

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.04.002.

安彬, 肖薇薇, 崔晓明. 汉江生态经济带土地利用格局的地形梯度效应特征[J]. 水土保持研究, 2024, 31(4): 288-297, 307.

An Bin, Xiao Weiwei, Cui Xiaoming. Topographic Gradient Effect of Land Use Pattern in Hanjiang River Ecological Economic Belt[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(4): 288-297, 307.

汉江生态经济带土地利用格局的地形梯度效应特征

安彬^{1,2,3}, 肖薇薇^{1,2}, 崔晓明⁴

(1.安康学院 旅游与资源环境学院/陕西省院士专家工作站, 陕西 安康 725000; 2.陕南乡村振兴研究中心, 陕西 安康 725000; 3.陕南生态研究中心, 陕西 安康 725000; 4.安康学院 科研处, 陕西 安康 725000)

摘 要: [目的]探究汉江生态经济带土地利用的地形梯度效应,为区域土地利用格局的调整和优化提供科学借鉴。

[方法]基于 1990—2022 年土地利用和 DEM 数据,选取高程、坡度、地形起伏度和地形位 4 个地形指标,借助分布指数、信息图谱等分析方法,探讨了汉江生态经济带土地利用格局的地形梯度效应。[结果](1) 汉江生态经济带土地利用结构以林地(面积占比在 54.59%以上)和耕地(35.20%以上)为主,呈现“东耕西林”空间格局。1990—2022 年林地、建设用地和水域面积有所增加,耕地和草地面积减少明显。(2) 随各地形梯度等级增加,耕地、水域和建设用地的面积和分布指数逐渐减少,草地均呈先增后减趋势,林地分别呈先增后减、持续增加态势。(3) 研究时期内,耕地、林地的分布优势分别在各地形因子的中低(I—III)和中高(III—V)等级上有所扩大,其分布指数增幅介于 0.041~0.117, 0.005~0.076;除 I 级梯度上的分布指数一致呈减少外,其他梯度上草地和水域的分布优势以扩大为主,其指数增加最明显的分别为地形起伏度 III 级(0.317)、地形位 III 级(0.299);建设用地分布优势在 I 级梯度上皆呈扩大态势,其指数增加了 0.056~0.689。(4) 研究区土地利用信息图谱以稳定型(81.39%)为主,其他图谱类型受地形梯度影响存在显著差异。[结论]受自然、政策等因素的共同影响,汉江生态经济带土地利用格局具有显著的地形梯度效应,分布优势在地形梯度上的变化相对复杂。因此,未来国土空间开发需秉承因地制宜原则,促进土地资源的可持续发展。

关键词: 土地利用变化; 地形梯度; 地形位; 地形起伏度; 分布指数; 汉江生态经济带

中图分类号: F301.2; P931

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)04-0288-10

Topographic Gradient Effect of Land Use Pattern in Hanjiang River Ecological Economic Belt

An Bin^{1,2,3}, Xiao Weiwei^{1,2}, Cui Xiaoming⁴

(1.School of Tourism & Environment/Academician and Expert Workstation of Shaanxi Province, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China; 2.Research Center for Rural Revitalization in Southern Shaanxi, Ankang, Shaanxi 725000, China; 3.Shaanman Eco-economy Research Center, Ankang, Shaanxi 725000, China; 4.Department of Science and Research, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to explore the topographic gradient effect of land use in the Hanjiang Ecological Economic Belt (HJEEB), and to provide scientific reference for the adjustment and optimization of regional land use patterns. [Methods] Based on land use and DEM data from 1990 to 2022, four terrain features, namely elevation, slope, relief amplitude and topographic index, were selected to analyze the terrain gradient effect of land use change in HJEEB by used methods such as land use distribution index(DI), information graph. [Results] The land use structure of the HJEEB was mainly composed of forestland and farmland, with an area proportion of over 54.59% and over 35.20%, respectively. In terms of space, there was a pattern of farmland dominated in the east and forest land in the west. From 1990 to 2022, the areas of forestland, construction land, and water areas increased, while the areas of farmland and

收稿日期: 2023-08-26

修回日期: 2023-10-08

资助项目: 陕西省教育厅科学研究计划项目(22JK0233); 陕西省哲学社会科学专项青年项目(2024QN232); 安康学院高层次人才项目(2019AYQDZR05)

第一作者: 安彬(1988—), 男, 江西九江人, 博士在读, 副教授, 研究方向为区域环境评价与 GIS 应用。E-mail: leyang1007@126.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

grassland decreased significantly. As the gradient level of each terrain increased, the distribution area and index of farmland, water area, and construction land gradually decreased. The area of forestland showed a trend of first increasing and then decreasing, while the DI continued to increase. The area and DI of grassland showed a trend of first increasing and then decreasing. The distribution advantages of farmland and forestland during the research period had expanded in the low to medium(Ⅰ—Ⅲ) and high to medium(Ⅲ—Ⅴ) levels of various terrain factors, respectively, with an increase in their DI ranging from 0.041 to 0.117 and 0.005 to 0.076. Except for a consistent decrease in the DI on the Ⅰ-level gradient, the distribution advantages of grassland and water area on other gradients mainly expanded, with the most significant increase in the DI being relief amplitude level Ⅲ(0.317) and topographic index level Ⅲ(0.299), respectively. The distribution advantage of construction land showed an expanding trend on the Ⅰ-level gradient, with DI increase of 0.056~0.689. During the research period, the land use information graph of the HJEEB was mainly stable, accounting for 81.39% of the study area. In addition, there were significant differences in the degree to which various types of land use information graphs were affected by terrain gradients. [Conclusion] Affected by factors such as watershed terrain structure and land use policies (returning farmland to forests, etc.), the land use pattern has a significant topographic gradient effect in HJEEB, and the change of distribution advantage is relatively complex in the topographic gradient. Therefore, the territorial space development needs to adhere to the principle of adapting to local conditions in future in order to promote the sustainable development of land resources.

Keywords: land use change; terrain gradient; topographic index; relief amplitude; distribution index (DI); Hanjiang Ecological Economic Belt (HJEEB)

土地利用/覆盖变化(Land Use/Cover Change, LUCC)作为陆地表层系统最突出的景观标志,能够有效地揭示人类活动与自然环境相互作用机理^[1],是现代地理学研究的前沿领域之一^[2-3],而土地利用时空格局变化成为LUCC研究的核心内容^[4]。研究表明,土地利用的动态演变是特定人-地关系下多种要素综合作用的结果^[1,3-6]。地形作为自然环境中的关键因子,不仅深刻影响了区域内水热、养分等要素的再分配^[7],还一定程度上决定着土地利用方向和方式的选择^[8-10]。数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)是地表形态的数字化表达,可有效提取坡度、坡向等地形因子,为研究土地利用格局的地形分布特征提供基础^[11-12]。因此,基于DEM的土地利用格局与地形梯度的关系研究受到广泛关注。目前,学者主要以行政区(如省、市、县等)^[9-10,12]、地形区(如高山峡谷、丘陵、平原、山区等)^[6,8,10,13-14]、流域等^[4,15-17]为研究区,结合地形分布指数^[4,8-15,17]、信息图谱^[14]、信息熵^[9-10]、地理探测器等^[6]研究方法,从单因子(如高程、地形起伏度、坡度、坡向等)^[10,12,15]或多因子(如地形位等)^[7-8,10-12]的地形梯度角度探讨了土地利用时空格局的变化特征,为中国形成安全协调、富有竞争力和可持续发展的美丽国土提供有力支撑。

