



移动扫码阅读

张靖妮,王慧丽.基于市域尺度的陕西省碳排放空间特征分析[J].能源环境保护,2022,36(2):96-103.

ZHANG Jingni, WANG Huili. Spatial characteristics of carbon emission in Shaanxi Province based on city scale [J]. Energy Environmental Protection, 2022, 36(2): 96-103.

基于市域尺度的陕西省碳排放空间特征分析

张靖妮,王慧丽*

(西安财经大学 统计学院,陕西 西安 710100)

摘要:为完善陕西省节能减排措施并减少碳排放量,基于市域尺度视角,采用空间统计分析及空间自相关法,借助 ArcGIS 技术分析陕西省 2000~2017 年的碳排放量、碳排放强度时空变化特征及空间集聚特征。研究发现:陕西省整体碳排放量呈增加趋势,碳排放强度显著降低,处于低碳排放区和高碳排放强度的市区数显著减少;部分城市上升至次高碳排放区和高碳排放区,榆林市的碳排放量最高且碳排放强度下降速度最快;陕西省各市的碳排放强度具有较强的空间自相关性,整体上由北向南逐渐递减且呈显著的聚集状态,形成北部市区高高聚集和南部市区低低聚集的态势。

关键词:碳排放;空间统计分析;空间集聚特征;陕西省

中图分类号:X32

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)02-0096-08

Spatial characteristics of carbon emission in Shaanxi Province based on city scale

ZHANG Jingni, WANG Huili*

(School of Statistics, Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710100, China)

Abstract: In order to improve energy conservation and emission reduction measures and reduce carbon emissions in Shaanxi Province, the temporal and spatial variation and spatial agglomeration characteristics of carbon emission and carbon emission intensity in Shaanxi province from 2000 to 2017 were analyzed by ArcGIS technology, spatial statistical analysis and spatial autocorrelation methods based on the view of city scale. The study found that the overall carbon emission of Shaanxi Province showed an increasing trend, the carbon emission intensity decreased significantly, and the number of urban areas in low carbon emission zones and high carbon emission intensity decreased significantly. Some cities became sub high carbon emission zones and high carbon emission zones. Yulin had the highest carbon emission and the fastest decline in carbon intensity. The carbon emission intensities of cities in Shaanxi Province had strong spatial autocorrelation. The intensity decreased gradually from north to south and showed a significant aggregation state, forming a trend of high aggregation in the northern urban area and low aggregation in the southern urban area.

Key Words: Carbon emission; Spatial Statistical Analysis; Spatial aggregation characteristics; Shaanxi Province

0 引言

“十四五”期间,习近平总书记重点强调我国

生态文明建设进入以降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型和实现生态环境质量改善质变的关键时期。在全球变暖和能源危机的大背景

收稿日期:2021-12-30;责任编辑:蒋雯婷

基金项目:西安财经大学研究生创新基金项目资助(20YC013)

第一作者简介:张靖妮(1998-),女,陕西咸阳人,硕士,主要研究方向为环境与生态统计。E-mail:2392069722@qq.com

通讯作者简介:王慧丽(1980-),女,山西永济人,副教授,博士,主要研究方向为环境与生态统计。E-mail:huiliwy@163.com

下,建设“节约型社会”已成为共识^[1],有效利用能源、减少碳排放量的重要性也日益凸显。目前,减少碳排放已经成为全国乃至全球的关注点^[2],生态环境质量与人民生活水平紧密相关,因此,我们应牢牢把握“绿水青山就是金山银山”的相关理念,为我国生态文明建设制定完善的节能减排政策。

空间特征分析可以有针对性和目标性地寻找未来减缓碳排放的潜在条件,为此众多学者基于国家和省级层面对碳排放的空间差异进行研究。韩梦瑶等结合泰尔指数和 Tapio 模型研究碳排放区域差异和演变趋势,认为中国各省区域经差异在减小,但碳排放差异在扩大^[3]。张华明等分析中国东、西、中三大区域碳排放影响的空间特征,并建立空间计量模型,发现碳排放及影响机制具有显著的空间差异性^[4]。郝宇等基于空间统计学相关模型分析不同因素对区域碳排放的空间溢出效应,结果表明该区域存在显著的空间溢出效应^[5]。韦沁等采用泰戈尔指数研究我国农业碳排放南北区域的差异,认为农业碳排放强度区域内部的差异比较大,整体上北方高于南方^[6]。邱蔓以我国八大区的碳排放量为研究对象,测算区域碳排放量并分析其影响因素,发现碳排放的主要驱动因素是当地经济的增长^[7]。通过查阅文献发现碳排放量具有极大的空间分布特征,刘贤赵等采用重心模型研究湖南省碳排放与经济发展的重心转移关系,两者重心转移具有阶段性,不平衡发展的主要影响区域是东西方向^[8]。孙耀华等对碳排放强度进行等级划分,发现高碳排放强度的省份逐年递减,而相对低碳排放强度的省份则在日益增加^[9]。张谦等采用聚类分析法研究陕西省低碳经济的发展状况,其高碳区的碳排放量增速最大,且其高碳区和相对高碳区碳排放量大于低碳区^[10]。

