

DOI: 10.5846/stxb202006171574

张潇, 张晓瑶, 陆林, 李冬花. 旅游干扰下流域多尺度景观格局演化特征及驱动因素——以新安江流域为例. 生态学报, 2021, 41(9): 3415-3428.

Zhang X, Zhang X Y, Lu L, Li D H. Evolution characteristics and driving factors of basin multi-scale landscape pattern under the tourism disturbances: A case study of the Xin'an River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9): 3415-3428.

旅游干扰下流域多尺度景观格局演化特征及驱动因素 ——以新安江流域为例

张 潇^{1,2}, 张晓瑶¹, 陆 林^{1,*}, 李冬花¹

1 安徽师范大学地理与旅游学院, 芜湖 241002

2 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200062

摘要: 流域景观是旅游活动的核心吸引物之一, 亦是探究旅游干扰对大尺度生态环境影响极具操作性的研究对象。基于 Landsat 系列遥感影像, 以新安江流域为案例地, 按照“流域-旅游热点区-景区”逐级递进的研究尺度, 深入剖析旅游干扰背景下的流域景观格局演化过程, 并借助格网和地理探测器等方法测度旅游干扰背景下的流域景观格局驱动因素, 结果表明: (1) 新安江流域以林地景观为主, 整体景观格局受人为干扰程度逐年加剧, 景观异质性提升, 景观结构趋于均衡发展; (2) 新安江流域高强度的旅游活动未加剧旅游热点区内的景观格局恶化趋势, 但致使景区景观破碎化加剧, 林地等优势景观的优势度和完整性降低, 景观多样性提升; (3) 新安江流域景观格局主要受河湖、城市、景区等干扰源影响, 地形地貌是景观格局演化的核心驱动维度, 而气候、工业发展水平和交通等维度对流域景观格局整体影响力较小; (4) 旅游维度中的距高级别景区距离因子对景观格局作用显著, 但接待旅游人数和旅游直接收入对景观格局解释力较低, 旅游对流域景观格局的干扰具有尺度局限效应。

关键词: 旅游干扰; 景观格局; 驱动因素; 新安江流域

Evolution characteristics and driving factors of basin multi-scale landscape pattern under the tourism disturbances: A case study of the Xin'an River Basin

ZHANG Xiao^{1,2}, ZHANG Xiaoyao¹, LU Lin^{1,*}, LI Donghua¹

1 School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

2 School of Urban and Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: Basin landscape is one of the core attractions of tourism activities, and it is also a highly operable research object to explore the impact of tourism disturbances on the large-scale ecological environment. Based on the Landsat series of remote sensing images, taking the Xin'an River Basin as a case study, in-depth analysis of the evolution process of the river basin landscape pattern under the background of tourism disturbances in the logical order from the basin to the scenic area, and measure the driving factors of the basin landscape pattern with the help of grids and Geodetector. The results show that: (1) the forest landscape is dominant in the Xin'an River Basin, the landscape index of grassland fluctuates the most, and the agglomeration and contiguous development trend of construction land is the most significant. The overall landscape pattern is intensified by human disturbance, the landscape diversity is improved, and the landscape structure tends to develop in a balanced manner. (2) Compared with general areas, tourism hotspots are more subject to human disturbance, and the landscape is more fragmented and diverse. However, from the perspective of change trends, the deterioration of the landscape pattern of tourism hotspots is weaker than that of general areas, and tourism activities have not aggravated the

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41930644)

收稿日期: 2020-06-17; 网络出版日期: 2021-03-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: llin@263.net

deteriorating trend of river basin landscape patterns. The high-intensity tourism development and construction activities in the scenic area will aggravate the fragmentation of the scenic area, reduce the superiority and integrity of the dominant landscape, and increase the diversity of the scenic area. (3) From the factor level, the landscape pattern of the Xin'an River Basin is mainly affected by disturbance sources such as rivers, cities, and scenic spots. Indicators such as elevation and slope are also the core driving forces driving the evolution of the landscape pattern of the Xin'an River Basin. From the dimension level, topography is the core driving dimension of the landscape pattern evolution, while the dimensions of climate, industrial development level, and transportation have little influence on the overall landscape pattern. (4) The high-level scenic factors in the tourism dimension have a significant effect on the landscape pattern, but the number of tourists and tourism income have a low explanatory power on the landscape pattern. The tourism dimension did not play a leading role in the evolution of the overall landscape pattern of the Xin'an River Basin, and the interference of tourism on the landscape pattern of the river basin had a scale-limited effect.

Key Words: tourism disturbance; landscape pattern; driving factors; Xin'an River Basin

旅游作为一种人为干扰形式,会在不同组织尺度上对种群、群落以及生态系统产生影响^[1]。旅游活动及旅游开发建设主要通过作用于目的地的植物、野生动物和土壤等要素进而干扰区域整体生态环境。旅游干扰对不同植物群落和同一群落不同结构特征的影响具有差异性,乔木层受旅游影响较小,灌木层和草本层对旅游干扰响应相对显著^[2];就草本层而言,其盖度受旅游干扰影响较小,但高度和物种多样性受影响较大^[3]。此外,旅游干扰作用还具有距离衰减性和区域主导性特征,植物受旅游干扰的影响会随距离增加而减弱,但在玉龙雪山、五台山等旅游业较为发达地区,旅游干扰对植物的影响已经显著超过海拔、地形和放牧等传统景观干扰因素^[3-5]。受限于旅游业特性和数据获取等问题,旅游干扰对动物影响的传统研究多集中于土壤动物^[6],伴随旅游业态丰富和技术手段进步,研究对象开始逐步扩展到鸟类^[7]、鱼类^[8]以及大型野生动物^[9]等多个门类。旅游干扰对土壤的作用主要体现在 pH 值、紧实度以及水分、有机质、重金属含量等物化指标上,旅游活动会对区域土壤生态环境产生显著负面影响,是造成旅游目的地土壤退化的重要原因^[10-12]。

旅游业作为一种以自然环境为载体、以人类活动为基础的“新兴发展要素和新兴发展动能”,在助推区域经济发展的同时,也会对区域土地利用/覆被变化和生态格局演化产生深刻影响^[13-14]。但受限于旅游业的综合性、融合性特征以及景观格局人为驱动因子难以空间化问题^[15],传统旅游干扰研究主要集中在旅游活动对目的地单一因子的静态影响上,而且研究尺度多囿于公园、景区甚至是游憩小径等微观尺度内,较少有文章系统探讨旅游活动对跨区域、多尺度案例地生态环境的动态干扰格局、演化过程和作用机制。

新安江流域作为长三角城市群内旅游资源富集程度高、景观类型多样的典型城市群乡土-生态空间,是旅游干扰景观格局研究极为难得的天然实验室^[13]。为此,本文以新安江流域为案例地,从整体到局部遴选出“全流域-旅游热点区-景区”三种尺度空间典型代表,探讨旅游干扰背景下不同尺度景观格局演化特征及差异,利用格网加权和地理探测器等技术构建流域景观格局演化的驱动力测度体系,着重分析包括旅游在内的不同因子在新安江流域景观格局演化中的影响强度,以期理解旅游干扰在新安江流域景观格局演化中的角色和地位,推进旅游业科学布局、适度开发,进而实现人地关系协调发展提供参考。

1 研究方法 with 数据

1.1 研究区域概况

新安江流域地跨皖浙两省,属于中国中东部地区和南北气候过渡带,地理坐标为 117°38'—119°21'E, 29°11'—30°20'N(图 1)。流域包含 10 个区县,总面积 11190km²,其中浙江省面积 4715km²,安徽省面积 6475km²。流域多年平均降水量 1760mm,年平均气温 17℃^[16]。良好的自然本底环境以及悠久的历史文 化造就了新安江流域繁多优质旅游资源,但高强度旅游活动和大规模旅游开发在推动区域经 济迅速发展的同时,

