

黄河流域自然保护地空间格局演变与影响因素研究

——以青甘宁片区为例

束任天^{1,2}, 肖景义^{1,2*}, 杨延霞^{1,2}, 孔祥丹³, 张又文^{1,2}, 单洪腾^{1,2}

(1. 青海师范大学 地理科学学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 青海 西宁 810008;

3. 青海师范大学 历史学院, 青海 西宁 810016)

摘要: 自然保护地空间格局及影响因素的研究对于构建黄河流域以国家公园为主体的自然保护地体系具有现实意义。以黄河流域青甘宁片区国家级自然保护地为案例地, 基于 2003—2021 年 306 个自然保护地点数据, 借助 ArcGIS 10.8 空间分析工具, 运用核密度分析、标准差椭圆等方法, 从类型、密度等方面, 对研究区域内自然保护地空间分布的时空格局进行研究; 运用空间分析、相关性分析和地理探测器对影响因素进行探讨。结果表明, 1) 青甘宁黄河流域自然保护地空间结构类型为凝聚型和随机型; 2) 从分布密度上看, 呈现出以省会及重点城市为核心, 以黄河为轴的点状集聚与线状扩张并存的演变态势; 3) 自然保护地空间格局方向分布变化不显著, 方向与黄河在该区域的流向一致; 4) 影响流域自然保护地空间分布的因素依次为社会因素(0.626 0) > 自然因素(0.579 7) > 经济因素(0.541 3), 影响因素存在双因子增强和非线性增强。社会因素成为首要因素与青甘宁地区的自然人文环境密切相关, 影响因素在共同作用下最终形成了自然保护地空间格局。

关键词: 黄河流域; 青甘宁片区; 自然保护地; 空间格局; 影响因素; 地理探测器

中图分类号: P951

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2024)02-0228-09

Spatial Evolution Characteristics and Influencing Factors of the Nature Reserves in the Yellow River Basin——A Case Atudy of the Qinghai-Gansu-Ningxia Region

SHU Ren-tian^{1,2}, XIAO Jing-yi^{1,2*}, YANG Yan-xia^{1,2}, KONG Xiang-dan³,
ZHANG You-wen^{1,2}, SHAN Hong-teng^{1,2}

(1. College of Geographical Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810016, Qinghai, China;

2. Key Laboratory of Natural Geography and Environmental Processes of Qinghai Province, Xining 810008, Qinghai, China;

3. School of History, Qinghai Normal University, Xining 810016, Qinghai, China)

Abstract: The study of the spatial pattern of nature reserves and the influencing factors is of practical significance for the construction of a nature reserve system in the Yellow River Basin with national parks as the mainstay. Taking national nature reserves in the Qinghai-Gansu-Ningxia region of the Yellow River Basin as an example, and based on 306 nature reserve data points from 2003 to 2021, we used ArcGIS 10.8 spatial analysis tools, kernel density analysis, standard deviation ellipses and other methods to investigate the spatio-temporal patterns of nature reserve distribution in the study area, considering factors such as type and density. GIS spatial analysis, correlation analysis and geographic detectors were used to explore the influencing factors. The results showed that 1) the spatial structure types of nature reserves in the study area are agglomerative and random. 2) In terms of distribution density, an evolving pattern coexisting with point aggregation and linear expansion is observed, centred on provincial capitals and key cities and ex-

收稿日期: 2023-03-20 修回日期: 2023-11-30

基金项目: 青海省社会科学规划项目(2022Y012); 青海省社会科学规划项目(2022ZCY033); 青海省科技厅应用基础项目(2018-ZJ-789)。

第一作者: 束任天。研究方向: 旅游地理与规划开发。E-mail: srenty1996@126.com

* 通信作者: 肖景义, 教授, 博士, 硕士生导师。研究方向: 旅游地理与国家公园。E-mail: 398280676@qq.com

tending along the Yellow River axis. 3) The directional distribution of the spatial pattern of nature reserves shows no significant changes, and the direction is consistent with the flow direction of the Yellow River in the region. 4) The factors influencing the spatial distribution of nature reserves in the basin are ranked as follows: social factors (0.626 0) > natural factors (0.579 7) > economic factors (0.541 3). There is a bi-factorial enhancement and a non-linear enhancement of the influencing factors affecting the spatial pattern of nature reserves. Social factors becoming the primary ones that are closely related to the natural and human environment of the region, and the spatial pattern of the nature reserve is finally formed by the joint action of the influencing factors.

Key words: Yellow River Basin; Qinghai-Gansu-Ningxia region; nature reserve; spatial pattern; influencing factor; geodetector

黄河流域是我国重要的生态功能区和经济地带。自然保护地是由各级政府依法划定或确认,对重要的自然生态系统、自然遗迹、自然景观及其所承载的自然资源、生态功能和文化价值实施长期保护的地理空间^[1-2]。以国家公园为主体的中国特色自然保护地体系是我国自然生态系统重要的组成部分,与“三生”空间中的生态空间紧密相连,是推进生态文明建设、维护国土生态安全和实现经济社会可持续发展的重要途径。黄河流域青甘宁片区(以下简称“青甘宁片区”)是黄河上游地区的典型区域和重要的生态屏障,但生态环境较为脆弱。黄河流域生态保护和高质量发展的国家战略为青甘宁片区带来了发展机遇。在此背景下开展自然保护地的空间格局及演化研究,是空间格局优化与区域生态安全的科学基础。

国外有关自然保护地的研究主要集中在对内部各类资源功能价值的保护与开发分析,如自然资源保护价值^[3]、人地冲突^[4]、生态环境评价^[5]等方面。国内研究内容多集中在自然保护地体系构建^[6]、生态承载力^[7]和生态系统服务价值^[8-9]等方面。空间格局研究方面,研究对象多聚焦于自然保护区^[10-11]、森林公园^[12]和国家公园^[13]等单一类型的自然保护地;从研究时限上看,研究多为单一年份的静态研究^[14]。相关领域现有研究已取得了一定的成果,但仍存在一些不足。首先从研究对象看,研究对象针对某一类型自然保护地,缺乏对多类型自然保护地整体研究^[15];缺乏基于流域视角的研究^[16];研究案例地也多集中在东部地区,青甘宁地区的案例研究较少^[13]。从研究内容看,对于保护地空间分布特征的影响因素的研究较为鲜见^[17]。从研究时限看,少有对自然保护地的时空动态特征进行研究^[12]。因此,亟待开展黄河流域青甘宁片区自然保护地体系空间格局的时空格局演变及其影响因素的研究。

