间的相互转换,其具体计算公式见文献[17]。

2.2.2 景观类型动态度 景观类型动态度可以定量描述研究区一定时间范围内某景观类型的变化程度,对比较变化差异和预测未来变化趋势有积极作用[17]。计算公式为

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为景观类型动态度; U_a 和 U_b 分别为研究初期和末期某景观类型的面积, km^2 ; T 为研究时长, a 。

2.2.3 景观格局指数 景观指数是高度浓缩景观格局信息的定量指标,反映景观结构特征和空间格局的变化[14]。参考相关研究,类型水平上选取斑块数(NP)、斑块密度(PD)、平均斑块面积(MPS)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)和斑块结合度指数(COHESION);景观水平上选取斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、蔓延度指数(CONTAG)及聚集度指数(AI)。各景观指数的生态学意义和计算公式详见文献[18]。

2.2.4 地理探测器 地理探测器是探测地理要素空间分异性,并揭示地理要素背后驱动因子的一种统计学方法,包括因子探测、交互作用探测等,在社会、经济、生态等领域广泛应用[19-20]。因子探测可以探测各驱动因子 X 在多大程度上解释因变量 Y 的空间分异,本研究采用因子探测进行泰安市蓝绿空间时空演变的驱动因素探析,选取泰安市单位面积蓝绿空间面积变化量为因变量 Y ,参考相关研究[17,21]和根据数据可获得性,选取高程、坡度、坡向、人口密度、地均生产总值、第一产业产值与第二产业产值的密度值为自变量 X 。计算公式为

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (2)$$

式中: q 为某一影响因子对蓝绿空间分异的解释力,取值为 $[0, 1]$,其值越大,表明驱动因子的影响程度越大,反之则然; $h=1, \dots, L$ 为自然因子分类数; N_h 和 σ_h^2 分别为层 h 的单元数和方差, N 和 σ^2 分别为整体的单元数和方差。

3 结果与分析

3.1 泰安市蓝绿空间规模变化特征

2000—2020年,泰安市土地利用类型主要以耕地为主,其次是建设用地、林地,不同年份三者的面积占比均在86%以上(表1)。空间上,耕地遍布整个泰安市;受到山水格局的影响,林地分布较为集中,以中心向外扩散的形式分布在泰山区西北部、岱岳区中部的徂徕山区域及北部的泰山山脉区;草地沿着林地的分布趋势延伸并散布于各个区域。泰安市域内水系主要以玉皇顶为分水岭,东西南北的各

个支流贯穿整个泰安市。建设用地主要分布在各个区县的中心位置,构成泰安市一体两翼的总体空间结构。2000—2020年,研究区耕地减少最多,达 256.96 km²,动态度为-0.25%;草地减少次之,以 1.19%的速度减少 154.07 km²;林地的动态度

为-0.40%,减少 48.37 km²;水域增加 71.21 km²,增幅为 20.62%;建设用地增幅最大,以 2.13%的速度增加 390.36 km²,主要来源于耕地、草地和林地,原因在于这一时段泰安市城区大力扩张和建设,导致建设用地大量增加。

表 1 2000—2020 年泰安市土地利用类型面积及动态度

Table 1 Land use type area and dynamic attitude in Tai'an City from 2000 to 2020

土地利用类型	2000 年 面积/km ²	2010 年 面积/km ²	2020 年 面积/km ²	2000—2010 年 动态度(%)	2010—2020 年 动态度(%)	2000—2020 年 动态度(%)
耕地	5 204.72	5 028.57	4 947.77	-0.34	-0.16	-0.25
林地	608.60	560.99	560.22	-0.78	-0.01	-0.40
草地	648.03	493.90	493.96	-2.38	0.001	-1.19
水域	345.28	415.11	416.49	2.02	0.03	1.03
建设用地	915.47	1 225.71	1 305.84	3.39	0.65	2.13
未利用地	23.61	21.44	21.44	-0.92	0.001	-0.46