也会不可避免的给流域生态环境和可持续发展带来一定挑战。

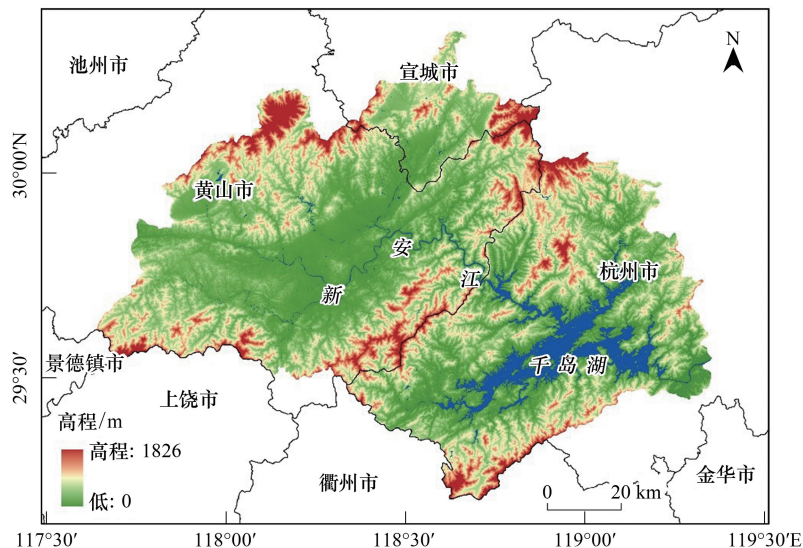


图1 新安江流域概况

Fig.1 Location of the Xin'an River Basin

1.2 数据来源

本研究以 1999—2019 年的 5 期 Landsat TM/ETM+/OLI 系列遥感影像为基础数据,所有遥感影像经过了几何校正、图像裁剪、图像增强等预处理。采用数字高程模型 (DEM)、夜间灯光数据、社会、经济和旅游相关统计数据用于景观格局影响因素分析。其中遥感数据来源于美国地质调查局 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), DEM 数据为地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>) 提供的 GDEM V2 30m 分辨率数字高程,夜间灯光数据主要为美国国家海洋和大气管理局 (www.ngdc.noaa.gov) 提供的 DMSP/OLS (1999—2013 年) 与 NPP/VIIRS (2013—2019 年) 数据,相关统计资料源于地方统计年鉴和官方网站。此外,本研究还借助 Google Earth 和天地图用于高铁、高速、景区、城市、乡镇等干扰源坐标定位以及景观解译与验证。

1.3 研究方法

1.3.1 景观分类与景观格局指数

通过野外采样和高分辨率遥感影像获取景观类型解译标志,依据新安江流域植被覆盖特征和研究需要,采用支持向量机法 (Support Vector Machine, SVM) 将新安江流域景观类型划分为林地、草地、耕地、建设用地、水体、裸地 6 大类,利用野外采样数据、天地图和 Google Earth 随机选取验证样本进行混淆矩阵精度验证,总体分类精度大于 85%。

依据新安江流域实际景观特征和前人研究成果,在类型水平上选取斑块密度 (Patch Density, PD)、边缘密度 (Edge Density, ED)、最大斑块指数 (Largest Patch Index, LPI)、平均斑块大小 (Mean Patch Size, MPS) 和斑块凝聚度 (Patch Cohesion Index, COHESION) 5 种指数,在景观水平上选取面积加权平均分维数 (Area-weighted Mean Patch Fractal Dimension, AWMFD)、香农多样性指数 (Shannon's Diversity Index, SHDI)、蔓延度 (Contagion Index, CONTAG)、集聚度 (Aggregation Index, AI) 4 种指数,这些指数可以较好的反映新安江流域的景观个体单元特征、景观组分空间构型特征和景观整体的多样性特征^[17-20]。采用 Moving Window 法空间化斑块数量 (Number of Patches, NP)、最大斑块指数 (Largest Patch Index, LPI)、集聚度 (Aggregation Index, AI)、香农多样性 (Shannon's Diversity Index, SHDI) 4 种景观指数用于景观格局影响因素分析,上述指数可从景观破碎性、优势度、集聚度以及多样性等方面反映新安江流域整体景观格局演化状况。各指数借助 Fragstats 4.2 计算。

1.3.2 驱动因子库构建

综合国内外研究成果和新安江流域实际情况,本研究在自然因素方面选取了地形地貌、气候维度下的 5 种驱动因子,在人文因素方面从人口、总经济、工业经济、农业经济、居民生活水平、交通、科技、特殊人为干扰和旅游等 9 个维度选取了 25 种驱动因子,从而构建出了新安江流域景观格局演化的驱动因子库(表 1)。

表 1 景观格局演化的驱动因子库
Table 1 Driving factors of landscape pattern evolution

类别 Types	维度代码 Dimension code	维度 Dimensions	变量代码 Variable code	指标(变量) Variables	单位 Unit	数据属性 Data attributes	参考文献 References
自然因素 Natural factors	D ₁	地形地貌	X ₁	高程	m	空间数据	[16,21-22]
			X ₂	坡度	°	空间数据	
			X ₃	距河湖距离	m	空间数据	
人文因素 Human factors	D ₂	气候	X ₄	降水量	mm	统计数据	[19,22-23]
			X ₅	平均气温	℃	统计数据	
	D ₃	人口	X ₆	年末总人口	万人	统计数据	[22-23]
			X ₇	非农业人口	万人	统计数据	
			X ₈	农业人口	万人	统计数据	
	D ₄	总经济	X ₉	GDP	万元	统计数据	[15,23]
			X ₁₀	夜间灯光	D _N	空间数据	
	D ₅	工业经济	X ₁₁	工业总产值	万元	统计数据	[20]
	D ₆	农业经济	X ₁₂	农业总产值	万元	统计数据	[24-25]
			X ₁₃	农业产值	万元	统计数据	
			X ₁₄	林业产值	万元	统计数据	
			X ₁₅	牧业产值	万元	统计数据	
			X ₁₆	渔业产值	万元	统计数据	
			X ₁₇	社会消费品零售总额	万元	统计数据	
	D ₇	居民生活水平	X ₁₈	农村居民人均收入	元	统计数据	[20,23]
			X ₁₉	公路通车里程	km	统计数据	
	D ₈	交通	X ₂₀	距高铁距离	m	空间数据	[26-27]
			X ₂₁	距高速距离	m	空间数据	
			X ₂₂	化肥施用量(折纯法)	t	统计数据	
	D ₉	科技	X ₂₃	粮食产量	t	统计数据	[15,28]
			X ₂₄	农作物播种面积	ha	统计数据	
			X ₂₅	牛羊存栏量	头	统计数据	
			X ₂₆	距乡镇距离	m	空间数据	
	D ₁₀	特殊人为干扰	X ₂₇	距城市距离	m	空间数据	[20,29-30]
			X ₂₈	接待旅游人数	人	统计数据	
			X ₂₉	旅游直接收入	万元	统计数据	
			X ₃₀	距高级别景区距离	m	空间数据	

1.3.3 地理探测器

新安江流域面积广,影响流域景观格局演化的因子众多而且异常复杂,相当一部分因子存在重叠、嵌套关系,极其适合运用地理探测器(Geodetector)来分析影响景观格局演化的相关因素。其计算方法与意义参考相关文献^[32-33]。

为了使各驱动因子与新安江流域景观格局在空间上相匹配,参考相关研究^[23,34]和新安江流域范围,利用 ArcGIS 将新安江流域划分为 1363 个边长 3km×3km 的格网并编码,分别统计每个格网中的自变量 X 与因变量 Y 数据,以实现多元多类型数据的统一。统计数据参考张行等人^[35]研究方法,按照土地类型面积或人口数加权折算赋值到格网中。所有数据均用自然断裂点法分为 5 级以实现自变量 X 类别化。

2 结果分析

2.1 旅游干扰背景下的流域多尺度景观格局演化特征

2.1.1 流域整体景观格局演化特征

如图 2 所示,受流域内山地丘陵地形广泛分布的影响,新安江流域景观类型以林地为主,整体占比超过 80%,但林地面积总体上呈现波动下降趋势;耕地为流域内第二大景观类型,但占比低于 8%,水体面积仅次于耕地面积,主要由千岛湖和新安江构成;建设用地景观类型在 10 个区市县中心均形成了较大的集聚斑块且逐年扩大,草地和裸地受气候与人类活动影响较大,占比波动幅度显著,斑块分布较为零散。

