辽宁省碳排放量及其效率时空差异研究*

关 伟[1,2] 郭岫垚[1] 许淑婷[1**]

(1. 辽宁师范大学地理科学学院,辽宁 大连 116029; 2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心,辽宁 大连 116029)

摘要:由碳排放引起的全球气候变暖给人类社会可持续发展带来了严峻挑战,研究碳排放量及其效率的时空差异对指导碳减排具有重要意义.本研究基于碳排放系数法、数据包络分析法对辽宁省的碳排放量、碳排放效率进行了测算,运用探索性空间数据分析、时空跃迁方法,对2006—2017年辽宁省碳排放量及其效率进行动态研究,探讨了二者的时空差异.结果显示:(1)辽宁省碳排放总量先升后降,各地级市呈现增长型、下降型、倒U型和波动型4种演变类型;总碳排放效率先降后升,西北地区、中部地区和东南沿海地区碳排放效率变动趋势与总效率保持一致.(2)辽宁省碳排放量的空间相关性逐渐凸显,由单一低高集聚区增至低低、高高和低高3类集聚区.朝阳市为低低集聚区,低高集聚区由沈阳市向丹东市转变,高高集聚区以营口市为主;碳排放效率在空间分布中呈分散状态,高高集聚区主要为鞍山市,低高集聚区有丹东市和营口市.(3)时空跃迁方法测度下的辽宁省碳排放量及其效率存在一定的空间依赖性,东南沿海地区稳定性高于其他地区.

关键词:碳排放量;碳排放效率;时空差异;辽宁

中图分类号:F062.1 **DOI**:10.19789/j.1004-9398.2020.05.012

0 引 言

能源资源是经济发展的基础,社会生产和生活对能源消耗量的急剧增加,带来了碳排放的大规模增加[1].中国的碳排放量居世界首位,降低碳排放量、提高碳排放效率是当前及未来经济社会发展的重要任务[2].辽宁省作为中国重要的工业基地,其机械、石化和冶金等重工业所占比例高,能源消耗量大,碳排放量也高[3-4].在新一轮东北老工业基地振兴战略背景下,坚持节约资源和保护环境、坚持绿色发展等基本国策,亟需正确认识碳排放状况,制定合理适用的减排调控方案[5-6].因此,研究辽宁省碳排放可以为区域发展规划与政策的制定、为减排目标的落实提供理论支撑和政策参考.

近年来,国内外对碳排放问题进行了大量研究.从碳排放量的测算方法来看,主要包括利用燃烧设备测量参数的实测法[7]、遵循能量守恒定律的物料衡算法[8]、利用排放系数加权计算的经验法[9]和碳排放系数法[10].其中,碳排放系数法借鉴了物料衡算法中的能量守恒定律,利用经验法中的碳排放系数来测算碳排放量,可进行准确地估算.赵敏等[11]采用碳排放系数法,分析了上海市1994—2006年能源消费碳排放;Geng等[12]采用此方法对中国8个地区的碳排放进行计算.在对碳排放量的空间分析中,探索性空间数据分析法(exploratory spatial data analysis,ESDA)作为衡量自然或社会经济现象空间关联性的统计方法,能很好地描述碳排放量的时空格局[13],刘贤赵等[14]、胡雪瑶等[15]用该方法从时空耦合视角研究国家、省市碳排放空间格局的时空动态变化.碳排放效率测度方法主要分为参数方法与非参数方法,应用最广泛的是能处理多投入多产出的非参数数据包络分析法(data envelopment analysis,DEA)[16-17].其中,超效率DEA模型能解决传统DEA模型无法区分有效率决策单元的局限性,而非径向(slack based measure,SBM)效率模型能处理非期望产出,超效率SBM模型具有显著的优越性[18-19].对于碳排放效率的空间差异,已有研究表明碳排放效率呈现不断增长趋势,总体空间布局东高西低[20-21].