党的十八大以来,中国确立了基于流域生态保护与经济高质量发展的“江河战略”^[18]。2018年,以汉江流域为主体的《汉江生态经济带发展规划》获批,对新时代区

域发展具有深远的战略价值^[19]。当前,基于流域视角下的生态经济带土地利用格局研究相对较少。对于汉江生态经济带而言,学者仅关注了汉中^[20]、武汉^[21]、南阳等^[22]典型城市的土地利用变化情况,缺少基于较长时间序列、较大空间尺度的土地利用与地形梯度的关系研究。因此,本文利用土地利用与DEM数据,结合高程、坡度、地形起伏度和地形位等地形梯度指标,探讨1990—2022年汉江生态经济带土地利用在地形梯度上的演变特征,以期为区域国土空间开发与优化、社会经济协调发展提供科学依据。

1 数据与方法

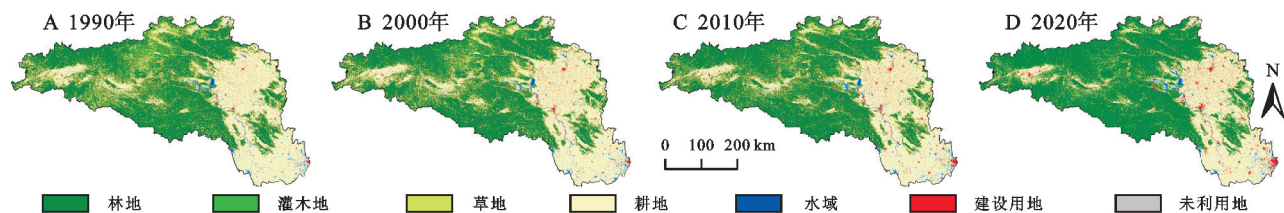
1.1 研究区概况

汉江生态经济带(105°29′—114°18′E, 30°4′—34°26′N)地处中国中西部地区的接合部,是连接长江经济带和丝绸之路经济带的重要桥梁,也是南水北调中线工程的水源涵养区,其战略地位十分突出。研究区覆盖陕西、河南和湖北省的16市(林区)共84个县级行政单元,面积为19.16万km²^[19]。境内地势西高东低,中西部地区拥有秦巴山、伏牛山、桐柏山等重要生态屏障,地形起伏大^[23],东部属以耕地为主的江汉平原,是中国重要的商品粮生产基地。

1.2 数据来源

土地利用数据来自于中国年度土地覆盖数据集(annual China land cover dataset, CLCD, <https://>

zenodo.org/records/8176941)。该数据集是基于 Google Earth Engine 平台制作的第一个源自 Landsat 影像的土地利用产品,通过构建多时态指标并采用随机森林分类器获得分类结果,具有时空一致性高、应用广泛等优点^[24]。此外,CLCD 反映了中国快速的城市化进程和一系列生态工程,揭示了气候变化条件下人为对土地覆盖的影响,其在全球变化研究中具有潜在应用价值^[25]。



注:基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2019)1719 号的标准地图制作,底图无修改,下同。汉江生态经济带范围基于文献^[19]绘制。

图 1 1990—2022 年汉江生态经济带土地利用空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of land use in Hanjiang Ecological Economic Belt from 1990 to 2022

1.3 研究方法

1.3.1 地形位 地形位可以综合反映区域高程与坡度的信息,能够实现对区域地形特征重新描述^[4,9,17],公式为:

$$TPI = \lg \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

式中: E 和 S 分别为研究区任一栅格的高程(m)和坡度($^{\circ}$); \bar{E} 和 \bar{S} 分别为研究区平均高程(m)和平均坡度值($^{\circ}$);TPI 为地形位指数,高程越高、坡度越大的区域其地形位数值越大,反之则越小^[17]。

1.3.2 地形起伏度 地形起伏度(relief amplitude)为地表一定距离范围内的最大高程差值,是描述区域地貌形态、划分地貌类型的定量指标^[15]。研究表明,地形起伏度与栅格分析窗口大小有关,常采用均值变

结合研究区实际情况,选择 1990 年(TL_1),2000 年(TL_2),2010 年(TL_3)和 2022 年(TL_4)共 4 期的耕地、林地(包括灌木地)、草地、水域和建设用地 5 个用地类型(图 1)。DEM 源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),据此提取研究区的高程和坡度因子,并作为计算地形起伏度和地形位的基础。土地利用和 DEM 数据的空间分辨率全部为 30 m。

点法确定最佳分析窗口(best fit window, BFW),其原理参考文献^[26]。经计算,研究区地形起伏度的最佳分析窗口为 11×11 ,平均地形起伏度为 103.47 m,其范围介于 0~1 577 m。

1.3.3 地形梯度划分 地形因子中的高程、坡度、坡向、地形起伏度和地形位等显著影响区域土地利用结构变化规律^[4,8-10,12-17]。参照现有研究,本文主要探讨高程、坡度、地形起伏度、地形位共 4 类地形因子与土地利用的关系,所有地形因子全部划分为 6 个等级(表 1)。其中,高程梯度划分兼顾了等间距法和研究区实际情况,坡度和地形起伏度梯度分别参照《第二次全国土地调查技术规程》^[27]《中国 1:100 万数字地貌制图规范》^[28]进行划分,地形位梯度依据自然裂点法进行划分。

表 1 汉江生态经济带地形梯度分级

Table 1 Classification of terrain gradient in Hanjiang Ecological Economic Belt

地形梯度		高程		坡度		地形起伏度		地形位	
分级		分级/m	面积占比/%	分级/m	面积占比/%	分级/m	面积占比/%	分级/m	面积占比/%
低	I	<100	16.37	<2	5.15	<30	23.20	0.00~0.73	9.47
	II	100~400	24.03	2~6	18.55	30~70	15.14	0.73~1.10	15.33
中	III	400~700	14.94	6~15	24.90	70~135	24.94	1.10~1.49	11.28
	IV	700~1000	16.50	15~25	22.62	135~200	24.77	1.49~1.88	15.18
高	V	1000~1500	19.77	25~35	18.27	200~350	11.77	1.88~2.19	26.60
	VI	>1500	8.39	>35	10.51	>350	0.18	2.19~2.90	22.14

1.3.4 地形梯度效应 分布指数(distribution index, DI)可用来探讨土地利用类型随地形梯度的变化特征^[4,8-15,17],计算公式为:

$$DI_{ij} = (S_{ij}/S_i)/(S_j/S) \quad (2)$$

式中: DI_{ij} 为分布指数,无量纲; S 为研究区总面积(km^2); S_{ij} 为 j 级地形梯度的第 i 类土地面积

(km^2); S_i 为 i 类土地总面积(km^2); S_j 为 j 级地形梯度总面积(km^2)。 DI_{ij} 值越大,代表该地类在该级地形梯度上内分布优势越大, $DI_{ij} > 1$ 表示处于优势地位, $DI_{ij} < 1$ 则表示处于劣势地位^[15]。

1.3.5 土地利用变化图谱 分析土地利用变化图谱能深入了解各阶段内土地利用的转换过程。参照文献

[14], 本文将汉江生态经济带土地利用变化图谱类型分为 6 类: 稳定型(TL_1 — TL_4 期间用地类型保持不变)、前期变化型(仅在 TL_1 — TL_2 变化)、中间过渡型(仅在 TL_2 — TL_3 变化)、后期变化型(仅在 TL_3 — TL_4 变化)、反复变化型(在 TL_1 — TL_4 发生两次以上转换, 但 TL_1 与 TL_4 的一致), 其他的均属于持续变化型。

