

关中平原城市群土地集约利用与 生态文明建设耦合性研究

白玉娟¹, 洪增林^{1,2}, 薛旭平², 石卫^{3,4}

(1.长安大学 土地工程学院, 西安 710054; 2.陕西省地质调查院, 西安 710054;

3.陕西省水工环地质调查中心, 西安 710068; 4.陕西省城市地质与地下空间工程技术研究中心, 西安 710068)

摘 要:土地集约利用和生态文明建设的协调发展对促进城市土地合理利用和可持续发展具有重要意义。采用熵权法——PSR 模型对 2009—2018 年关中平原城市群的土地集约利用水平及生态文明建设程度构建指标体系并对指数进行计算,在此基础上,分别运用耦合协调度模型和 ESDA 模型,分析了耦合协调度的时空格局及空间关联格局的变化趋势。结果表明:(1)土地集约利用水平呈平稳上升趋势,多数城市出现波动;生态文明建设程度总体呈波动上升趋势,2014 年有所下降;(2)时间上耦合协调度经历了“基本协调发展→良好协调发展”的过程,空间分布格局总体朝着协调方向发展,每个城市都有所提升;(3)全局自相关表明耦合协调度在 2009 年和 2018 年存在显著的正相关,局部自相关显示空间分布有明显的聚集特征,整体显著性较强,主要表现为“H-H”和“L-L”两种类型。该研究为实现关中平原城市群的可持续发展提供理论依据。

关键词:土地集约利用; 生态文明建设; 耦合协调性; 空间自相关; 关中平原城市群

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)03-0272-09

Research on Coupling of Intensive Land Use and Ecological Civilization Construction of Urban Agglomeration in Guanzhong Plain

BAI Yujuan¹, HONG Zenglin^{1,2}, XUE Xuping², SHI Wei^{3,4}

(1.School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2.Shaanxi Geological Survey Institute, Xi'an 710054, China; 3.Shaanxi Hydrogeology Engineering Geology and Environment Geology Survey Center, Xi'an 710068, China; 4.Shaanxi Engineering Technology Research Center for Urban Geology and Underground Space, Xi'an 710068, China)

Abstract: The coordinated development of intensive land use and ecological civilization construction is of great significance for promoting the rational use and sustainable development of urban land. The entropy weight method—PSR model was used to build an indicator system and calculate the index for the intensive land use level and ecological civilization construction level of the urban agglomeration in Guanzhong Plain from 2009 to 2018. On this basis, the coupling coordination degree model and the ESDA model were respectively used to analyze the coupling coordination degree changes in the spatiotemporal pattern and spatial correlation pattern. The results show that: (1) the level of intensive land use had a steady upward trend, and most cities had fluctuations; the degree of ecological civilization construction generally fluctuated and had declined in 2014; (2) in time, the coupling coordination degree had undergone the process of ‘basic coordinated development → good coordinated development’, the spatial distribution pattern was generally developing in the direction of coordination, and each city had improved; (3) the global autocorrelation indicated that the coupling coordination degree existed significant positive correlation in 2009 and 2018, local autocorrelation showed that the spatial distribution had obvious aggregation characteristics, and the overall significance was

收稿日期:2020-11-03

修回日期:2020-12-14

资助项目:陕西省土地整治重点实验室资助项目(2019-ZY01);陕西省公益性地质专项项目(20180303)

第一作者:白玉娟(1996—),女,甘肃天水人,硕士研究生,主要从事土地利用研究。E-mail:baiu8619@163.com

通信作者:洪增林(1963—),男,甘肃陇西人,博士,教授,博士生导师,主要从事土地资源管理、区域经济、系统工程等方面的研究。E-mail:lhqhzl@163.com

strong, mainly manifested as ‘H-H’ and ‘L-L’. These results can provide the theoretical basis for realizing the sustainable development of the urban agglomeration in Guanzhong Plain.

Keywords: intensive land use; construction of ecological civilization; coordinated coupling; spatial autocorrelation; urban agglomeration of Guanzhong Plain

随着工业化和城市化进程的不断推进,耕地不断被占用,土地供求矛盾日益突出,城市迅速扩张,出现了大量的闲置土地和低效用地。土地作为不可再生资源,要解决这一矛盾,根本途径在于内部挖潜,因此,土地集约利用显得尤为必要^[1-2]。与此同时,面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势,加强生态文明建设,实现区域绿色发展是一项重要举措^[3]。土地利用的集约化与生态文明建设,两者相互促进、相互影响,一方面,随着土地投入水平的增加和产出效果的增强,土地集约利用水平提升,同时促进区域经济增长,生态环境质量得到改善;另一方面,粗放的土地利用方式造成资源浪费和环境污染,生态环境质量变差,也意味着土地集约利用水平降低,二者发展均受到制约。而研究两者的耦合协调发展,则是同步提升土地集约利用水平和生态文明建设程度,使两者相互促进,共同进步,达到城市土地合理利用和可持续发展,具有很强的现实意义。

近年来,国内有关学者开展了大量土地集约利用研究,从研究对象来看,主要侧重建设用地^[4-6]、耕地^[7-8]、城乡结合部^[9]、开发区等^[10-11]比较微观的方面,对城市及城市群的宏观研究较少;从研究方法来看,因其具有一定的主观性,定性研究^[12-13]较少,定量研究中,多采用全排列多边形^[14-15]、熵权法^[16-17]、ESDA模型^[18-19]、组合赋权法^[20-21]、耦合研究等^[22-23]方法,熵权法被广泛用于确定指标权重,城市群作为一个城市的集合体,可运用ESDA模型分析各城市的空间聚集性;从研究尺度来看,对区域的时空研究^[24]较多。此外,也有部分学者在土地集约利用与生态“耦合发展”方面开展了少量探索性研究,例如生态化、生态效率等^[1,25]。总体来看,对土地集约利用单方面的研究较为成熟,且研究区域多为单个城市或东部发达城市,而对于城市群这一独特的城市群落集合体的研究少有涉及,尤其是深居内陆较不发达的关中平原城市群更是突出。