综上所述,尽管关于碳排放的研究成果已较为丰富,但多数研究只单独对碳排放量或碳排放效率

收稿日期:2019-11-19

*国家自然科学基金项目(41771132);辽宁省社会科学规划基金项目(L18CJL002);辽宁省教育厅人文社会科学研究专项(H201783630)

**通信作者:xushuting2010@sina.cn

进行分析,缺乏将二者相结合的时空差异对比研究.因此,本研究选取 2006—2017 年辽宁省 14 个地级市的碳排放量及其效率为研究对象,运用碳排放系数法、超效率 SBM 模型分别对碳排放量、碳排放效率进行测度,利用 ESDA 分析辽宁省碳排放量及其效率的时空演变特征及区域差异.本文不仅对丰富碳排放研究的相关理论与应用具有重要的借鉴意义,而且为辽宁省实现区域可持续发展提供依据.

1　研究区概况

辽宁省位于中国东北地区南部,处于东北亚经济带和环渤海经济区的中心位置.作为东北老工业基地,辽宁省是中国重要的钢铁、冶金、机械和石油等原料生产地,被誉为"东方鲁尔".然而,以重工业为主的粗放型经济发展方式,使得环境污染日益加重,制约了环境和经济的协调发展.为分析辽宁省碳排放量及其效率的局部区域差异,将辽宁省14 个地级市划分为西北地区(锦州市、朝阳市、阜新市、葫芦岛市和盘锦市),中部地区(沈阳市、鞍山市、抚顺市、本溪市、营口市、辽阳市和铁岭市)和东南沿海地区(大连市和丹东市)进行分析,如图 1 所示.

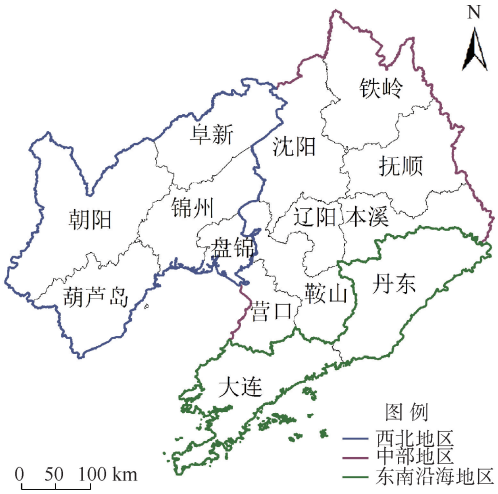


图 1　辽宁省区域划分

2　研究方法与数据来源

2.1　碳排放量估算方法

研究采用碳排放系数法来估算碳排放量,由于较难获取各个地级市各种能源消费量准确数据,借鉴李云燕和羡瑛楠[22]的研究,碳排放量计算公式为

$$A = \sum B_i \times C_i, \tag{1}$$

式中 A 为碳排放总量,单位为万 t;B_i 为地级市能源消费总量,单位为万 t 标准煤;C_i 为标准煤含 CO_2 量,依据 2008 年《中华人民共和国国民经济和社会发展统计公报》中能源消费总量所产生的碳排放量换算为 2.6.数据来源于 2007—2018 年《辽宁统计年鉴》《中国城市统计年鉴》、各地级市统计年鉴及统计公报.

2.2　超效率 SBM 模型

由 Tone[23]提出的超效率 SBM 模型结合了超效率 DEA 和 SBM 模型的优势,采用此模型计算辽宁省地级市的碳排放效率值.其模型表达式为:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} s_n^x / x_{k'n}^{t'}}{1 + \frac{1}{M+I}\left(\sum_{m=1}^{M} s_m^y / y_{k'm}^{t'} + \sum_{i=1}^{I} s_i^b / b_{k'i}^{t'}\right)},$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1,k\neq k'}^{K} z_k^t x_{kn}^t + s_n^x = x_{k'n}^{t'},$$

$$n = 1,2,3,\cdots,N;$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1,k\neq k'}^{K} z_k^t y_{km}^t - s_m^y = y_{k'm}^{t'},$$

$$m = 1,2,3,\cdots,M;$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1,k\neq k'}^{K} z_k^t b_{ki}^t + s_i^b = b_{k'i}^{t'},$$

$$i = 1,2,3,\cdots,I;$$

$$z_k^t \geqslant 0,\ s_n^x \geqslant 0,\ s_m^y \geqslant 0,\ s_i^b \geqslant 0,$$

$$k = 1,2,3\cdots,K.$$

式中 ρ 代表效率值;s 代表松弛变量;x、y 和 b 分别代表投入、期望产出和非期望产出;N、M 和 I 分别代表投入、期望产出和非期望产出的个数;t 和 k 分别代表第 t 年份和第 k 个地区;z 代表强度变量;(s_n^x, s_m^y, s_i^b) 代表第 n 个投入、第 m 个期望产出与第 i 个非期望产出的松弛向量;$(x_{k'n}^{t'}, y_{k'm}^{t'}, b_{k'i}^{t'})$ 代表被评价的第 k' 地区在 t' 年份的投入产出向量.