基于此,运用空间分析与数理统计等方法,分析自然保护地空间格局演化规律及影响因素。以期为青甘宁片区自然保护地整合优化提供科学参考,提

出高质量发展的建议,对于实现黄河流域生态保护和高质量发展具有重要现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

黄河流域青甘宁片区指以黄河上游由青海玛多至宁夏惠农段的流域范围,覆盖青甘宁3省区22市州。地理范围为 $95^{\circ}57'-108^{\circ}46'E$, $32^{\circ}55'-39^{\circ}18'N$,流域面积为35.93万 km^2 (图1)。青甘宁区地形以高原为主,总体呈现西高东低,主要地貌单元有青藏高原、黄土高原和河套平原等。研究区气候类型以温带大陆性气候、温带季风气候和高原山地气候为主,年平均气温在 $0\sim 12^{\circ}C$,年降水量在300~800 mm^[18]。该区域植被分区主要属于温带荒漠区、温带草原区和高寒植被区,随着近年来对生态环境保护的重视,全流域的植被覆盖指数也有了明显的提高。青甘宁区历史文化悠久,人文相亲,文化相通。自然人文环境具有相似性的同时兼有地域文化特色。目前已建立了相对完善的自然保护体系,截至2021年底,共有各类国家级自然保护地185处,较2003年增长285.71%,面积增长123.15%,保护对象已涵盖除海洋以外的所有生态系统类型。

1.2 数据来源

由于自然保护地具有稳定性,本研究以6 a为跨度,选取2003、2009、2015年和2021年4个年份306个国家级自然保护地为研究对象。保护地数据来源于国家林草局及各主管部门公布的自然保护地名录;坐标数据来源于高德地图API,拾取坐标后建立数据库;行政边界数据来源于国家地理公共服务平台“天地图”(https://www.tianditu.gov.cn/);各类矢量数据来源于中国科学院地理环境所(https://www.resdc.cn/),植被NDVI数据来源于NASA发布的MOD13Q1植被指数数据集,社会经济统计数据来源于2003—2022年各省区统计年鉴、统计公报、政府工作报告等。



图1 黄河流域青甘宁片区示意图

Fig.1 Schematic diagram of the Qing-Gan-Ning region of the Yellow River Basin

1.3 研究方法

1.3.1 最近邻指数 指观测最近邻距离与理论最近邻距离之比。用来表达点状要素在地理空间中的分布类型^[10-11]。

$$R_1 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, R_E = \frac{1}{2\sqrt{\frac{n}{A}}}, N_{NI} = \frac{R_1}{R_E} \quad (1)$$

式中: N_{NI} 表示最近邻指数; R_1 表示观测距离; R_E 表示理论距离; n 表示点的个数; A 为区域总面积; d_i 为 i 点到其最近邻点的距离。当 R 接近 1 时,说明点要素呈随机分布;当 $R > 1$ 时,为离散分布;当 $R < 1$ 时,为凝聚分布。

1.3.2 核密度分析法 核密度用以估算地理要素在空间上的分布,可视化地反映出空间集聚状态^[14,19]。核密度值越高则事件发生的概率越高,点越密集。

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (2)$$

式中: \hat{f} 为自然保护地的核密度估计值, $\hat{f}(x)$ 越大,表明分布越密集; h 为搜索半径; K 为核函数; n 为保护地个数; $(x-x_i)$ 表示估值点 x 到样本处的距离; d 为维数。

1.3.3 标准差椭圆 标准差椭圆(SDE),从全局空间的角度定量解释地理要素空间分布的聚集性、展布性、方向性以及空间形态等特征^[20]。参数包括圆心位置、长轴及短轴距离等。圆心的位置变动直观反映了自然保护地重心的空间变动。

1.3.4 地理探测器 地理探测器(GeoDetector, GD)是探测空间分异性、解释其影响因子背后差异

驱动力的解释程度,并揭示因子交互作用的工具^[21]。本研究采用因子探测器和交互探测器功能,明确各项影响因子对保护地空间分布的解释力度以及探测各项影响因子指标之间的交互作用。

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (3)$$

式中: q 为影响因子影响力度探测值; N_h 和 N 分别为探测要素和全区所含的单元数; σ^2 和 σ_h^2 分别表示次级要素层 h 和全区 Y 的方差; q 的值域在 0~1。如果分层由自变量 X 生成,则 q 越大表示自变量 X 对属性 Y 的解释力越强,反之则越弱。 q 表示因子 X 解释了 $100 \times q\%$ 的自然保护地空间分异。

1.4 指标选取

本研究从青甘宁片区的区域实际出发,结合学者关于国家公园、地质公园和自然保护区空间格局影响因素的研究成果^[10,13,17,19],选择从自然、经济和社会 3 个维度展开分析。共建立 3 个大类,12 个自变量。 X 为自然因子, Y 为经济因子, Z 为社会因子。 X_1 为归一化植被指数 NDVI, X_2 为自然保护地海拔, X_3 为自然保护地坡度, X_4 为距河流距离; Y_1 为三产占比, Y_2 为旅游收入, Y_3 为人均可支配收入, Y_4 为城镇化率; Z_1 为常住人口, Z_2 为旅游人次, Z_3 为财政政策支持, Z_4 为距公路距离。因变量为各市州自然保护地的数量。

2 结果与分析

2.1 自然保护地空间分布特征及其演化

2.1.1 保护地空间分布类型及其演变 使用平均最近邻分析工具计算青甘宁片区自然保护地的最近

邻指数(NNI)(表 1)。由表 1 可知,2009—2021 年,自然保护区空间格局空间分布的最近邻指数均 <1 ,均通过 Z 值检验和置信度检验,空间分布类型为凝聚型;2003 年最近邻指数 NNI 未通过 Z 检验和置信度检验,自然保护区空间分布类型为随机型。NNI 呈现逐年递减的趋势,自然保护区的空间集聚程度逐年增强。

2.1.2 保护区空间分布密度及其演变 利用 Arc-GIS 10.8 对自然保护区进行核密度分析,按自然断裂法对结果值进行分级并生成核密度分布图(图 2)。由图 2 可知,2003、2009、2015、2021 年片区的核密度每 1 万 km^2 分别是 0.94、1.61、2.44、3.22 个。2003 年青甘宁片区自然保护区核密度最高值区主要位于青海海东、甘肃甘南、平凉和宁夏银川一带。2009 年核心区继续增强,青海海南州沿黄一带核密度增长较快,形成核密度中心,同时