关中平原城市群作为西部地区重要的城市群,是西部地区面向东中部地区的重要门户,国家专门制定《关中平原城市群发展规划》,培育发展关中平原城市群,引领和支撑西北地区开发开放,推进西部大开发,努力将其建设为具有国际影响力的国家级城市群、内陆改革新高地,但关中平原城市群现在突出问题是生

态系统相对脆弱,资源环境约束加剧,在后续发展中要加强生态文明建设和生态环境保护,构建“两屏、一带、多廊、多点”的生态安全格局^[26]。因此,研究其土地集约利用和生态文明建设之间的关系显得尤为重要。基于以上分析,本文选取关中平原城市群的9个地级市为研究区域,试图基于熵权法—PSR模型,从土地集约利用和生态文明建设两大方面构建评价指标体系,研究土地集约利用水平和生态文明建设的机理及变化趋势,进一步研究两者之间的相互作用关系,分析其时空分布格局,以期为建设城市和土地利用提供科学参考。

1 研究区概况

关中平原城市群地理位置介于104°34′—112°34′E, 33°34′—36°56′N,位于陕西、山西、甘肃三省范围内,区域总面积11.55万km²,以西安市为中心,包括陕西省的西安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、渭南市,山西省的运城市、临汾市和甘肃省的天水市、平凉市,共9个地级市。区位优势明显,是西部地区的第二大城市群,2018年末常住人口3 960.62万人,地区生产总值1.91万亿元,经济综合实力仅次于成渝城市群。关中平原城市群是华夏文明的重要发祥地,是古丝绸之路的起点,承载着中华民族的历史荣耀和厚重记忆。但经济发展水平与东部城市尚有差距,城市群内部各城市差距较大。生态系统相对脆弱,森林覆盖率41.4%,城市绿化覆盖率39.98%,工业固体废物综合利用率78.24%,主要河流水质污染严重,地下水超采问题突出,空气质量优良率61.37%,大气环境污染情况严峻。城市发展和经济增长加剧了资源浪费和资源约束,可利用资源数量日渐减少,资源约束越来越明显。因此,选择关中平原城市群作为研究区域具有代表性。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文主要涉及与城市土地集约利用及生态文明建设相关的土地投入水平、利用强度、产出效果、集约利用发展趋势和生态文明压力、状态、响应指标数据,包括人口、经济、城市建设和环境几个方面,其中,城市道路面积、建成区比例等城市建设数据主要来源于

《中国城市统计年鉴(2010—2018)》,常住人口、GDP、财政收入/支出、固定资产投资、空气质量、废物处理率等人口、经济和环境数据来源于《陕西省统计年鉴(2010—2019)》、《山西省统计年鉴(2010—2019)》、《甘肃省统计年鉴(2010—2019)》,部分数据以各市的《统计年鉴(2010—2019)》和《国民经济和社会发展统计公报(2009—2018)》为补充。

2.2 研究方法

文章选用基于熵权法—PSR模型的方法,从压力、状态、响应3个方面全面细致地分析生态文明状况,构建评价指标体系,应用客观赋权法——熵权法确定指标权重,考虑指标的贡献率,利用指标之间的差异性确定权重。同时,城市在发展过程中不仅要考虑土地集约利用和生态文明建设,更应该注重两者之间的相互关系,使两者相互促进,同步提升,耦合协调度模型能够很好地分析两者之间的相互作用及耦合度,ESDA模型则是直观地反映各城市的耦合度在研究区域内的空间集聚性。

2.2.1 基于熵权法—PSR模型的评价指标体系构建 PSR(Pressure-State-Response)模型,即“压力—状态—响应”模型,最初是由加拿大统计学家 David 等^[27]提出的。20世纪80—90年代,经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)共同将其发展用于环境问题研究,是环境质量评价中分析生态系统健康问题的最常用模型之一。生态文明的建设主要是分析生态系统面临的压力,目前的状态及对应做出的响应,PSR模型能够较全面地包含生态文明建设的研究内容。在土地评价工作中,指标权重的确定是其关键环节,熵权法通过计算指标的信息熵,依据指标的相对变化程度对土地集约利用和生态文明建设的影响来决定每个指标的权重^[28],能突出局部差异的权重,具有较高的可信度。信息熵越小,指标值的变异程度越大,提供的信息量越多,在综合评价中的作用越大,指标权重越大,反之,信息熵越小,指标权重越小^[29]。

设 X_{ij} 为第 i 个地区第 j 个指标的数值, $i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,n$; m 为地区数量; n 为指标数。

(1) 指标数据标准化。采用极差标准化法对数据消除量纲、正负向的差异。

$$\text{正向指标: } P_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } P_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式中: P_{ij} 为第 i 个地区第 j 个指标的标准化数值。 X_{\max} 和 X_{\min} 分别为各评价指标原始数据的最大值和最小值。同时 $0 \leq P_{ij} \leq 1$ 。

(2) 计算第 j 项指标的熵值 E_j 。

$$E_j = -\frac{\sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})}{\ln m}, (0 \leq E_j \leq 1) \quad (3)$$

