

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2024.01.014

谢贤健.基于熵权 TOPSIS 和耦合协调模型的四川省土地利用效益耦合协调关系及时空演变特征[J].水土保持学报, 2024, 38(1):267-277.

XIE Xianjian. Coupling coordination relationship and spatiotemporal evolution characteristics of land use benefit in Sichuan Province based on entropy weight TOPSIS and coupling coordination model[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(1):267-277.

基于熵权 TOPSIS 和耦合协调模型的四川省土地利用 效益耦合协调关系及时空演变特征

谢贤健

(内江师范学院地理与资源科学学院, 四川 内江 641112)

摘 要: [目的] 从社会、经济、生态环境 3 个方面评价区域土地利用效益及其耦合关系有利于实现土地资源的合理配置及优化用地结构。[方法] 以四川省 21 个地州市为研究对象, 利用熵权 TOPSIS 法和耦合协调度模型, 构建了 2010—2020 年四川省土地利用效益的综合评价体系, 并基于 GIS 技术, 分析了土地利用的社会、经济、生态环境效益及其耦合协调关系的时空演变特征。[结果] (1) 四川省各地州市的土地利用综合效益整体上呈上升趋势, 空间上具有“西北高东南低”的空间格局; 土地利用的经济、生态环境效益整体上具有上升趋势, 分别表现为“西高东低”和“中东部高西部低”的空间格局; 土地利用社会效益整体上呈下降趋势, 具有“中部高两翼低”的空间格局; 三大效益在空间均具有较显著的聚集特征。(2) 四川省各地州市的土地利用耦合协调等级为 4 个, 总体协调水平不高, 以勉强协调为主, 其次是濒临失调, 具有“中间高两翼低”的空间格局, 且耦合等级相同的城市聚集度较高, 土地利用效益耦合协调等级在空间分布上需进一步改善。(3) 影响四川省土地利用效益大小的因子依次为经济 > 社会 > 生态环境 > 社会生态 > 生态环境效益系统; 土地利用效益耦合协调关系主要受经济、社会效益单一因子影响, 其次是社会经济复合因素, 最后是社会生态复合因素的影响。[结论] 四川省各地州市的土地利用综合效益整体上呈上升趋势, 区域差异显著, 总体的耦合协调水平处于较低等级, 且耦合等级相同的城市聚集度较高, 在今后的发展中应该调控城镇化的无序扩张, 注重城市基础公共服务等设施的建设, 增加城市环境建设投入, 促进四川省土地经济效益—社会效益—生态环境效益间的协调发展, 以期提升四川省土地利用综合效益提供参考。

关键词: 四川省; 土地利用效益; 时空耦合; 地理信息系统

中图分类号: F293.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242-(2024)01-0267-11

Coupling Coordination Relationship and Spatiotemporal Evolution Characteristics of Land Use Benefit in Sichuan Province Based on Entropy Weight TOPSIS and Coupling Coordination Model

XIE Xianjian

(School of Geography and Resource Science, Neijiang Normal University, Neijiang, Sichuan 641112, China)

Abstract: [Objective] Evaluating regional land use efficiency and its coupling relationship from three aspects of society, economy, and ecological environment is beneficial for achieving rational allocation of land resources and optimizing land use structure. [Method] In this paper, taking 21 cities and prefectures in Sichuan Province as the research objects, a comprehensive evaluation system for land use benefit in Sichuan Province from 2010 to 2020 was constructed using the entropy weight TOPSIS method and coupling coordination degree model. Based on GIS technology, the coupling coordination relationship and spatiotemporal evolution characteristics of the social, economic, and ecological environmental benefits of land use were analyzed. [Result] (1) the overall comprehensive land use benefit of various cities and prefectures in

收稿日期: 2023-05-28

修回日期: 2023-07-07

录用日期: 2023-07-29

网络首发日期 (www.cnki.net): 2023-10-18

资助项目: 长江科学院开放研究基金项目 (CKWV2017523/KY); 国家自然科学基金项目 (42207413); 四川省社会科学重点研究基地沱江流域高质量发展研究中心项目 (TJGZL-2023-07)

第一作者: 谢贤健 (1978—), 男, 博士, 教授, 主要从事水土保持理论及技术研究。E-mail: 249983710@qq.com

通信作者: 谢贤健 (1978—), 男, 博士, 教授, 主要从事水土保持理论及技术研究。E-mail: 249983710@qq.com

<http://stbxb.alljournal.com.cn>

Sichuan Province was on the rise, with a spatial pattern of “high in the northwest and low in the southeast”. The overall economic benefits of land use and ecological environmental benefits were showing an upward trend, manifested as a spatial pattern of “high in the west and low in the east” and “high in the central and western regions and low in the west”, respectively. The overall social benefits of land use were showing a downward trend, with a spatial pattern of “high in the middle and low in the two wings”. The three major benefits all had significant clustering characteristics in space. (2) There were four levels of land use coupling coordination in various cities and prefectures in Sichuan Province, with an overall coordination level that was not high, mainly being barely coordinated, followed by a near imbalance, and the spatial pattern being “high in the middle and low on the two wings”. Cities with the same coupling level had higher aggregation, and the land use benefit coupling coordination level needs further improvement in spatial distribution. (3) The factors that affect the size of land use benefit in Sichuan Province were in the order of social > economic > socio-economic > social ecology > ecological environment benefit system. The coupling and coordination relationship of land use benefits was mainly influenced by a single factor of social and economic benefits, followed by social and economic composite factors, and then social and ecological composite factors. [Conclusion] The overall comprehensive benefits of land use in various cities and prefectures in Sichuan Province were on the rise, with significant regional differences. The overall level of coupling coordination was at a lower level, and cities with the same coupling level had a higher degree of agglomeration. In future development, it is necessary to regulate the disorderly expansion of urbanization, pay attention to the construction of urban basic public services and other facilities, and increase the investment in urban environmental construction, promote the coordinated development of land economic benefits, social benefits, and ecological environmental benefits in Sichuan Province. The research conclusion aims to provide a reference for improving the comprehensive benefits of land use in Sichuan Province.

Keywords: Sichuan Province; land use benefit; spatiotemporal coupling; Geographic Information System

Received: 2023-05-28

Revised: 2023-07-07

Accepted: 2023-07-29

Online(www.cnki.net): 2023-10-18

作为人类赖以生存的物质基础,土地是人类生产关系中的核心关系,充足、优质、合理分布的土地是顺利发展国民经济的必备条件之一^[1]。而土地利用效益是指通过土地在数量、质量在时空上的安排、使用和优化,从而带来经济、社会、生态环境效益的综合产出,对区域的可持续发展具有重要意义。随着我国城市化进程的加速发展,导致城市规模急剧扩张,粗放式和无序式发展进一步造成大量耕地被占用,城市土地废弃闲置现象出现;同时,城市人口密度过大,已经严重超过了城市人口的承载力,造成诸多城市环境问题,导致土地开发与利用效益间的关系不协调,特别是经济发达的城市,人为活动强烈扰动土地利用,致使土地三大系统间的效益失衡现象更为严重,人地关系十分紧张^[2]。目前,随着经济增长方式创新性转变,需要正确对待城市化加速带来的用地效益变化,协调区域土地三大效益间相互的关系,也是当前亟待解决的城市热点问题。