兰西沿黄城市群向东北方向延伸的趋势显著。2015 年保护区高值区进一步增多。2021 年随着自然保护区数量进一步增多,4 个片区已大面积集中连片。尤其是沿黄地区,核密度增长迅猛。总体来看,自然保护区整体时空格局呈现出以省会及重点城市为核心,以黄河为轴的点状集聚与带状延伸并存的时空演变态势。

片区自然保护区的核密度分布具有较为明显的等级性。银川、固原-平凉、临夏-甘南形成了核密度中心,核密度在 8.2 个/万 km^2 以上,青海河湟谷地一带形成了次级中心,核密度在 6.2 个/万 km^2 以上。此外中值区沿黄河及其支流条状延伸分布,分布密度在 3.5 个/万 km^2 以上。低值区主要分布在青海玉树州、果洛,甘肃定西、庆阳等地。可能与地区自然地理环境脆弱、生态政策,人口密度和社会经济发展等因素有关。

表 1 2003—2021 年片区自然保护区最近邻指数及空间结构类型

Table 1 NNI and spatial structure type of nature reserves in the region from 2003 to 2021

年份	保护区数量/个	观测值/km	期望值/km	NNI	空间结构类型
2003	34	38.033	44.482	0.855 *	随机型
2009	58	34.083	43.588	0.781	凝聚型
2015	88	27.499	36.274	0.758	凝聚型
2021	116	23.661	33.394	0.709	凝聚型

注: * NNI 表示最近邻指数,Z 得分分为-1.1617,P 为 0.105 8,未通过 Z 检验和置信度检验。

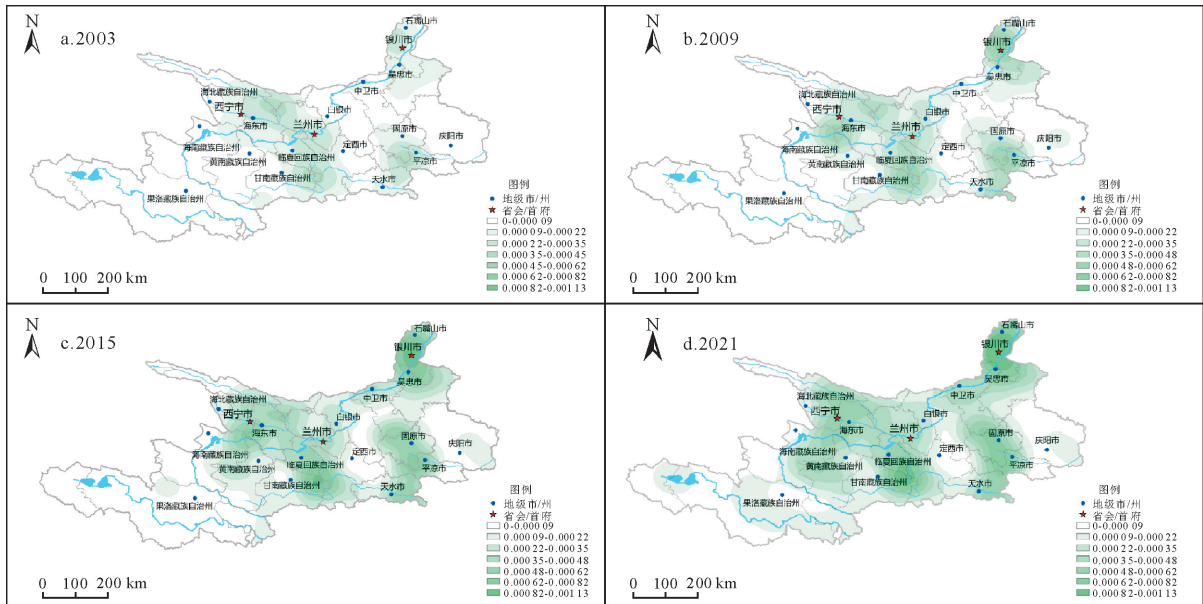


图 2 2003—2021 年青甘宁片区自然保护区核密度分布

Fig. 2 Distribution of nucleus density of nature reserves in the Qing-Gan-Ning region from 2003 to 2021

2.1.3 保护区空间分布重心及其方向演变 对 2003—2021 年片区自然保护区空间分布进行标准差椭圆分析。由图 3 可知,2003—2015 年保护区的平均质心都位于兰州市榆中县境内,其质心坐标变化不大。2021 年平均质心向西偏移约 $16'$,向南偏

移约 $0.7'$,质心位于兰州市皋兰县境内,自然保护区的分布重心向南偏西方向倾斜。2003—2021 年重心的偏移方向整体呈现“西北—东北—西南”走势,相较于 2003 年,自然保护区的重心整体向西北方向迁移。

从 2003—2021 年标准差椭圆的参数来看,首先标准差椭圆面积逐年增加,由 2003 年的 13.81 万 km^2 增加为 2021 年的 20 万 km^2 。当椭圆的面积增大时,表明 68% 的保护地分布于更大的椭圆内,椭圆内区域的保护地集聚性减弱;2003—2021 年标准差椭圆的长轴由 2003 年的 227.97 km 增长为 2021 年的 331.77 km,短轴几乎保持不变,保持在 195 km,

表明自然保护地分布的向心性 & 离散性未发生明显变化;从标准差的偏转角来看,由 63.594° 增为 70.132° ,偏转角呈现逐年增大的趋势。表明 2003—2021 年,自然保护地的整体分布格局偏向于正东方向。标准差椭圆面积变化较为显著但形态变化不大,自然保护地的分布方向为东北-西南走向,与黄河在该区域的流向基本一致。