(3) 计算第 j 项指标的信息效用值 D_j 。

对第 j 项指标,指标值的信息效用值越大,对方案评价的作用就越大,熵值就越小。

$$D_j = 1 - E_j \quad (4)$$

(4) 确定第 j 项指标的熵权 W_j 。

$$W_j = D_j / \sum_{j=1}^m D_j \quad (5)$$

(6) 计算综合评价值 F_i 。

$$F_i = \sum_{j=1}^n W_j \cdot P_{ij} \quad (6)$$

式中: F_i 为第 i 个地区的土地集约利用评价值和生态文明建设评价值。

2.2.2 耦合协调度模型 耦合协调度表示两个或两个以上系统之间的相互影响、相互作用,通过分析土地集约利用与生态文明建设之间的协调耦合关系,可以研究两者之间的相互依赖、相互制约机制,因此本文引入耦合协调度模型^[30],研究关中平原城市群各城市的土地集约利用与生态文明建设之间的相互作用及两者之间发展的协调性,计算耦合协调度,划分协调发展类型。

(1) 耦合度模型

$$C = \left\{ [F_L \times F_S] / \left[\frac{F_L + F_S}{2} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

式中: F_L , F_S 分别为土地集约利用水平和生态文明建设程度; C 为两个系统的耦合度;其中 C 的取值范围为 $[0, 1]$; C 越大,耦合作用越好, C 越小,耦合作用越差。

(2) 协调指数模型

$$T = \alpha F_L + \beta F_S \quad (8)$$

式中: T 为土地集约利用和生态文明建设的协调指数; α , β 分别表示各系统的重要性程度,研究认为土地利用与生态文明同等重要,因此取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

(3) 耦合协调度模型

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (9)$$

式中: D 为系统的耦合协调度。

结合相关研究^[3,25]和实际情况,将城市土地集约利用与生态文明建设发展的耦合协调性进行类型划分,见表1。

2.2.3 ESDA模型 ESDA(Exploratory Spatial Data Analysis)模型是通过描述对象的空间分布格局并对其进行可视化表示,研究变量在研究区域上的空间集聚现象,分析研究对象之间的相互作用机制。模型指标一般包括全局莫兰指数和局部莫兰指数^[2,31],其公式如下:

表 1 耦合协调度类型划分

耦合协调度	协调发展类型	耦合协调度	协调发展类型
$0 \leq D < 0.10$	极度失调衰退	$0.50 \leq D < 0.60$	基本协调发展
$0.10 \leq D < 0.20$	严重失调衰退	$0.60 \leq D < 0.70$	初级协调发展
$0.20 \leq D < 0.30$	中度失调衰退	$0.70 \leq D < 0.80$	中级协调发展
$0.30 \leq D < 0.40$	轻度失调衰退	$0.80 \leq D < 0.90$	良好协调发展
$0.40 \leq D < 0.50$	濒临失调衰退	$0.90 \leq D < 1.00$	优质协调发展

(1) Global Moran's I 指数:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \tag{10}$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \tag{11}$$

式中: W_{ij} 为空间权重矩阵,空间相邻 $W_{ij}=1$,空间不相邻 $W_{ij}=0$, X_i 为第*i*区域的观测值; X_j 为第*j*区域的观测值;*n*为样本个数。

I 的取值范围为 $[-1,1]$,当 $I>0$ 时,各地区空间正相关,当 $I<0$ 时,各地区空间负相关。 I 越接近于1,空间相关性越强,集聚性越强,反之, I 越接近于-1,空间离散程度越大。

(2) Local Moran's I 指数:

$$I_i = \frac{(X_i - \bar{X})}{S^2} \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_j - \bar{X}) \tag{12}$$

I_i 描述区域与周围显著的相似值之间区域的空间集聚程度, $I_i>0$ 表示与周围差异较小, $I_i<0$ 表示与周围差异较大。

2.3 指标体系构建

本文在前人研究^[2,3,25]基础上,参考相关资料,遵循综合性、地域差异性、代表性及可操作性等原则选取土地集约利用的评价指标,土地集约利用的实质是通过增加单位土地面积的生产要素投入、引用先进的技术、改进土地管理方法、优化土地利用结构等方法来提高土地利用的产出效益行为。由于土地投入水平影响土地的产出率及土地集约度,土地利用强度和土地产出效果最直接反映土地集约程度、方式和产物,其中,土地产出效果主要选取地均财政收入、地均二三产业产值、地均社会消费品零售额和农村居民人均可支配收入4项经济指标直观地反映土地的产出效果,此外,土地集约利用发展趋势也是必不可少的一项;因此,从土地投入水平、利用强度、产出效果、集约利用发展趋势4个方面选取14项指标对土地集约利用水平进行研究。

对生态文明建设的研究则是依据PSR模型,建立生态文明压力、状态、响应3个准则层。其中,生态文明压力是在城市发展过程中,人类不断向自然环境中索取所需的各种资源,同时又向环境排放废弃物,对环境造

成破坏;生态文明状态是在一定时间段内生态环境的变化;生态文明响应是城市发展主体为了减轻对生态环境的负面影响,采取的一系列补救措施。因此从生态文明压力、状态和响应3个方面选取12项指标。PSR模型能够体现城市发展与生态文明建设之间的相互作用关系及城市发展对生态文明的影响机理,并对集约利用后果进行评估,保护城市生态环境,推进绿色健康发展。文章最终共选取26个评价指标(表2)。

3 结果与分析

3.1 土地集约利用水平与生态文明建设分析

本文根据熵权法模型,对收集的2009—2018年相关评价指标数据进行分析,获得关中平原城市群城市土地集约利用水平和生态文明建设的评价结果(表3,图1)。

2009—2018年,关中平原城市群各个城市的土地集约利用水平均呈平稳上升趋势(图1A),平均利用水平从0.2315上升至0.6697(表3),可见在《关中平原城市群发展规划》的指导下,城市土地集约利用水平正在稳步提升。具体来看,部分城市在不同年份出现略微下降的现象,宝鸡市在2012年,西安市、天水市和平凉市在2011年出现略微下降的现象,后又回升,这是因为近几年城市发展速度飞快,建设用地规模不断增加,GDP、人口和固定资产投资的增长速度缓于用地增加速度,导致弹性系数偏小,土地集约利用趋势降低,城市土地集约利用水平有所降低。此外,需要注意的是,在图中咸阳市2017年出现了城市土地集约利用水平明显下降的趋势,这主要是因为陕西省设立了西咸新区,并于2017年1月划归西安代管,导致咸阳市人口密度、地均固定资产投入骤减,造成了咸阳市土地集约利用水平的下降。