研究选取资本、劳动力和能源作为投入指标,GDP 代表期望产出,非期望产出以 CO_2 排放量表示.资本存量大多以张军和张元[24]的永续盘存法来计算,由于较难获得地级市的资本存量值,研究选用地级市全社会固定资产投资表示资本,单位为万元;劳动力要素以年末从业人数来表示,单位为万人;能源要素选取地级市的能源消费量,单位为万 t 标准煤;期望产出 GDP 利用平减指数以 2006 年为基期,转换为实际 GDP;碳排放量由上文所述以碳排放系数法估算所得.

2.3 探索性时空数据分析

(1)空间自相关.

全局空间自相关能够反应空间关联程度的总体特征,可度量辽宁省碳排放量及其效率整体上的空间差异性,可用全局 Moran's I 计算,公式为

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{ij}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}, \quad (3)$$

式中:n 为地级市总数;y_i 和 y_j 分别为 i 市和 j 市的碳排放;$\bar{y}$ 表示所有地级市的碳排放的平均值;W_{ij} 为空间权重值,选择基于 Rook 标准权重获得[25].I 值的取值范围为[-1,1],值越接近 1,表示碳排放较高或者较低的地区在空间上集聚程度越高.

全局空间自相关设定空间是同质的,不能凸显局部集聚特征,需进行局部空间自相关分析.局部空间自相关可以反映每个地级市与相邻地级市之间的区域关联状况,局部 Moran's I 计算公式为

$$I_i = z_i\sum_{i\neq j}^{n} w_{ij}z_j, \quad (4)$$

式中 n 为地级市总数,W_{ij} 为空间权重值,Z_i 与 Z_j 为 Z 标准化后地区 i 和 j 的碳排放效率值,I_i 为地区 i 的局部 Moran's I. 局部 Moran's I 为正(负)表示相似(异)类型属性值的要素相邻近,绝对值越大表示邻近程度越高.

(2)时空跃迁测度.

采用 Rey[26] 提出的时空跃迁理论不仅能体现地级市碳排放转移情况,而且可通过观察不同跃迁类型所包含地级市数量变化来展现时空上的跃迁规律.时空跃迁包括高高集聚(HH)、高低集聚(HL)、低高集聚(LH)和低低集聚(LL)4 种类型区,主要有以下形式:Ⅰ型指某一区域碳排放的内部跃迁,即 $HH_t\rightarrow LH_{t+1}$、$HL_t\rightarrow LL_{t+1}$、$LH_t\rightarrow HH_{t+1}$、$LL_t\rightarrow HL_{t+1}$;Ⅱ型指空间上邻近地区发生跃迁的现象,主要包括 $HH_t\rightarrow HL_{t+1}$、$HL_t\rightarrow HH_{t+1}$、$LH_t\rightarrow LL_{t+1}$、$LL_t\rightarrow LH_{t+1}$;Ⅲ型表示地级市及其邻近地区均发生跃迁,包括 $HH_t\rightarrow LL_{t+1}$、$HL_t\rightarrow LH_{t+1}$、$LL_t\rightarrow HH_{t+1}$、$LH_t\rightarrow HL_{t+1}$;Ⅳ型表示地级市及邻域都保持自身水平,即 $HH_t\rightarrow HH_{t+1}$、$HL_t\rightarrow HL_{t+1}$、$LH_t\rightarrow LH_{t+1}$、$LL_t\rightarrow LL_{t+1}$. 注:t 代表年份.