现有文献研究表明,碳排放的空间差异分析已有不同程度的研究,并得到一些相关结论,但这些研究主要集中在碳排放空间差异分析,缺乏碳排放的动态演变规律研究。研究对象也主要是基于国家和省域层面,市域角度的研究不足,而陕西省位于我国西北地区,目前正遭遇环境污染严重、二氧化碳排放过多等急需解决的难题。考虑陕西省作为我国首批低碳试点省份和西部地区资源大省的特性^[11],探索其各市区碳排放的空间特征及动态演变规律,为减少陕西省碳排

放提出因地制宜的有效措施显得尤为重要。为此,本文基于市域尺度视角对陕西省碳排放的空间特征及其动态演变规律进行分析,研究碳排放的空间分布特征及差异,旨在实现陕西省节能减排,为维持经济稳定增长与环境的可持续发展提供参考。

1 数据来源及分析方法

1.1 数据来源

本文旨在对陕西省的碳排放空间特征展开研究,选取《陕西省统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》及陕西省各市统计年鉴所公布的能源消费量数据,依据《2006 年国家温室气体清单指南》定义的排放因子或排放系数执行 IPCC 的估算方法,并根据当年价格计算的地区生产总值、能源与碳排放系数测算陕西省 10 个市(西安市、咸阳市、渭南市、安康市、延安市、榆林市、商洛市、铜川市、宝鸡市和汉中市)的碳排放量和碳排放强度。

1.2 分析方法

1.2.1 碳排放测算

本文采用碳排放量和碳排放强度来测度陕西省 10 个市的碳排放,碳排放量和碳排放强度计算公式如式(1)和式(2):

$$C = \sum_{i=1}^n E_i \times K_i \quad (1)$$

$$IC = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \times K_i}{GDP} \quad (2)$$

式中:记 C 为碳排放量,万 t; IC 为碳排放强度, t/万元 GDP; E_i 为第 i 种能源的消耗量,万 t (标准煤), $i = 1, 2, 3, \dots, n$; K_i 为第 i 种能源相对应的碳排放系数, t/(标准煤)^[12]。

1.2.2 空间统计分析

空间统计分析是研究空间特性的重要手段,对研究对象的空间位置及属性的空间特性进行分析,通过区域化变量及对空间事物的定量描述,分析事物或现象的地理空间信息特征、空间相互作用及变化规律^[13]。假定陕西省各市区之间都是非独立的,相互之间存在自相关性,基于空间统计分析的主要技术——ArcGIS,分析陕西省及各市区本身的特征、决策和复杂的时空演化过程^[14],可以直观显示陕西省各市区的碳排放空间分布差异及时空动态演变趋势。

1.2.3 空间自相关法

现有文献对各省的国内生产总值、碳排放等

研究中,许多经济数据都涉及一定的地理空间位置,但研究通常是基于区域地理空间相互独立的假设而展开。根据空间地理学家 Tobler(1970)提出的地理学第一定律——“所有事物都与其他事物相关联,较近的事物比较远的事物关联性更大”^[15]。而各市区碳排放量存在紧密联系,且距离越近的市区联系越紧密^[16]。因此,可利用 Moran' *I* 指数分析陕西省各市区碳排放的空间特征,判断各市区之间的独立性关系,计算公式如式(3):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij}} \quad (3)$$

式(3)中: x_i 、 x_j 表示城市*i*和城市*j*的碳排放强度, $t/万元 GDP$; n 为陕西省市区数量($n=10$); W_{ij} 为空间权重矩阵的(*i*,*j*)的元素;*I*表示市区碳排放强度的全局莫兰指数,其取值范围是 $[-1, 1]$ ^[17]。利用空间自相关研究陕西省各市区之间的碳排放强度是否有关联,分析各市区碳排放强度是相互独立还是相互联系。

2 陕西省区域碳排放强度特征

2.1 陕西省区域碳排放强度特征

碳排放强度是指每单位国民生产总值的增长所带来的二氧化碳排放量。该指标主要是用来衡量一国经济同碳排放量之间的关系,如果一国在经济增长的同时,每单位国民生产总值所带来的二氧化碳排放量在下降,说明该国实现了经济增长与碳排放脱钩^[18]。陕西省丰富的资源是经济快速发展的强大动力,大规模的资源整合与技术改造加快了开采速度、提高了开采效率,更大幅度地带动了陕西省经济的飞速发展。由于陕西省各市区经济、资源发展水平有所差异,其碳排放强度在能源和经济的影响下也存在着差异。因此,根