2009—2018年关中平原城市群的生态文明建设程度呈波动上升趋势(图1B),各个城市通过不断加强生态文明建设,优化城市环境,平均指数从2009年的0.3391上升至2018年的0.7505(表3),总体上得到提升。2009—2018年,各市工业二氧化硫排放量平均降低78.26%,生活垃圾无害化处理率平均提高59.59%,污水处理率平均提高61.9%,人均公共绿地面积平均提高49.59%,建成区绿化覆盖率平均提高32.97%,生态文明压力的减小和生态文明响应的提升,使城市生态文明建设程度不断提高。各个城市及关中平原城市群平均生态文明建设程度在2014年出现降低的现象,究其原因,城市的发展导致人口增加幅度大,耕地略微减少,人均粮食产量减少,生态文明状态水平下降,城市生态文明建设程度有所下降,

但随着城市空气污染情况的改善和森林、绿化面积的增加,生态文明建设程度总体依然呈上升趋势。

表 2 土地集约利用与生态文明建设耦合发展水平指标体系

目标层	系统层	准则层	指标层	指标含义	性质	指标权重
土地集约利用与生态文明建设耦合发展水平	土地集约利用	土地投入水平	C_1 :地均固定资产投入(万元/ km^2)	固定资产投资总额/土地总面积	+	0.0737
			C_2 :地均财政支出(万元/ km^2)	财政支出总额/土地总面积	+	0.0612
			C_3 :人均城市道路面积($\text{m}^2/\text{人}$)	城市道路面积/年末常住人口	+	0.0858
			C_4 :人口密度(人/ km^2)	年末常住人口/土地总面积	+	0.0723
		土地利用强度	C_5 :城镇化率(%)	城镇人口/年末常住人口	+	0.0713
			C_6 :土地垦殖率(%)	耕地面积/土地总面积	+	0.0936
			C_7 :建成区比例(%)	城市建成区面积/土地总面积	+	0.0816
			C_8 :地均财政收入(万元/ km^2)	财政收入总额/土地面积	+	0.0642
		土地产出效果	C_9 :地均二三产业产值(万元/ km^2)	二三产业产值/土地总面积	+	0.0594
			C_{10} :地均社会消费品零售额(万元/ km^2)	社会消费品零售总额/土地总面积	+	0.0706
			C_{11} :农村居民人均可支配收入(元)	农村居民人均可支配收入	+	0.0652
	土地集约利用与生态文明建设耦合发展水平	土地集约利用发展	C_{12} :GDP 与用地增长弹性系数	GDP 增长率/建设用地面积增长率	+	0.0670
			C_{13} :人口与用地增长弹性系数	人口自然增长率/建设用地面积增长率	+	0.0721
			C_{14} :固定资产投资与用地增长弹性系数	固定资产投资增长率/建设用地面积增长率	+	0.0620
		生态文明压力	C_{15} :工业二氧化硫排放量(t)	来自省或市《统计年鉴》	-	0.0938
			C_{16} :工业废水排放量(万 t)	来自省或市《统计年鉴》	-	0.0748
			C_{17} :烟(粉)尘排放量(t)	来自省或市《统计年鉴》	-	0.0962
			C_{18} :人均公共绿地面积($\text{m}^2/\text{人}$)	公共绿地覆盖面积/年末常住人口	+	0.0859
			C_{19} :空气质量优良率(%)	空气质量达标天数/365	+	0.0841
		生态文明状态	C_{20} :地均二三产业从业人员(人/ km^2)	二三产业从业人数/土地总面积	+	0.1049
			C_{21} :地均 GDP(万元/ km^2)	GDP/土地总面积	+	0.0671
			C_{22} :人均粮食产量(kg/人)	粮食产量/年末常住人口	+	0.0750
			C_{23} :生活垃圾无害化处理率(%)	生活垃圾处理量/生活垃圾总量	+	0.0841
		生态文明响应	C_{24} :污水处理率(%)	污水处理量/污水总量	+	0.0698
			C_{25} :工业固体废物综合利用率(%)	工业固体废物处理量/工业固体废物总量	+	0.0862
			C_{26} :建成区绿化覆盖率(%)	来自《中国城市统计年鉴》	+	0.0781

说明:“+”和“-”分别表示评价指标对土地集约利用与生态文明建设耦合发展水平具有正向作用和负向作用。

表 3 关中平原城市群平均指数计算结果

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
土地集约利用	0.2315	0.3071	0.3341	0.3969	0.4764	0.5245	0.5636	0.6182	0.6445	0.6697
生态文明建设	0.3391	0.4450	0.4527	0.5449	0.5895	0.5565	0.5945	0.6934	0.7339	0.7505