2 结果与分析

2.1 土地利用及地形梯度时空特征

2.1.1 土地利用变化特征 研究时段内, 汉江生态经济带表现出以林地(面积占比在 54.59% 以上)和耕

地(35.20% 以上)为主的土地利用格局, 建设用地、水域和草地相对较少, 面积占比均在 3.26% 以下(表 2)。空间上, 研究区土地利用形成“东耕西林”格局, 其中林地多分布于中西部的秦巴山地, 少数分布在东部的桐柏山、大洪山一带; 建设用地以点状形态散布在武汉、南阳等城市, 其余以带状在汉江干支流及交通沿线分布; 草地和水域的无明显空间分布规律(图 1)。整体而言, 1990—2022 年汉江生态经济带林地面积增加 7 861.16 km^2 , 占研究区总面积的比例提高了 4.15%; 建设用地和水域面积分别增加了 3 609.62, 195.96 km^2 ; 耕地和草地面积减少明显, 分别减少 6 568.03, 5 079.24 km^2 。

表 2 1990—2022 年汉江生态经济带土地利用类型面积及其占比

Table 2 Area and proportion of different land use types in Hanjiang Ecological Economic Belt during 1990—2022

土地利用 类型	1990 年		2000 年		2010 年		2022 年		1990—2022 年	
	面积/ km^2	占比/%	面积/ km^2	占比/%	面积/ km^2	占比/%	面积/ km^2	占比/%	面积/ km^2	占比/%
耕地	73083.70	38.68	75233.72	39.82	71758.66	37.98	66515.67	35.20	−6568.03	−3.48
林地	104262.59	55.19	103148.33	54.59	106828.04	56.54	112123.74	59.34	7861.16	4.15
草地	6032.97	3.19	3907.54	2.07	2509.93	1.33	953.72	0.50	−5079.24	−2.69
水域	2991.95	1.58	2878.99	1.52	3180.24	1.68	3187.91	1.69	195.96	0.10
建设用地	2558.72	1.35	3769.78	2.00	4666.45	2.47	6168.33	3.26	3609.62	1.91

2.1.2 地形梯度分布特征 汉江生态经济带地势呈西高东低格局, 地形梯度等级分布空间差异明显, 中高等级(Ⅳ—Ⅵ)梯度集中分布在中西部, 中低等级(Ⅰ—Ⅲ)则主要分布在东部地区(图 2)。具体看(表 1), 高程梯度主要分布在Ⅰ, Ⅱ级, 分别占研究区总面积的 16.37%, 24.03%, 其次是Ⅴ级(19.77%)。坡度梯度主要分布在Ⅱ—Ⅴ级, 其中以缓坡(Ⅲ级)和较陡坡

(Ⅳ级)分布最为广泛, 其面积占比分别达到 24.90%, 22.62%。地形起伏度梯度分布以平原(Ⅰ级)、低丘陵(Ⅲ级)和高丘陵(Ⅳ级)为主, 面积占比均在 24% 左右。Ⅴ和Ⅵ级地形位梯度面积分布最多, 二者面积占比之和达到 48% 以上; 其次是Ⅱ和Ⅳ级, 面积占比均在 15% 左右, 表明研究区地形位以山高坡陡最为突出, 且集中分布秦岭南麓、巴山北坡。

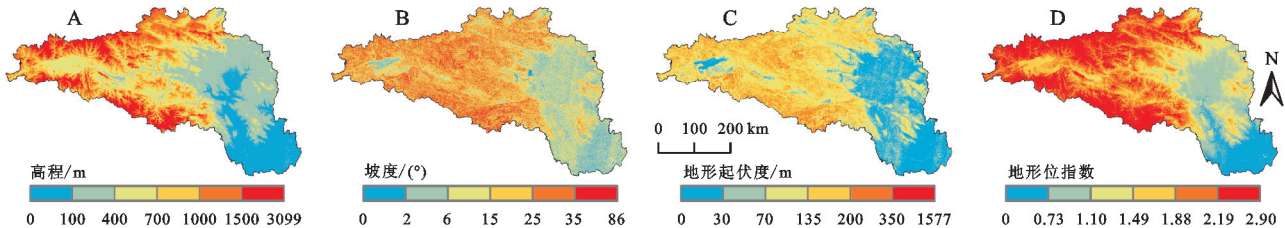


图 2 江生态经济带地形梯度空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of topographic gradient in Hanjiang Ecological Economic Belt

2.2 土地利用地形梯度效应

2.2.1 土地利用结构的地形梯度特征 由图 3 可知, 不同地形梯度下汉江生态经济带土地利用格局的分布有一定差异。就耕地而言, 在高程梯度第Ⅰ—Ⅱ级分布最多, 占耕地总面积的 79.32%, 之后随着高程梯度增加而迅速降低; 在坡度和地形位梯度的分布均属先增后减型, 其中在坡度第Ⅲ级、地形位第Ⅱ级的分布最广, 分别占耕地总面积的 40.94%, 35.29%。随着地形起伏度等级增加, 耕地面积逐渐减少, 其中有 54.68% 分布在Ⅰ级平原地区。林地和草地在高程、坡度、地形起伏度和地形位梯度上的分布面

积皆表现为先增后减态势, 其中林地分布面积最大的梯度等级分别是第Ⅴ(31.43%), Ⅳ(31.91%), Ⅳ(39.10%), Ⅴ(39.41%), 草地则依次为Ⅴ(37.14%), Ⅳ(35.13%), Ⅲ(53.05%), Ⅴ(50.74%), 表明林地和草地均集中分布在高等级(Ⅳ级以上)地形梯度, 为研究区生态涵养、水土保持等提供保障。整体上, 水域和建设用地集中分布在 4 类地形梯度的较低等级(Ⅱ级以下), 而后随梯度等级增加逐渐降低; 其中水域在Ⅰ和Ⅱ级梯度上面积占比介于 61.52%(坡度)~96.63%(高程), 建设用地则处于 62.72%(坡度)~94.49%(地形起伏度)。

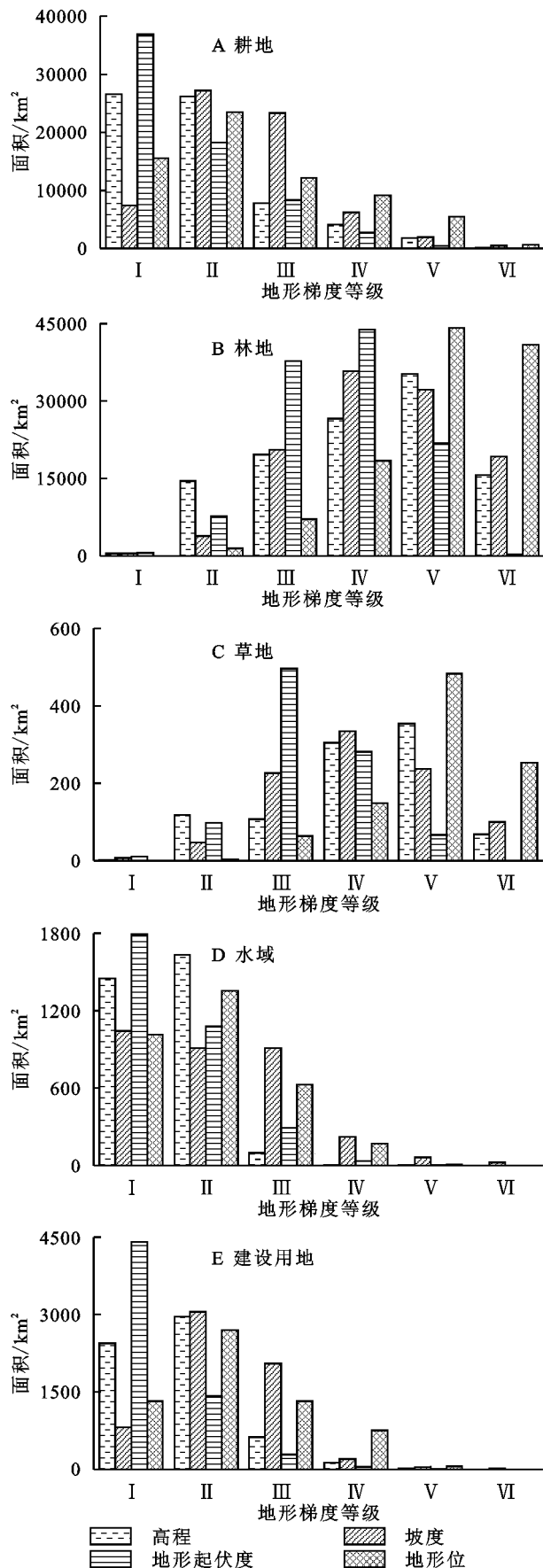


图3 2022年不同地形梯度下汉江生态经济带土地利用面积分布

Fig. 3 Area distribution of land use under different terrain gradients in Hanjiang Ecological Economic Belt in 2022