据陕西省各市区碳排放强度的数据得到陕西省区域碳排放强度对比图,如图1所示。

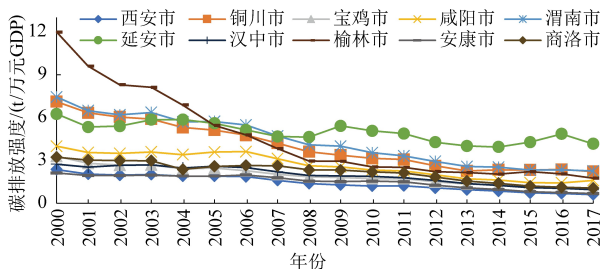


图1 陕西省区域碳排放强度对比图

Fig.1 Comparison of regional carbon emission intensity in Shaanxi Province

由图1可知:在2000~2017年间,陕西省各市的碳排放强度整体呈下降趋势,说明陕西省在减排方面取得了一定的成效。榆林市的下降速度最快,从2000年的11.98 $t/万元 GDP$ 下降至2017年的1.75 $t/万元 GDP$ 。2000~2008年,榆林市的碳排放强度最高,其次是渭南市、铜川市和延安市,安康市和西安市的碳排放强度较低;2008年之后榆林市的碳排放强度下降变得较为平缓,延安市的碳排放强度最高。各市的碳排放强度变化特征存在差异,各市之间的空间特征显著,因此需要对陕西省十个市进行空间特征分析。

2.2 区域碳排放空间差异分析

下面从碳排放量和碳排放强度两个方面对陕西省碳排放的空间差异进行分析,首先,利用 ArcGIS 软件^[19],将得到的各市碳排放量数据导入到陕西省区域地图中,基于测算所得的各市碳排放量和碳排放强度数据,将碳排放量和碳排放强度进行划分。本研究在了解陕西省各市间碳排放状况的基础上,将陕西省各市的碳排放划分为五个等级,划分结果如表1所示,根据划分类型绘制2000年、2006年、2010年和2017年陕西省区域碳排放空间分布特征,如图2所示。

表1 碳排放量及碳排放强度划分

Table1 Carbon emission and carbon emission intensity division

碳排放量/万 t	分类	碳排放强度/($t/万元 GDP$)	分类
158.80~1 284.97	低碳排区	0.60~2.88	低碳强区
1 284.98~2 411.14	次低碳排区	2.89~5.16	次低碳强区
2 411.15~3 537.31	中碳排区	5.17~7.44	中碳强区
3 537.32~4 663.48	次高碳排区	7.45~9.72	次高碳强区
4 663.49~5 789.65	高碳排区	9.73~12.00	高碳强区