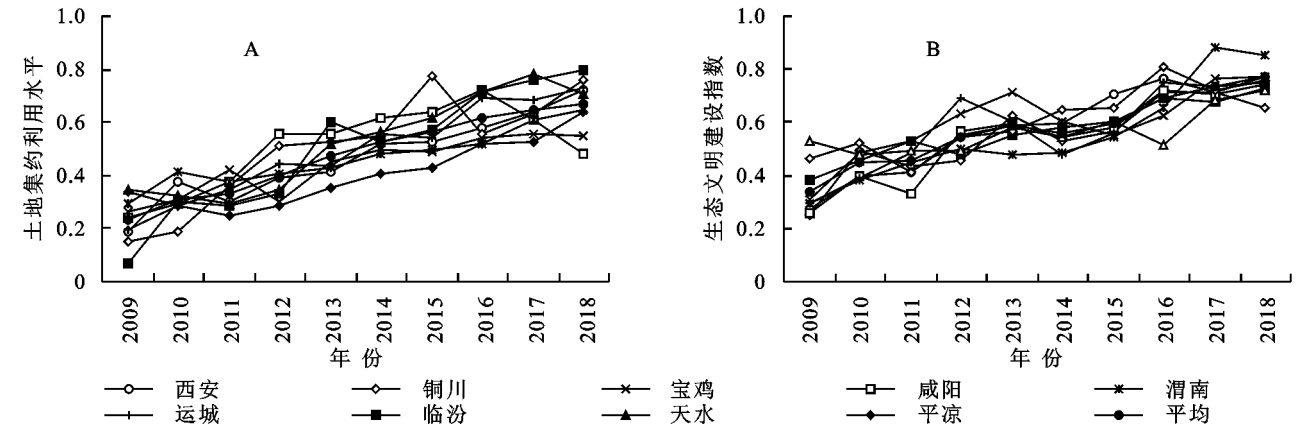


图 1 城市土地集约利用水平与生态文明建设程度时空演变

3.2 耦合协调度时空格局分析

3.2.1 时间变化分析 本文利用耦合协调度模型计算的关中平原城市群 2009—2018 年城市土地集约利用和生态文明建设的耦合协调度结果显示城市群经

历了“基本协调发展→初级协调发展→中级协调发展→良好协调发展”的发展过程,耦合协调度逐年上升,从 2009 年的 0.561 6 上升至 2018 年的 0.839 8(表 4,图 2)。整体而言,关中平原城市群耦合协调性由基

本协调转为良好协调,这说明地方政府在推动城市土地集约利用和促进经济发展的同时,重视生态环境保护,加强生态文明建设。各省、市出台了土地集约利用的意见、实施细则等,制定了相关政策、措施,例如推动新农村建设以及全国试点小城镇建设等,推进农民集中居住,土地集约利用水平提高。同时,政府注

重生态环境的保护,严格控制污染物排放指标等,大量环境技术政策的实施减少了废物排放量,提高了能源利用率,如工厂引进先进生产设备、清洁生产工艺和清洁原料等。山西省作为全国重要的能源基地,生态环境比较脆弱,近几年重点发展林业,造林绿化成果显著,推进了城乡生态化。

表 4 关中平原城市群耦合协调度变化

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
耦合协调度	0.5616	0.6128	0.6494	0.7017	0.7295	0.7458	0.7823	0.8169	0.8336	0.8398

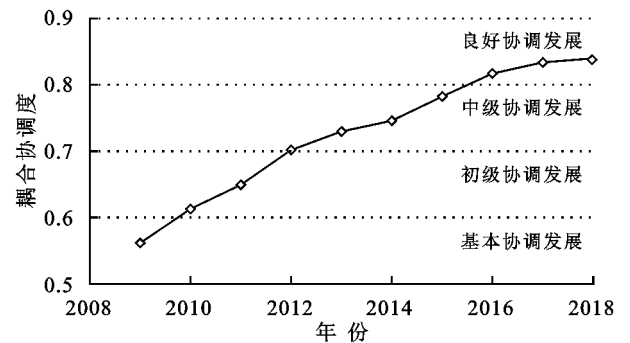


图 2 城市土地利用耦合协调发展状况

3.2.2 空间变化分析 选取 2009 年、2013 年、2018 年为主要年份,研究关中平原城市群的土地集约利用

与生态文明建设及耦合协调度变化(表 5)。2009 年,耦合协调类型包括濒临失调衰退、基本协调发展和初级协调发展,对应的城市数量分别为 4,3,2(图 3),可见耦合协调性普遍较低。运城、临汾、西安和铜川市的生态文明建设程度高于土地集约利用水平,但两者的绝对水平较低,导致协调耦合性较低,为濒临失调衰退;渭南、咸阳、宝鸡市的土地集约利用水平和生态文明建设程度相当,但整体较低,因此成为基本协调发展;天水和平凉市的生态文明建设程度较高,土地集约利用水平相对较低但也高于其他城市,因此协调耦合性较好,表现为初级协调发展。

表 5 主要年份各城市指数计算结果

城市	2009 年			2013 年			2018 年		
	集约利用水平	生态文明建设	耦合协调度	集约利用水平	生态文明建设	耦合协调度	集约利用水平	生态文明建设	耦合协调度
西安	0.1885	0.2706	0.4753	0.4157	0.5897	0.7037	0.7247	0.7701	0.8643
铜川	0.1478	0.2519	0.4393	0.5285	0.6214	0.7570	0.7565	0.6508	0.8377
宝鸡	0.2620	0.3068	0.5325	0.4510	0.7122	0.7528	0.5525	0.7729	0.8084
咸阳	0.2432	0.2578	0.5004	0.5545	0.5919	0.7569	0.4831	0.7396	0.7731
渭南	0.2939	0.2908	0.5407	0.4271	0.4806	0.6731	0.6442	0.8527	0.8609
运城	0.1989	0.2937	0.4916	0.4371	0.6060	0.7174	0.7279	0.7691	0.8650
临汾	0.0711	0.3842	0.4065	0.6009	0.5543	0.7597	0.7953	0.7273	0.8721
天水	0.3430	0.5306	0.6532	0.5197	0.5809	0.7413	0.7064	0.7170	0.8436
平凉	0.3350	0.4655	0.6284	0.3531	0.5689	0.6695	0.6369	0.7556	0.8329