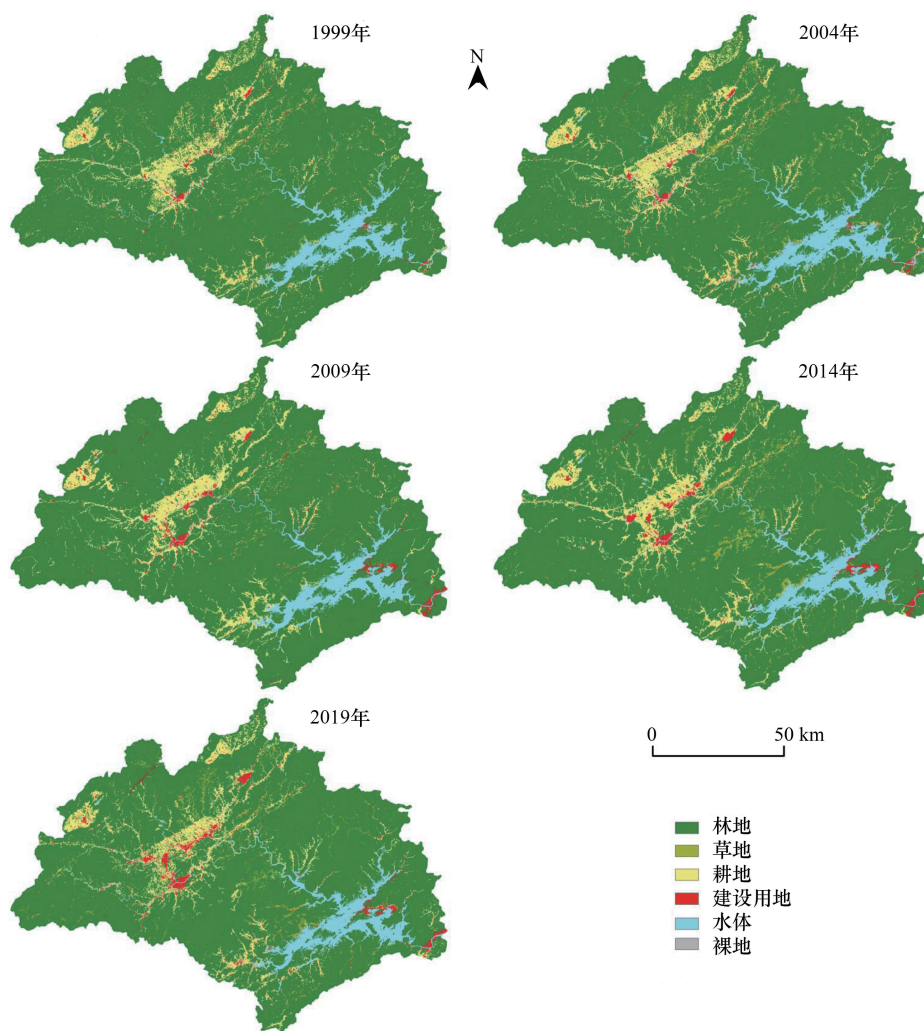


图 2 1999—2019 年新安江流域景观类型

Fig.2 Landscape types in Xin'an River Basin during 1999—2019

从类型水平景观格局指数计算结果来看(图 3),林地 ED、COHESION、LPI 和 MPS 最高,体现出林地作为流域内的绝对优势景观分布最为集中、连片,斑块复杂程度最高,但 LPI 和 MPS 近年呈下降趋势,说明林地的景观优势度和完整性受到一定破坏;草地 PD 最高,且 PD、ED 年际变化较大,反映出草地易受外界环境影响,景观格局波动最大,景观斑块最为破碎;由于千岛湖的存在,水体 COHESION、LPI 和 MPS 仅次于林地;建设用地的 COHESION、LPI 和 MPS 曲线上升趋势显著,表明建设用地在近 20 年中迅速扩张,且表现为集聚化、连片化的发展趋势。

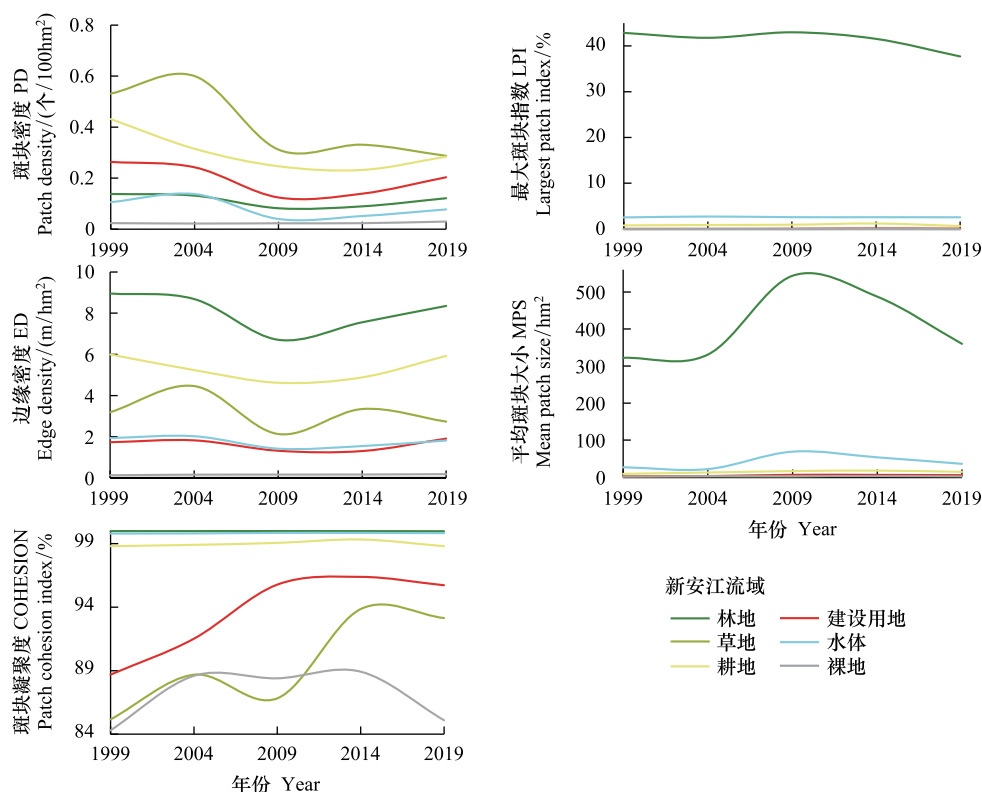


图3 流域类型水平指数演化差异

Fig.3 Evolutionary differences of class metrics in Xin'an River Basin

从景观水平来看(图4),近20年新安江流域 AWMFD 变动曲线呈显著下降趋势,表明流域内的自然景观受到了人类活动的一定干扰,而且这种干扰程度逐年加剧;CONTAG 和 AI 在近10年中呈显著下降趋势,鉴于新安江流域主要以林地景观为主,这种变化反应出林地景观的完整性受到一定破坏;SHDI 在近20年中呈现