前人对土地利用效益的研究成果较为丰富。在

研究维度上许多学者基于区域土地社会、经济、生态环境效益之间的耦合协调关系做了大量的研究工作。朱文娟等^[3]以江苏省 13 个地市为例,分析了土地利用效益发现,随着时间的推移社会、经济效益稳步提升,生态效益波动性较大,研究结果为江苏省城市基础建设和环境保护及社会可持续发展提供了指导建议;江文静等^[4]基于 3 个维度评价了成渝地区双城经济圈土地利用经济、社会、生态环境效益,对城市群的高质量发展提供可参考的依据;赵浩楠等^[5]以长三角城市群为研究对象,比较分析了三大效益的重要性,发现城市等级规模与土地经济效益呈正相关,与生态效益呈负相关,并针对性地提出了 3 个维度方面的改进措施;刘云青^[6]以京津冀地区为研究对象,分析了 2004—2020 年其产业发展、土地利用与碳排放之间的耦合关系,研究结果为研究区优化土地利用结构提出了合理的建议。就目前的研究来看,在研究方法方面多采用综合评价法,如熵权 TOPSIS 法^[7-8]、耦合度模型^[9-10]、DEA 法等^[11-12],同时基于 RS 和 GIS 技

术将综合评价法所得的综合指数进行可视化^[13-14]。从研究内容来看,早期注重农业土地效益的分析,目前研究已经涉及到建设用地、工业用地、耕地及山地等多方面的效益分析^[5]。从研究尺度来看,前人^[4]研究集中于某些城市、流域、城市群或省域的土地效益分析。

本研究以 21 个地市州作为研究单元,从区域土地社会、经济、生态环境效益 3 个维度构建土地利用效益评价的指标体系,同时利用熵权 TOPSIS 法和耦合协调度模型,并基于 GIS 技术分析四川省土地利用效益的时空演变及耦合协调关系,以期为研究区土地利用结构的合理优化及社会、经济可持续发展提供可参考的依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

在空间上,四川省(经纬度)位于我国西南地区,地形复杂多样,由山地、丘陵、平原、盆地和高原构成,地势上西高东低且悬殊很大。四川省国土总面积为 48.6 万 km²,排名全国第 5,辖 21 个地级行政区(图 1)。城镇集中分布于四川盆地腹心地带,水土资源组合相对较好,为农林业的发展提供了良好的条件,是西南地区重要的生态功能区和产粮大省。

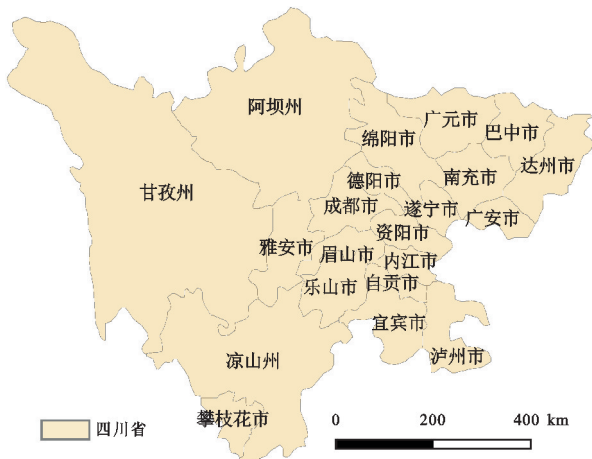


图 1 四川省区位

Fig. 1 Location map of Sichuan Province

近年来,在西部大开发和中部崛起战略的推动下,四川省已成为西部大开发的主战场,是西部大开发顺利推进实施的“关键区”,尤其是“成渝城市群”已上升为国家第四大城市群,更加凸显了四川省对西部经济腾飞起到的枢纽地位作用。

截止 2020 年末,四川省常住人口 8 371 万人,地区生产总值(GDP)48 598.76 亿元,是我国西南地区社会、经济发展的重要辐射中心及增长极。党的十九大报告再次将生态文明建设摆在重要位置,四川省作

为我国工业化、城镇化快速推进的典型地区,区域发展与生态环境的矛盾依然存在。如何加快推进绿色发展,优化产业布局,形成土地资源利用和环境保护相协调的产业结构、空间格局、生产和生活方式,对实现区域土地利用效益的提升并实现城市群高质量发展尤为重要。

1.2 数据来源

本研究的社会、经济、生态环境数据主要来源于 2011 年和 2021 年四川省统计年鉴^[15]和川西少数民族地区(阿坝州、甘孜州、凉山州)的部分数据来自地方统计年鉴^[16-18]。

1.3 指标体系的构建

1.3.1 评价指标选取原则 土地利用效益是指单位面积土地利用投入所带来的三大效益方面的产出。本文根据前人^[8,10]研究,结合四川省土地利用现状,遵循如下原则构建指标体系。

(1)科学性原则。基于土地利用效益评价理论,使评价指标能够科学地阐释土地利用效益的内涵及机制,本文从土地社会、经济、生态环境 3 个方面建立准则层,并选取相应的指标来反映实际的土地效益状况。

(2)层次性原则。不同指标隶属于相应的准则层,每个准则层都由相适宜的指标来进行支撑,层次分明。

(3)代表性与独立性原则。考虑去除指标间的关联性,使各指标具有独立性。四川省作为西南地区重要的生态功能区和产粮大省,土地社会、经济、生态效益均需兼顾,因此不同准则层下需注意各指标间的独立性,选取适宜的评价指标。

(4)全面性与可操作性原则。选取的评价指标尽量覆盖影响土地利用效益的各个方面,且指标能够从现有的统计数据中获取,多角度地反映土地利用的三大效益。

1.3.2 评价指标体系建立 结合四川省土地利用自身的特点和目前相关研究成果。考虑到土地利用系统的复杂性,本文对四川省土地利用效益进行评价,需结合四川省及其所辖城市的土地利用区域特点及条件,基于可持续发展目标,遵循土地利用效益评价的原则构建评价指标体系,每个准则层分别选取的指标为:城镇居民人均可支配收入、人口密度、城镇人均道路面积、城镇人均居住面积、人均建设用地面积、建设用地扩展速度、地均国内生产总值、地均财政收入、地均消费品零售额、地均固定资产投资、地均第二产业产值、地均第三产业产值、建成区绿地覆盖率、人均公园绿地面积、人均公共绿地面积、生活垃圾无害化处理率和污水处理率。具体指标见表 1。