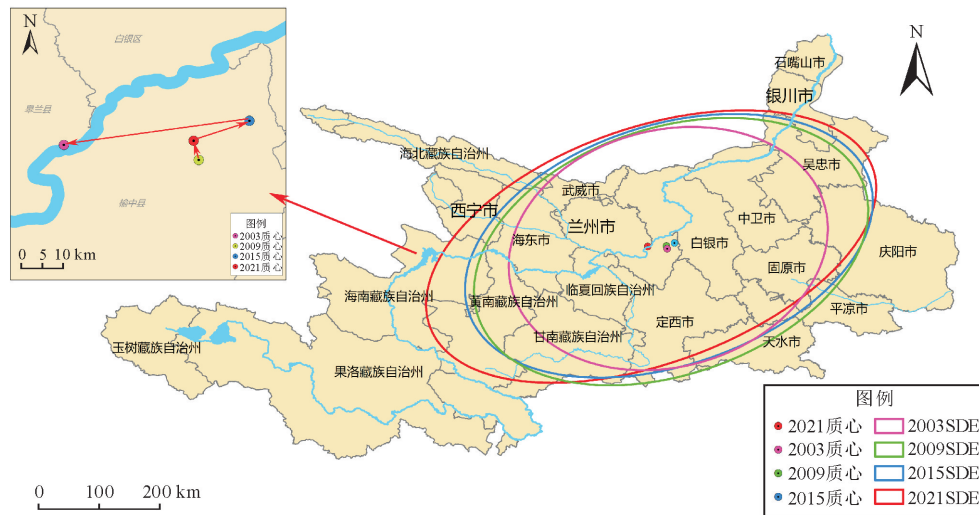


图 3 2003—2021 年青甘宁片区自然保护地空间分布质心及标准差椭圆

Fig. 3 Spatial distribution center of mass and standard deviation ellipse of nature reserves in Qing-Gan-Ning region from 2003 to 2021

2.2 自然保护地空间格局影响因素研究

2.2.1 自然因素 自然保护地的空间格局是资源要素在地域上的客观反映。原生生态景观丰富、自然资源雄厚、生态系统多样等生态环境优势是成为自然保护地的最优先条件^[22]。青甘宁区地处我国地势第二级阶梯向第三级阶梯的过渡地带,草原、森林、湖泊、河流、湿地、沙漠、冰川等自然景观纵横交错,植被类型区划多样。经 ArcGIS 10.8 叠置分析(图 5b),自然保护地主要分布在温带南部森林草甸草原(33.45%)、温带南部荒漠草原亚地带(26.35%)和暖温带南部落叶栎叶林亚地带(21.62%),少量分布于高寒灌丛草甸地带(7.43%)和温带南部典型草原亚地带(6.08%)。温带草原区和暖温带落叶阔叶林区相较于青甘宁片区其他区域,生态环境相对良好,有利于动植物生长发育,从而成为自然保护地建设的重点区域。

地形地貌一定程度上决定了自然保护地的类型和分布。青甘宁片区西高东低,高低悬殊,地形地貌多样。不同高程和坡度的自然保护地数量也不相同。将 2003—2021 年自然保护地与片区 DEM 进行叠置分析(图 5a),获取每个自然保护地海拔高程和坡度数据。从坡度上看,自然保护地最多分布在坡度 $0^\circ \sim 15^\circ$ 的区域,占有自然保护地的 67.56%,

从海拔上看,45.94% 的自然保护地分布在海拔 1 000~2 000 m 的地区、39.86% 分布在 2 000~3 000 m 的地区,分布在 3 000 m 以上的高海拔地区仅占 14.18%(图 4)。片区自然保护地多分布在黄土高原和河套平原海拔相对较低且地势平坦的地区。

河流湖泊能够提供优良的景观环境及生态屏障,有利于自然保护地的发展和评定^[23]。青甘宁三省区大多数属黄河流域。片区主要有湟水、洮河、大夏河和渭河等一级支流。利用 ArcGIS 10.8 将片区的主要河流进行 3、5 km 和 10 km 缓冲区分析(图 5e)。分析显示,落入 3 km 缓冲区的保护地数最多,落入 5 km 缓冲区的最少。2003—2021 年落入黄河干流及其支流两侧的三级缓冲区的点分别为 14、27、49、65 个,分别占比 41.18%、46.55%、55.69%、56.04%。结合缓冲区分析图,黄河流域自然保护地空间分布与河流水系的分布具有较强的联系。

2.2.2 经济因素 区域经济发展水平是影响自然旅游资源空间分布的重要因素^[24]。国家级自然保护地不同于一般的自然保护区或一般的旅游景区,其规划开发、运营维护和人才引进等需要充足的资金保障。经济基础较好的区域,基础设施更完善,接待服务能力优越,从而影响自然保护地的空间规模与布局。

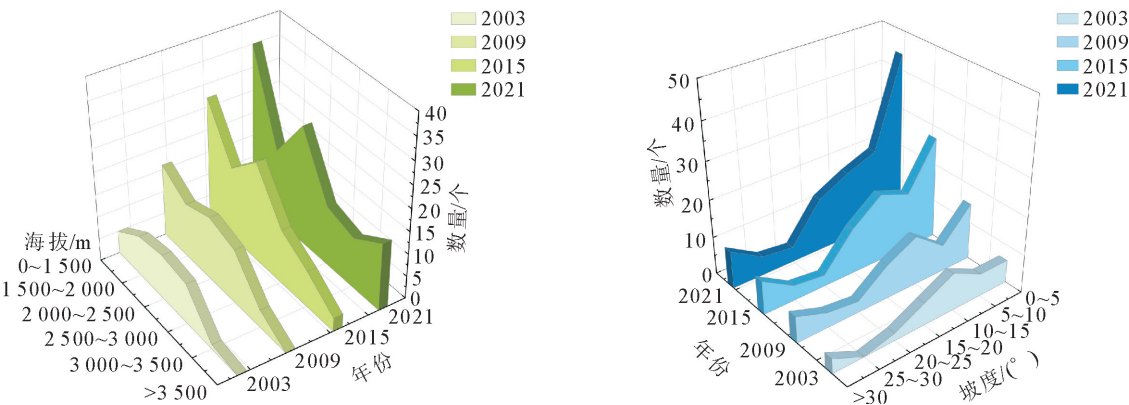


图 4 黄河流域青甘宁片区自然保护区海拔与坡度分布

Fig. 4 Elevation and slope distribution of nature reserves in the Qing-Gan-Ning region of the Yellow River Basin

收入水平为居民出游提供了物质保障。2003—2021 年,青甘宁片区经济快速发展,居民的生活水平显著提升。随着消费观的转变以及人们对精神文化生活有了更好的追求。休闲游憩需求和旅游消费水平大幅提高。在大众旅游的背景下,居民收入水平对自然保护区与旅游业发展具有显著影响。

旅游产业发展水平是制约旅游业高质量发展的重要因素。旅游发展水平是衡量一个地区旅游资源利用程度的重要评价指标,良好的旅游产业基础,能够带动相关产业的发展。此外,国家级自然保护区具有较高的游憩价值与吸引力,往往会发展成为重点旅游发展核,从而进一步影响区域的旅游空间格局。