根据公式(2)计算研究区土地利用的分布指数,结果表明不同土地利用类型的优势分布等级存在显著差异(图4)。具体来看,耕地、水域和建设用地的分布指数随地形梯度等级增加呈减小态势,其中在高程和地形起伏度第I—II级、坡度和地形位第I—III级的分布指数都大于1,表明这些地形梯度上的耕地、水域和建设用地分布具有明显优势。

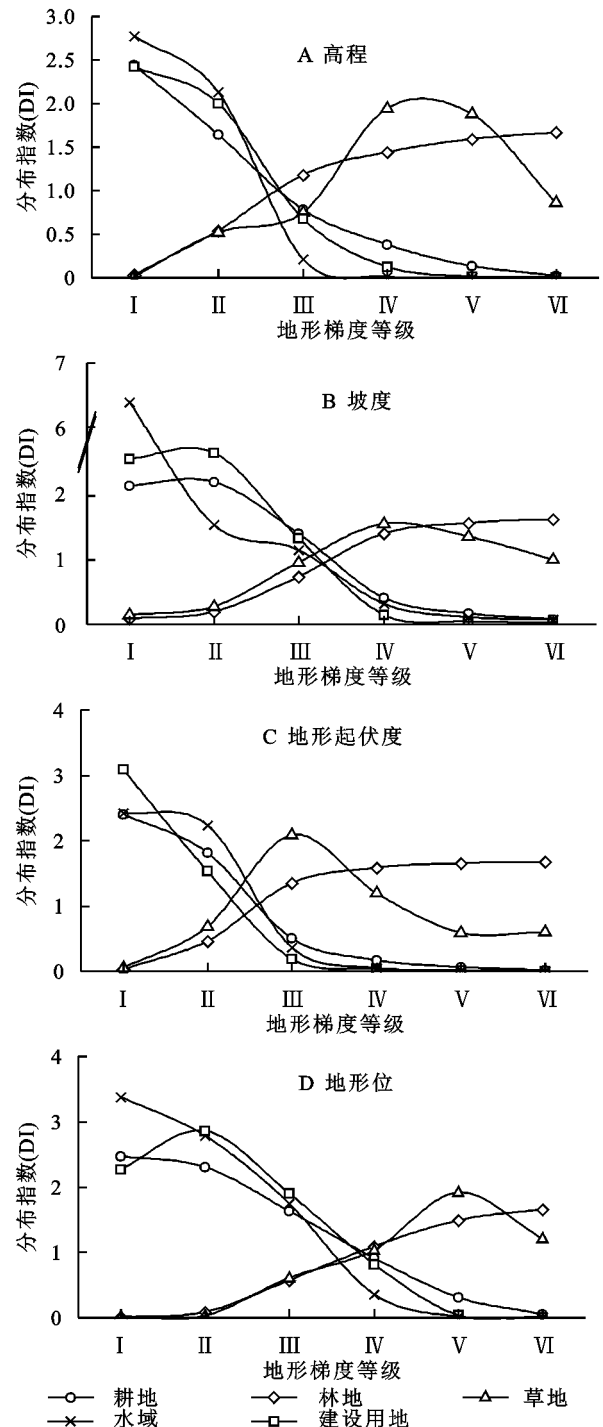


图4 2022年不同地形梯度下汉江生态经济带土地利用的分布指数

Fig. 4 Distribution index of land use under different terrain gradients in Hanjiang Ecological Economic Belt in 2022

其中,水域的分布指数在坡度第Ⅰ级达到6.38,为所有类型分布指数的最大值。林地的分布指数随地形梯度等级增加持续增大,优势分布区集中在第Ⅲ(坡度和地形位为Ⅳ)—Ⅵ级,其中在第Ⅵ级的分布指数均高于1.63。随各地形梯度等级增加,草地的分布指数呈先增后减趋势,其优势分布区集中在高程和坡度的Ⅳ—Ⅴ级、地形起伏度的Ⅲ—Ⅳ级、地形位的Ⅳ—Ⅵ级。

2.2.2 土地利用变化的地形梯度特征 1990—2022年期间,4类地形梯度所有等级的耕地面积均呈减少趋势(图5),其中高程梯度上Ⅳ级减少最多(1 798.18 km²),约占耕地减少总面积的27.38%;在坡度、地形起伏度和地形位梯度上减少最多的分别是第Ⅱ、Ⅰ、Ⅴ级。草地面积减少集中分布在Ⅳ级以上梯度,其中在高程和地形位梯度第Ⅴ级减少最多,分别占草地减少总面积的44.32%,49.34%;在坡度梯度第Ⅳ级(35.26%)、地形起伏度的Ⅲ级(42.65%)减少较为突出。林地面积在Ⅲ级以上地形梯度以增加为主,在Ⅰ—Ⅱ级均有所减少,且面积增加最多的梯度等级恰好与草地减少最多的对应,其增加面积均在3 047.51 km²以上。除高程和地形位第Ⅰ级外,水域面积在其余地形梯度上皆呈不同程度增加态势,但主要分布在Ⅲ以下梯度。在建设和地形起伏度梯度上,建设用地面积增加幅度逐渐减少,其中第Ⅰ级占增加总面积的44.11%,73.44%;在坡度和地形位梯度上,建设用地面积增加幅度呈倒“U”型分布,均以Ⅱ级梯度增加最多。

1990—2022年期间,汉江生态经济带土地利用的分布指数变化在地形梯度上同样存在显著差异(图6),在整体上变化强烈程度:坡度(−0.008 9) > 地形位(0.008 5) > 高程(0.004 3) > 地形起伏度(−0.002 3)。耕地在高程梯度Ⅰ—Ⅱ级的分布优势有进一步扩大态势,其分布指数的增幅均在0.09以上,在Ⅲ—Ⅴ级的分布指数有所减少;耕地在坡度梯度Ⅰ—Ⅲ级、地形起伏度Ⅰ—Ⅱ级和地形位梯度Ⅰ—Ⅳ级的分布指数均有所增加,其中以坡度Ⅰ级(0.063)、地形起伏度Ⅱ级(0.117)和地形位梯度Ⅲ级(0.109)增加最多。整体上,林地的分布指数变化幅度较小,皆表现出较低和较高等级有所降低、中间等级增高态势,其中变化幅度以高程梯度(−0.097~0.076)最大,坡度(−0.044~0.023)最小。草地的分布指数变化较为复杂,其中在高程梯度Ⅵ级和地形起伏度Ⅲ级增加最多,增幅超过了0.23;在高程和地形起伏度第Ⅴ级减少最多,减幅达到了0.30以上。水域的分布指数在各地形梯度Ⅰ级皆有所减少,除地形起伏度外的减少幅度超过了0.31;在第Ⅱ—Ⅵ级上以增加趋势为主,其中以高程梯度Ⅱ级和地形位梯度Ⅲ级增加最为明显,增幅均超过了0.27。