表 1 评价指标体系

Table 1 System of evaluation index

准则层	指标层	指标获取方法	属性	含义	权重
社会效益	城镇居民人均可支配收入/(元·人 ⁻¹)	统计年鉴	+	表征土地利用中居民收入的变化	0.05
	人口密度/(人·km ⁻²)	城镇常住居民数量/建设用地面积	—	反映土地利用过程中对人口数量的承载能力	0.02
	城镇人均道路面积/(m ² ·人 ⁻¹)	统计年鉴	+	反映居民居住条件的变化	0.05
	城镇人均居住面积/(m ² ·人 ⁻¹)	从统计年鉴	+	表征城镇基础设施建设条件	0.04
	人均建设用地面积/(m ² ·人 ⁻¹)	建设用地面积/城镇人口	—	反映土地自身变化情况	0.03
	建设用地扩展速度/%	借助扩展速度指数 ^[10]	—	反映土地自身变化情况	0.01
经济效益	地均国内生产总值/(万元·km ⁻²)	国民生产总值/区域土地面积	+	表征土地利用过程中的经济产出水平与要素投入能力的提升	0.10
	地均财政收入/(万元·km ⁻²)	财政收入/建设用地面积	+	表征土地利用过程中的经济产出水平与要素投入能力的提升	0.13
	地均消费品零售额/(万元·km ⁻²)	消费品零售额/建设用地面积	+	表征土地利用过程中的经济产出水平与要素投入能力的提升	0.07
	地均固定资产投资/(万元·km ⁻²)	固定资产投资/建设用地面积	+	表征土地利用过程中的经济产出水平与要素投入能力的提升	0.15
	地均第二产业产值/(万元·km ⁻²)	第二产业产值/建设用地面积	+	表征产业结构对土地利用经济效益的影响	0.07
	地均第三产业产值/(万元·km ⁻²)	第三产业产值/建设用地面积	+	表征产业结构对土地利用经济效益的影响	0.15
生态环境效益	建成区绿地覆盖率/%	统计年鉴	+	反映土地利用过程中对生态环境的改善与调节	0.03
	人均公园绿地面积/hm ²	统计年鉴	+	反映土地利用过程中对生态环境的改善与调节	0.02
	人均公共绿地面积/hm ²	统计年鉴	+	反映土地利用过程中对生态环境的改善与调节	0.03
	生活垃圾无害化处理率/%	统计年鉴	+	反映土地利用过程中对生态环境的改善与调节	0.01
	污水处理率/%	统计年鉴	+	反映土地利用过程中对生态环境的改善与调节	0.01

注：+表示正向指标；—表示负向指标。

1.4 研究方法

1.4.1 熵权 TOPSIS 本文重点研究分析土地利用社会效益—经济效益—生态环境效益 3 个系统之间的耦合协调关系。熵权法作为客观赋权法,可以有效地避免人为因素对权重带来的影响。

鉴于此,本文依据已有研究^[19]中的熵权法进行土地利用效益计算,用 U_i 表示各个系统的综合得分值; U_{soc} 、 U_{eco} 、 U_{env} 分别为社会、经济、生态环境效益的综合评价价值,即表示各子系统的综合发展水平。

1.4.2 耦合协调度模型 耦合协调刻画的是 2 个及以上系统间的相互协同效应和作用的影响程度。

通过求解任意 n 个系统间的耦合度 C_n ,以表示各子系统间的交互作用强弱,其取值为 0~1,计算公式为:

$$C_n = \left[\frac{U_1 \times U_2 \times \cdots \times U_n}{\left(\frac{U_1 + U_2 + \cdots + U_n}{n} \right)^n} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

本文有 3 个子系统,则 n 取 3。

耦合度虽能反映社会效益、经济效益、生态环境效益三者间相互作用的程度,但不能表征各系统间是在高水平上相互促进还是低水平上相互限制,因此,引入复合系统的耦合协调度反映系统间相互作用的类型。

$$D = \sqrt{C \times U} \quad (2)$$

式中: D 为耦合协调度,其值越大,协调度越高; C 为耦合度; U 为系统综合得分。本文根据前人^[10]研究,划分耦合协调度等级,采用均匀分布函数法,将四川省城市土地利用社会、经济、生态效益耦合协调度 D 从低到高依次划分等级(表 2)。

表 2 耦合协调度类型及其划分标准

Table 2 Types of coupling coordination degree and their classification standards

指标	极度失调	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调
协调度	(0,0.09]	(0.09,19]	(0.19,29]	(0.29,39]	(0.39,0.49]	(0.49,0.59]	(0.59,0.69]	(0.69,0.79]	(0.79,0.89]	(0.89,1]

2 结果与分析

2.1 土地利用社会效益的时空特征

四川省各地市州的土地利用社会效益值由 2010 年的 0.305~0.733 下降到 2020 年 0.399~0.607,整体上呈下降趋势,其平均值由 2010 年的 0.495 下降到 2020 年 0.479,表明四川省各地市州的土地利用社会效益在下降的同时,各地市州的区域差异也在减小。其中,2010 年成都市社会效益值最高(0.733),巴中市社会效益值最低(0.305);2020 年雅安市社会效益值最高(0.607),遂宁市社会效益值最低(0.399)。从空间格局演变(图 2)来看,土地利用社会效

益表现为“中部高两翼低”的空间特征。高值区和较高值区集中分布于四川盆地的腹地地带,高值区包括成都市、雅安市、绵阳市、广安市,数量上从 2010 年的 1 个城市增加到 2020 年的 3 个城市;较高值区由 2010 年的 9 个城市减少到 2020 年的 6 个城市,主要分布于德阳市、乐山市、眉山市;中值区由 2010 年的 7 个城市减少到 2020 年的 2 个城市,主要分布于川中和川东北地区;较低值区、低值区主要分布于四川省的边缘地带,数量由 2010 年的 4 个市增加到 2020 年的 10 个城市。总体来说,四川省土地利用社会效益较低值区、低值区占比仍然较大,尤其是一些少数民族地区,仍有持续减小的趋势。

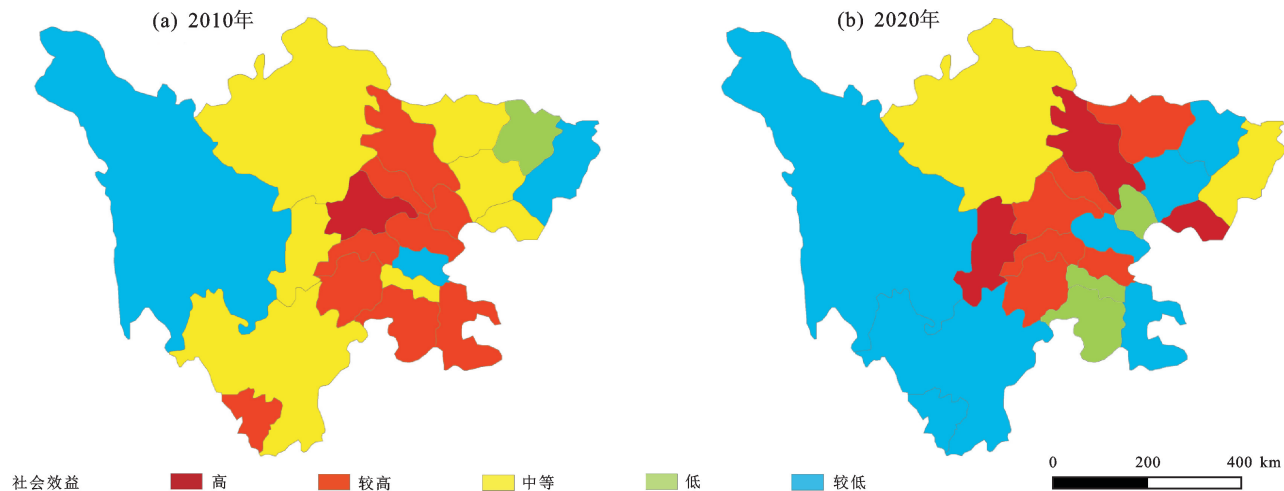


图 2 社会效益时空格局

Fig. 2 Spatial and temporal pattern of social benefits

2.2 土地利用经济效益的时空特征

从时间上来看,四川省土地利用经济效益总体上呈上升趋势,在空间分布上表现为“西高东低”的空间格局(图 3)。

2000 年和 2020 年土地利用经济效益值分别为

0.072~0.656 和 0.085~0.704,最低值与最高值差距由 2000 年的 0.584 增加至 2020 年的 0.619,说明四川省各地市州的土地利用经济效益在上升的同时,各市州的区域差异却在不断加大,各地市州的土地经济效益差异明显,空间分布格局不均衡。