分别以人均 GDP、人均可支配收入和旅游收入作为衡量因子(表 2)。结果显示 2003—2015 年 Pearson 相关性 P 均 ≥ 0.3 且通过了显著性检验,所选因子与自然保护区数呈现中度及以上相关性。但 2021 年相关性较低,该年份经济因素对自然保护区空间格局的影响程度较低。各经济因子的相关性系数也呈现逐年降低的趋势,表明经济因素对自然保护区空间格局的影响程度逐年减弱。

表 2 2003—2021 年片区自然保护区数量与
经济因素相关性分析

Table 2 Correlation analysis between the number of nature reserves and economic factors in the region from 2003 to 2021

年份	经济基础	收入水平	产业发展水平
2003	0.653 4***	0.544**	0.512 8**
2009	0.484 6**	0.339 4	0.433 4**
2015	0.305 7*	0.395 5*	0.218 4
2021	0.134 1	0.029	0.121 7

注: * 表明 0.05 水平的显著相关性; ** 表示 0.01 水平的显著相关性; *** 表示 0.001 水平的显著相关性。

2.2.3 社会因素 政策引导与资金支持是自然保护区快速发展的条件。同时自然保护区的评定和管理机制等因素对其空间分布产生直接的影响。在黄河流域生态保护和高质量发展战略和新时代自然保护区体系的双重指引下,黄河流域青甘宁片区自然

保护区发展迅速。“一带一路”、黄河经济带、兰西城市群等政策也为片区自然保护区发展奠定了坚实的基础。

交通网络是联系旅游目的地和客源地的通道^[24],交通通达性直接影响旅游目的地的可进入性以及游客感应距离,提高自然保护区对游客的吸引力,同时减少自然保护区建设的开支以及由此产生生态环境影响破坏。黄河流域内交通网络的形成与发展,带动区域内自然保护区的空间格局演化。以片区内高速公路及国道干线进行可达性分析(图 5c),分析显示,2003—2021 年,主要公路缓冲区范围内分布的自然保护区数量分别为,24、42、67 个和 98 个,占区内所有自然保护区的 70.58%、72.41%、76.13%和 84.48%(图 5d)。片区自然保护区平均可达时间为 3.06 h,可达性在 1、2、3 h 以内的自然保护区分别占 18.1%、42.24%和 58.62%。

自然保护区作为重要的旅游目的地之一,其空间布局与客源市场及人口分布密切相关^[11]。随着大众旅游和旅游需求的日常化,自然保护区周边的居民成为重要客源。常住人口影响本地市场的规模和相关从业者的规模,不仅满足自然保护区运营需要,也为保护区带来了稳定的消费群体和潜在的客流支持。以片区内的人口规模、消费水平等较高的城镇地区为代表,生成市、县级行政中心分布核密度,与自然保护区空间分布密度生成等值线进行叠加(图 5f)。自然保护区分布密度高值区与城镇分布密度高值区具有较为显著的空间耦合特征。

2.2.4 基于 GD 的影响因素探测 运用 GeoDetector 对上述自然、经济和社会因素进行验证。使用 Jenks 自然断裂法对影响因子进行聚类,再进行离散化处理,生成 9 级类型数据,导入 GeoDetector 进行影响力 q 测度,观测影响青甘宁片区自然保护区空间分布格局的因子解释力强弱。值域 $[0,1]$ 是 q 的取值范围, q 越大,表示自变量 X 对属性 Y 的解

释力越强。2003—2021 年黄河流域自然保护地的影响因子按解释因子 q 大小(表 3)依次是保护地距公路距离 Z_4 (0.756 9) > 保护地坡度 X_3 (0.633 4) > 居民人均可支配收入 Y_3 (0.630 2) > 旅游人次 Z_2 (0.617 1) > 保护地距河流距离 X_4 (0.603 3) > 常

住人口 Z_1 (0.596 2) > 保护地 NDVI X_1 (0.549 7) > 旅游收入 Y_2 (0.537 7) > 政策支持 Z_3 (0.533 8) > 保护地海拔 X_2 (0.532 6) > 三产占比 Y_1 (0.519 6) > 城镇化率 Y_4 (0.477 6)。分类后,社会因素(0.626 0) > 自然因素(0.579 7) > 经济因素(0.541 3)。