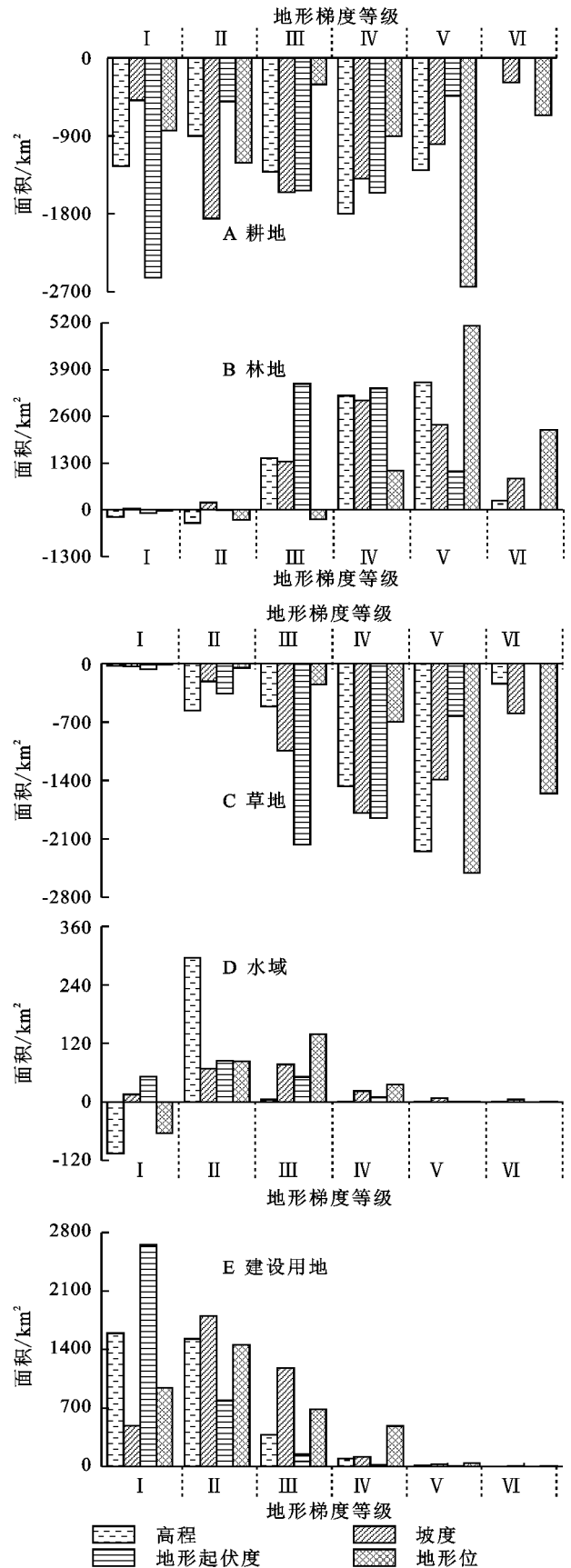


图5 1990—2022年汉江生态经济带土地利用变化的地形梯度差异

Fig. 5 Terrain gradient differences of land use change in Hanjiang Ecological Economic Belt during 1990—2022

对于建设用地而言,研究时期内的分布指数以增加为主,其中在各地形梯度Ⅰ级均有所增加,增加幅度介于 0.056(坡度)~0.689(地形位),这与建设用

地向低海拔、坡缓的平原地区发展趋势相符^[4];在 高程梯度Ⅱ级、地形位Ⅱ和Ⅲ级上减少最多,减幅在 0.31 以上。

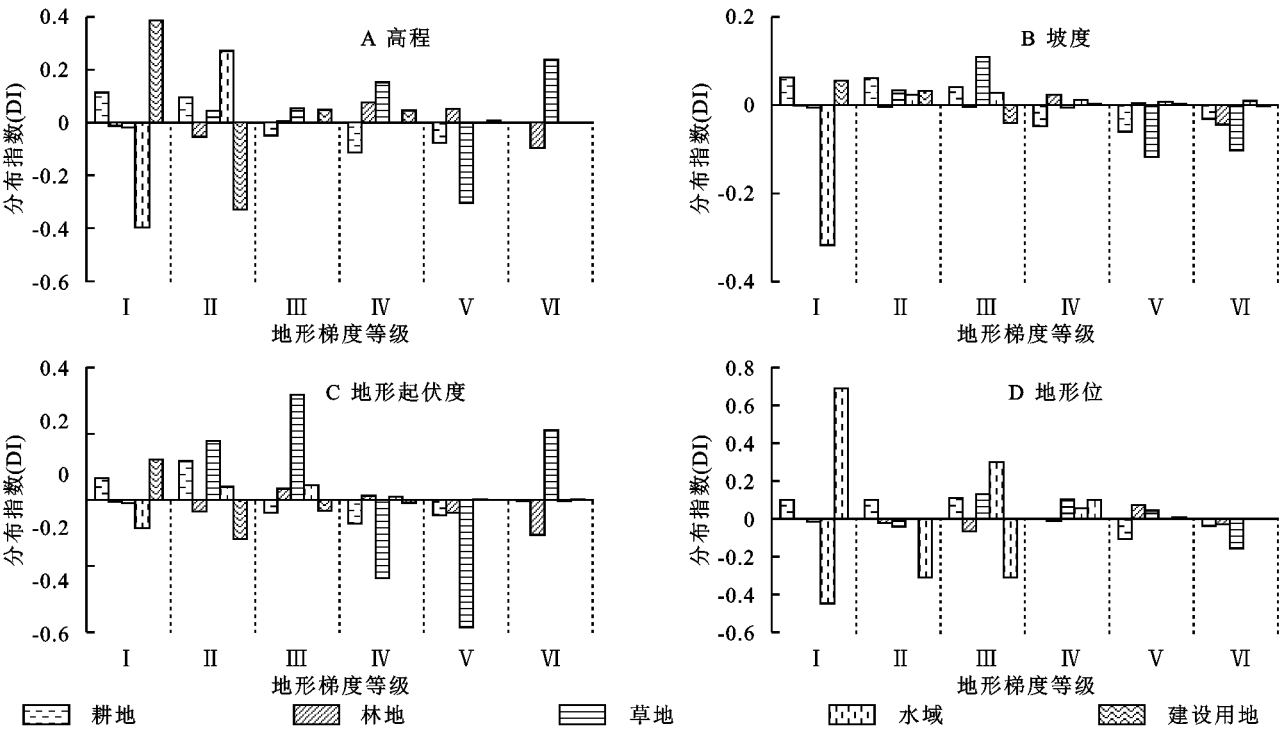


图 6 1990—2022 年汉江生态经济带土地利用分布指数的地形梯度差异

Fig. 6 Terrain gradient differences of land use distribution index in Hanjiang Ecological Economic Belt during 1990—2022

2.3 土地利用变化图谱的地形梯度特征

稳定型土地利用图谱是研究区面积最大的类型,占研究区总面积的 81.39%(表 3),其中又以林地、耕地面积最大,分别占稳定型总面积的 60.82%,36.44%,表明目前汉江生态经济带“林地-耕地”景观格局尚未发生根本性变化。后期变化型图谱是面积第二多的类型,占研究区总面积的 6.76%;持续性变化型土地利