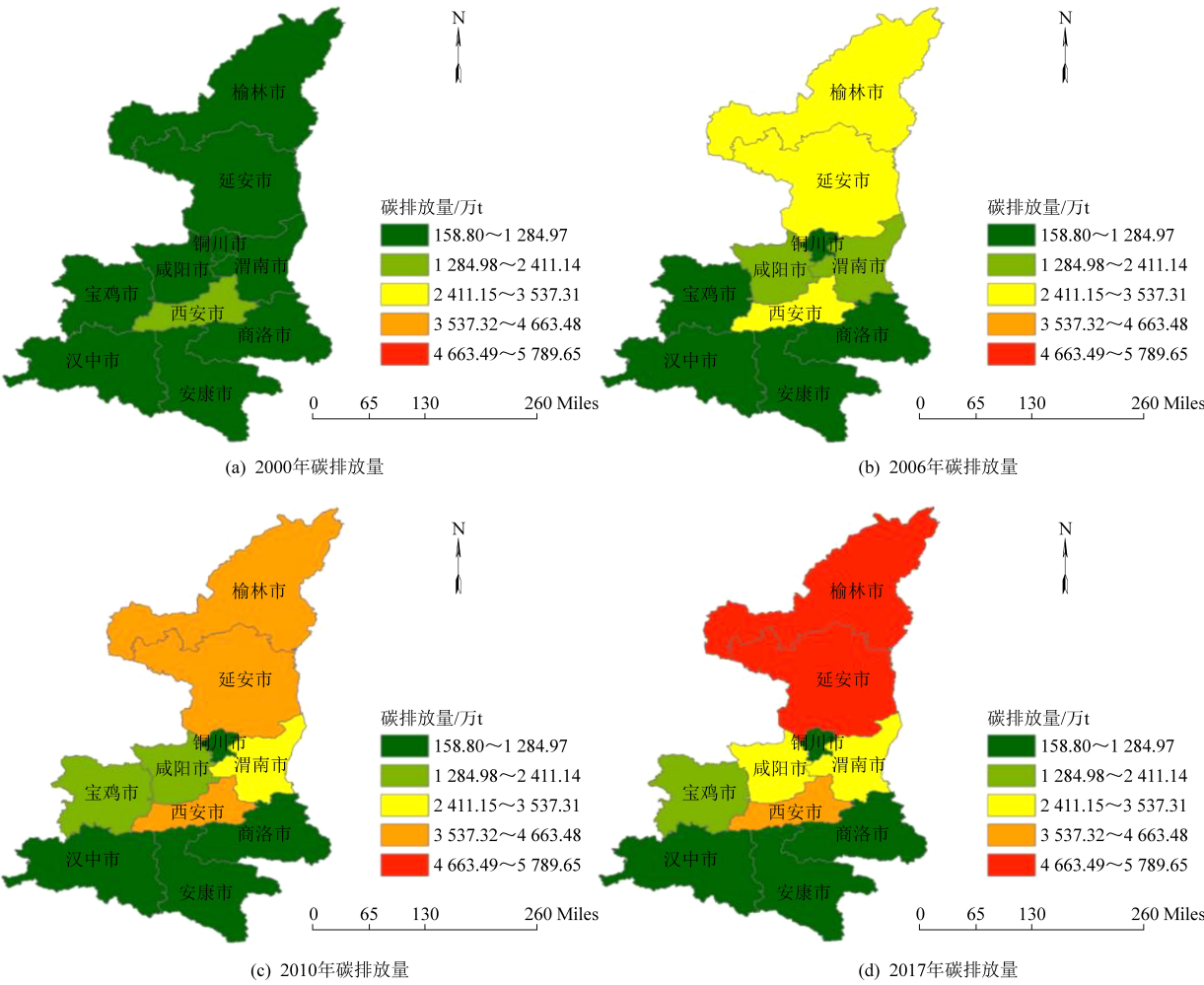


图2 陕西省各市碳排放量的空间分布图

Fig.2 Spatial distribution maps of carbon emission of cities in Shaanxi Province

图2(a)表明2000年陕西省区域碳排放量主要位于在低碳区和次低碳区,次低碳区只有西安市,其碳排放总量为1 525.63万t,其他地区均为低碳排区域,其中安康市和商洛市的碳排放量最低,分别为158.83万t和178.80万t;而图2(b)中2006年榆林市、延安市和西安市的碳排放量变化最显著,均上升至中碳排区,咸阳市和渭南市从低碳排区上升至次低碳排区,其他区域仍处于低碳排区域,延安市较2000年碳排放量增长了1 875.46万t,增幅最大,铜川市的碳排放量增长了135.99万t,增幅最小。随着经济的发展,能源、生产、生活的消费增加,到2010年,如图2(c)所示,西安市、延安市和榆林市从中碳排区上升至次高碳排区,渭南市从次低碳排区增长至中碳排区,宝鸡市从低碳排区增长至与咸阳市同区域的次低碳排区,而铜川市、汉中市、安康市和商洛市仍处于低碳排区,碳排放最高的地区为延安市和榆林

市,最小的地区为安康市和铜川市;由图2(d)可知,2017年陕西省区域碳排放量的增长更明显,榆林市和延安市上升至高碳排区,西安市处于次高碳排区,咸阳市的碳排放增长至中碳排区,与渭南市处于同区域,宝鸡市仍属于次低碳排区,而商洛市、汉中市和安康市仍保持在低碳排区。处于低碳排放区的市区数明显减少,部分城市甚至上升至次高碳排区和高碳排区,说明陕西省区域碳排放量在明显上升,且近年来陕西省地区产业发展迅速,生活水平提高,拉动了经济的增长,导致产业发展需求量大,因此碳排放量在显著增加。

碳排放强度能够有效反应区域碳排放水平,便于比较区域间减排效果。为进一步分析各市区碳强的空间差异和空间分布演变特征,根据碳排放强度的划分类型绘制2000年、2006年、2010年和2017年陕西省空间分布特征图,陕西省区域碳排放强度的空间分布如图3所示。