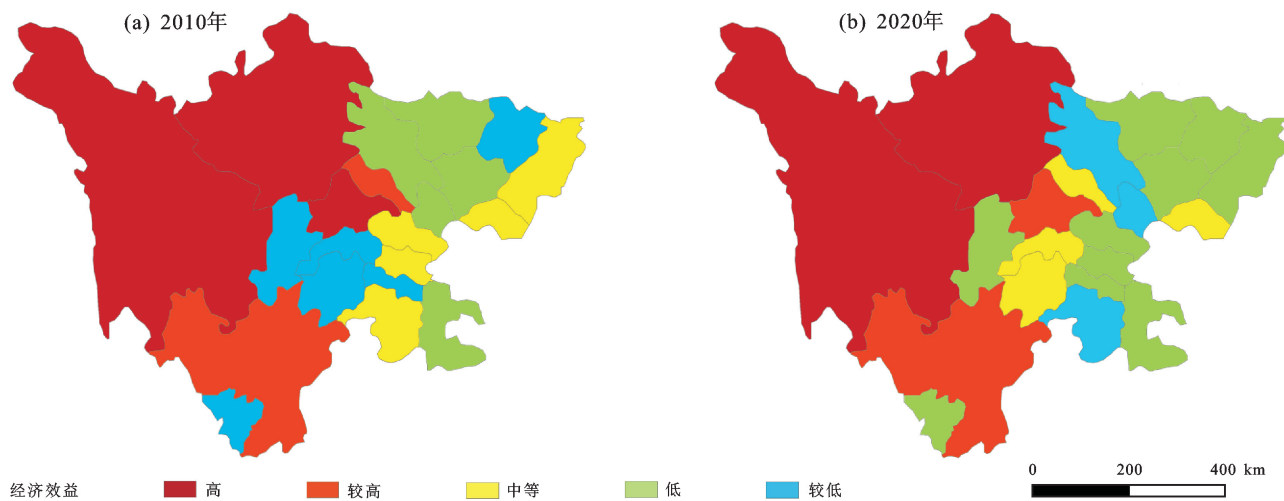


图 3 经济效益时空格局

Fig. 3 Spatial and temporal patterns of land use economic benefits

从空间格局演变来看,高值区主要分布于成都市、甘孜州和阿坝州;较高值区紧邻高值区,空间上与高值区具有明显的聚集现象;中区值区主要为资阳市、达州市、宜宾市、广安市、内江市、眉山市、乐山市、德阳市,时空演变上表现为东部城市向中部城市转移。截止 2020 年,较低值级别以下的城市主要分布在四川省的东部地区,占研究区地州市的 57.14%,土地利用经济效益在时空分布上仍然存在比较低下的特征,经济发展水平较低的城市仍然较多。总体上来看,土地利用经济效益中级以上的城市主要分布在四川省中西部地区,东部地区经济效益较低。

2.3 土地利用生态环境效益的时空特征

由图 4 可知,从时间上来看,四川省各地市州的土地利用生态环境效益值由 2010 年的 0.276~0.696 上升到 2020 年 0.169~0.760,整体呈上升趋势,其平均值由 2010 年的 0.474 上升到 2020 年 0.562,表明四川省各地市州的土地利用生态环境效益在上升的同时,各市州的区域差异也在加大。

从空间演化上看,总体上表现为“中东部高西部

低”的空间格局。高值区和较高值区集中分布于四川盆地的中东部地区,高值区包括成都市、雅安市、广安市、攀枝花市和自贡市,数量上 2 个年份未发生变化;较高值区数量上 2 个年份也未发生变化,均为 5 个,2010 年主要分布于德阳市、绵阳市、遂宁市、泸州市、宜宾市,2020 年主要分布于广元市、成都市、遂宁市、广安市、泸州市,总体上有从中部向东部转移的趋势;中值区由 2010 年的 7 个城市增加到 2020 年的 8 个城市,主要分布于川中和川东北地区,总体上有从中部向东北部转移的趋势;较低值区、低值区主要分布于四川省的西部地区和周边城市,数量由 2010 年的 8 个市减少到 2020 年的 5 个城市。总体来说,四川省土地利用生态环境效益较低值区、低值区占比有减小的趋势,但一些地区尤其是少数民族自治州(凉山州、甘孜州、阿坝州)在 2 个时间段上土地利用生态环境效益值均在减小。究其原因,这些区域生态本底值本身较差,加之城镇环保设施投入较欠缺,经济基础薄弱,因此生态环境效益值低。

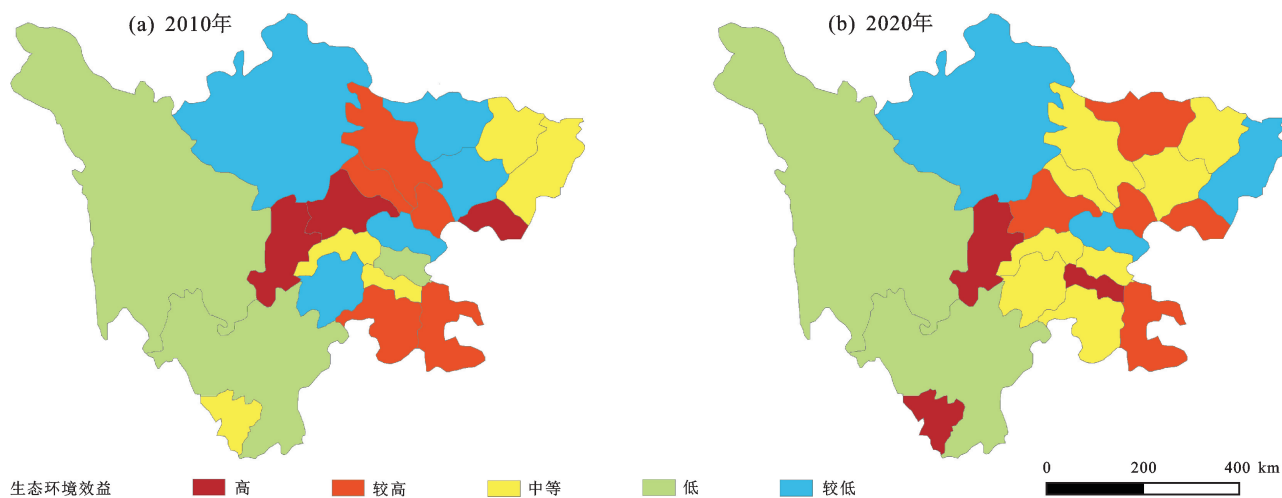


图 4 生态环境效益时空格局

Fig. 4 Spatial and temporal patterns patterns of land use ecological environment benefits