2013 年城市耦合协调类型包括初级协调发展和中级协调发展,对应的城市数量分别为 2,7(图 3),相较 2009 年,耦合协调性有了很大的提升。平凉市的土地集约利用水平和生态文明建设程度在 2009—2013 年波动变化,增加幅度较小,因此平凉市继续保持初级协调发展;渭南市的土地集约利用水平和生态文明建设同步提高,但整体水平依然偏低,因此由基本协调发展上升为初级协调发展;其他城市随着两者的同步提升,且提升幅度较大,城市发展均由较低水平的耦合协调发展提升为中级协调发展。2018 年城市发展水平提升为中级协调发展和良好协调发展,大部分城市均向良好协调方向发展,耦合协调性达到了研究期内的最高水平。咸阳市由于土地集约利用水平仍然相对较低(表 5),生态文明建设程度与其他城市相当,

因此城市发展继续保持中级协调发展;其他城市的土地集约利用水平和生态文明建设程度同步提升,且两者水平相当,城市发展表现为良好协调发展。

综上所述,2009—2018 年耦合协调度空间格局不断发生变化,相较于 2009 年、2013 年的空间格局发生较大的变化,除平凉市外其他城市呈现不同幅度的提升;2009—2018 年,除咸阳市表现为中级协调发展外,别的城市均提升为良好协调发展。关中平原城市群的耦合协调度总体表现为不断提升,在空间分布上具有一定的聚集特征,为进一步研究土地集约利用与生态文明建设耦合协调度的空间集聚效应,有必要对耦合协调度进行空间自相关分析,研究其空间关联格局,分析城市群内部各城市之间的相互作用机制。

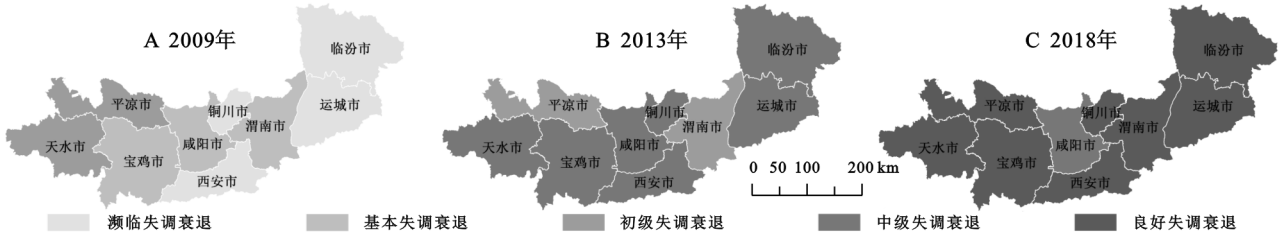


图 3 主要年份协调耦合度变化

3.3 耦合协调度空间自相关分析

3.3.1 全局自相关分析 以上述计算结果为基础,利用 GeoDa 软件,根据 2009 年、2013 年和 2018 年耦合协调度的空间分布数据,选择 k-Nearest 权重矩阵,计算 Moran's *I* 指数(表 6)。结果显示,2009 年和 2018 年的全局自相关指数在 0.05 的显著性水平下均为正值,且 0.05 水平下的正态统计量临界值为 1.65,空间自相关的 *Z* 值均大于临界值,通过了 5% 的显著性水平

检验,说明这两个年份的耦合协调度呈空间正相关关系,存在集聚效应;2013 年全局自相关指数为负值且未通过显著性检验,说明耦合协调度呈空间负相关关系,存在离散效应。从整体来看,2009 年、2013 年、2018 年协调耦合度的 Global Moran's *I* 指数分别为 0.216 9, -0.271 2, 0.158 4, 指数先减小后又增大,空间集聚性先减弱后又增强,出现高值区与低值区相邻的现象,2009 年的正向空间关联性最强。

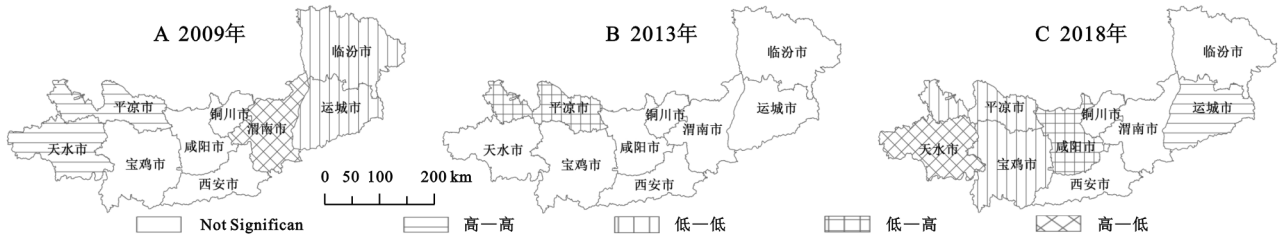


图 4 主要年份 LISA 图

表 6 2009—2018 年全局自相关指数计算结果

年份	Moran's <i>I</i> 指数	<i>p</i> 值	<i>Z</i> 得分	显著性水平
2009 年	0.2169	0.0170	2.4500	0.05
2013 年	-0.2712	0.1470	-0.9840	0.05
2018 年	0.1584	0.0450	1.6551	0.05

3.3.2 局部自相关分析 为进一步明确耦合协调度的空间关联格局,运用 GeoDa 软件分析协调耦合度的局部自相关关系,一般用 LISA 图来表示(图 4)。从图 4 可以看出,2009 年,“H-H”类型的城市有 2 个,分别是天水市和平凉市,说明这两个城市与周边城市的耦合协调度都较高;“L-L”类型的城市有 2 个,分别是运城市 and 临汾市,说明这两个城市及周边城市的协调耦合度都较低;“H-L”类型的城市为渭南市一个,是空间负相关,说明渭南市的耦合协调度较高而周边城市的耦合协调度较低;非显著性城市占比为 44.44%,正相关比例高于负相关比例,整体呈正相关性。2013 年,只有一个“L-H”类型的城市——平凉市,即平凉市的耦合协调度较低而周边城市的耦合协调度较高,呈空间负相关,由“H-H”变为“L-H”,说明自身的协调耦合度增加幅度小于周边城市,非显著性城市占比为 88.89%,整体显著性差。2018 年,“H-H”类型的城市有 1 个,即运城市,由 2009 年的“L-L”类型上升为“H-H”类型,说明自身及周边城市的耦合协调度都在增加;“L-L”类型的城市有 2 个,分别