对泰安市 2000—2020 年土地利用变化进行处理与分析,得出研究区蓝绿空间变化情况(表 2、表 3)。

由表 2 和表 3 分析可知,2000—2010 年,绿色空间减少 201.744 9 km²,动态度为-1.61%,主要流向非蓝绿空间,转换面积是 204.85 km²,主要由于城镇化进程加快,林草生态空间被侵占,其中有 6.07%的林地和 1.73%的林地分别转化为耕地和建设用地,20.58%的草地和 3.18%的草地分别转化为耕地和建设用地;蓝色空间以 2.02%的速度增

加 69.84 km²,主要源于非蓝绿空间,转换面积为 83.33 km²,主要来源于耕地,占总转入面积的 96.24%,集中分布于东平湖区域。相较于上一阶段,2010—2020 年蓝绿空间的减少幅度显著降低。绿色空间的动态度仅为-0.01%,减少 0.70 km²,流向非蓝绿空间和蓝色空间;蓝色空间以 0.03%的速度增加了 1.37 km²。这与人民对高质量生活的要求增加以及各项生态文明政策的出台紧密相关,2017 年山东省政府出台的“绿满齐鲁,美丽山东”国土绿化行动,推进了泰安市生态文明建设。

表 2 2000—2020 年泰安市蓝绿空间面积及动态度

Table 2 Blue-green space area and dynamic attitude of Tai'an City from 2000 to 2020

景观类型	2000 年 面积/km ²	2010 年 面积/km ²	2020 年 面积/km ²	2000—2010 年 动态度(%)	2010—2020 年 动态度(%)	2000—2020 年 动态度(%)
绿色空间	1 256.63	1 054.89	1 054.19	-1.61	-0.01	-0.81
蓝色空间	345.28	415.11	416.49	2.02	0.03	1.03
蓝绿空间	1 601.91	1 470.00	1 470.67	-0.82	0.005	-0.41
非蓝绿空间	6 143.81	6 275.72	6 275.04	0.21	-0.001	0.11

表 3 2000—2020 年泰安市蓝绿空间转移矩阵

Table 3 Blue-green space transfer matrix of Tai'an City from 2000 to 2020

年份	景观类型	绿色空间	蓝色空间	非蓝绿空间	转出总计
2000—2010	绿色空间	1 045.20	6.58	204.85	211.44
	蓝色空间	0.22	325.20	19.85	20.08
	非蓝绿空间	9.47	83.33	6 051.02	92.79
2010—2020	绿色空间	1 053.00	0.85	1.03	1.88
	蓝色空间	0.05	414.40	0.66	0.71
	非蓝绿空间	1.14	1.23	6 273.35	2.37

整体上,随着城镇化进程加快和人类开发建设活动的干扰,近 20 a 泰安市蓝绿空间规模持续减少,动态度为-0.41%,面积减少 131.24 km²。其中,绿色空间减少 202.44 km²,空间分布上,绿色空间在新泰市南部、岱岳区中部与北部减少趋势明显,主要由于该区域城市扩张力度大,城镇建设和矿产

资源开采破坏了地表植被,使得绿色空间格局改变。蓝色空间增加 71.21 km²,主要由耕地转换而来,在东平县增加趋势明显,主要集中在东平湖南部及其中东部与中西部区域(图 2)。一方面由于“退耕还湖”政策使东平湖周边区域的耕地逐渐转变为湿地或水域;另一方面由于东平湖承担着为黄河分洪调

水、保护黄河下游城市的重任,同时也是南水北调枢纽和水资源供应后备库,所以相关部门对其保护高度重视。此外,“十一五”期间,山东省委和省政府加大对水域环境的保护和治理力度,为实现水域具有良性的生态环境提供政策支持。