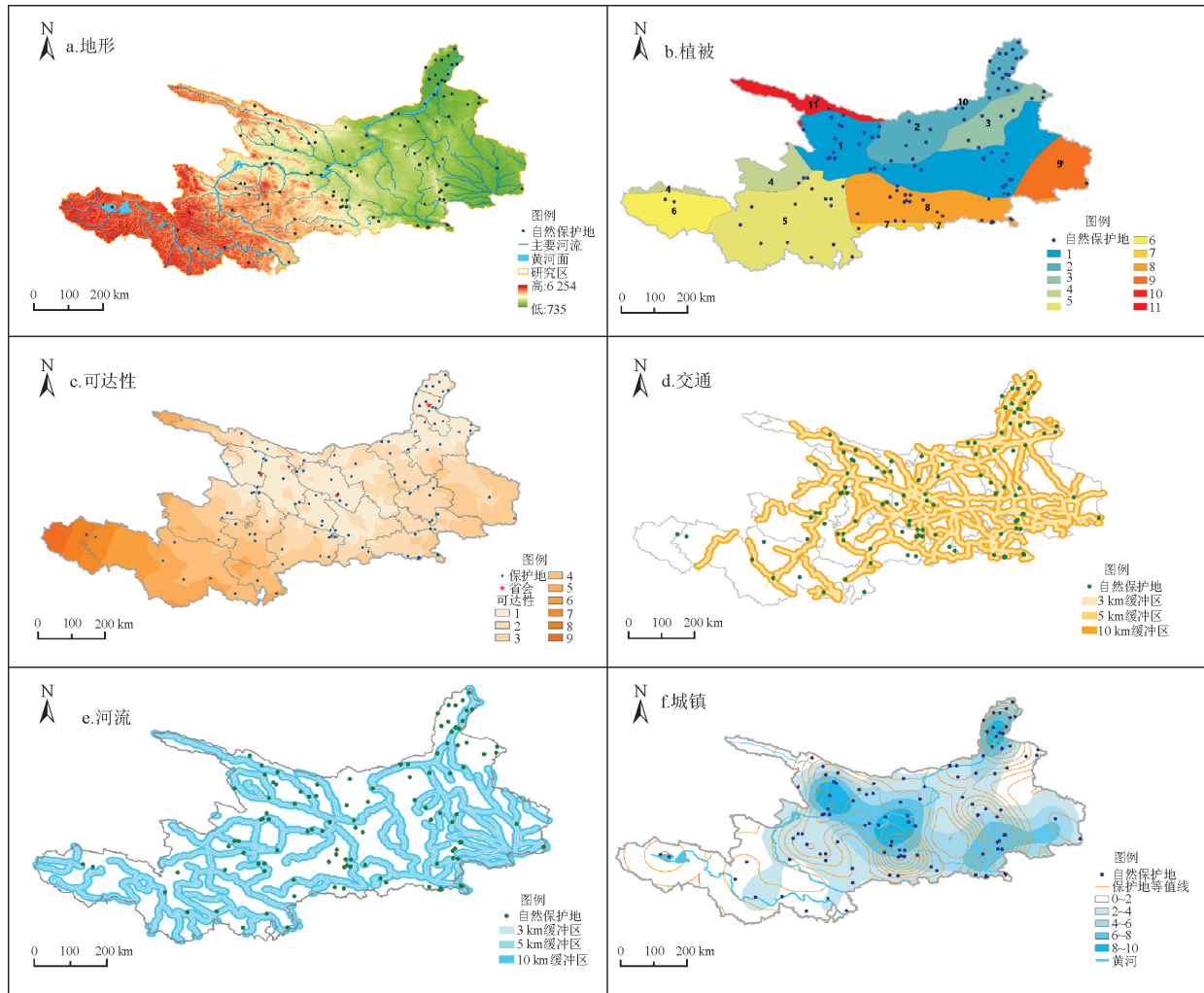


图 5 黄河流域青甘宁片区自然保护地影响因素叠置分析

Fig. 5 Overlay analysis of the impact factors of nature reserves in the Qing-Gan-Ning region of the Yellow River Basin

不同年份的 q 存在差异。2003—2021 年,影响自然保护地空间分布的 12 个因子中, q 均呈现下降,表明影响因素对自然保护地数量的解释力越来越弱。 Z_2 旅游人次呈现波动下滑,表明更多的单位游客的消费提高,重体验、重感受的自然保护地游憩逐渐发展。 Z_4 距交通线距离呈现先下滑后上升,表明近年来交通因素对自然保护地的空间格局的影响逐年增大,沿交通线分布的趋势逐年显著。其他 10 个因子均呈现逐年下滑的趋势,表明自然保护地受特定条件的影响逐年减弱,同时也表明自然保护地的地形、坡度、经济发展水平等条件越来越多样化。

交互探测主要分析因子对自然保护地的空间分布是否存在交互作用。当 $q(x_1 \cap x_2) < \min(q(x_1), q(x_2))$, 交互作用表现为非线性减弱,如果

$\min(q(x_1), q(x_2)) < q(x_1 \cap x_2) < \max(q(x_1), q(x_2))$, 则表现为单因子非线性减弱,当 $q(x_1 \cap x_2) > \max(q(x_1), q(x_2))$ 时,两者表现为双因子增强,当 $q(x_1 \cap x_2) = q(x_1) + q(x_2)$ 时,呈现独立,最后当 $q(x_1 \cap x_2) > q(x_1) + q(x_2)$ 时表现为非线性增强。

在交互探测的组合中,呈现出非线性增强的有 $(X_1 \cap X_2)$ 、 $(Y_2 \cap Y_3)$ 等 23 组(表 4)。其余 55 组因子之间交互作用均表现为双因子增强。交互结果表明任意 2 个影响因子之间都存在着交互作用,交互增强了对自然保护地空间分布的解释力度。这表明片区自然保护地空间格局的时空演化,不仅受到了自然环境、社会和经济的影响,同时各个因子交互影响,影响因子具有复杂性和多样性,最终形成了自然保护地的空间格局。

表 3 2003—2021 年黄河流域青甘宁片区自然保护区分布影响因素因子探测结果

Table 3 Detection results of the factors influencing the distribution of nature reserves in the Qing-Gan-Ning region of the Yellow River Basin from 2003 to 2021

年份	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
2003	0.85	0.781	0.735	0.79	0.793	0.827	0.902	0.724	0.803	0.758	0.758	0.951
2009	0.464	0.527	0.728	0.758	0.772	0.547	0.763	0.547	0.598	0.556	0.582	0.648
2015	0.462	0.473	0.609	0.449	0.348	0.416	0.488	0.346	0.5	0.602	0.484	0.705
2021	0.423	0.35	0.461	0.415	0.166	0.361	0.368	0.294	0.483	0.552	0.311	0.724
趋势	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↑↓	↓↓↓	↓↑↑
平均	0.550	0.533	0.633	0.603	0.52	0.538	0.63	0.478	0.596	0.617	0.534	0.757

注: X_1 为归一化植被指数 NDVI, X_2 为自然保护区海拔, X_3 为自然保护区坡度, X_4 为距河流距离; Y_1 为三产占比, Y_2 为旅游收入, Y_3 为人均可支配收入, Y_4 为城镇化率; Z_1 为常住人口, Z_2 为旅游人次, Z_3 为财政政策支持, Z_4 为距公路距离。

表 4 2003—2021 年黄河流域青甘宁片区自然保护区分布影响因素交互探测结果

Table 4 Interaction detection results of factors influencing the distribution of nature reserves in the Qing-Gan-Ning region of the Yellow River Basin from 2003 to 2021

	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
X_1	0.516											
X_2	0.963	0.182										
X_3	0.917	1.000	0.439									
X_4	0.983	0.896	0.963	0.644								
Y_1	1.000	1.000	0.930	1.000	0.745							
Y_2	0.942	0.921	0.983	1.000	1.000	0.664						
Y_3	0.963	0.963	0.934	0.996	0.963	0.963	0.218					
Y_4	1.000	0.963	0.834	0.979	0.983	0.963	0.907	0.403				
Z_1	0.838	0.963	1.000	0.979	1.000	0.843	0.909	0.983	0.556			
Z_2	0.996	1.000	1.000	1.000	0.979	0.747	0.946	0.917	0.838	0.463		
Z_3	0.901	0.859	0.917	1.000	0.876	0.855	0.909	0.946	0.909	0.917	0.613	
Z_4	0.934	1.000	0.785	1.000	0.942	0.979	0.896	0.880	0.892	0.979	0.963	0.464