用图谱面积最小,仅占研究区总面积的 1.34%,其中面积最大图谱类型为“林地→耕地→林地→耕地”,占该类型总面积的 14.30%。前期变化型、中间过渡型和反复变化型图谱的面积大致相当,分别占研究区总面积的 3.89%,3.02%,3.61%,其中面积最大图谱类型皆为林地与耕地在不同阶段的转换。

表 3 1990—2022 年汉江生态经济带土地利用变化图谱类型及其面积占比

Table 3 Area and proportion of land use types in Hanjiang Ecological Economic Belt during 1990—2022

土地利用 图谱类型	面积/km ²	占研究区 总面积比例/%	最大图谱 类型	面积/km ²	占该类型 总面积比例/%
稳定型	153783.38	81.39	林地→林地→林地→林地	93530.19	60.82
前期变化型	7347.55	3.89	林地→耕地→耕地→耕地	2019.31	27.48
中间过渡型	5714.53	3.02	耕地→耕地→林地→林地	2517.96	44.06
后期变化型	12765.92	6.76	耕地→耕地→耕地→林地	5162.78	40.44
反复变化型	6814.10	3.61	林地→耕地→林地→林地	1594.73	23.40
持续变化型	2529.62	1.34	林地→耕地→林地→耕地	361.75	14.30

汉江生态经济带土地利用图谱在各地形梯度上的分布同样存在较大差别(图 7)。整体而言,稳定型图谱地形梯度效应差异最不明显,其分布指数介于 0.89~1.20;优势分布区多集中第Ⅰ—Ⅱ级和Ⅴ—Ⅵ级梯度,其中Ⅰ—Ⅱ级梯度为耕地稳定型,Ⅴ—Ⅵ级为林地稳定型。需要注意的是,稳定型图谱在各地形梯度第Ⅰ级和Ⅵ级的分

布指数均要高于其他图谱,进一步说明汉江生态经济带“低耕—高林”景观格局较为稳定。除稳定型外,其他土地利用变化图谱的分布指数在高程、坡度和地形起伏度梯度上多表现为倒“U”状曲线,意味着这些图谱的优势分布区主要集中在Ⅱ—Ⅳ级;而在地形位梯度上多呈倒“S”状曲线,其优势分布区集中在Ⅲ—Ⅳ

级。另外,除稳定型外的其他图谱类型在第Ⅵ级梯度

处于明显劣势地位,其分布指数多小于0.5。

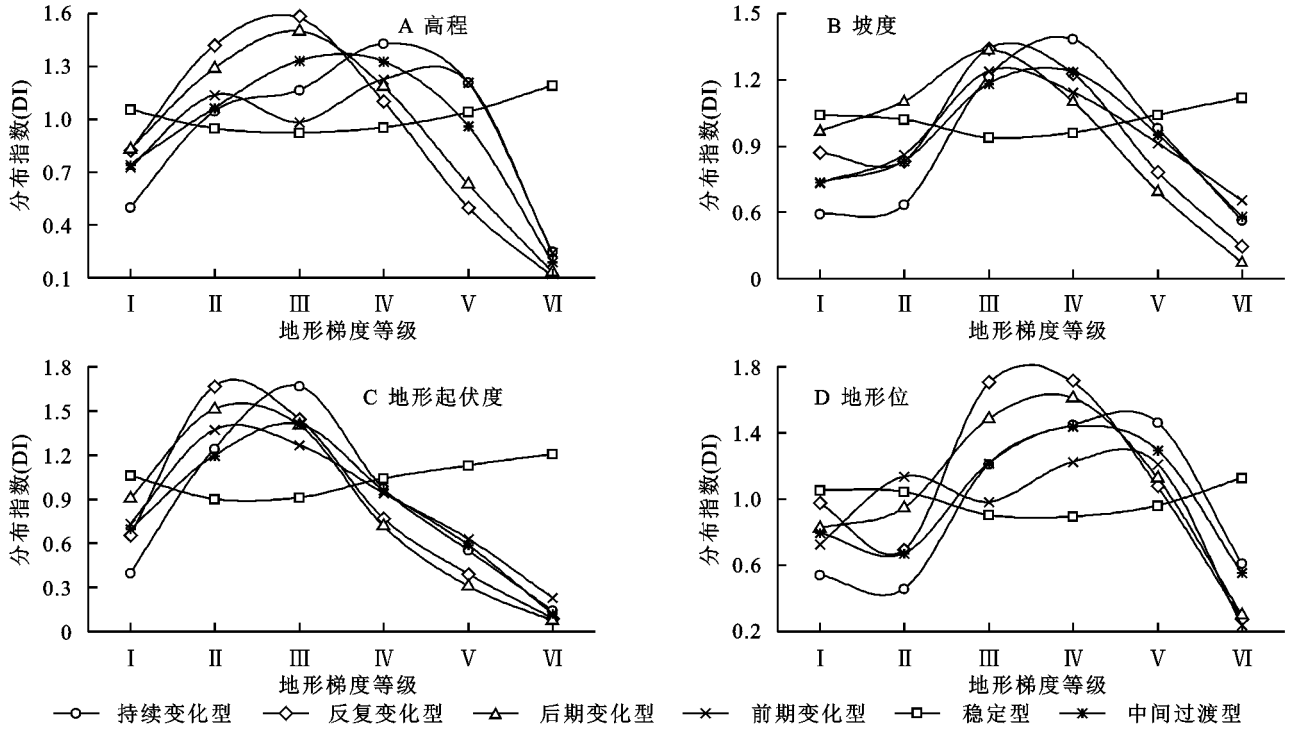


图7 汉江生态经济带土地利用变化图谱的地形梯度差异

Fig. 7 Terrain gradient differences of geo-spectrum of land use distribution index in Hanjiang Ecological Economic Belt

3 讨论

本文利用DEM获取了高程、坡度、地形起伏度和地形位共4类地形梯度指标,研究发现汉江生态经济带土地利用格局的地形梯度效应明显。地形位梯度综合了高程差异过大的不平衡性和坡度变化不明显的过稳性^[9],探讨地形位梯度与土地利用格局的关系更具有实践意义。汉江生态经济带内丹江口水库及上游地区属海拔较高、坡度较陡的典型山区,地形位指数高(多在1.49以上),而中下游多数地区海拔<200 m、坡度<15°,该区林地和草地集中于高山地区,其余用地类型集中在低海拔河谷及平原地区,与大多数区域研究结果相似^[4,9,15,29-30],可见自然因素对土地利用空间格局起着决定性因素。

中国自1998年开始实施了退耕还林、天然林资源保护、长江流域防护林体系建设等系列生态修复工程^[31],丹江口水库及上游地区高地形位梯度上的坡耕地、草地转为林地,其水土保持能力和水源涵养功能得到提升^[32]。党的十八大以来,易地扶贫搬迁、产业扶贫和“三通三有”等脱贫攻坚策略的不断推进,加之社会经济的快速发展造成外出务工人员逐渐增加^[13],汉江生态经济带所有地形位梯度的建设用地面积呈不同程度增加、耕地有所减少态势,尤其是第Ⅰ级梯度建设用地和Ⅴ—Ⅵ级耕地变化最为明显。这充分说明政策因素能宏观调控区域土地资源的利

用方式^[33],导致土地利用格局演变同样具有显著的地形梯度效应。需要注意的是,建设用地上新增了525 km²,其原因有待进一步探讨。因此,挖掘并定量分析更多的地形因子对土地利用格局的影响是未来工作的重点。

4 结论

(1) 汉江生态经济带形成以林地(54.59%以上)-耕地(35.20%)为主,“东耕西林”的土地利用格局;1990—2022年期间的林地、建设用地和水域有所增加,耕地和草地面积减少明显。