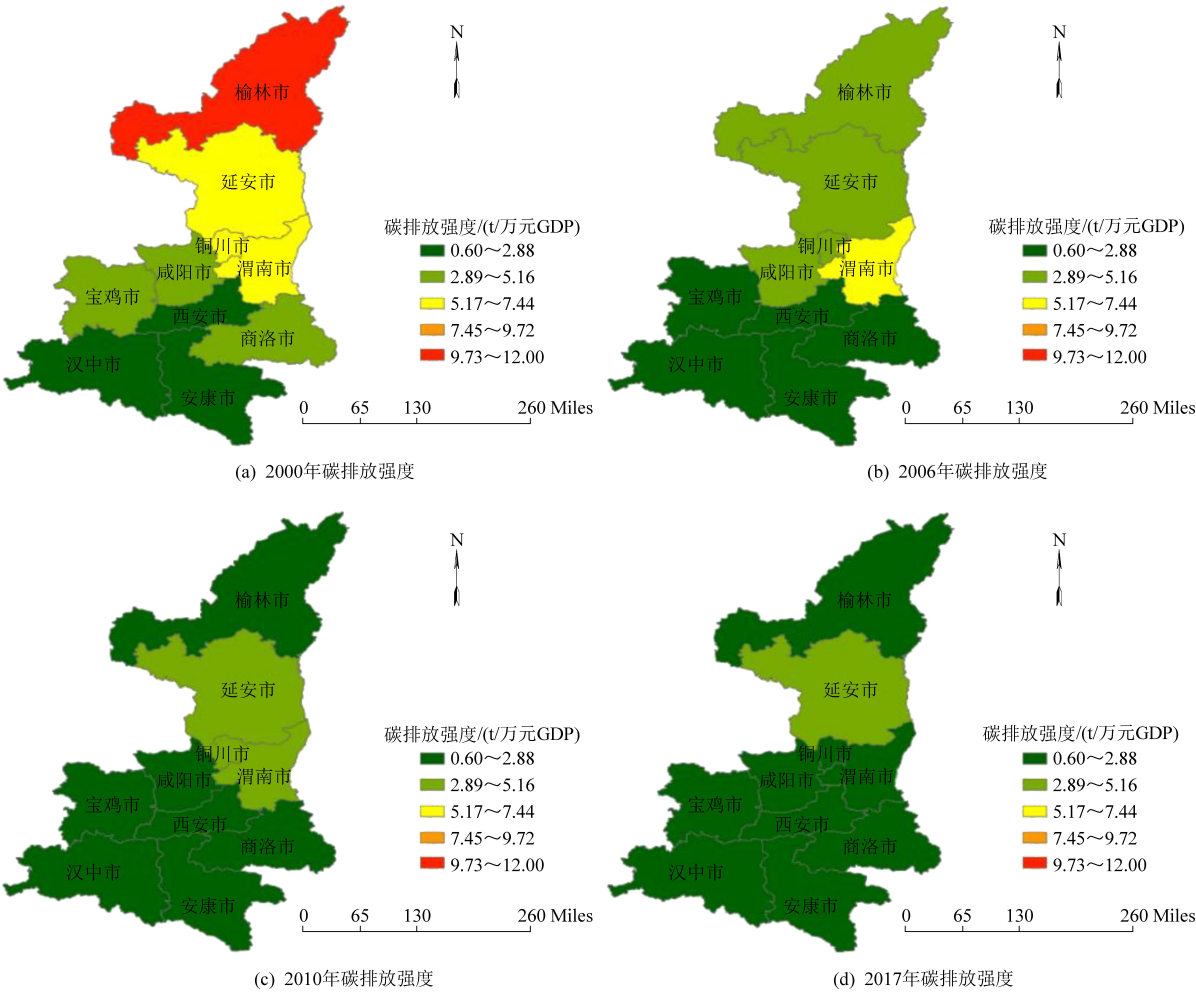


图 3 陕西省各市碳排放强度的空间分布图

Fig.3 Spatial distribution maps of carbon emission intensity of cities in Shaanxi Province

图 3 表明,2000 年榆林市碳排放强度处于高碳强区,碳排放强度为 11.98 t/万元 GDP,延安市、铜川市和渭南市处于中碳强区,咸阳市、宝鸡市和商洛市均处在次低碳强区,其他地区处于低碳强区;对比图 3(b),2006 年渭南市碳排放强度最大,为 5.48 t/万元 GDP,仍保持在中碳强区,而榆林市、延安市和铜川市的碳排放强度下降至与咸阳市同区域的次低碳排区,其中榆林市下降最明显,宝鸡市和商洛市下降至下一个等级,与汉中市、西安市和安康市处于低碳排区,其中西安市的碳排放强度最低为 1.87 t/万元 GDP;到了 2010 年如图 3(c)所示,陕西省碳排放强度均下降至低碳强区和次低碳强区,其中渭南市下降至次低碳强区,与铜川市和渭南市处于同区域,榆林市和咸阳市下降至低碳排区,与其他市处于低碳强区;而 2017 年,如图 3(d)所示,陕西省碳排放强度仍处于低碳强区和次低碳强区,延安市仍处于次低碳强区,铜川市和渭南市碳排放强度下

降至低碳强区,与其他市均处于同一区域的低碳强区,其中延安市碳排放强度最高,为 4.16 t/万元 GDP,西安市最低,为 0.61 t/万元 GDP。处于高碳强区的地区数明显减少,部分地区由高碳强区,次高碳强区下降至低碳强区。说明陕西省碳排放强度整体上呈下降趋势,所以整体上调控各市碳排放强度才是控制陕西省碳排放强度的关键。因此,陕西省节能减排战略可通过加强区域合作,实现减排互补,进而更有效降低碳排放量。