3.2 泰安市蓝绿空间景观格局演变特征

3.2.1 蓝绿空间类型水平景观格局演变特征

2000—2020年,泰安市蓝绿空间类型水平上的各景观指数均发生了显著变化,各指数在2000—2010年

的变化程度明显高于2010—2020年(图3),说明前10 a人类开发建设活动更剧烈,对绿色空间和蓝色空间干扰强度均更大。

NP、PD和MPS表征斑块数量、密度和面积的变化特征,揭示景观破碎度。2000年绿色空间的NP、PD显著高于蓝色空间,主要由于城市化、工业化进程加快以及泰安市中心城区的开发建设,大量的绿色空间被利用、分割,导致景观破碎度较高;2005年之后蓝色空间的破碎度明显高于绿色空间,

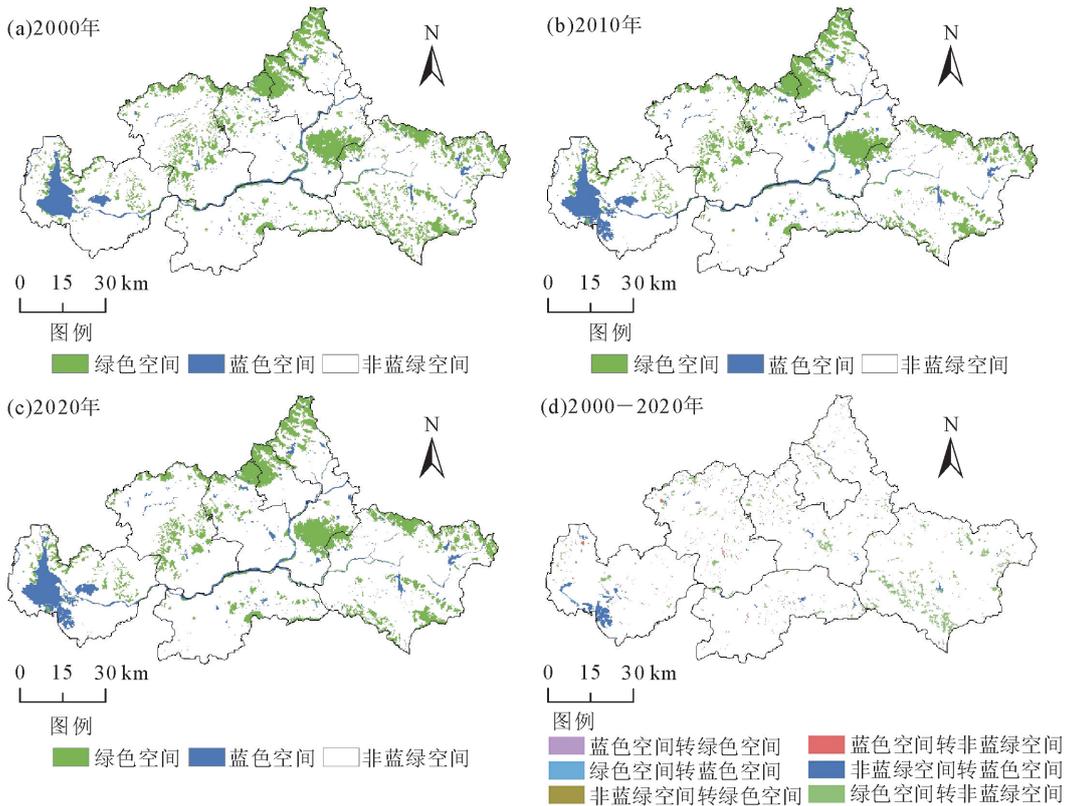


图2 2000—2020年泰安市蓝绿空间及其动态变化空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of blue-green space and its dynamic change in Tai'an City from 2000 to 2020