(2) 汉江生态经济带土地利用格局的地形梯度效应具有显著差异性。随地形梯度等级增加,耕地、水域和建设用地的面积逐渐减少,分布指数持续减小;林地面积先增后减,分布指数则持续增加,草地面积和分布指数均呈先增后减态势。

(3) 研究时段内,汉江生态经济带的耕地面积所有等级上均有所减少,中低(Ⅰ—Ⅲ)等级的分布优势有所扩大,其分布指数增幅达到0.041~0.117;林地面积在中高(Ⅲ—Ⅴ)等级以增加为主,仅有中间等级分布优势增加,分布指数增加介于0.005~0.076;草地面积减少集中在Ⅳ级以上,但分布优势的地形梯度特征较为复杂,其中Ⅰ级梯度上的分布指数一致呈减少趋势;水域面积及分布指数多呈增加趋势,指数增加最明显的是地形位Ⅲ级(0.299);所有等级上的建

设用地的面积和分布指数均有所增加,但其分布优势在Ⅰ级增加最为明显,其指数增加了0.056~0.689。

(4) 汉江生态经济带土地利用变化图谱以稳定型(81.39%)为主,但其地形梯度效应差异最不明显;其他图谱受地形梯度影响程度存在显著差异,在高程、坡度和地形起伏度梯度上的分布指数多呈倒“U”态势,地形位梯度上多呈倒“S”曲线分布。

参考文献(References):

- [1] 何春阳,张金茜,刘志锋,等.1990—2018年土地利用/覆盖变化研究的特征和进展[J].地理学报,2021,76(11):2730-2748.
He C Y, Zhang J X, Liu Z F, et al. Characteristics and progress of land use/cover change research during 1990—2018 [J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76 (11):2730-2748.
- [2] Arowolo A O, Deng X Z. Land use/land cover change and statistical modelling of cultivated land change drivers in Nigeria[J]. Regional Environmental Change, 2018,18(4):247-259.
- [3] 何凡能,李美娇,杨帆.近70年来中国历史时期土地利用/覆被变化研究的主要进展[J].中国历史地理论丛,2019,34(4):5-16.
He F N, Li M J, Yang F. Main progress in historical land use and land cover change in China during the past 70 years[J]. Journal of Chinese Historical Geography, 2019,34(4):5-16.
- [4] 宦吉林,王铁霖,吴柏清.岷江上游土地利用变化的地形梯度效应分析[J].人民长江,2022,53(7):63-69.
Huan J L, Wang T L, Wu B Q. Terrain gradient effect analysis of land use change in upper reaches of Minjiang River[J]. Yangtze River, 2022,53(7):63-69.
- [5] 张治国,康鸿杰.2000—2020年武威市土地利用/覆被时空变化及驱动力分析[J].科学技术与工程,2023,23(20):8579-8587.
Zhang Z G, Kang H J. Spatiotemporal variability characteristics and driving forces of land use/land cover in Wuwei City from 2000 to 2020[J]. Science Technology and Engineering, 2023,23(20):8579-8587.
- [6] 付建新,曹广超,郭文炯.1980—2018年祁连山南坡土地利用地形梯度变化及其地形因子地理探测[J].水土保持研究,2021,28(6):371-381,4.
Fu J X, Cao G C, Guo W J. Terrain gradient change of land use and its geographical detector of terrain factors on the south-facing slope of Qilianshan Mountains from 1980 to 2018[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021,28(6):371-381,4.
- [7] Xiong Y L, Li Y R, Xiong S Y, et al. Multi-scale spatial correlation between vegetation index and terrain attributes in a small watershed of the upper Minjiang River[J]. Ecological Indicators, 2021,126:107610.
- [8] 李益敏,王东驰,袁静,等.基于地形梯度的高山峡谷区土地利用时空格局及功能分区[J].水土保持通报,2020,40(6):303-311,331.
Li Y M, Wang D C, Yuan J, et al. Temporal and spatial pattern and functional zoning of land use in alpine canyon region based on terrain gradient[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(6):303-311,331.
- [9] 翟香,兰安军,廖艳梅,等.地形梯度对土地利用格局时空特征的影响:以毕节市为例[J].湖南师范大学自然科学学报,2022,45(6):70-80.
Zhai X, Lan A J, Liao Y M, et al. Influence of terrain gradient on the spatio-temporal characteristics of land use pattern: Taking Bijie City as an example[J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2022, 45(6):70-80.
- [10] 宋戈,王盼盼.松嫩高平原县域土地利用空间格局地形梯度特征分析:以巴彦县为例[J].地理科学,2017,37(8):1218-1225.
Song G, Wang P P. Spatial pattern of land use along the terrain gradient of county in Songnen high plain: A case study of Bayan County[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017,37(8):1218-1225.
- [11] 汤国安.中国数字高程模型与数字地形分析研究进展[J].地理学报,2014,69(9):1305-1325.
Tang G A. Progress of DEM and digital terrain analysis in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(9):1305-1325.
- [12] 吴见,王帅帅,谭靖.基于安徽省土地利用变化的地形梯度效应分析[J].长江流域资源与环境,2016,25(2):239-248.
Wu J, Wang S S, Tan J. Analysis on terrain gradient effect based on land use change in Anhui Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016,25(2):239-248.
- [13] 廖艳梅,尹林江,兰安军,等.黔西北贫困山区不同地貌形态下土地利用变化的地形梯度效应分析[J].生态科学,2023,42(2):111-118.
Liao Y M, Yin L J, Lan A J, et al. Analysis of terrain gradient effect on land use change under different land-forms in poor mountainous areas of northwest Guizhou [J]. Ecological Science, 2023,42(2):111-118.
- [14] 丁振华,田鹏州,唐雅倩.典型山地丘陵区国土空间功能变化的地形梯度效应[J].水土保持研究,2023,30(5):379-386,407.
Ding Z H, Tian P Z, Tang Y Q. Terrain gradient effect on land spatial function changes in typical mountainous and hilly areas[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(5):379-386,407.
- [15] 李佩君,左德鹏,徐宗学,等.基于地形梯度的雅鲁藏布江流域土地利用及景观格局分析[J].山地学报,2022,