3 讨论

本研究在分布方向上与贵州^[19]、四川^[10]和珠三角^[20]的研究存在一定的相似性,自然保护区呈现东北-西南走向,而东北—西南走向的共同特征可能与“胡焕庸线”的东北—西南分布方向存在一定的联系。现有研究在演化模式上与本研究存在一定的差异。同属黄河流域下游地区的山东省自然保护区的演变呈现出“四核多片—三核多团两片”的特征^[25],其成片趋势显著强于上游青甘宁地区。多数研究表明自然因素是影响自然保护区空间格局的首要因素^[17,19],而在本研究中,社会因素是影响自然保护区空间格局的首要因素。青甘宁地区的自然环境条件不及其他地区优越,保护地建设的限制性因素较多,因此自然保护区的建设更多地依赖交通、人口、政策等社会因素。国家公园示范省、生态文明高地等政策定位为青甘宁地区的自然保护区建设提供了基础。相较于其他地区,青甘宁地区的人口密度较低,自然保护区的数量较少但单体面积较大,东部地区的数量较多但面积较小,呈现出一定的碎片化特

征,因此一定程度上加剧了自然保护区的自然地理环境异质性,从而使得自然因素成为影响多数地区保护地空间分布的首要因素。

基于研究结果,提出以下建议:1)应践行生态优先,实施严格的保护。通过转变资源利用方式、开展常态化生态环境预警监测^[26]、提升环境承载力等措施,提升生态环境质量。2)应构建布局合理、层次分明的交通网络,提升交通通达性。完善自然保护区的各类基础设施建设,重视自然保护区复合型人才的培养,提升综合管理与服务水平。3)游憩是自然保护区提供的重要生态系统服务之一,能够实现保护与发展共生,为此应积极发展生态旅游,打造生态旅游目的地。在保护的同时兼顾文化服务功能、实现生态-社会-经济效益的统一。4)确定自然保护区功能定位,构建黄河流域自然保护区“一轴两翼三核九区”的总体布局。打造生态廊道,实现青甘宁地区自然保护区空间布局的合理优化。

囿于学科背景,本研究基于地理学视角对影响自然保护区的因素进行了研究,尚未从生物学、生态学视角进行研究;由于数据可得性,没有将空间重叠

边界等纳入研究范畴。未来将开展基于多学科视角、多源数据的综合性研究,并将黄河上中下游自然保护地进行对比分析,以提升结果的准确性。从而构建青甘宁地区自然保护地空间体系,保护生态系统与促进生物多样性,实现黄河流域生态保护和高质量发展。

4 结论

从保护地空间分布类型上看,2003 年流域自然保护地 NNI 为 0.855,但未通过 Z 值检验,为随机型;2009—2021 年 NNI 分别为 0.781、0.758、0.709,均为凝聚型。

从空间分布的密度上看,2003—2021 年自然保护地分布密度分别为 0.94、1.61、2.44、3.22 个·万 km⁻²。自然保护地空间格局呈现出以省会及重点城市为核心,以黄河为轴的点状集聚与带状延伸并存的时空演变态势。

从空间分布质心和方向上看,2003—2015 年自然保护地的分布质心位于甘肃省榆中县境内,2021 年位于皋兰县境内,呈西北方向轻微迁移态势,质心的年际变化不显著。自然保护地空间分布的标准差椭圆的偏转角由 63.594°逐年增为 70.132°,呈现出东北-西南走向,与黄河在该区域的流向基本相似。

影响流域自然保护地空间分布的因素平均值依次是社会因素(0.626 0) > 自然因素(0.579 7) > 经济因素(0.541 3)。交互探测表明,因子间存在 55 组双因子增强和 23 组非线性增强,各个因子 1+1>2,在交互影响下最终形成了自然保护地的空间分布格局。

参考文献:

- [1] 中共中央办公厅,国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见[EB/OL]. (2019-08-21). http://www.gov.cn/xinwen/2019-07./03/content_5405621/htm.
- [2] DUDLEY N. Guidelines for applying protected area management categories; IUCN, 2008.
- [3] CHAPE S, HARRISON J. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets[J]. Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences, 2005, 360(1454): 443-455.
- [4] ANTOINE L, ASHISH K. Displacement and relocation of protected areas: a synthesis and analysis of case studies[J]. Economic and Political Weekly, 2009, 44(49): 37-47.
- [5] ZABORTSEVA T I, YEVSTROPIEVA O V. Current socio-economic problems of recreational development of Pribaikalsky National Park[J]. Geography and Natural Resources, 2009, 30(4): 359-366.
- [6] 彭建. 以国家公园为主体的自然保护地体系: 内涵、构成与建设路径[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2019, 18(1): 38-44.
- [7] PENG J. The protected area system dominated by national park: connotation, categories, and establishment path[J]. Journal of Beijing Forestry University: Social Sciences, 2019, 18(1): 38-44. (in Chinese)
- [8] 智尹, 张育庆, 王垚. 自然保护地生态承载力时空分异研究——以大连金石滩为例[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 4676-4684.
- [9] ZHI Y, ZHANG Y Q, WANG Y. Spatio-temporal differentiation of ecological carrying capacity of the protected area: a case study of Jinshitan in Dalian[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(12): 4676-4684. (in Chinese)
- [10] 李兴来, 肖景义. 青海祁连风光游憩区生态系统服务价值评估[J]. 生态科学, 2022, 41(2): 124-130.
- [11] LI X L, XIAO J Y. Study on the evaluation of ecosystem service value in Qilian recreation area of Qinghai Province[J]. Ecological Science, 2022, 41(2): 124-130. (in Chinese)
- [12] 杜金鸿, 刘方正, 周越, 等. 自然保护地生态系统服务价值评估研究进展[J]. 环境科学研究, 2019, 32(9): 1475-1482.
- [13] 王成武, 崔彪, 汪宙峰, 等. 四川省自然保护区时空分布与影响因素[J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3794-3805.
- [14] WANG C W, CUI B, WANG Z F, et al. Spatical and temporal distribution and influencing factors of nature reserves in Sichuan Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(9): 3794-3805. (in Chinese)
- [15] 陈圣天, 付晖, 付广, 等. 海南省 5 个国家级自然保护区景观格局时空变化比较研究[J]. 西北林学院学报, 2023, 38(1): 181-189.
- [16] CHEN S T, FU H, FU G, et al. Comparison of spatial-temporal dynamics of the landscape patterns of 5 national nature reserves in Hainan Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2023, 38(1): 181-189. (in Chinese)
- [17] 朱磊, 李燕楠, 胡静, 等. 国家森林公园空间分布格局及其影响因素研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 389-400.
- [18] ZHU L, LI Y N, HU J, et al. Spatial differentiation pattern and influencing factors of China National Forest Park[J]. Arid. Land Geogr, 2022, 45(2): 389-400. (in Chinese)
- [19] 李兴来, 肖景义. 国家公园游客与居民旅游生态补偿支付意愿及影响因素对比研究——以青海祁连风光旅游区为例[J]. 生态经济, 2020, 36(10): 129-133.
- [20] 石秀雄, 杨广斌, 李蔓, 等. 贵州省国家级自然保护地空间格局特征分析[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 323-329.
- [21] 潘竞虎, 徐柏翠. 中国国家级自然保护地的空间分布特征与可达性[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 353-362.
- [22] PAN J H, XU B C. Spatial distribution characteristics and accessibility of protected areas in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(2): 353-362. (in Chinese)
- [23] 刘勇, 范琳, 杨永林, 等. 青海湖流域自然保护地整合优化探讨[J]. 林业资源管理, 2020(2): 73-78.
- [24] LIU Y, FAN L, YANG Y L, et al. Discussion on the integration and optimization of natural reserves in Qinghai Lake Basin[J]. Forest Resources Wamagement, 2020(2): 73. (in Chinese)