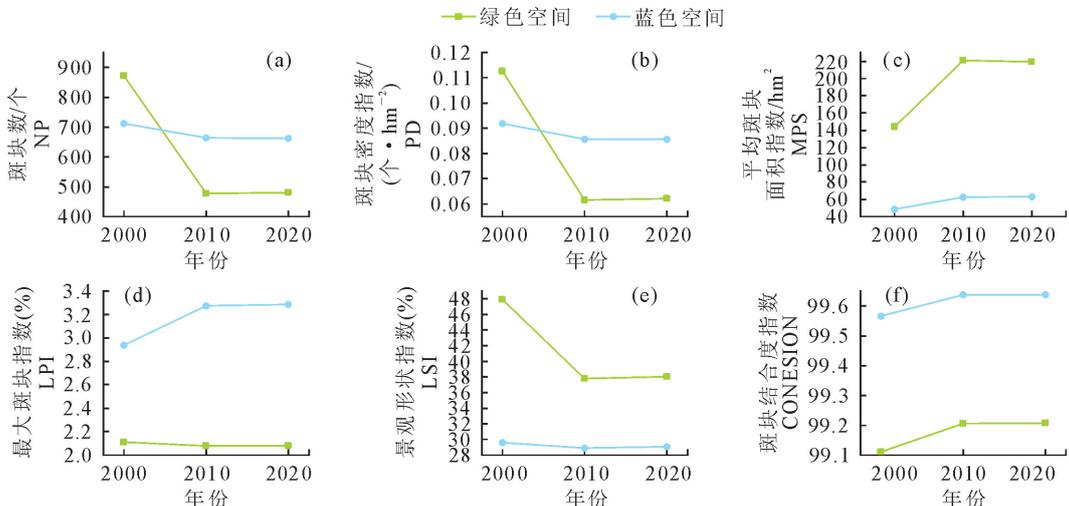


图3 2000—2020年泰安市蓝绿空间类型水平的景观指数

Fig. 3 Landscape index of class metrics of blue-green space in Tai'an City from 2000 to 2020

这与研究区河流、水库、湖泊等水系分布比较分散的特点紧密相关;2000—2020 年,绿色空间和蓝色空间的 NP、PD 呈先下降后趋于平缓的减少趋势、MPS 呈先升高后趋于平缓的增加趋势,说明近 20 a 研究区绿色空间和蓝色空间的破碎度在不断减弱,主要由于党的十八大以来,生态文明建设被摆在突出位置,泰山区域作为山水林田湖草生态修复工程的第二批试点工程,对原有景观进行治理、修复,使得蓝绿空间得到有效保护与改善。LPI 是最大斑块面积占总景观面积的百分比,反映景观的优势类型。近 20 a,蓝色空间的 LPI 始终高于绿色空间,说明蓝色空间是优势斑块。蓝色空间的 LPI 呈先上升后趋于平缓的变化趋势,绿色空间的 LPI 呈下降趋势,但变化不显著,说明区域内人类活动对绿色空间的干扰强度和频率较高,对蓝色空间干扰程度较弱并采取相应保护措施,使其优势在景观中越来越强。LSI 表示斑块边缘形状的发育程度,LSI 越大,景观形状越不规则。绿色空间和蓝色空间的 LSI 均呈先下降后升高的整体减少趋势,说明研究区景观形状整体趋于规则。但绿色空间的 LSI 显著高于蓝色空间,绿色空间的景观形状更复杂和不规则。COHESION 反应斑块连接状况,值越大,连接性越好。研究期内,绿色空间和蓝色空间的 COHESION 均呈先升高后趋于平缓的增加趋势,说明均有连片发展趋势,但绿色空间分布的离散程度较大。