3 碳排放量及效率的时序变化分析

3.1 碳排放量的时序变化特征

基于 2006—2017 年辽宁省能源消费总量数据,根据公式(1)测算碳排放量(图 2).由图 2 可知,辽宁省碳排放总量呈现先升后降趋势,结合环比增长速度来看,2006—2012 年为波动增长阶段,碳排放总量由36 993 万 t 上升到 58 016 万 t,增长率高达 56.8%,主要原因是经济增长以高耗能工业为主,第二产业占比不断上升,在 2012 年对经济贡献率高达 56.2%.2012—2017 年逐渐下降,随着环境问题日益凸显,辽宁省开始全面贯彻落实节能减排任务,在经济发展过程中不断调结构转方式,致使碳排放量减少.目前,辽宁省正朝低碳化方向发展,但 2017 年碳排放量仍比 2007 年高 42.0%,能源消费碳排放量压力仍很大.各地级市碳排放量具有明显差异,鞍山市碳排放量最高,阜新市和丹东市相对较低.鞍山市作为辽宁省重要钢铁基地,能源消耗大,碳排放量是丹东市的 7 倍.各地级市碳排放量演变轨迹主要有增长型、下降型、倒 U 型和波动型,图 3 为各类型区代表地级市碳排放量演变曲线.增长型地区碳排放量持续增长,主要有营口市、大连市;下降型地区碳排放量逐渐下降,主要有锦州市、抚顺市、

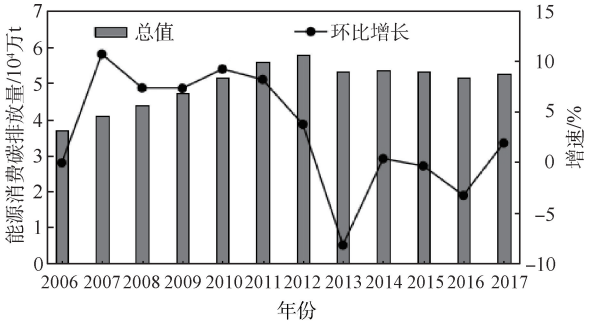


图 2 辽宁省能源消费碳排放量及环比增长

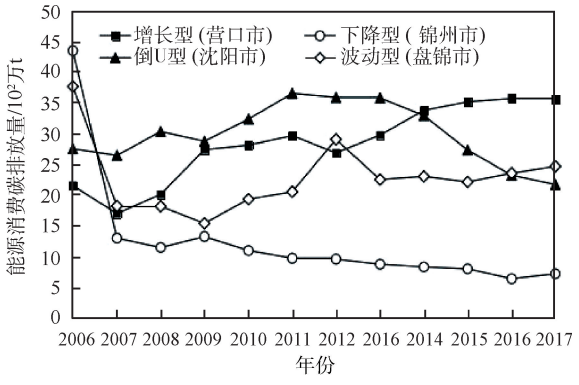


图 3 辽宁省能源消费碳排放量演变类型

鞍山市、阜新市和本溪市;倒 U 型地区碳排放量先上升后下降,主要有沈阳市、丹东市;波动型地区主要有葫芦岛市、铁岭市、盘锦市、辽阳市和朝阳市.

3.2　碳排放效率的时序变化分析

应用 MAXDEA 软件在超效率 SBM 模型下测算 2006—2017 年辽宁省碳排放效率值(表 1). 研究表明,碳排放效率总值先降后升,与碳排放量的变化趋势呈反方向变动. 研究末期碳排放效率值比初期低,说明辽宁省碳排放效率还有很大提升空间,要适度抑制高耗能工业的过快增长,淘汰落后产能,亟需采取措施主动控制碳排放量. 各地级市碳排放效率差异显著,排名前 5 位的地级市为沈阳市、大连市、锦州市、鞍山市和丹东市,平均碳排放效率超过了 0.5;排名后 5 位的地级市为抚顺市、阜新市、铁岭市、朝阳市和营口市,平均碳排放效率不足 0.3. 高效率区与低效率区差距较大,低效率城市对高效率城市的"追赶效应"不显著. 从 3 个地区分析,东南沿海地区碳排放效率值最高,西北地区效率值最低. 分析其原因,东南沿海地区经济基础相对较好,在实现经济增长和提升环境质量方面具有明显优势,西北地区经济发展水平远低于东南沿海地区,面临着维持经济增长、产业转型升级等诸多挑战.