2.4 土地利用综合效益的时空特征

依据上述 3 种效益值的分析,基于熵权 TOSIS 法,计算得 2 个年份的土地利用综合效益值。计算结果表明,随时间推移,综合效益值由 0.253~0.587 上升到 0.279~0.595,整体上呈上升趋势,其平均值由 2010 年的 0.337 上升到 2020 年 0.341,表明四川省各地市州的土地利用综合效益在上升的同时,各地市州的区域差异有所加大;其中,2010 年 11 个地州市处于较低值等级以下,占比 52.38%;2020 年 8 个地州市处于较低值等级以下,占比 38.10%,低等级区域虽有减少,但总体上综合效益水平较低。

由图 5 可知,土地利用综合效益总体表现为“西

北高东南低”的空间特征。高值区包括成都市、甘孜州、阿坝州,数量上从 2010 年的 3 个城市下降到 2020 年的 2 个城市;较高值区由 2010 年的 4 个城市上升到 2020 年的 5 个城市,2010 年主要分布于雅安市、德阳市、宜宾市、广安市,2020 年主要分布于成都市、德阳市、雅安市、乐山市、广安市;中值区由 2010 年的 3 个城市增加到 2020 年的 6 个城市,主要分布于川中地区;较高、中等值区紧邻高值区;较低值区、低值区主要分布于四川省的东部和东南部。总体来说,四川省土地利用综合效益高、低值区在空间上有明显的聚集特征;较高和中等级区域为四川省的腹心地带,工农业发达,经济基础良好,具有较高的发展潜力。

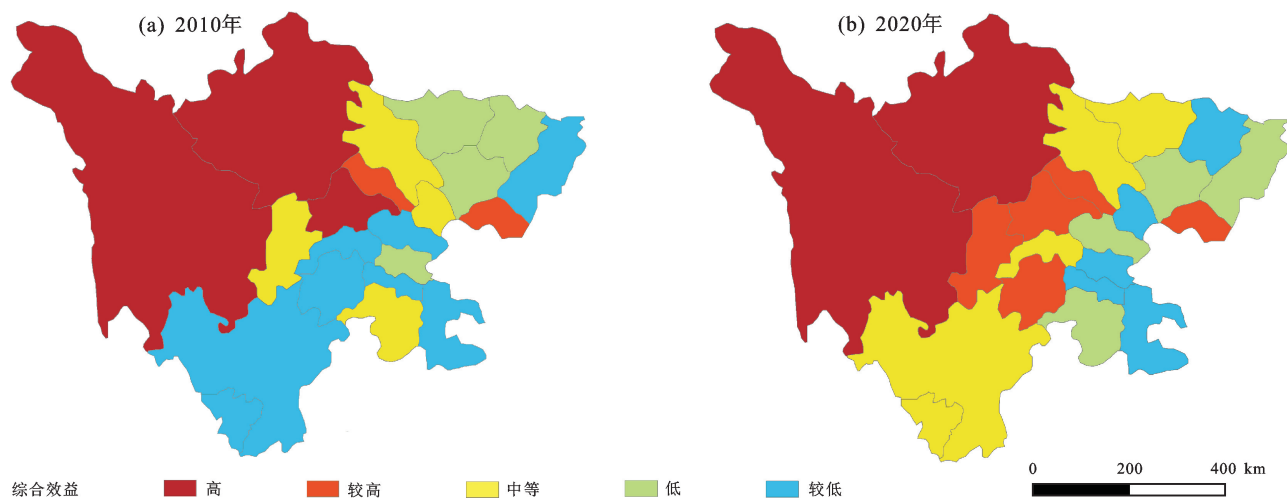


图 5 综合效益时空格局

Fig. 5 Spatial and temporal pattern of land use comprehensive benefits

2.5 土地利用效益耦合协调关系分析

2.5.1 耦合协调关系的时空特征 基于耦合关联度模型计算得到四川省 2010 年和 2020 年各地市州的土地利耦合协调关系值,同时以城市为横坐标,耦合度值为纵坐标,作图得到四川省各地市州土地利用效益耦合协调度的区域差异(图 6)。

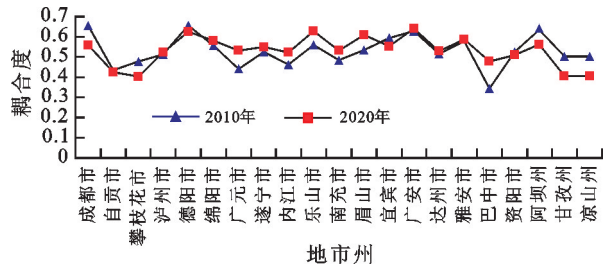


图 6 耦合协调度区域差异

Fig. 6 Regional differences in the coupling coordination of land use benefit

由图 6 可知,三大效益耦合协调性总体上呈现先降后升然后再降的趋势;四川省各地市州的土地利用三大效益的耦合性由 2010 年的 0.342~0.656 变为 2020 年 0.403~0.642,其平均值由 2010 年的 0.530 变化到 2020 年 0.531,表明四川省各地市州的土地利用三大效益的耦合性基本不变,各地市州的区域差异未发生大的变化,总体的耦合性处于勉强协调(图 6)。

由图 7 可知,四川省 2010 年和 2020 年各地市州的土地利耦合协调等级为 4 个等级:初级协调、勉强协调、濒临失调和轻度失调,总体协调水平不高。从空间演化特征来看,总体趋势呈现“中间高两翼低”的空间格局,且耦合等级相同的城市聚集度较高。2010 年初级协调的城市有成都市、德阳市、广安市和阿坝州,2020 年初级协调有乐山市、眉山市、德阳市和广安市,协调等级有从北部转向中东部趋势;勉强协调的城

市由 2010 年的 11 个地市州增加到 2020 年的 12 个,占比 52.38%以上,空间上呈现由西南聚集转向东北聚集的趋势;2010 年濒临失调和轻度失调的城市有攀枝花市、自贡市、内江市、南充市、广元市和巴中市,2020 年濒临失调的城市有攀枝花市、甘孜州、自贡市、巴中市,没有轻度失调城市,低等级协调的城市数量上有所减少,濒临失调的城市占比仍达到 19.05%,协调等级有从东部转向西部的趋势,在空间上,需进一步改善土地利用效益耦合协调等级。

2.5.2 耦合协调性的限制性因素分析 根据对土地利用三大效益及耦合协调程度的分析可知,各地市州的土地利用效益及耦合协调性在空间上差异显著,为进一步探明不同区域土地利用效益水平间的差异,辨析耦合协调性提升的限制性因素,以 2020 年为研究实证,依据各地市州土地利用效益耦合协调度值,将不同区域划分为 7 种滞后类型(表 3)^[10]。由表 3 可知,因受单一子系统滞后影响的地市州有 13 个,占比 61.90%,首先是社会效益滞后型,有 7 个城市,其次是经济滞后型,有 5 个城市;受 2 种复合系统滞后影响的地市州有 6 个,受 3 种复合系统滞后影响的仅成都市 1 个,说明四川省土地利用效益耦合协调关系在不同的区域受到单一因子和复合因素的共同作用,社会因素是影响研究区土地利用效益协调性提升的第 1 因素,其次是经济因素,然后是生态因素。