3.2.2 蓝绿空间景观水平景观格局演变特征
2000—2020 年,泰安市蓝绿空间在景观水平上的格局指数发生了显著变化,变化趋势与类型水平上各指数一致,即各指数在前 10 a 的变化程度显著强于后 10 a(图 4)。2000—2020 年,蓝绿空间的 PD、ED 均呈先急剧下降后趋于平缓的减小趋势,这说明受保护政策的影响蓝绿空间斑块的破碎化程度逐渐减弱。CONTAG 表征景观中不同斑块类型的团聚程度或延展趋势,呈先急剧下降后趋于平缓的减小趋势,其值由 2000 年的 60.75% 下降为 2020 年的 55.48%,说明研究区蓝绿空间的连通性不断下降。AI 是体现景观组聚集程度的指数,AI 呈先急剧增加后趋于平缓减少的整体增加趋势,说明在 2000 年研究区蓝绿空间分布范围比较广,近 20 a 由于人类活动的影响尤其是对新泰市西南部草地和东平县湿地、水域的干扰,使得研究区林地、草地、河流、湖泊等蓝绿景观在空间上分布趋于集中,局部聚集性有所提高。SHDI 反映景观异质性,其值越大说明斑块类型越丰富破碎化程度越高,景观多样性越高;SHEI 表征景观斑块的优势程度,其值越大,斑块分布越均匀;二者结合在景观尺度上反映景观多样性。2000—2020 年,研究区内的 SHDI 和 SHEI 的变化趋势相似,均呈先急剧上升后趋于平缓的增长趋势,说明由于人类活动的干扰研究区景观异质性增强,并趋于均匀分布,蓝绿空间的优势程度不断减弱。

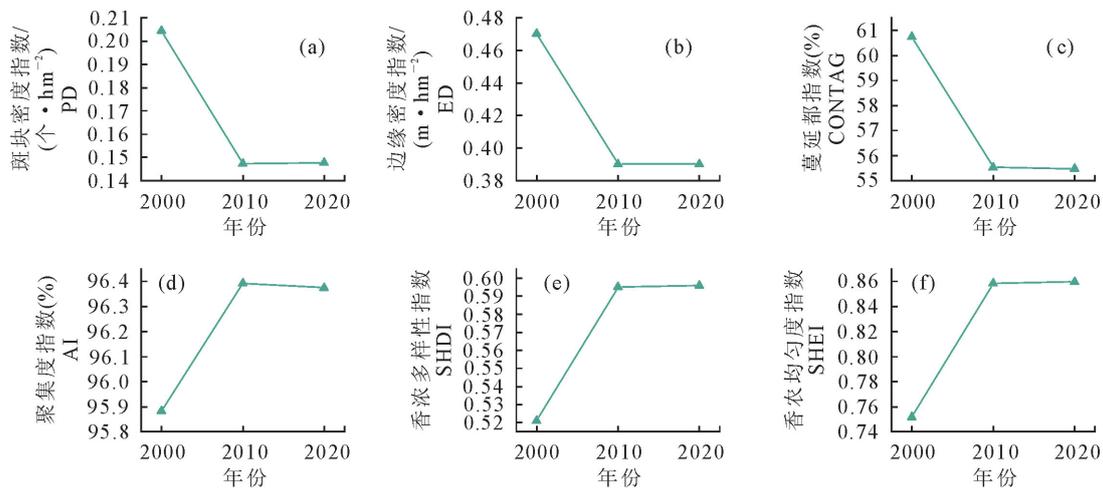


图 4 2000—2020 年泰安市蓝绿空间景观水平的景观指数

Fig. 4 Landscape index of landscape metrics of blue-green space in Tai'an City from 2000 to 2020

3.3 泰安市蓝绿空间分异的驱动分析

本研究分别探析 2000—2010 年和 2010—2020 年绿色空间、蓝色空间和蓝绿空间变化的空间分异驱动力,利用 ArcGIS10.2 软件对高程、人口密度等驱动因子进行离散化处理并采样,综合考虑泰安市乡级行政区面积以及计算效率,将采样点网格大小设置为 2 km×2 km,共形成 1 935 个采样点,最后

运用 GeoDetector 工具的“因子探测”功能进行驱动力分析并得到探测结果(表 4)。

2000—2010 年,各因子对绿色空间、蓝色空间和蓝绿空间的解释力度大小关系为 GDP>人口密度>第一产业产值>第二产业产值>高程>坡度>坡向。其中,GDP 的解释力度最强,q 分别达 0.970 0、0.987 6、0.967 7,生产总值是衡量区域发