- [33] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [34] 王颖慧, 丁建丽, 李晓航, 等. 伊犁河流域土地利用/覆被变化对生态系统服务价值的影响——基于强度分析模型[J]. *生态学报*, 2022, 42(8): 3106-3118.
WANG Y H, DING J L, LI X H, *et al.* Impact of LUCC on ecosystem services values in the Yili River basin based on an intensity analysis model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(8): 3106-3118. (in Chinese)
- [35] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. *自然资源学报*, 1997(2): 105-111.
ZHUANG D F, LIU J Y. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 105-111. (in Chinese)
- [36] 杨光宗, 吕凯, 李峰. 基于格网尺度的南昌市土地利用变化及生态系统服务价值时空相关性分析[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(8): 121-130.
YANG G Z, LÜ K, LI F. Spatial and temporal correlation analysis of land use change and ecosystem service value in Nanchang City based on grid scale[J]. *China Land Science*, 2022, 36(8): 121-130. (in Chinese)
- [37] 马国强, 李秋洁, 张蓉, 等. 抚仙湖流域景观格局及生态系统服务价值的动态变化[J]. *西北林学院学报*, 2023, 38(2): 265-272.
- MA G Q, LI Q J, ZHANG R, *et al.* Dynamic changes of landscape pattern and ecosystem service value in the Fuxian Lake basin[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2023, 38(2): 265-272. (in Chinese)
- [38] 路中, 雷国平, 郭一洋, 等. 不同空间尺度松嫩平原土地利用强度变化及其对气候因子的影响[J]. *生态学报*, 2021, 41(5): 1894-1906.
LU Z, LEI G P, GUO Y Y, *et al.* Changes of land use intensity in the Songnen Plain of different spatial scales and their effects on climatic factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(5): 1894-1906. (in Chinese)
- [39] 龙凤. 长江中上游地区土地利用变化及其生态系统服务价值研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2015.
- [40] 陈万旭, 李江凤, 朱丽君. 长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 325-337.
CHEN W X, LI J F, ZHU L J. Spatial heterogeneity and sensitivity analysis of ecosystem services value in the middle Yangtze River region[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(2): 325-337. (in Chinese)
- [41] 滕蛟, 李慧, 陆双飞, 等. 西南地区寒温性针叶林乔木对气候变化的响应[J]. *西北林学院学报*, 2023, 38(2): 33-44.
TENG J, LI H, LU S F, *et al.* Responses of cold-temperate coniferous forest to climate change in southwestern China[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2023, 38(2): 33-44. (in Chinese)

(上接第 236 页)

- [17] 张卓然, 唐晓岚, 贾艳艳. 保护地空间分布特征与影响因素分析——以长江中下游为例[J]. *安徽农业大学学报*, 2017, 44(3): 439-447.
ZHANG Z R, TANG X L, JIA Y Y. Spatial distribution characteristics and influencing factors of protected areas—a case of middle and lower reaches[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2017, 44(3): 439-447. (in Chinese)
- [18] 刘凯, 聂格格, 张森. 中国 1951—2018 年气温和降水的时空演变特征研究[J]. *地球科学进展*, 2020, 35(11): 1113-1126.
- [19] 樊涵, 杨朝辉, 王丞, 等. 贵州省自然保护地时空演变特征及影响因素[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(3): 1005-1014.
FAN H, YANG Z H, WANG C, *et al.* Temporal-spatial variation and the affecting factors of protected areas in Guizhou, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(3): 1005-1014. (in Chinese)
- [20] 周婷, 洗丽君, 徐颂军. 珠江三角洲湿地公园的空间分布特征及其影响因素分析[J]. *湿地科学*, 2018, 16(6): 707-716.
ZHOU T, XIAN L J, XU S J. Spatial distribution of wetland parks and its influence factors in Pearl River Delta [J]. *Wetland Science*, 2018, 16(6): 707-716. (in Chinese)
- [21] 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.
WANG J F, XU C D. Geodetector: principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. (in Chinese)
- [22] 贾艳艳, 唐晓岚, 张卓然. 长江中下游流域自然保护地空间分布及其与人类活动强度关系研究[J]. *世界地理研究*, 2020, 29(4): 845-855.
- [23] 张建国, 徐晔. 浙江省森林公园空间布局与旅游发展研究[J]. *浙江农林大学学报*, 2022, 39(5): 1124-1132.
ZHANG J G, XU X. Research on the spatial distribution of forest parks and tourism development in Zhejiang Province [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2022, 39(5): 1124-1132. (in Chinese)
- [24] 周李, 吴殿廷, 李泽红, 等. 中蒙俄经济走廊自然旅游资源格局及影响因素研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(11): 2168-2176.
ZHOU L, WU D T, LI Z H, *et al.* Study on spatial distribution and its influencing factors of natural tourism resource in China-Mongolia-Russia Economic Corridor[J]. *Resources Science*, 2018, 40(11): 2168-2176. (in Chinese)
- [25] 孙金欣, 韩美, 孔祥伦, 等. 黄河下游自然保护地时空分布特征与高质量发展建议——以山东省为例[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(3): 395-402, 412.
SUN J X, HAN M, KONG X L, *et al.* Spatio-temporal characteristics and suggestions for high-quality development of nature protected areas in the lower reaches of the Yellow River[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(3): 395-402, 412. (in Chinese)
- [26] 谢绍锋, 肖化顺, 储蓉, 等. 基于泰森多边形的广州市林火空间分布规律研究[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(3): 178-185.
XIE S F, XIAO H S, CHU R, *et al.* Spatial distribution of forest fire based on the voronoi in Guangzhou[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(3): 178-185. (in Chinese)