为平凉市和宝鸡市,平凉市由负相关“L-H”变为为正相关的“L-L”,说明虽然平凉市和周边城市的耦合协调度在增加,但是相较别的城市而言,仍然处于较低水平,发生了离散到聚集的变化,宝鸡市由非显著性变为显著性正相关,聚集性增强;“L-H”类型的城市为咸阳市,也是由非显著性变为显著性正相关;“H-L”类型的城市为天水市,由 2009 年的“H-H”变为“H-L”,天水市与周边城市相比,一直保持相对较高水平的耦合协调度,在 2018 年表现为空间负相关,离散程度增强;非显著性城市占 44.44%,整体显著性较强,且正相关比例高于负相关比例。随着时间的推移,聚集程度在不断发生变化。

各类型区的聚集程度与城市之间土地集约利用和生态文明建设息息相关。对于关中平原城市群来说,西安市和铜川市一直表现为非显著性,即没有明显的聚集或离散特征,其他城市由于土地集约利用水平的提升和生态文明建设程度的加强,各类型区反复变化,因此需要加强城市之间及省际之间的联系,发挥高值区的辐射和带动作用,激发正向聚集效应,减小地域空间差异,达到关中平原城市群的全面协调可持续发展。

4 结论与建议

本文以 2009—2018 年关中平原城市群 9 个地级

市为研究对象,在计算和评价土地集约利用水平和生态文明建设程度的基础上,构建两者的耦合协调度模型,并采用ESDA模型分析耦合协调度的时空格局及空间关联格局的变化。2009—2018年各城市的土地集约利用水平及生态文明建设程度均呈上升趋势,两者的耦合协调度也不断提升,总体都朝着良好协调的方向发展,表明在生态文明建设不断推进的过程中,土地集约利用水平也不断提升。得出的主要结论如下:

(1) 2009—2018年关中平原城市群的土地集约利用水平平均呈平稳上升趋势,部分城市出现波动的现象,咸阳市则在2017年由于设立西咸新区并划归西安代管,土地集约利用水平明显下降;2009—2018年生态文明建设程度总体呈波动上升趋势,生态文明建设不断加强,但在2014年出现下降的现象。

(2) 从时间序列来看,关中平原城市群的耦合协调度经历了“基本协调发展→良好协调发展”的发展过程;空间分布格局在2009—2013年、2013—2018年都有所变化,总体朝着协调方向发展,就每个城市而言,在两个时间段内或保持稳定,或实现提升,总体都表现为耦合协调度的提高。

(3) 全局自相关结果表明,关中平原城市群的耦合协调度在2009年和2018年存在显著的空间正相关关系,且通过显著性检验,2013年则表现为负相关。局部自相关的LISA图显示,耦合协调度的空间分布呈现明显的空间聚集特征,整体显著性较强,主要表现为“H-H”和“L-L”两种类型,其中,西安市和铜川市一直表现为非显著性,其他城市的聚集性反复变化。

基于以上结论,为提高区域土地集约利用水平和生态文明建设程度,以及两者的协调耦合性,本文提出以下建议:

(1) 加强土地合理利用,调控土地利用方向,引导人口、产业向着合理的发展方向,科学合理地规划利用土地,考虑区域固定资产投资、人均城市道路面积、土地垦殖率等指标,加强区域内土地可持续利用,促进土地利用的集约化发展。

(2) 注重城市生态环境的保护及生态文明建设,制定相关政策,引进先进设施,建立动态监测体系,严格管控工业二氧化硫、工业废水和烟(粉)尘的排放量及指标,加强废物的回收利用,例如提高生活垃圾无害化处理率、污水处理率和工业固体废弃物利用率等,对落后的企业进行改造,引导企业采用先进的生产技术,提高资源利用率。同时,增加城市绿化面积,改善空气质

量,提高空气质量优良率,有效提升城市生态功能。

(3) 政府相关部门加强对城市的监管,促进城市向着优质协调发展。加强城市之间及省份之间的交流与协作,“H-H”类型区为最理想分区,“L-L”则与之相反,需要同时加强城市本身及周边城市的协调耦合发展,“L-H”和“H-L”两个类型则是城市与周边城市差距较大,在考虑不同城市发展阶段及资源禀赋的前提下,以“H-H”引领其发展,最终促进关中平原城市群的总体协调可持续发展。

参考文献:

- [1] 陈莹,吴秀兰.土地集约利用与生态效率的耦合协调发展研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(5):1025-1035.
- [2] 朱庆莹,陈银蓉,胡伟艳,等.中国土地集约利用与区域生态效率耦合协调度时空格局[J].农业工程学报,2020,36(4):234-243.
- [3] 朱乾隆,刘鹏凌,梁敬东,等.城市土地集约利用与生态文明建设的耦合关系[J].浙江农林大学学报,2019,36(5):999-1005.
- [4] 孙立宁.济南市建设用地节约集约利用评价研究[D].济南:山东建筑大学,2015.
- [5] 杨伟.渝北区城镇土地节约集约利用评价研究[D].重庆:西南大学,2007.
- [6] 祖健,郝晋珉,艾东,等.基于要素视角的建设用地集约利用内生动力及评价研究[J].北京大学学报:自然科学版,2020,56(4):745-754.
- [7] 程兰花,杨德刚,张新焕,等.基于PSR模型的新疆县域耕地集约利用时空演化特征[J].干旱区研究,2018,35(2):493-502.
- [8] 赵映慧,赵旭朦,宁静,等.基于市域尺度的东北地区农地集约利用研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(3):169-177.
- [9] 张玉敏.基于RS和GIS的宁乡县城结合部土地节约集约利用评价[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [10] 张娜.基于西咸新区总体规划的土地节约集约利用评价研究[D].西安:长安大学,2014.
- [11] 陆晓蕙,梁勇,燕琴,等.城市开发区土地集约利用评价:以武汉市为例[J].测绘通报,2018(3):71-75,88.
- [12] 钟学军.武清区土地节约集约利用问题与对策研究[D].天津:天津大学,2014.
- [13] 易府.新型城镇化背景下城市土地节约集约利用研究[D].湖南湘潭:湘潭大学,2015.
- [14] 张禾裕,张建勇,陈亚凯,等.基于GIS与全排列多边形的长沙市土地节约集约利用评价[J].湖北农业科学,2016,55(8):1943-1948.
- [15] 侯微,刘亚臣.基于全排列多边形综合图示指标法的沈阳市土地节约集约利用评价[J].山东农业大学学报:

- 自然科学版,2019,50(1):88-91.
- [16] 梁丽英,梁彦庆,黄志英,等.生态文明背景下健康城市发展与土地集约利用耦合协调关系研究:以京津冀为例[J].生态经济,2020,36(4):88-94.
- [17] 张红凤,曲衍波.我国城镇化发展与土地集约利用的时空耦合及调控格局[J].经济理论与经济管理,2018(10):44-54.
- [18] 姬珍君,陈英.天水市中心城区建设用地集约利用评价与空间分布格局分析[J].河南农业大学学报,2018,52(2):273-279,286.
- [19] 龙明璐,贺清云.农用地集约利用水平与建设用地规模时空耦合分析:以湖南省为例[J].水土保持研究,2020,27(2):330-336,343.
- [20] 赵会顺,陈超,胡振琪,等.天山北坡经济带城市土地集约利用评价及障碍因素分析[J].农业工程学报,2018,34(20):258-266.
- [21] 陈维肖,毕雪薇,梁流涛.国家中心城市土地集约利用评价及障碍因素诊断[J].地域研究与开发,2019,38(3):113-118.
- [22] 曹春艳.耕地集约利用与新型城镇化耦合协调发展研究:以江苏省为例[J].中国农业资源与区划,2018,39(6):67-73.
- [23] 居尔艾提·吾布力,安瓦尔·买买提明,薛东前.城镇化与耕地集约利用水平及其耦合协调发展:以新疆阿克苏市为例[J].干旱区研究,2019,36(6):1333-1343.
- [24] 刘清俊.新型城市化视角下湖南省城市土地集约节约利用研究[D].长沙:湖南师范大学,2014.
- [25] 林耀奔,叶艳妹,杨建辉.浙江省城市土地利用集约化与生态化协调性评价[J].中国土地科学,2019,33(1):65-72.
- [26] 国家发展改革委,住房城乡建设部.关中平原城市群发展规划[EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201802/t20180207_962246.html.
- [27] 曹竞文,李淑杰,李高行,等.基于PSR模型和熵权法的扶余市城市土地集约利用评价[J].东北师大学报:自然科学版,2019,51(1):125-132.
- [28] 陈东强.重庆市南川区土地节约集约利用研究[D].重庆:西南大学,2013.
- [29] 李凤.基于层次分析法的福州市城区土地集约节约利用评价[J].南方农业,2015,9(3):102-105.
- [30] 鲁学孟,刘学录,张晶,等.甘肃省庆阳市土地集约利用与土地利用结构的耦合协调关系[J].水土保持通报,2019,39(6):240-245.
- [31] 张荣天,陆建飞.长江经济带耕地集约利用多尺度时空特征与影响因素分析[J].农业工程学报,2019,35(24):271-278.

(上接第271页)

- [15] 葛玉娟,赵宇鸾.基于道路网络分析技术的耕地细碎化测度模型改进[J].资源科学,2019,41(4):766-774.
- [16] 彭思卿,陈文波.基于田块空间和权属信息的耕地细碎化MAVF评价研究[J].中国土地科学,2019,33(6):88-95.
- [17] 刘晶,金晓斌,徐伟义,等.江苏省耕地细碎化评价与土地整治分区研究[J].地理科学,2019,39(5):817-826.
- [18] 沈陈华,冯电军,王旭姣,等.农地细碎化度测度指数计算的改进[J].资源科学,2012,34(12):2242-2248.
- [19] 文高辉,杨钢桥,汪文雄,等.基于农户视角的耕地细碎化程度评价:以湖北省“江夏区—咸安区—通山县”为例[J].地理科学进展,2016,35(9):1129-1143.
- [20] 赵凯.论土地细碎化及其定量测定方法[J].中国土地科学,2011,25(10):35-39,88.
- [21] 白志远,陈英,谢保鹏,等. ArcGIS支持下的景观细碎化与耕地利用效率关系研究:以甘肃省康乐县为例[J].干旱区资源与环境,2014,28(4):42-47.
- [22] 孙雁,赵小敏.分宜县土地细碎化的中观尺度研究[J].中国土地科学,2010,24(4):25-31.
- [23] 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[J].地理科学,2018,38(8):1370-1378.
- [24] 梁鑫源,李阳兵.三峡库区规模农地时空变化特征及其驱动机制[J].地理学报,2018,73(9):1630-1646.
- [25] 段增强, Verburg P H, 张凤荣,等.土地利用动态模拟模型的构建及其应用:以北京市海淀区为例[J].地理学报,2004,59(6):1037-1047.
- [26] 马晴,李丁,廖杰,等.疏勒河中下游绿洲土地利用变化及其驱动力分析[J].经济地理,2014,34(1):148-155.
- [27] 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.