展水平的指标,2000—2010年泰安市生产总值从396.4亿元增加至2 051.68亿元,经济实力大幅度上升,促进了泰安市的开发力度和城镇化进程。人口密度、第一产业产值、第二产业产值反映了地区的人口活力和产业结构,三者的 q 均 >0.7 ,对蓝绿空

间演变具有重要影响。自然因素中高程的解释力在36%以上,海拔高的泰山和徂徕山区域森林覆盖率高,以绿色景观为主,东平湖、大汶河等蓝色景观主要分布在地势低平区域;坡度、坡向对蓝绿空间分异的影响不明显。

表4 泰安市蓝绿空间时空分异驱动因子探测结果

Table 4 Detection results of driving factors for spatial-temporal differentiation of blue-green space in Tai'an City

驱动因子	2000—2010年						2010—2020年					
	绿色空间		蓝色空间		蓝绿空间		绿色空间		蓝色空间		蓝绿空间	
	q	P	q	P	q	P	q	P	q	P	q	P
高程	0.360 1	0	0.237 7	0	0.386 8	0	0.234 5	0	0.458 5	0	0.110 2	0
坡度	0.004 3	0.57	0.005 9	0.31	0.006 9	0.21	0.004 7	0.50	0.007 5	0.16	0.002 7	0.83
坡向	0.004 3	0.57	0.005 9	0.31	0.006 9	0.21	0.004 7	0.50	0.007 5	0.16	0.002 7	0.83
人口密度	0.725 4	0	0.987 2	0	0.894 8	0	0.249 1	0	0.754 9	0	0.419 6	0
生产总值	0.970 0	0	0.987 6	0	0.967 7	0	0.999 9	0	0.991 5	0	0.972 3	0
第一产业产值	0.725 4	0	0.987 2	0	0.894 8	0	0.273 2	0	0.495 3	0	0.847 2	0
第二产业产值	0.725 4	0	0.987 2	0	0.894 8	0	0.989 8	0	0.914 8	0	0.576 9	0

2010—2020年,各因子对绿色空间、蓝色空间、蓝绿空间的解释力度排序分别为生产总值 $>$ 第二产业产值 $>$ 第一产业产值 $>$ 人口密度 $>$ 高程 $>$ 坡度 $>$ 坡向、生产总值 $>$ 第二产业产值 $>$ 人口密度 $>$ 第一产业产值 $>$ 高程 $>$ 坡度 $>$ 坡向、生产总值 $>$ 第一产业产值 $>$ 第二产业产值 $>$ 人口密度 $>$ 高程 $>$ 坡度 $>$ 坡向。总体而言,社会经济因素对蓝绿空间的作用强于自然因素,且主要受到生产总值的驱动,解释力在97%以上。这一时间段,第二产业产值的解释力度排序有所上升,说明该时期工业的发展、产业布局调整等措施明显影响蓝绿空间的分布;年末常驻总人口减幅10.72%,而对应人口密度的 q 和排序均有所下降,但仍然对蓝绿空间格局分异有重要影响。高程、坡度、坡向的解释力度相对较低。

综上所述,2个时间段内各驱动因子的解释力度基本相似,自然、社会经济因素在不同程度上解释了泰安市蓝绿空间变化的驱动机制,但社会经济因子的解释力度更强,明显占主导优势,直接影响蓝绿空间的分布,而自然因素的影响力相对较少,进一步说明城市化进程和高强度人类活动是推动蓝绿空间演变的根本动力。

4 讨论

泰安市是黄河下游生态保护和高质量发展的主战场,是保障黄河安澜、南水北调水质安全、中华文化永续发展的重要阵地。2000—2020年,泰安市蓝绿空间面积变化程度虽然由急剧变化逐渐趋于平缓,但蓝绿空间规模仍旧不断减少,大量蓝绿空间被建设用地侵占,以绿色空间尤为突出。因此,泰安市应进一步加强对蓝绿空间的保护与管控,充分提高