社会效益滞后型地区包括泸州市、德阳市、绵阳市、遂宁市、乐山市、南充市、眉山市,这些地区城市建设用地扩张速度滞后于经济发展,致使土地的社会效益降低。经济效益滞后型地区包括内江市、广安市、达州市、雅安市、巴中市,这些区域地均财政收入、地均第二产业产值等经济指标均较低,土地的经济效益明显

滞后。甘孜州属于生态效益滞后型,城市环境建设投入不足,生活垃圾无害化处理率和污水处理率均低于其他城市,导致生态效益较低。

社会经济效益滞后型地区包括自贡市、攀枝花市、宜宾市、资阳市,这些区域地均财政收入、地均固定资产投资、地均第二产业等经济指标均属于中下水平;另一方面,城镇人均居住面积小,而人均建设用地面积偏大,从而导致社会经济效益滞后。社会生态效益滞后型包括阿坝州和凉山州,这 2 个地区属于少数民族自治区,一方面,城市环境建设投入不足,建成区绿地覆盖率等生态环境指标较低;另一方面,城镇居民人均可

支配收入、城镇人均道路面积等社会指标较小;同时,受山地等地形地貌的特殊自然环境影响,本底值较差,建设用地扩张受到限制,从而使社会生态效益进一步降低。成都市属于全面滞后型,人口密度不断增大、城镇人均居住面积相对偏小、建设用地扩展速度加之过快,导致社会效益滞后;地均固定资产投资、地均第二产业产值等经济指标属于中下水平,导致经济效益滞后;生态环境指标方面建成区绿地覆盖率、人均公园绿地面积、人均公共绿地面积等指标均较低,社会效益发展困难的同时,也对成都市的生态环境造成了不利的影响。

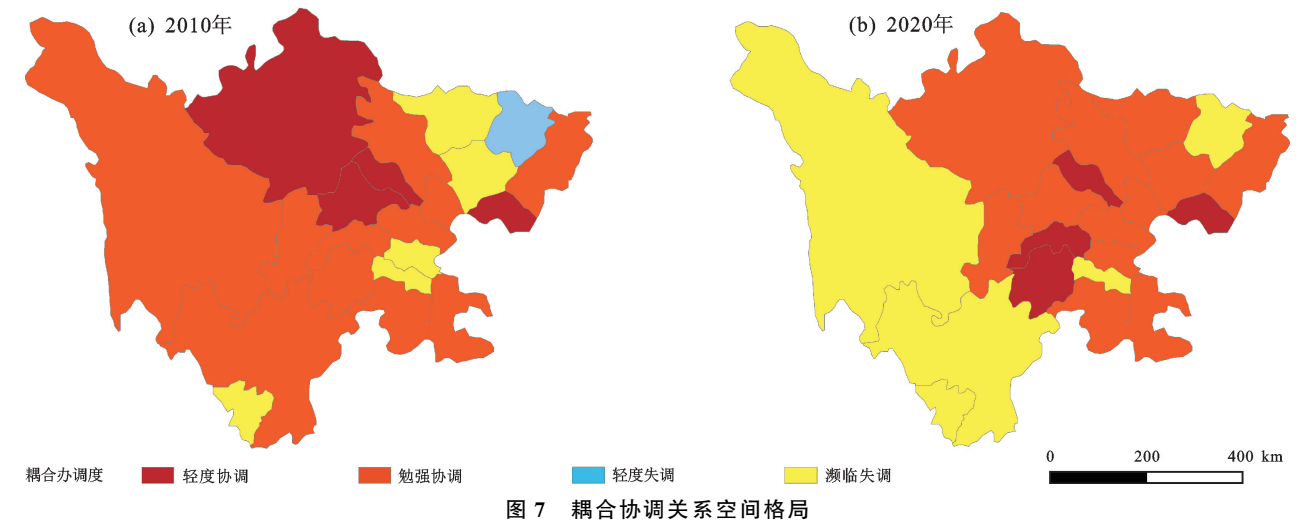


图 7 耦合协调关系空间格局

Fig. 7 Spatial pattern of coupling and coordinating relationship between land use benefits

表 3 土地利用社会、经济、生态效益耦合协调关系限制性因素类型划分

Table 3 Classification of restrictive factors in the coupling coordination relationship of social, economic, and ecological benefits of land use

类型划分	分类依据	2020 年包含的城市
社会效益滞后型	$U_{soc} < \bar{U}_{soc}, U_{eco} > \bar{U}_{eco}, U_{env} > \bar{U}_{env}$	泸州市、德阳市、绵阳市、遂宁市、乐山市、南充市、眉山市
经济效益滞后型	$U_{soc} > \bar{U}_{soc}, U_{eco} < \bar{U}_{eco}, U_{env} > \bar{U}_{env}$	内江市、广安市、达州市、雅安市、巴中市
生态效益滞后型	$U_{soc} > \bar{U}_{soc}, U_{eco} > \bar{U}_{eco}, U_{env} < \bar{U}_{env}$	甘孜州
社会经济效益滞后型	$U_{soc} < \bar{U}_{soc}, U_{eco} < \bar{U}_{eco}, U_{env} > \bar{U}_{env}$	自贡市、攀枝花市、宜宾市、资阳市
社会生态效益滞后型	$U_{soc} < \bar{U}_{soc}, U_{eco} > \bar{U}_{eco}, U_{env} < \bar{U}_{env}$	阿坝州、凉山州
经济生态效益滞后型	$U_{soc} > \bar{U}_{soc}, U_{eco} < \bar{U}_{eco}, U_{env} < \bar{U}_{env}$	—
全面滞后型	$U_{soc} < \bar{U}_{soc}, U_{eco} < \bar{U}_{eco}, U_{env} < \bar{U}_{env}$	成都市

注: U_{soc} 、 U_{eco} 、 U_{env} 分别为各地市州相应年份土地利用的三大效益; $\bar{U}_{soc}$ 、 $\bar{U}_{eco}$ 、 $\bar{U}_{env}$ 分别为各地市州相应年份土地利用三大效益的算术平均值。

3 讨论

3.1 土地利用效益及耦合协调关系变化动因

土地作为人类赖以生存的物质基础,随着人口不断的增长,在有限的土地资源下,合理利用资源、协调好人地关系,对保障区域的社会、经济和生态环境效益具有重要意义,尤其是对于生态环境较为脆弱的四川地区。四川省的区位特殊,它地处长江、黄河上游

地带,作为我国西部重要的生态屏障支撑区,是全国生态保护和建设的重点区域,对全国、全省的可持续发展及实现经济社会发展和社会稳定具有重要意义^[20]。基于土地利用的三大效益分析,四川省土地利用效益在空间格局上具有显著的差异性,土地的社会、经济、生态环境效益差异极化明显,区域发展不平衡问题显得较为突出。尤其是成都作为四川省会城