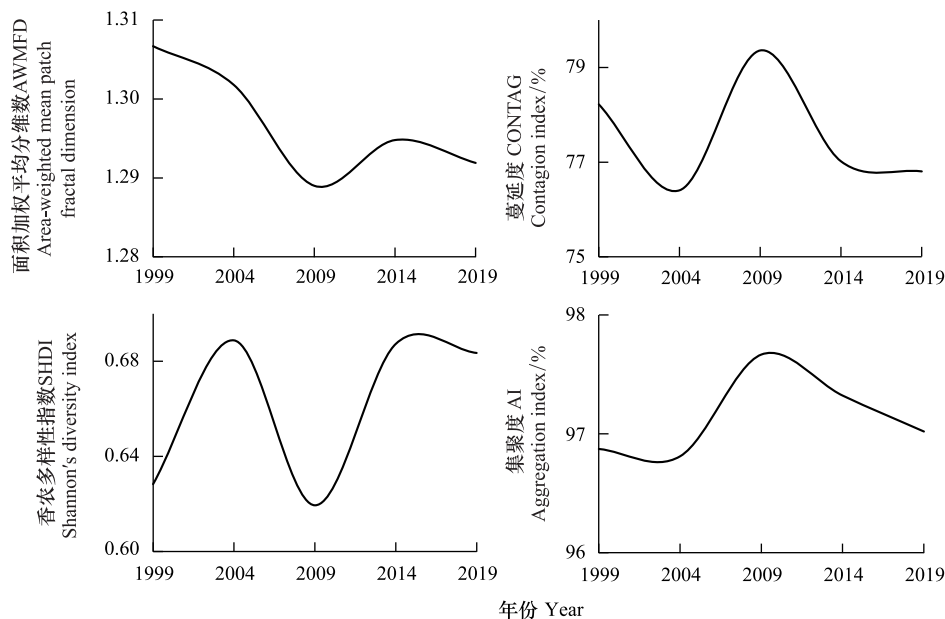


图4 流域景观水平指数演化差异

Fig.4 Evolutionary differences of landscape metrics in Xin'an River Basin

上升趋势,表明新安江流域的景观异质性提升,景观组分正趋于均衡发展,6种景观类型比例差距缩小。

2.1.2 旅游热点区与一般区域景观格局演化特征及差异

景区,尤其是高级别景区集聚区往往是游客量最大,旅游活动最为强烈,旅游干扰效应最为显著的区域^[36-37]。基于此,本研究将新安江流域的4A、5A级景区富集区域称为旅游热点区,通过对比高级别景区富集区域与一般区域的景观格局演化差异,可以很好凸显旅游活动对流域景观格局的干扰强度差异。

以新安江流域26家4A、5A级景区为点数据,将其2018年接待游客人数作为权重,进行加权核密度分析,在此基础上综合考虑各集聚区所涵盖景区的类型特征及其实际范围,划定出新安江流域的6大旅游热点区(图5)。

旅游热点区与一般区域类型水平指数演化差异如图6所示。旅游热点区各景观类型PD、ED整体小于一般区域且波动较小,表明旅游热点区斑块密度更低,景观格局相对稳定,旅游活动未加剧景观破碎化和复杂程度,但受千岛湖影响,旅游热点区的水体复杂程度要高于区外;旅游热点区内的水体、林地、耕地景观以及一般区域内的林地、耕地景观COHESION均在98%以上,表明上述景观呈高度集聚分布;LPI和MPS演化曲线说明一般区域内的林地、耕地景观COHESION均在98%以上,表明上述景观呈高度集聚分布;LPI和MPS演化曲线说明一般区域内的林地、耕地景观COHESION均在98%以上,表明上述景观呈高度集聚分布;LPI和MPS演化曲线说明一般区域内的林地、耕地景观COHESION均在98%以上,表明上述景观呈高度集聚分布。

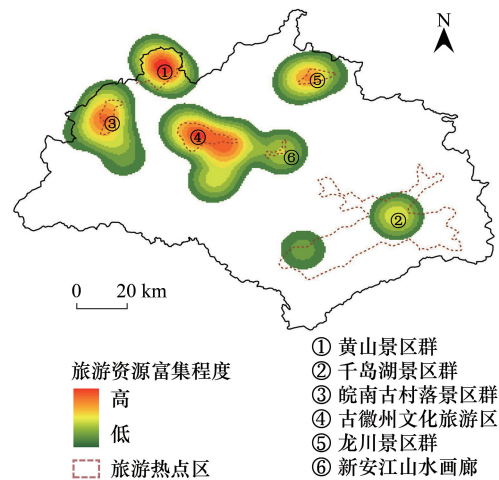


图5 旅游热点区范围界定

Fig.5 Scoping of tourism hotspots

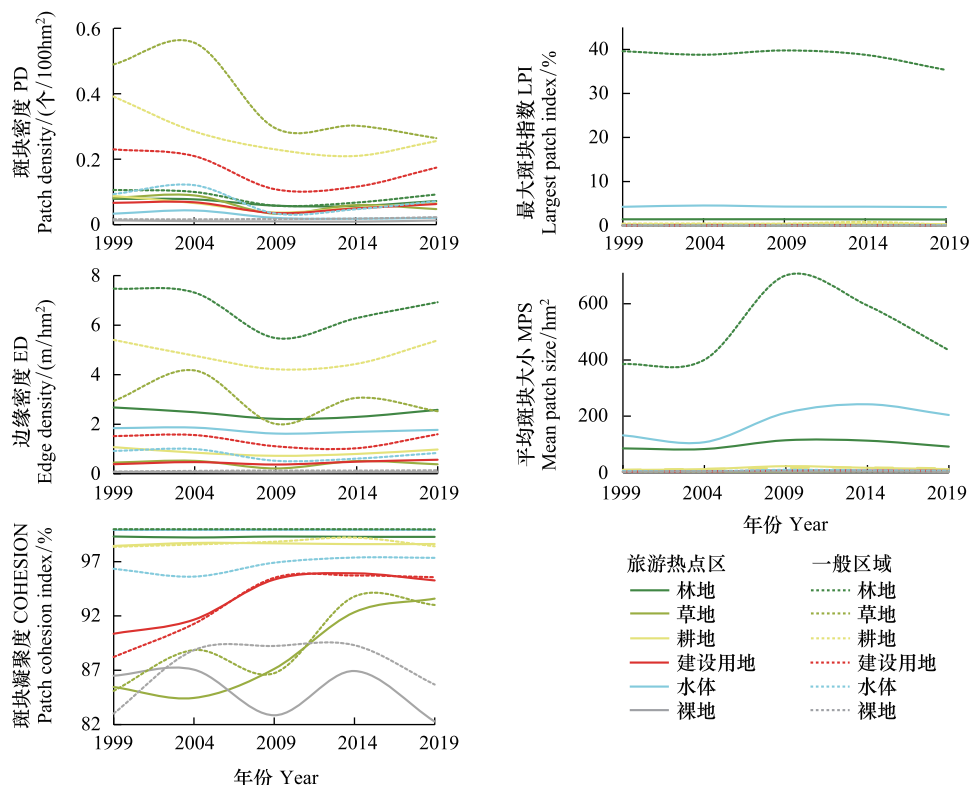


图6 旅游热点区与一般区域类型水平指数演化差异

Fig.6 Evolutionary differences in class metrics between tourism hotspots and general areas

地 LPI 均呈下降趋势, MPS 呈先增后减趋势, 但一般区域 LPI 与 MPS 下降率显著高于旅游热点区, 说明一般区域林地景观较旅游热点区受到的侵占更大; 旅游热点区 MPS 整体高于一般区域, 表明旅游热点区建设用地斑块面积更大, 开发建设活动比一般区域更集中。

从景观水平来看(图 7), 由于旅游热点区景观结构较为均衡, 这种均衡不仅体现在 6 种景观类型之间的均衡上, 还体现在自然景观与人工景观的均衡上, 故旅游热点区 AWMFD、CONTAG、AI 低于一般区域, 而 SHDI 高于一般区域; 近 20 年旅游热点区与一般区域 AWMFD 均呈下降趋势, 但一般区域下降趋势要更显著, 这表明旅游活动未加剧旅游热点区内的人为干扰程度; CONTAG 与 AI 近 10 年下降趋势显著, 但一般区域下降趋势要高于旅游热点区, 反映出旅游热点区内的密集旅游活动未加剧景观集聚度和蔓延度下降趋势; 此外, 旅游热点区与一般区域 SHDI 均呈上升趋势, 说明两个区域内景观多样性提升, 林地、水体等优势景观受到侵占, 而建设用地等弱势景观占比扩大, 但一般区域 SHDI 上升趋势要高于旅游热点区, 表明旅游活动亦未加剧破坏区域内的优势景观。