生态系统的质量和稳定性;加强对泰山、徂徕山区域林草景观的保护与恢复,严格管控各类建设项目盲目占用林地、草地、湿地水域等蓝绿空间;推动对大汶河、东平湖等河湖水系的水环境改善和提升,控制大汶河沿岸、东平湖周边城市建设用地的开发强度,坚守生态保护红线,合理优化蓝绿空间占比,提高城市的韧性和生命力。近20 a泰安市蓝绿空间破碎度有减弱趋势,但景观异质性不断增加,特别是绿色空间分布的离散程度较大,景观形状更复杂。因此,在生态文明建设大背景下,泰安市应始终秉持“山水林田湖草沙生命共同体”理念,以黄河流域生态保护和高质量发展的国家战略为契机,在现有基础上充分整合区域蓝绿生态资源,连接零星分布的河流、坑塘、湖泊、绿地,如加强东平湖外围南金线河、九女泉河等河道的清淤清障,构建东平湖水系连通体系,强化泰山、徂徕山等国家森林公园和肥城康王河、东平湖等国家湿地公园的网络结构,增强蓝绿景观的完整性,不断完善大汶河流域乃至黄河流域下游段山水格局的连通性、系统性,合理构建区域生态网络,助力黄河流域生态保护和高质量发展。

本研究在系统分析泰安市土地利用类型的基础上,聚焦蓝绿空间时空演变特征,并揭示其空间分布变化的驱动因素,可为泰安市制定科学合理的蓝绿空间保护、优化和管控政策提供针对性参考,可为黄河下游区域可持续发展提供一定支撑。由于受数据获取的限制本研究主要从高程、坡度、坡向自然因素和人口密度、生产总值等社会经济因素分析了蓝绿空间变化的驱动因素,但气候变化、政策因素对蓝绿空间的影响程度与影响机制还有待深入探讨;此外,绿色空间与蓝色空间之间的相互影响机制未来也需

要进一步研究。

5 结论

2000—2020年,泰安市绿色空间和蓝色空间分别呈不断减少和持续增加的变化趋势;绿色空间在新泰市、岱岳区减少明显,蓝色空间在东平县东平湖区域增加显著。近20a泰安市蓝绿空间规模整体呈减少趋势,动态度为 -0.41% ,面积减少 131.24 km^2 ,但呈现明显的阶段性特征,前10a变化剧烈,动态度为 -0.82% ,后10a动态度仅为 0.005% 。

2000—2020年,蓝绿空间景观格局指数发生了显著变化,且各指数在前10a的变化程度更大。类型水平上,蓝色空间破碎度、优势度较绿色空间更高;绿色空间和蓝色空间的景观形状整体趋于规则、均有连片发展趋势,但绿色空间的景观形状更复杂和不规则、分布离散程度更大。景观水平上,蓝绿空间破碎度呈减弱趋势,景观连通性下降,景观异质性增强并趋于均匀分布,蓝绿空间的优势程度呈减弱趋势。

2000—2020年,蓝绿空间演变的主要驱动力为社会经济因素,生产总值、人口密度、第一与第二产业产值等社会经济因素对绿色空间、蓝色空间、蓝绿空间变化的解释力显著大于高程等自然因素。蓝绿空间演变受社会经济、自然、政策等多因素影响,但城市化进程和高强度人类活动是推动泰安市蓝绿空间演变的根本动力。

参考文献:

- [1] ZHAO C L, QIAN S, MENG C Z, *et al.* Blue-green space changes of Baiyangdian Wetland in Xiong'an New Area, China[J]. *Advances in Meteorology*, 2022, 4873393.
- [2] 黄铎, 易芳蓉, 汪思哲, 等. 国土空间规划中蓝绿空间模式与指标体系研究[J]. *城市规划*, 2022, 46(1): 18-31.
- [3] SHEN Z J, ZHANG B H, XIN R H, *et al.* Examining supply and demand of cooling effect of blue and green spaces in mitigating urban heat island effects: a case study of the Fujian delta urban agglomeration (FDUA), China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 142: 109187.
- [4] GUNAWARDENA K R, WELLS M J, KERSHAW T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 584-585: 1040-1055.
- [5] YANG L Y, SUN Z H, LI J F, *et al.* Spatiotemporal patterns and driving forces of land-use and land-cover change in the Mu Us Sandy Land, China from 1980 to 2018[J]. *Arid Land Research and Management*, 2022, 36(1): 109-24.
- [6] HOU Q Q, KONIJNENDIJK VAN DEN BOSCH CC, CHEN Z G, *et al.* China's Green space system planning: development, experiences, and characteristics[J]. *Urban for Urban Green*, 2021, 60: 127017. 2021. 127017.
- [7] 吴健生, 张朴华. 城市景观格局对城市内涝的影响研究——以深圳市为例[J]. *地理学报*, 2017, 72(3): 444-456.
- [8] WU J S, ZHANG P H. The effect of urban landscape pattern on urban waterlogging[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(3): 444-456. (in Chinese)
- [9] 冷红, 闫天娇, 袁青. 蓝绿空间的心理健康效应研究进展与启示[J]. *国际城市规划*, 2022, 37(2): 34-43, 52.
- [10] LENG H, YAN T J, YUAN Q. Research progress on mental health effect of blue-green space and its enlightenments[J]. *Urban Planning International*, 2022, 37(2): 34-43, 52. (in Chinese)
- [11] WANG K, SUN Z H, CAI M, *et al.* Impacts of urban blue-green space on residents' health: a bibliometric review[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19: 16192.
- [12] 陈天, 谭凝. 基于 Landsat 数据的蓝绿空间改善城市热环境分析——以天津市为例[J]. *南方建筑*, 2022(3): 19-27.
- [13] 杨朝斌, 张亭, 胡长涛, 等. 蓝绿空间冷岛效应时空变化及其影响因素——以苏州市为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(3): 677-688.
- [14] 宋爽, 石梦溪, 胡珊珊, 等. 东北地区中心城市城区蓝绿空间演化及驱动机制研究[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2022, 46(4): 221-229.
- [15] 许浩, 金婷, 刘伟. 苏锡常都市圈蓝绿空间规模与格局演变特征[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2022, 46(1): 219-226.
- [16] 贾艳艳, 于东明, 王明杰, 等. 泰安市景观格局和生境质量时空演变及其关联分析[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(2): 229-237.
- [17] 刘胜涛, 高鹏, 刘潘伟, 等. 泰山森林生态系统服务功能及其价值评估[J]. *生态学报*, 2017, 37(10): 3302-3310.
- [18] LIU S T, GAO P, LIU P W, *et al.* An ecosystem services assessment of Tai Mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(10): 3302-3310. (in Chinese)
- [19] 徐飞, 焦玉国, 唐丽伟, 等. 泰安市山水林田湖草生态修复区生态脆弱性评价与生态修复对策研究[J/OL]. *现代地质*: 1-14 [2023-01-11]. <http://202.194.143.28:80/rwt/CNKI/https://MSYXTLUQPJUB/10.19657/j.geoscience.1000-8527.2021.152>.
- [20] 黄钰清, 李尧尧, 于强, 等. 1995—2018年黄河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(6): 113-121.
- [21] 郭建国. *景观生态学: 格局, 过程, 尺度与等级* 2版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 106-125.
- [22] WANG J F, ZHANG T L, FU B J. A measure of spatial stratified heterogeneity [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 67: 250-256.
- [23] 王劲峰, 徐成东. *地理探测器: 原理与展望*[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- [24] WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. (in Chinese)
- [25] 苗旭, 李九一, 柳玉梅, 等. 鄂尔多斯市生态脆弱性评价及归因分析[J]. *西北林学院学报*, 2023, 38(1): 168-173.
- [26] MIAO X, LI J Y, LIU Y M, *et al.* Evaluation and attribution analysis of ecological vulnerability in Ordos city[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2023, 38(1): 168-173. (in Chinese)