市,长期受国家发展政策调控影响,土地利用三大效益均属于高值区,城市职能过度集聚,但其辐射作用发挥有限,城市群逐级带动作用的发挥较差,一定程度上限制了区域三大效益的均衡发展,对四川省经济一体化和均衡发展的促进带动作用较弱。本研究发现,四川省各地市州的土地利用三大效益的耦合性 10 年间基本不变,总体的耦合性处于勉强协调,各地市州的土地利耦合协调等级仅有 4 个等级:初级协调、勉强协调、濒临失调和轻度失调,总体协调水平较低。但四川省目前的城市化进程仍处于加速期,部分地区人口增加较快,社会经济发展过度依赖土地资源的开发利用,人地矛盾凸显;另外,成都平原城市群作为四川省重要的经济社会发展中心,产业经济结构趋同,层次也偏低,目前仍以传统的工业城镇化发展为主,带来的弊端就是社会资源的高投入和高消耗及污染物的高排放;同时,在西部少数民族地区,城市基础设施建设投入不足、产业结构失衡,加之该地区脆弱的本底生态^[21],从而进一步加剧了区域土地利用效益的失调,就目前的发展模式亟待得到改善。

3.2 促进土地利用效益耦合协调关系的建议

当前,城镇既是各类生态问题的高发地,但也是生态文明建设的战略支撑点,如何在全面推进新型城镇化发展转型的过程中,实现自然和谐共生的现代城市,对区域社会的发展具有重要意义。结合本研究,针对性地促进四川省土地利用三大效益的协调发展,是未来优化区域土地利用结构的必然之路,对于四川省不同地市州应开展有针对性的发展途径。对于全面滞后型的成都市首先应该调控城镇化的无序扩张,科学合理地减缓城市化进程,控制人口数量,提升社会效益的同时,优化产业结构,以期带动经济、生态环境效益的进一步改善。对于社会效益滞后型的泸州市、德阳市、绵阳市、遂宁市、乐山市、南充市、眉山市,在发展经济的同时,要注重城市基础公共服务等设施的建设,提升土地利用的社会效益。对于经济效益滞后型的内江市、广安市、达州市、雅安市、巴中市,应加强地方财政投入、调整优化产业结构,提升第二产业占比,促进经济效益提升。对于生态效益滞后型城市甘孜州,应加强生态环境建设的投入力度。对于社会经济效益滞后型的自贡市、攀枝花市、宜宾市、资阳市,首先应注重城市基础公共服务等设施的建设,同时优化产业结构,增加固定资产投资,使社会效益提升的同时带动区域经济的发展。对于社会生态效益滞后型的阿坝州和凉山州,首先应注重建设用地的集约化利用,增加城市环境建设投入,使社会效益提升的同时带动区域经济的发展。

3.3 本研究的不足

土地利用效益的三大准则层下指标体系丰富多样^[22]。考虑到指标获取的难易度,尤其是四川省部分地市州某些指标数据(如环境因子)的缺失,使得本研究只选取了每个准则层中的部分指标构建评价体系,是本研究的不足之处;另一方面,本研究的研究单元尺度为地市州,而没有具体到区县一级,研究尺度上较为宏观。基于上述 2 点,在今后的研究中,应进一步构建科学合理的评价指标体系,在尺度上需进一步细化深入研究。

4 结论

(1)四川省各地市州的土地利用综合效益整体上呈上升趋势,区域差异显著。空间上呈现为以成都市为中心的腹地地带区向西北升高,东南降低的空间格局。不同子系统也存在波动变化趋势,土地利用社会效益整体上呈下降趋势,随着时间的推移,各市州的区域差异逐渐减小,空间上具有“中部高两翼低”的空间格局;较低值区、低值区主要分布于四川省的边缘地带,占四川省城市总数量的 47.62%,尤其是一些少数民族自治州,仍有持续减小的趋势。四川省土地利用经济效益总体上呈上升趋势,在空间分布上表现为“西高东低”的空间格局;截至 2020 年,较低值级别以下的城市主要分布在四川省的东部地区,占四川省城市总数量的 57.14%,土地利用经济效益在时空分布上仍然存在比较低下的特征。土地利用生态环境效益整体上呈上升趋势,各地市州的区域差异不断加大,空间上具有“中东部高西部低”的空间格局;但受到自身本底值因素的影响,加之城镇环保设施投入较欠缺,经济基础薄弱,少数民族自治州(凉山州、甘孜州、阿坝州)的土地利用生态环境效益仍出现减小的趋势。

(2)四川省总体的耦合性处于勉强协调,协调水平处于较低等级;空间上呈现“中间高两翼低”的分布格局,且耦合等级相同的城市聚集度较高。各地市州的土地利耦合协调等级为 4 个等级:初级协调、勉强协调、濒临失调和轻度失调;协调等级以勉强协调为主,其次是濒临失调。初级协调有从北部转向中东部的趋势;勉强协调呈现由西南聚集转向东北聚集的趋势;濒临失调的城市占比仍达到 19.05%,协调等级有从东部转向西部的趋势,在空间分布上需进一步改善。截止 2020 年,协调等级较好的城市有德阳市、眉山市、乐山市及广安市,空间上主要集中聚集于四川省的腹地地带,而西部的少数民族自治州协调等级仍然较差。

(3)影响四川省土地利用效益大小的因子依次为经济>社会>社会经济>社会生态>生态环境效益系统。可见,社会、经济单一因子对四川省土地利用效

益的耦合协调性起到主要的影响作用,其次是社会经济、社会生态复合因子,同时生态环境效益滞后也具有重要影响。

参考文献:

- [1] 袁俊芳,卞正富,闫庆武,等.西部典型矿业城市土地利用效益耦合协调度研究[J].生态与农村环境学报,2018,34(8):709-716.
YUAN J F, BIAN Z F, YAN Q W, et al. Coupling coordination degree of urban land use efficiency in typical mining cities in western China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34(8): 709-716.
- [2] 徐维祥,徐志雄,刘程军.黄河流域地级城市土地集约利用效率与生态福利绩效的耦合性分析[J].自然资源学报,2021,36(1): 114-130.
XU W X, XU Z X, LIU C J. Coupling analysis of land intensive use efficiency and ecological well-being performance of cities in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(1): 114-130.
- [3] 朱文娟,孙华.江苏省城市土地利用效益时空演变及驱动力研究[J].中国土地科学,2019,33(4):103-112.
ZHU W J, SUN H. study on spatio-temporal evolution and driving forces of urban land use benefits in Jiangsu Province[J]. China Land Science, 2019, 33(4): 103-112.
- [4] 江汶静,刘明,何汇城.成渝地区双城经济圈土地利用效益综合评估[J].江苏农业科学,2021,49(18):222-227.
JIANG W J, LIU M, HE H Y. Comprehensive evaluation of land use efficiency in the Chengdu Chongqing Shuangcheng Economic Circle[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2021, 49(18): 222-227.
- [5] 赵浩楠,赵映慧,宁静,等.基于 TOPSIS 法的长三角城市群土地利用效益评价[J].水土保持研究,2021,28(5): 355-361.
ZHAO H N, ZHAO Y H, NING J, et al. Evaluation of land use efficiency in Yangtze River Delta based on TOPSIS method[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(5): 355-361.
- [6] 刘云青.京津冀城市群产业结构、土地利用效益与碳排放的耦合协同发展研究[J].江西农业科学,2023,35(1): 145-151.
LIU Y Q. Research on the coupling and collaborative development of industrial structure, land use efficiency, and carbon emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. Jiangxi Agricultural Science, 2023, 35(1): 145-151.
- [7] 王筱明.基于熵权法的济南市土地利用效益评价研究[J].水土保持研究,2008,15(2):96-98.
WANG X M. Research on the evaluation of land use efficiency in Jinan City based on entropy weight method [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(2): 96-98.
- [8] 闫岩,雷国平,谢英楠.基于 AHP 和熵权法的土地利用生态效益研究[J].水土保持研究,2014,21(6):134-139.
YAN Y, LEI G P, XIE Y N. Research on ecological benefits of land use based on AHP and entropy weight method[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(6): 134-139.
- [9] 段佩利,刘曙光,尹鹏,等.中国沿海城市开发强度与资源环境承载力时空耦合协调关系[J].经济地理,2018,38(5):60-67.
DUAN P L, LIU S G, YIN P, et al. Spatial-temporal coupling coordination relationship between development strength and resource environmental bearing capacity of coastal cities in China[J]. Economic Geography, 2018, 38(5): 60-67.
- [10] 张韦萍,石培基,尹君锋.兰西城市群土地利用效益时空演变及耦合协调关系[J].生态学杂志,2022,41(11): 2226-2235.
ZHANG W P, SHI P J, YIN J F. Spatio-temporal evolution and coupling coordination of land use benefits in Lanzhou-Xining urban agglomeration [J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41(11): 2226-2235.
- [11] 吴熙铭.基于 DEA 方法的城市土地利用经济效益评价研究[D].杭州:浙江工业大学,2012.
WU X M. Research on land use economic benefit evaluation based on DEA method[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2012.
- [12] 宫继萍,石培基,潘竟虎.基于 DEA 方法的兰州市城市土地利用经济效益分析[J].水土保持通报,2011,31(5):163-166.
GONG J P, SHI P J, PAN J H. Economic benefit analysis of urban land use in Lanzhou city based on DEA method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(5): 163-166.
- [13] HOSSEIN K, HALIL A. A land use suitability model for rainfed farming by multi-criteria decision-making analysis (MCDA) and geographic information system (GIS)[J]. Ecological Engineering, 2018, 116: 1-6.
- [14] SELSSHI G Y, ANN G, MAELOUS L M, et al. Land-suitability analysis for agriculture in the Abbay basin using remote sensing, GIS and AHP techniques [J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2016(2): e101.
- [15] 四川省统计局.四川省统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011,2021.
Sichuan Provincial Bureau of Statistics. Sichuan statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2011, 2021.
- [16] 阿坝州地方志编委会.阿坝州统计年鉴[M].成都:巴蜀书社,2011,2021.
Aba Prefecture Local Chronicle Editorial Committee. Aba Prefecture statistical yearbook [M]. Chengdu: Bashu Bookstore, 2011, 2021.

- [17] 甘孜州年鉴编委会.甘孜州统计年鉴[M].北京:方志出版社,2011,2021.
Ganzi Prefecture Yearbook Editorial Committee. Ganzi prefecture statistical yearbook[M]. Beijing: Fangzhi Publishing House,2011,2021.
- [18] 凉山州人民政府.凉山州统计年鉴[M].成都:四川科学技术出版社,2011,2021.
Liangshan Zhizhou People's government. Liangshan Prefecture statistical yearbook[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2011,2021.
- [19] 杨志,李才文,任正龔,等.基于熵权 TOPSIS 模型的宁夏土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J].地球科学与环境学报,2023,45(4):1-10.
YANG Z, LI C W, REN Z Y, et al. Evaluation of land use performance and diagnosis of obstacle factors in Ningxia based on entropy weighted TOPSIS model[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023, 45(4):1-10.
- [20] 金丽娟,许泉立.基于 SRP 模型的四川省生态脆弱性评价[J].生态科学, 2022, 41(2): 156-165.
JIN L J, XU Q L. Ecological vulnerability assessment of Sichuan Province based on SRP model [J]. Ecological Science, 2022, 41(2): 156-165.
- [21] 游翔,陈锐银,廖睿智.2018 年度四川省级监测区水土流失动态监测研究[J].中国水土保持,2019(12):23-25.
YOU X, CHEN R Y, LIAO R Z. Research on dynamic monitoring of soil and water loss in Sichuan Provincial monitoring areas in 2018[J]. China Soil and Water Conservation, 2019(12): 23-25.
- [22] 周磊,黄秋昊.基于灰色关联 TOPSIS 的城市土地效益评价及障碍因子诊断[J].水土保持研究,2014,21(4): 39-44.
ZHOU L, HUANG Q H. Urban land efficiency evaluation and obstacle factor diagnosis based on grey correlation TOPSIS[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(4): 39-44.
- (上接第 266 页)
- [33] 甘肃省统计局,国家统计局甘肃调查总队.甘肃发展年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Gansu Provincial Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Gansu. Gansu development yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [34] 宁夏回族自治区统计局,国家统计局宁夏调查总队.宁夏统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Ningxia Hui Autonomous Region Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Ningxia. Ningxia statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [35] 内蒙古自治区统计局.内蒙古统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Inner Mongolia Autonomous Region Bureau of Statistics. Inner Mongolia statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [36] 陕西省统计局,国家统计局陕西调查总队.陕西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Shaanxi Provincial Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Shaanxi. Shaanxi statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [37] 山西省统计局,国家统计局山西调查总队.山西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Shanxi Provincial Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Shanxi. Shanxi statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [38] 张建鹏,陈诗一.金融发展、环境规制与经济绿色转型[J].财经研究,2021,47(11):78-93.
ZHANG J P, CHEN S Y. Financial development, environmental regulations and green economic transition[J]. Journal of Finance and Economics, 2021, 47(11): 78-93.
- [39] 王淑英,卫朝蓉,寇晶晶.产业结构调整与碳生产率的空间溢出效应:基于金融发展的调节作用研究[J].工业技术经济,2021,40(2):138-145.
WANG S Y, WEI Z R, KOU J J. Spill overeffect of industrial structure adjustment and carbon productivity: Study based on adjustment of financial development[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2021, 40(2): 138-145.
- [40] 吴建新,郭智勇.基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J].统计研究,2016,33(1):54-60.
WU J X, GUO Z Y. Research on the convergence of carbon dioxide emissions in China: A continuous dynamic distribution approach [J]. Statistical Research, 2016, 33(1): 54-60.
- [41] 李林山,赵宏波,郭付友,等.黄河流域城市群产业高质量发展时空格局演变研究[J].地理科学,2021,41(10): 1751-1762.
LI L S, ZHAO H B, GUO F Y, et al. High-quality development spatio-temporal evolution of industry in urban agglomeration of the Yellow River Basin[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(10): 1751-1762.
- [42] 李小建,文玉钊,李元征,等.黄河流域高质量发展:人地协调与空间协调[J].经济地理, 2020, 40(4): 1-10.
LI X J, WEN Y Z, LI Y Z, et al. High-quality development of the Yellow River Basin from a perspective of economic geography: Man-land and spatial coordination[J]. Economic Geography, 2020, 40(4): 1-10.