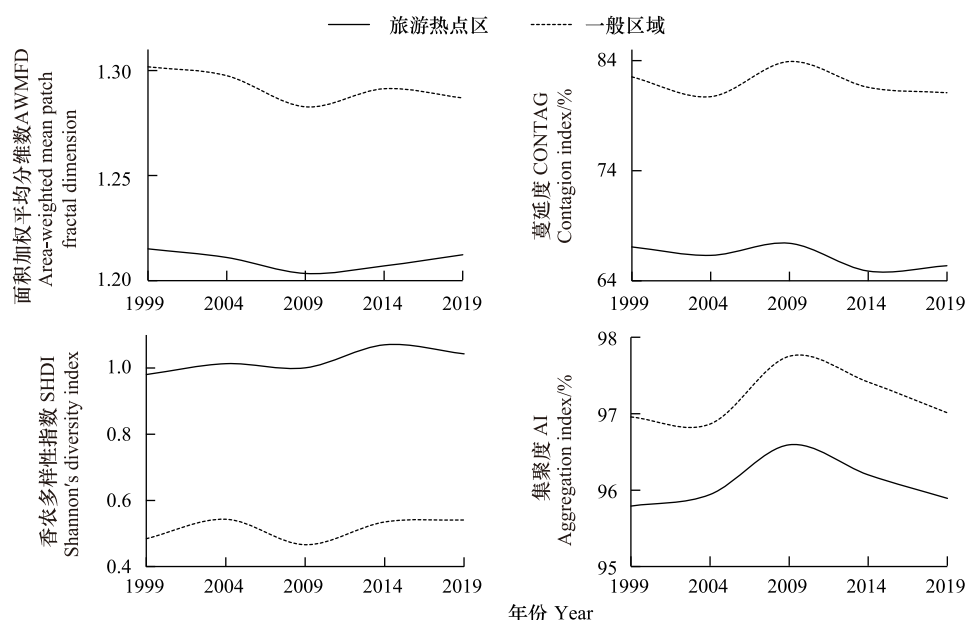


图 7 旅游热点区与一般区域景观水平指数演化差异

Fig.7 Evolutionary differences in landscape metrics between tourism hotspots and general areas

2.1.3 代表性景区景观格局演化特征及差异

景区内部景观格局演化状况直接反应了旅游及其相关活动对区域景观格局的影响程度。黄山与千岛湖均为具有一定范围的自然观光类风景区, 是新安江流域游客接待数量与旅游收入最高, 旅游活动开展最为悠久且广泛的代表性景区, 探讨两者景观格局演化过程及差异可一定程度上反映旅游活动对不同自然景观的干扰差异。

黄山与千岛湖景区类型水平景观格局演化曲线如图 8 所示, 其中 PD 整体最高的为黄山草地, 其次为黄山裸地, 上述两种景观面积小, 斑块密度高且年际变化大, 景观最为破碎; 千岛湖相对黄山而言, 各景观斑块密度差异小, 表明千岛湖景观结构更均衡, 但千岛湖林地和水体 ED 最高, 斑块最为复杂; 黄山林地与千岛湖水体、林地景观 COHESION 接近 100%, 在 LPI 和 MPS 演化曲线图中亦是三者最高, 这表明黄山林地和千岛湖水体、林地景观均是景区内的优势景观, 并且分布高度集中, 连通性极好, 呈大规模连片分布, 尤其是黄山林地景观。但黄山林地景观 LPI 和 MPS 均呈下降趋势, 说明黄山林地景观优势度和完整性受到一定破坏, 趋于破碎化发展; 黄山、千岛湖景区建设用地 COHESION、LPI 与 MPS 均呈上升趋势, 且黄山整体高于千岛湖, 说明黄山、千岛湖景区建设用地扩张速度较快, 但黄山景区建设用地分布更为集中、连片。

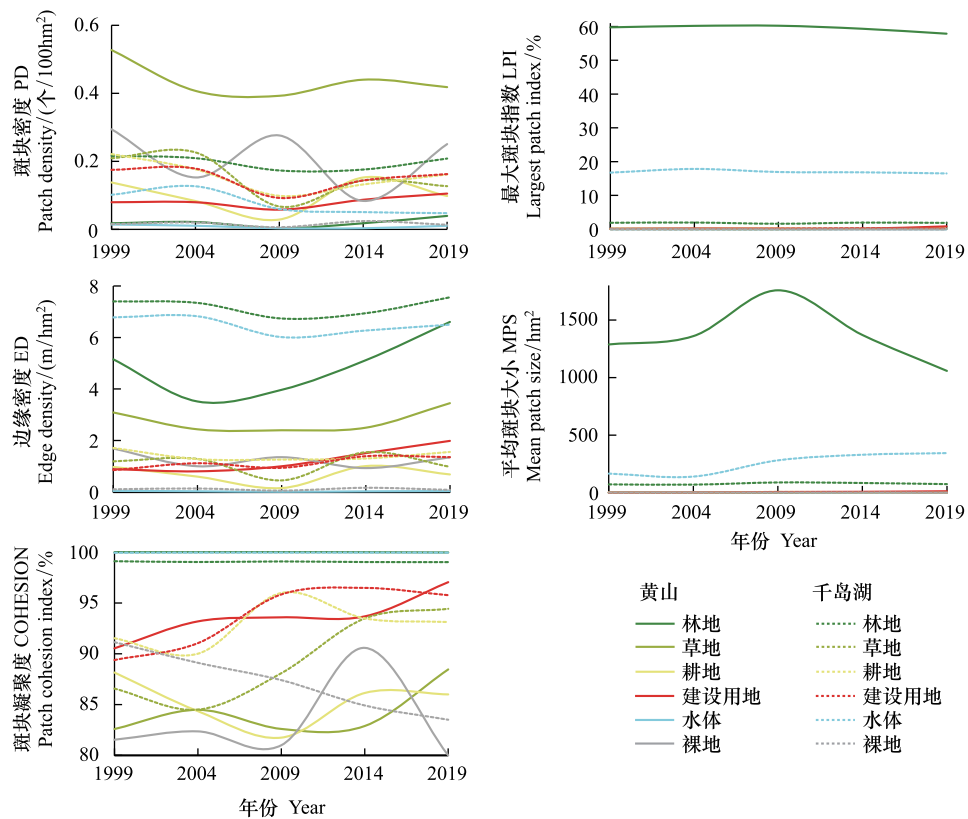


图8 黄山与千岛湖类型水平指数演化差异

Fig.8 Evolutionary differences in class metrics between Mount Huang and Qiandao Lake

从景观水平来看(图9),黄山 AWMFD、SHDI 低于千岛湖,而 CONTAG、AI 高于千岛湖,表明黄山整体景观格局受旅游干扰影响更大,景观类型较为单一,各景观类型间占比差距悬殊,景观多样性较低。4 种指数变

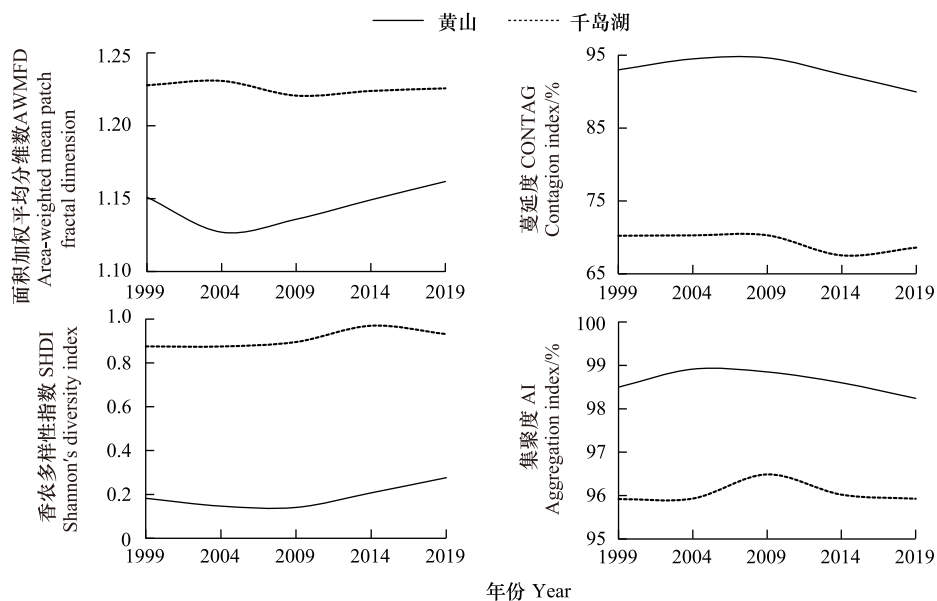


图9 黄山与千岛湖景观水平指数演化差异

Fig.9 Evolutionary differences in landscape metrics between Mount Huang and Qiandao Lake