3 区域碳排放强度空间动态演变规律

3.1 市域碳排放强度总体空间布局

结合时间和空间两个维度的分析发现,陕西省各市之间的碳排放差异较大。因此,进一步对其空间动态演变规律进行分析。根据 2000~2017 年陕西省各市碳排放强度数据,借助全局自相关系数(Global Moran's I)度量陕西省各市碳排放强

度整体上的空间关联程度。得到的陕西省各碳排放强度的莫兰指数如表 2 所示。

表 2 碳排放强度的莫兰指数

Table 2 Moran's I of carbon emission intensity

年份	M's I	Z-value	P
2000	0.375 0	2.714 3	0.006 0
2001	0.393 7	2.687 7	0.005 0
2002	0.472 6	2.957 0	0.004 0
2003	0.533 8	3.206 3	0.0010
2004	0.621 1	3.550 8	0.001 0
2005	0.628 9	3.519 1	0.002 0
2006	0.613 9	3.446 2	0.002 0
2007	0.610 7	3.466 6	0.002 0
2008	0.528 9	3.205 3	0.003 0
2009	0.446 7	3.044 5	0.004 0
2010	0.375 5	2.785 4	0.007 0
2011	0.393 5	2.916 0	0.005 0
2012	0.394 6	2.919 5	0.006 0
2013	0.418 5	3.158 8	0.004 0
2014	0.438 5	3.192 5	0.004 0
2015	0.470 6	3.516 9	0.002 0
2016	0.372 9	3.222 0	0.003 0
2017	0.410 5	3.207 3	0.003 0

从表 2 中可以看出 2000~2017 年陕西省各市的碳排放强度的 Moran's I 都通过 1% 的显著性水平检验,且碳排放强度的 Moran's I 都为正值,说明陕西省各市的碳排放强度具有较强的空间相关性。据此可以判断:地理距离是影响碳排放强度的重要因素,将地理距离作为空间权重矩阵有一定的合理性。

构建陕西省各市分布的莫兰指数图,由莫兰指数图验证陕西省各市碳排放强度的空间相关性,2000 年、2006 年、2010 年和 2017 年的全局莫兰指数如图 4 所示。

如图 4 所示,2000 年陕西省各市的碳排放强度全局莫兰指数为 0.375,说明分布空间正相关性强,其显著性水平 P 值为 0.006,其莫兰指数具有统计学意义。2006 年、2010 年和 2017 年的全局莫兰指数分别为 0.614、0.375、0.411,其显著性水平 P 值分别为 0.002、0.007 和 0.003,均验证了上

述分布模式。

3.2 市域碳排放强度聚集特征分析

陕西省各市碳排放强度具有较强的空间正相关性,因此,可进一步分析陕西省各市碳排放强度的空间聚集状态及其动态演变规律,陕西省各市空间聚集状态分布如图 5 所示。

图 5 表明,陕西省碳排放强度整体上由北部向南递减,形成北部地区的高高聚集和南部地区的低低聚集,呈显著的聚集状态,这与南北的矿产资源和经济状况的空间自相关性相吻合。2000 年和 2017 年碳排放强度的比较发现不同年份其分布模式差异不大,2000 年铜川市碳排放强度的聚集状态不显著,但 2017 年处于显著的高高聚集,说明铜川市的碳排放强度在近些年有显著变化。延安市在 2000 年呈高高格局,2017 年仍处于高高格局,西安市、汉中市和安康市仍处于低低格局。