- 40(1):136-150.
- Li P J, Zuo D P, Xu Z X, et al. Land use/cover and landscape patterns based on terrain in the Yarlung Tsangpo River basin, China[J]. Mountain Research, 2022,40(1):136-150.
- [16] Saha S, Paul G C, Hembram T K. Classification of terrain based on geo-environmental parameters and their relationship with land use/land cover in Bansloi River basin, Eastern India: RS-GIS approach [J]. Applied Geomatics, 2020,12(1):55-71.
- [17] 李硕,沈占锋,刘克俭,等.大清河流域土地利用变化的地形梯度效应分析[J].农业工程学报,2021,37(5):275-284.
- Li S, Shen Z F, Liu K J, et al. Analysis of terrain gradient effects of land use change in Daqing River Basin [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021,37(5):275-284.
- [18] 赵前前,范巧.“江”“河”国家战略联动促进中国南北方共同富裕的机制研究[J].兰州大学学报:社会科学版,2022,50(1):27-38.
- Zhao Q Q, Fan Q. Linkage mechanism of the national strategies of “the Yangtze River” and “the Yellow River” to promote common prosperity of southern and northern China [J]. Journal of Lanzhou University: Social Sciences, 2022,50(1):27-38.
- [19] 国家发展改革委.汉江生态经济带发展规划[EB/OL]. (2018-11-13) [2023-10-04]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5434959.htm. National Development and Reform Commission. The development plan for Hanjiang Ecological Economic Belt [EB/OL]. (2018-11-13) [2023-10-04]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5434959.htm.
- [20] 封建民,郭玲霞,李晓华.汉中市土地利用时空变化及其对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2020,27(1):275-282.
- Feng J M, Guo L X, Li X H. Temporal and spatial variations of land uses and their influences on ecosystem service function values in Hanzhong City [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020,27(1):275-282.
- [21] 张斌,李璐,夏秋月,等.基于土地利用的武汉城市圈生态系统服务权衡/协同分析[J].水土保持研究,2022,29(4):377-386,393.
- Zhang B, Li L, Xia Q Y, et al. Trade off/synergy analysis of ecosystem services in Wuhan City circle based on land use[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022,29(4):377-386,393.
- [22] 付景保,李思瑶,李小根,等.南水北调中线工程建设背景下南阳市土地利用结构及产业结构动态变化分析[J].河南理工大学学报:自然科学版,2023,42(1):87-94.
- Fu J B, Li S Y, Li X G, et al. Analysis on the dynamic changes of land use structure and industrial structure in Nanyang City under the background of the construction of the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project [J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2023,42(1):87-94.
- [23] 张静,吴洁,秦公伟,等.基于 DEM 的秦巴山片区地貌特征及形态划分[J].云南大学学报:自然科学版,2021,43(6):1147-1155.
- Zhang J, Wu J, Qin G W, et al. Geomorphic features and morphological classification in Qinling-Bashan Mountains based on DEM[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2021,43(6):1147-1155.
- [24] Yang J, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data, 2021,13(8):3907-3925.
- [25] 段雨佳,何毅,赵杰,等.人类活动对秦岭月河流域径流变化的影响分析[J].干旱区研究,2023,40(4):605-614.
- Duan Y J, He Y, Zhao J, et al. Analysis of impact of human activities on runoff changes in Yue River Basin of the Qinling Mountains [J]. Arid Zone Research, 2023,40(4):605-614.
- [26] 宁婷,崔伟,马晓勇.基于均值变点法提取地形起伏度的影响因素分析:以黄河流域(山西段)为例[J].测绘通报,2022(2):159-163.
- Ning T, Cui W, Ma X Y. Analysis of factors affecting the extraction of relief amplitude by mean change-point method: Taking the Yellow River Basin in Shanxi as an example[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2022(2):159-163.
- [27] 中华人民共和国国土资源部.TD/T1014—2007 第二次全国土地调查技术规程[S].北京:中国标准出版社,2007.
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. TD/T1014—2007 Technical Regulation of the Second National Land Survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [28] 中国科学院地理研究所.中国 1:100 万地貌制图规范(试行)[M].北京:科学出版社,1987.
- Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences. 1:10000 00 Geomorphological Mapping Specification (Trail)[M]. Beijing: Science Press,1987.
- [29] 付乐,迟妍妍,于洋,等.2000—2020 年黄河流域土地利用变化特征及影响因素分析[J].生态环境学报,2022,31(10):1927-1938.
- Fu L, Chi Y Y, Yu Y, et al. Characteristics and driving forces of land use change in the Yellow River Basin from 2000 to 2020 [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2022,31(10):1927-1938.

- from land use in Guizhou Province based on carbon peak and carbon neutrality and the according predictions[J]. *Ecological Economy*, 2022,38(4):108-114.
- [23] 朱巧娴,梅昀,陈银蓉,等.基于碳排放测算的湖北省土地利用结构效率的 DEA 模型分析与空间分异研究[J].*经济地理*,2015,35(12):176-184.
- Zhu Q X, Mei Y, Chen Y R, et al. Regional differentiation characteristics and optimization of the structural efficiency of land use in Hubei Province based on the carbon emissions[J]. *Economic Geography*, 2015,35(12):176-184.
- [24] 梅志雄,徐颂军,欧阳军.珠三角县域城市潜力的空间集聚演化及影响因素[J].*地理研究*,2014,33(2):296-309.
- Mei Z X, Xu S J, Ouyang J. Spatial agglomeration pattern evolvement and its influencing factors of urban potential at county level in the Pearl River Delta[J]. *Geographical Research*, 2014,33(2):296-309.
- [25] 金贵,邓祥征,董寅,等.发展地理学视角下中国多维贫困测度及时空交互特征[J].*地理学报*,2020,75(8):1633-1646.
- Jin G, Deng X Z, Dong Y, et al. China's multidimensional poverty measurement and its spatiotemporal interaction characteristics in the perspective of development geography[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020,75(8):1633-1646.
- [26] 刘贤赵,高长春,张勇,等.中国省域碳强度空间依赖格局及其影响因素的空间异质性研究[J].*地理科学*,2018,38(5):681-690.
- Liu X Z, Gao C C, Zhang Y, et al. Spatial dependence pattern of carbon emission intensity in China's Provinces and spatial heterogeneity of its influencing factors[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018,38(5):681-690.
- [27] 龙雪琴,赵欢,周萌,等.成都市建成环境对网约车载客点影响的时空分异性研究[J].*地理科学*,2022,42(12):2076-2084.
- Long X Q, Zhao H, Zhou M, et al. Spatiotemporal heterogeneity of the impact of built environment in Chengdu on online car-hailing passengers' pick-up points[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022,42(12):2076-2084.
- [28] 张师赫,李宝银,林玉英,等.基于生态系统服务的景观生态风险评价及其驱动因素研究:以福建省为例[J].*水土保持研究*,2022,29(6):174-182.
- Zhang S H, Li B Y, Lin Y Y, et al. Research on landscape ecological risk assessment and driving factors based on ecosystem services: A case study of Fujian Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022,29(6):174-182.
- [29] 牛亚文,赵先超,胡艺觉.基于 NPP-VIIRS 夜间灯光的长株潭地区县域土地利用碳排放空间分异研究[J].*环境科学学报*,2021,41(9):3847-3856.
- Niu Y W, Zhao X C, Hu Y J. Spatial variation of carbon emissions from county land use in Chang-Zhu-Tan area based on NPP-VIIRS night light[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2021,41(9):3847-3856.
- [30] 李建豹,黄贤金,吴常艳,等.中国省域碳排放影响因素的空间异质性分析[J].*经济地理*,2015,35(11):21-28.
- Li J B, Huang X J, Wu C Y, et al. Analysis of spatial heterogeneity impact factors on carbon emissions in China[J]. *Economic Geography*, 2015,35(11):21-28.

(上接第 297 页)

- [30] 周建伟,罗君.安宁河流域土地利用地形梯度分异及其转型驱动因素[J].*西南农业学报*,2023,36(6):1318-1327.
- Zhou J W, Luo J. Terrain gradient differentiation of land use and driving factors of its change in Anning River Basin[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2023,36(6):1318-1327.
- [31] 邵全琴,刘树超,宁佳,等.2000—2019 年中国重大生态工程生态效益遥感评估[J].*地理学报*,2022,77(9):2133-2153.
- Shao Q Q, Liu S C, Ning J, et al. Assessment of ecological benefits of key national ecological projects in China in 2000—2019 using remote sensing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022,77(9):2133-2153.
- [32] 白淑英,吴梦珂,于焯婷.汉江流域水源涵养功能的关键生态修复区识别与植被优化配置[J].*水土保持通报*,2023,43(3):123-128.
- Bai S Y, Wu M K, Yu Y T. Identification of key ecological restoration areas and optimal allocation of vegetation for water conservation in Hanjiang River Basin[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023,43(3):123-128.
- [33] 孙丕苓,许月卿,王数.环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J].*农业工程学报*,2014,30(14):277-288.
- Sun P L, Xu Y Q, Wang S. Terrain gradient effect analysis of land use change in poverty area around Beijing and Tianjin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014,30(14):277-288.