化趋势表明:黄山景区内景观所受旅游干扰正逐步降低;黄山、千岛湖景区内景观多样性上升,景观结构正趋于均衡演化,区内优势景观受到一定破坏,导致景观格局呈破碎化发展,黄山景区尤为显著。

综上表明,旅游活动在作用于新安江流域生态环境演化过程时,不同尺度空间的空间耦合过程、要素耦合过程、城市化过程各异,致使旅游干扰对流域内不同尺度空间作用程度各异。新安江流域不同尺度下的人为干扰程度按照全流域、一般区域、千岛湖景区、旅游热点区、黄山景区的顺序逐步提升,旅游要素对景观格局的影响主要体现在景区尺度,而对全流域作用相对不显著,即旅游对流域景观格局的干扰作用具有尺度局限效应。

2.2 旅游干扰背景下新安江流域景观格局演化的驱动力分析

2.2.1 景观格局演化的驱动因子分析

将 1999—2019 年新安江流域空间化后的景观格局指数和格网化、类别化后的景观格局影响因素指标导入地理探测器,测度近 20 年新安江流域景观格局演化的决定性影响因素。如图 10 所示,新安江流域景观格

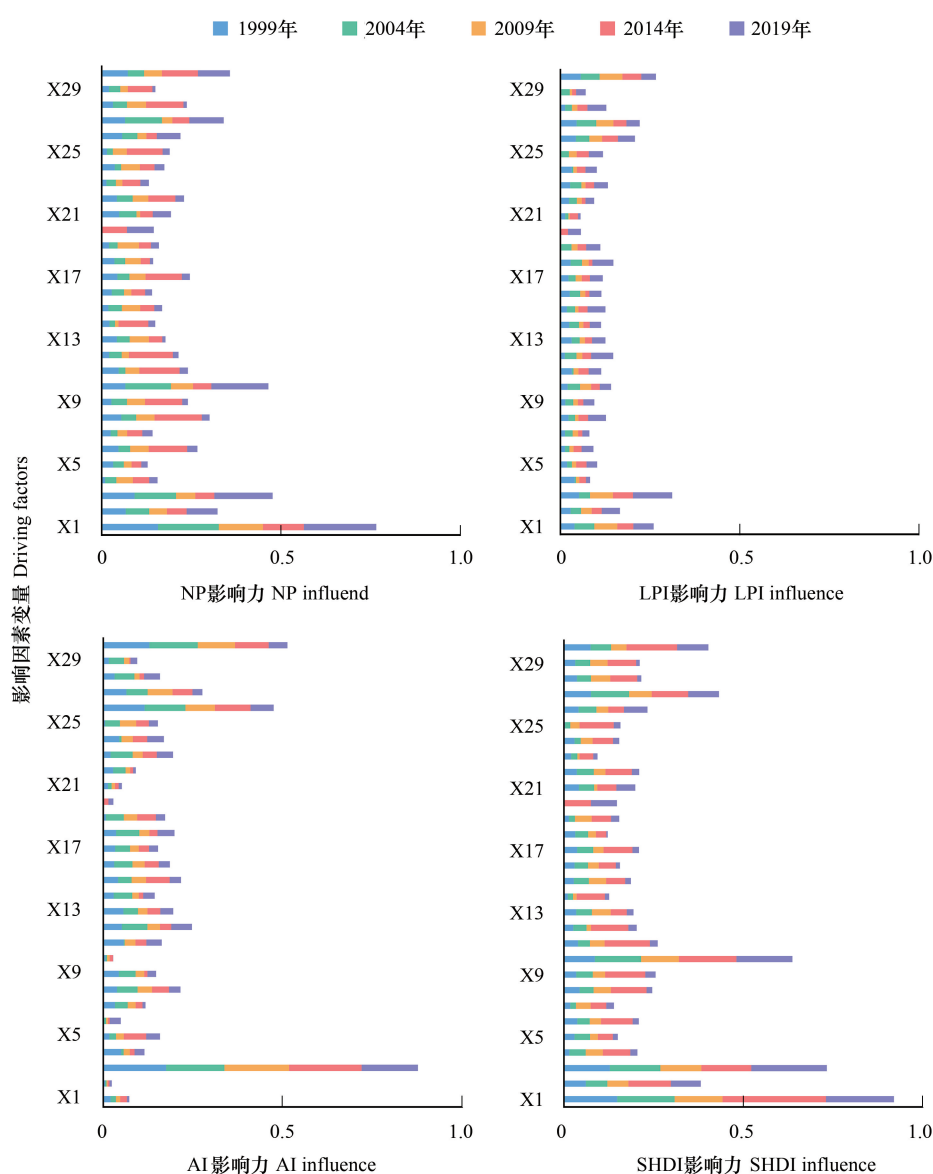


图 10 景观格局影响因子探测结果

Fig.10 Results of impact factor of landscape metrics

局影响因素指标体系对不同景观格局指数影响力差异较大,指标之间差异亦较为悬殊。总体来看,NP、SHDI 解释效果较好,对 LPI 解释力较低,各景观格局指数均存在显著性影响力指标。距河湖距离(X_3)、距城市距离(X_{27})、距景区距离(X_{30})对 4 种景观格局指数影响显著,是决定新安江流域整体景观格局演化的主要驱动力,高程(X_1)、坡度(X_2)对 NP、LPI、SHDI 影响力较强,亦是推动景观格局演化的重要因素。

从 NP 探测结果来看,高程(X_1)影响力最大且与其他指标差距显著,此外距河湖距离(X_3)、夜间灯光(X_{10})等因素对 NP 也有重要影响,说明海拔、水源等自然因素和人为干扰均是影响 NP 的主要因素。30 项指标对 LPI 指数的解释力相对较低,这主要是由于新安江流域林地绝对优势景观,其景观面积大,分布范围广,各影响因素指标与其在空间分布上的耦合程度较低。距河湖距离(X_3)是影响 AI 的最核心指标,其次是距景区距离(X_{30})和距乡镇距离(X_{26})。河湖、景区和乡镇对周边景观干扰效应显著,附近景观结构较为均衡,因此会出现 AI 低值区,故三者影响力较大。SHDI 与 NP 驱动因素相一致,核心驱动因素为高程(X_1)、距河湖距离(X_3)、夜间灯光(X_{10})等。这主要是由于 NP 与 SHDI 指数具有一定相关性,斑块数量多的区域景观多样性也较为丰富,因此导致两者驱动因素较为一致。

需要特别说明的是,高程(X_1)、坡度(X_2)和夜间灯光(X_{10})对其他三项景观指数影响较大,但对 AI 指数影响很小,其可能解释是由于景观的集聚程度不受地形和人类经济活跃程度所限引致。地形起伏大的区域可能出现林地集聚导致 AI 值较高,而地形平坦区域容易出现耕地、水体和建设用地集聚亦引发 AI 值较高;人类经济活跃地带多为连片建成区,AI 值较高,而经济活动不活跃地带多为连片林地,AI 值亦较高。

在 3 项旅游因子中,距高级别景区距离(X_{30})对景观格局的影响力最大,且在所有驱动因素中亦相对显著,其解释力仅次于距河湖距离(X_3)和距城市距离(X_{27})。这主要是由于景区周边景观较为破碎,景观完整性和集聚度较低,而景观异质性相对较高引致,表明新安江流域的景区开发建设对周边景观格局演化产生了一定负面影响。接待旅游人数(X_{28})和旅游直接收入(X_{29})对景观格局的解释力总体处于 30 项驱动因子中的较低水平,且解释力年际差异较小,说明新安江流域游客接待量和旅游经济的发展未对全流域景观格局产生显著性影响。