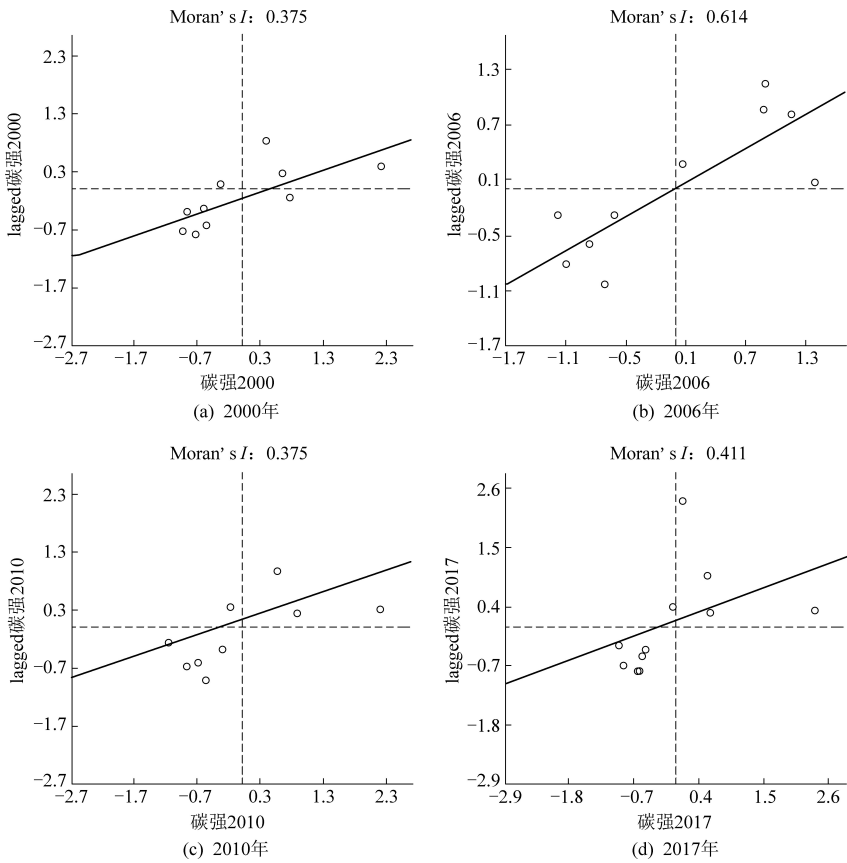


图 4 陕西省各市区碳排放强度的全局莫兰指数

Fig.4 Global Moran's I of carbon emission intensity of cities in Shaanxi Province

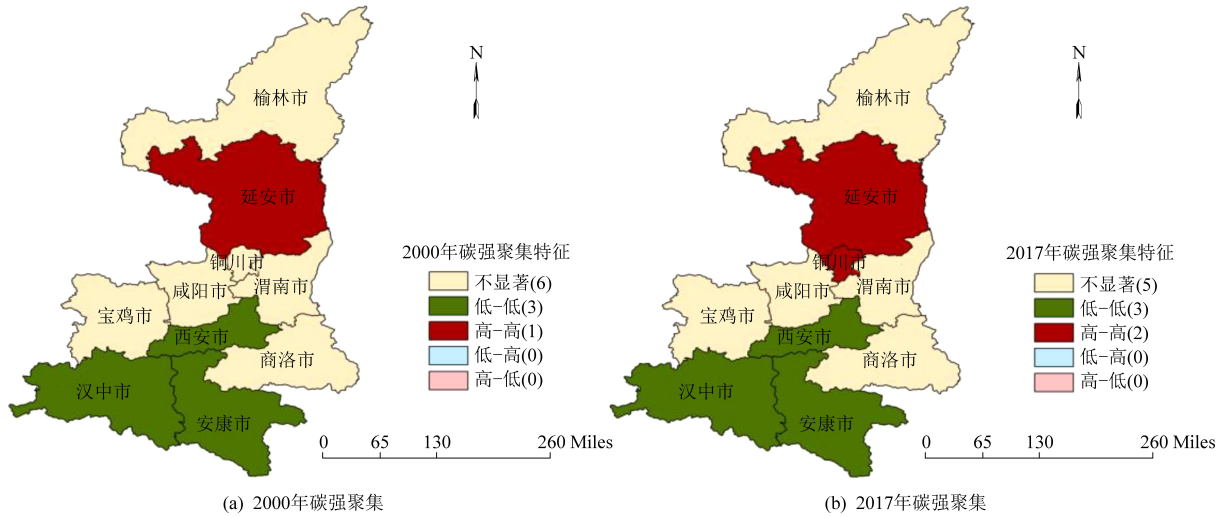


图 5 陕西省各市碳排放强度聚集状态

Fig.5 Aggregation state of carbon emission intensity of cities in Shaanxi Province

矿产资源禀赋促进经济的发展,而能源消费是碳排放的重要原因,自然资源丰富的市具有发展的带动作用。20 世纪以来,随着陕西省工业化水平的推进,其对各种资源的需求不断增大,部分矿产资源丰富的市区因矿产资源的不断开采,使得陕西省各市的碳排放强度在空间格局上呈现出一定规律的聚集。随着陕西省能源与工业的推

进,部分矿产资源丰富的市因矿产资源的不断开采,导致陕西省各市的碳排放强度在空间格局上呈现出一定规律的聚集。从北部到南部采取差异化的低碳政策,北部地区促进经济发展,提高技术产业和优化矿产资源的同时,充分重视市与市之间的交互作用,提高自身城市环境质量并带动周边市区的碳排放效应的提升。

4 总 结

本文利用空间统计分析和空间自相关法对陕西省 10 个市的碳排放特征及其动态演变规律进行分析, 所得结论如下:

(1) 陕西省各市的碳排放强度整体呈下降趋势, 榆林市下降速度最快。各市的碳排放强度变化特征存在差异, 榆林市、延安市、渭南市和铜川市的碳排放强度较高, 安康市、汉中市和商洛市的碳排放强度较低, 结合各市环境及低碳经济发展现状, 谨慎采取优化调整措施。对碳排放强度较低且发展空间较大的市, 政府可适当给与支持。