2.2.2 景观格局演化的驱动维度分析

分维度来看(图 11),地形地貌(D_1)、总体经济(D_4)、农业经济(D_6)、特殊人为干扰(D_{10})是影响新安江流域景观格局演化的主要驱动维度。其中地形地貌维度影响力最为突出,是影响新安江流域近 20 年景观破碎化和多样性的决定性驱动因素。总体经济维度也是决定景观破碎化和多样性的重要维度,其 NP、SHDI 影响力在近 20 年内提升近 1 倍,表明经济发展对新安江流域景观格局演化产生了重要影响。与上述影响维度不同,农业经济维度对新安江流域景观优势度和集聚度具有显著驱动力,但近 20 年影响力变动不大。农业经济维度体现的是农林牧渔各业的生产力水平,农业生产力空间分布状况与生产资料高度吻合,因此农业经济发达区域往往成片集聚着耕地、林地、草地、河湖等生产资料,又由于生产资料的有限性,在生产力不断提升状况下,生产资料未发生显著性变化,故农业经济维度影响力变动不大。特殊人为干扰维度在 1999—2009 年间对景观优势度和集聚度影响力较高,而在 2014—2019 年间则对景观的破碎化和多样性影响较大,结合指标探测结果可知,1999—2009 年的集聚度和优势度影响力主要由距乡镇距离贡献,而 2014—2019 年的景观破碎化和多样性影响力主要由距城市距离贡献。前期乡镇周边聚集连片耕地和林地,导致乡镇因素对集聚度和优势度影响力较大,后期由于城市的不断扩展,城市周边的乡土空间和生态空间不断受到侵占,致使景观趋于破碎化和多样化。

气候(D_2)、工业经济(D_5)和交通维度(D_8)对流域景观格局整体影响力较小。气候在流域尺度的空间异质性相对较小,统计数据也无法侦测到地形等因素引致的局地气候变化,故气候因素对流域尺度景观格局影响不显著。与农业经济不同,工业活动多在城市建设用地内发生,除采掘业和伐木业等特殊工业外,工业经济水平对流域尺度景观格局的影响程度较小。交通维度虽对新安江流域景观格局整体影响较小,但其驱动力呈显著上升趋势,尤其是对景观破碎化和多样性的驱动力。这可能是由于交通对景观格局的影响具有一定滞后

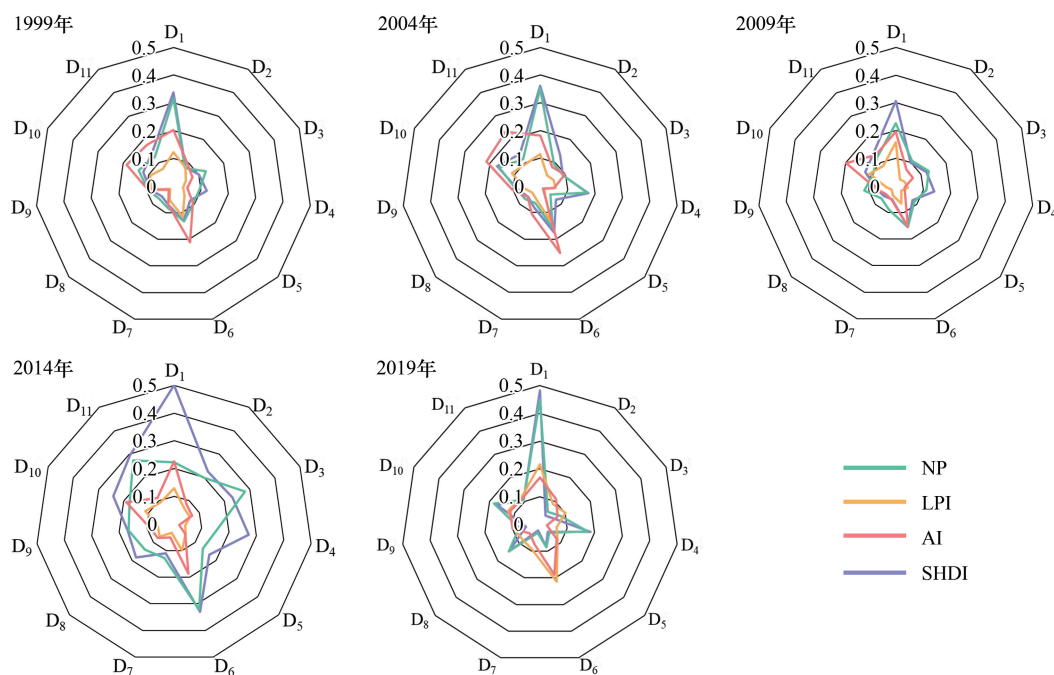


图 11 分维度因子解释力

Fig.11 The determinant values of different dominant dimensions

NP: 斑块数量 Number of Patches; LPI: 最大斑块指数 Largest Patch Index; AI: 集聚度 Aggregation Index; SHDI: 香农多样性 Shannon's Diversity Index

作用,新建交通线路对整体景观格局影响不大,但随着时间推移和交通条件改善,交通线会吸引其他要素在其周边布局,导致景观格局发生改变。

如前文所述,由于游客接待量和旅游经济发展水平对景观格局解释力较低,致使旅游维度(D_{11})对全流域景观格局的影响力远小于地形地貌等自然因素,也与经济活跃程度等人为干扰因素有一定差距,这表明旅游要素在新安江流域整体景观格局演化过程中未起到主导作用。新安江流域虽具有诸多景区景点,游客接待人数和旅游经济收入逐年攀升,但是由于旅游业是一种相对绿色产业,景区的开发建设又会受到严格的管控,游客的游览路线会被合理引导疏散。因此,旅游因素对新安江流域景观格局的影响局限在景区内和景区周边区域,对全流域景观格局影响相对较小。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 新安江流域以林地为绝对优势景观,且林地景观集聚度和复杂程度最高,但总体呈下降趋势,草地各景观指数波动最大,最容易受外界环境干扰;建设用地增长最迅速,其集聚化、连片化发展趋势最显著;新安江总体景观格局受人为干扰的程度逐年加剧,优势景观不断受到侵蚀,景观异质性提升,景观组分趋于均衡发展。

(2) 旅游热点区较一般区域所受人为干扰更强,景观更为破碎和多样,但从变化趋势来看,旅游热点区景观格局的恶化趋势要弱于一般区域,旅游活动未加剧流域景观格局恶化趋势;景区内的高强度旅游开发建设活动会加剧景区景观的破碎程度,降低优势景观的优势度和完整性,提升景区景观的多样性;旅游干扰对景观格局的影响具有一定尺度局限效应。

(3) 从因子层来讲,河湖、城市、景区三大干扰源与周边环境关联密切,是影响新安江流域景观格局演化

的核心驱动力,高程、坡度等地形指标对流域的景观破碎化和多样性也产生了重要影响;从维度层来讲,地形地貌是新安江流域景观格局演化的核心驱动维度,气候、工业发展水平和交通等维度受限于研究尺度、干扰方式和路径依赖等问题,对流域景观格局整体影响力较小。

(4)地理探测器结果表明,距高级别景区距离对新安江流域景观格局作用显著,旅游景区的开发建设在加剧景观破碎化和多样性方面产生了一定负面影响,但旅游维度在新安江流域整体景观格局演化过程中未起到主导作用,旅游干扰对流域景观格局的影响主要体现在景区尺度。

3.2 讨论

新安江流域作为一个拥有重要生态地位、深厚文化底蕴和优质旅游资源的典型城市群乡土—生态空间,其景观格局演化过程极具复杂性 with 差异性。从空间尺度来看,各驱动要素在作用于流域景观格局演化过程中,不同尺度空间的景观格局特征与过程既具有一致性又具有独特性,表现出不同的演化模式。依据本文结论,旅游干扰具有显著的尺度局限作用,旅游活动对新安江流域景观格局的影响主要局限于景区等中小尺度,对全流域景观格局干扰相对不显著。基于此,未来应从尺度和要素两个方向进一步深化旅游对区域景观格局干扰作用的研究。在尺度方面,应重点研究旅游活动发生、发展较为强烈的微观尺度景观演化机制;在要素方面,则需重点关注旅游业的关联和带动效应,侧重剖析旅游活动通过作用于关联产业间接引致的景观演化过程。

从时间尺度来看,区域景观格局演化过程具有一定路径依赖现象^[15],新安江流域也不例外。新安江流域近 20 年的景观格局演化轨迹不仅受限于当前驱动因子的影响,还与其发展历史相关,这就会导致各驱动因子对景观格局的影响存在滞后作用,但并非所有因子都存在滞后性且滞后的时间尺度亦不统一。现阶段探讨景观格局驱动因素滞后性的成果还较少。未来,通过合理设置对照组和实验组来阐释各驱动因素对景观格局的响应差异和干扰机制将是景观格局研究的重要方向。

地理探测器作为一种新兴统计学方法,在测度要素空间分异性进而揭示其背后驱动因素时具有诸多优势,但地理探测器的基本原理决定了其在揭示驱动要素背后驱动机制时具有一定局限性。地理探测器的基本思想认为,若某一自变量和因变量在空间分布上具有一致性,则该自变量是因变量的决定性驱动因素,但空间分布上具有耦合性的要素不一定具有直接的因果关系。基于此认识,本文认为在运用地理探测器测度驱动要素时需结合自变量和因变量空间分布状况以及研究区域实际情况,具体问题具体分析,不可依据计算结果盲目断定内在驱动机制。

参考文献 (References):

- [1] 魏斌,张霞,吴热风.生态学中的干扰理论与应用实例.生态学报,1996,15(6):50-54.
- [2] 巩劼,陆林,晋秀龙,南伟,刘飞.黄山风景区旅游干扰对植物群落及其土壤性质的影响.生态学报,2009,29(5):2239-2251.
- [3] 巩劼,陆林,晋秀龙,南伟,邢慧敏.黄山风景区旅游干扰对植物群落草本层的影响.地理科学,2009,29(4):607-612.
- [4] Niu L Q, Cheng Z H. Impact of tourism disturbance on forest vegetation in Wutai Mountain, China. Environmental Monitoring and Assessment, 2019, 191(2): 81.
- [5] 吕曾哲舟,黄晓霞,王琇瑜,和克俭,丁佼,孙晓能.玉龙雪山牦牛坪高山草甸的干扰格局分析.自然资源学报,2019,34(6):1223-1231.
- [6] 王立龙,陆林.旅游干扰对太平湖国家湿地公园土壤酶活性及大型土壤动物分布的影响.湿地科学,2013,11(2):212-218.
- [7] French R K, Muller C G, Chilvers B L, Battley P F. Behavioural consequences of human disturbance on subantarctic Yellow-eyed Penguins *Megadyptes antipodes*. Bird Conservation International, 2019, 29(2): 277-290.
- [8] Luo Q H, Song Y J, Hu X, Zhu S H, Wang H, Ji H B. Effects of tourism disturbance on habitat quality and population size of the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*). Wildlife Research, 2018, 45(5): 411-420.
- [9] Granquist S M, Nilsson P Å. Who's watching whom? -An interdisciplinary approach to the study of seal-watching tourism in Iceland. Journal of Cleaner Production, 2016, 111: 471-478.
- [10] 陆林,巩劼,晋秀龙.旅游干扰对黄山风景区土壤的影响.地理研究,2011,30(2):209-223.
- [11] 段桂兰,朱寅健.旅游干扰对土壤生态系统的影响研究进展.生态学报,2019,39(22):8338-8345.

- [12] Zeng X Y. Influence of tourism disturbance on carbon, nitrogen, and enzyme activities of the soil in an urban park in China. *Sumarski List*, 2018, 142(9/10): 529-535.
- [13] 陆林, 任以胜, 徐雨晨. 旅游建构城市群“乡土—生态”空间的理论框架及研究展望. *地理学报*, 2019, 74(6): 1267-1278.
- [14] 王祺, 蒙古军, 毛熙彦. 基于邻域相关的漓江流域土地利用多情景模拟与景观格局变化. *地理研究*, 2014, 33(6): 1073-1084.
- [15] 吴健生, 王政, 张理卿, 宋静. 景观格局变化驱动力研究进展. *地理科学进展*, 2012, 31(12): 1739-1746.
- [16] 曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋. 新安江流域土地利用结构对水质的影响. *环境科学*, 2013, 34(7): 2582-2587.
- [17] Peng J, Wang Y L, Zhang Y, Wu J S, Li W F, Li Y. Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. *Ecological Indicators*, 2010, 10(2): 217-223.
- [18] 程琳琳, 刘华, 刘焱序. 半干旱区县域景观格局变化轨迹识别——以宁夏盐池县为例. *自然资源学报*, 2019, 34(5): 1066-1078.
- [19] 宁立新, 周云凯, 白秀玲, 徐珊珊, 张启斌, 李培君. 鄱阳湖区景观格局季相变化及其优化调控研究. *自然资源学报*, 2018, 33(3): 439-453.
- [20] 阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力. *生态学报*, 2015, 35(13): 4357-4366.
- [21] 张金茜, 巩杰, 柳冬青. 地理探测器方法下甘肃白龙江流域景观破碎化与驱动因子分析. *地理科学*, 2018, 38(8): 1370-1378.
- [22] 董禹麟, 于皓, 王宗明, 李明玉. 1990-2015 年朝鲜土地覆被变化及驱动力分析. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 288-300.
- [23] 社会石, 哈斯额尔敦, 李爽, 赵艺源, 孙小旭. 科尔沁沙地风沙与湖泊景观演变及影响因素分析. *地理科学*, 2018, 38(12): 2109-2117.
- [24] 卢新海, 唐一峰, 易家林, 姜旭. 基于空间计量模型的耕地利用转型对农业经济增长影响研究. *中国土地科学*, 2019, 33(6): 53-61.
- [25] 李云龙, 韩美, 孔祥伦, 王敏, 潘彬, 魏帆, 黄淑萍. 近 30 年来黄河三角洲耕地轨迹转化及驱动力研究. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(9): 136-143.
- [26] Zhang H, Li X, Liu X P, Chen Y M, Ou J P, Niu N, Jin Y H, Shi H. Will the development of a high-speed railway have impacts on land use patterns in China? *Annals of the American Association of Geographers*, 2019, 109(3): 979-1005.
- [27] 于涛, 包安明, 刘铁, 郭浩, 郑国雄, 陈桃. 不同等级道路对玛纳斯河流域土地利用与景观格局的影响. *自然资源学报*, 2019, 34(11): 2427-2439.
- [28] 宫兆宁, 张翼然, 宫辉力, 赵文吉. 北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析. *地理学报*, 2011, 66(1): 77-88.
- [29] Seabrook L, McAlpine C, Fensham R. Cattle, crops and clearing: regional drivers of landscape change in the Brigalow Belt, Queensland, Australia, 1840-2004. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 78(4): 373-385.
- [30] 任平, 洪步庭, 刘寅, 周介铭. 基于 RS 与 GIS 的农村居民点空间变化特征与景观格局影响研究. *生态学报*, 2014, 34(12): 3331-3340.
- [31] 李文杰, 乌铁红, 李晓佳, 加力戈. 内蒙古希拉穆仁草原旅游地景观格局动态变化. *地理科学*, 2013, 33(3): 307-313.
- [32] Wang J F, Li X H, Christakos G, Liao Y L, Zhang T, Gu X, Zheng X Y. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [33] 张海洲, 陆林, 张大鹏, 虞虎, 张潇. 环莫干山民宿的时空分布特征与成因. *地理研究*, 2019, 38(11): 2695-2715.
- [34] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 陈呈奕. 基于格网的农村居民点用地时空特征及空间指向性的地理要素识别——以环渤海地区为例. *地理研究*, 2015, 34(6): 1077-1087.
- [35] 张行, 梁小英, 刘迪, 史琴琴, 陈海. 生态脆弱区社会——生态景观恢复力时空演变及情景模拟. *地理学报*, 2019, 74(7): 1450-1466.
- [36] 麻学锋, 杨雪. 大湘西高级别景区时空分布特征及影响因素的空间异质性. *自然资源学报*, 2019, 34(9): 1902-1916.
- [37] 何仁伟, 李光勤, 曹建华. 酒香真的不怕巷子深吗? ——基于国家级风景名胜区的区位选择问题研究. *旅游学刊*, 2018, 33(9): 94-107.