(2) 陕西省各市碳排放量和碳排放强度的动态演变规律: 整体上, 碳排放量在显著增加, 处于低碳排区的数量在减少, 部分市甚至上升至次高碳排区和高碳排区。碳排放强度在显著降低, 处于高碳排放强度的数量明显减少, 榆林市的碳排放强度从高碳强区下降至低碳强区, 延安市从中碳强区下降至次低碳强区, 其他市均不同程度的下降至低碳强区, 所以整体上调控各市碳排放强度才是关键, 因此, 陕西省节能减排战略可以重点加强区域合作, 加强各市的合作与交流, 实现减排互补, 更有效降低碳排放量。

(3) 空间集聚特征分析表明: 陕西省各市的碳排放强度具有较强的空间相关性。整体上由北向南递减, 形成了显著的聚集状态。形成北部市高高聚集和南部市区低低聚集, 这与南北的矿产资源和经济状况的空间自相关性也是一致的, 陕西省各市的碳排放强度存在显著的空间相关性, 应充分重视相邻市区的经济状况和减排效应, 加强各市之间的信息共享。区域发展是陕西省推进节能减排的关键, 政府的宏观政策对区域碳排放起着引导作用。陕西省要加强市级协作, 开发新的节能减排技术, 尽早完成减排目标。

参考文献

- [1] 姜绍华. 推动我国生态优先绿色低碳发展的对策选择 [J]. 山东农业工程学院学报, 2021, 38 (7): 94-98.
- [2] 陈明华. 低碳经济形势下煤矿节能减排管理方法研究 [J]. 能源环境保护, 2014, 28 (5): 62-64.
- [3] 韩梦瑶, 刘卫东, 谢漪甜, 等. 中国省域碳排放的区域差

- 异及脱钩趋势演变 [J]. 资源科学, 2021, 43 (4): 710-721.
- [4] 张华明, 元鹏飞, 朱治双. 中国城市人口规模、产业集聚与碳排放 [J]. 中国环境科学, 2021, 41 (5): 2459-2470.
- [5] 郝宇, 巴宁, 盖志强. 外商直接投资、区域创新能力与碳排放——基于空间溢出效应视角的研究 [J]. 深圳社会科学, 2021, 4 (2): 48-60.
- [6] 韦沁, 曲建升, 白静, 等. 我国农业碳排放的影响因素和南北区域差异分析 [J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34 (4): 318-325.
- [7] 邱蔓. 中国八大经济区能源消耗碳排放及影响因素研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2017, 7 (5): 6-7.
- [8] 刘贤赵, 高长春, 韩用顺, 等. 2008 年以来湖南省碳排放重心与经济发展重心演变及其相关分析 [J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33 (9): 792-799.
- [9] 孙耀华, 仲伟周, 庆东瑞. 基于 Theil 指数的中国省际间碳排放强度差异分析 [J]. 财贸研究, 2012, 23 (3): 1-7.
- [10] 张谦, 张艳芳. 基于面板数据的陕西省低碳经济区域差异分析 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (5): 2189-2192.
- [11] 李治, 贾霞君, 李国平, 等. 陕西省碳排放强度收敛性及趋势演进分析 [J]. 生态经济, 2021, 37 (3): 23-30+37.
- [12] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [M]. Kanagawa: The Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [13] 宫倩楠, 王莹莹, 童玉芬. 京津冀人口对碳排放的压力: 空间格局及变动分析 [J]. 首都经济贸易大学学报, 2020, 22 (2): 56-67.
- [14] 吴文佳, 蒋金亮, 高全洲, 等. 2001-2009 年中国碳排放与碳足迹时空格局 [J]. 生态学报, 2014, 34 (22): 6722-6733.
- [15] 朱纪征. 金融聚集对区域经济发展的影响研究——以环渤海经济圈为例 [J]. 物流工程与管理, 2016, 38 (10): 111-113.
- [16] 雷明, 马海超, 李浩民, 等. 区域低碳发展及空间依赖——基于 2005-2015 年中国省级数据的分析 [J]. 科技导报, 2018, 36 (2): 20-37.
- [17] 刘真真, 马远. 中国省域碳排放时空格局及其影响因素实证研究 [J]. 新疆农垦经济, 2021 (2): 53-62.
- [18] 刘贤赵, 郭若鑫, 张勇, 等. 中国省域碳排放空间依赖结构的非参数估计及其实证分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29 (5): 40-51.
- [19] 何沙, 李乔楚. 基于 Super-SBM 模型的区域低碳效率评估与空间分异——以四川省为例 [J]. 生态经济, 2021, 37 (10): 40-45+128.