表 1　2006—2017 年辽宁省 14 个地级市碳排放效率值

年份	本溪	葫芦岛	抚顺	阜新	铁岭	朝阳	营口	沈阳	大连	锦州	鞍山	丹东	盘锦	辽阳
2006	0.47	0.54	0.37	0.30	0.38	0.43	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	0.70
2007	0.57	0.67	0.40	0.41	0.37	0.39	0.43	1.00	0.87	1.00	1.00	0.77	0.62	0.70
2008	0.53	0.47	0.39	0.32	0.35	0.37	0.36	1.00	0.79	0.87	1.00	0.69	0.50	0.57
2009	0.39	0.37	0.30	0.28	0.30	0.29	0.24	0.82	0.64	0.48	0.51	0.57	0.42	0.43
2010	0.37	0.30	0.30	0.25	0.25	0.31	0.23	0.73	0.62	0.47	0.71	0.30	0.41	0.42
2011	0.39	0.31	0.32	0.27	0.29	0.30	0.23	0.69	0.61	0.54	0.68	0.52	0.43	0.41
2012	0.35	0.28	0.31	0.25	0.26	0.28	0.23	0.67	0.58	0.50	0.43	0.51	0.37	0.32
2013	0.31	0.25	0.29	0.24	0.29	0.24	0.22	0.61	0.54	0.47	0.40	0.47	0.36	0.38
2014	0.28	0.23	0.26	0.28	0.26	0.26	0.20	0.59	0.49	0.45	0.33	0.41	0.29	0.35
2015	0.30	0.39	0.28	0.36	0.29	0.26	0.17	0.71	0.69	0.46	0.33	0.53	0.31	0.39
2016	0.34	0.35	0.46	0.61	0.28	0.31	0.24	0.87	0.72	0.58	0.30	0.51	1.00	0.37
2017	0.36	0.32	0.45	0.48	0.53	0.30	0.24	1.00	0.60	0.56	0.44	0.52	0.31	0.39
平均值	0.39	0.37	0.34	0.34	0.32	0.31	0.28	0.81	0.68	0.62	0.59	0.57	0.47	0.45

4　碳排放量及效率的空间演变分析

4.1　辽宁省碳排放量的空间特征

本研究借助 Geoda 空间统计分析软件,对辽宁省 14 个地级市碳排放量进行全局 Moran's *I*(如图 4). Moran's *I* 估计值有正有负,表明辽宁省地级市碳排放量呈现集聚与分散并存的空间特征. 从时间进程来看,Moran's *I* 呈先升后降再升趋势,阶段性特征显著. 在 2006—2010 年,Moran's *I*不断上升,数值由 -0.160 升至 0.107,说明碳排放量呈现空间集聚状态;2010—2013 年,Moran's *I* 开始下降,碳排放空间差异日益扩大;2013—2017 年,Moran's *I* 再次上升,空间集聚性再次增强. 2006、2010 和 2013 年是 Moran's *I* 变化趋势的转折点.

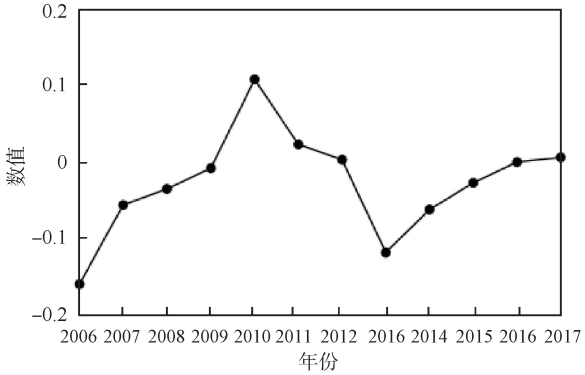


图 4　辽宁省碳排放量 Moran's *I*

为了解各地级市与其周围邻近地级市的相关程度,对 2006、2010 和 2013 年的局部空间自相关 LISA 图进行比较研究(图 5). 由图 5 可知,2006 年碳排放量的空间相关性不显著,仅沈阳市为 LH 集聚区. 2010 年出现了 LL、HH 和 LH 集聚区. 其中,朝阳市和葫芦岛市为 LL 集聚区,大连市和营口市为 HH 集聚区,丹东市和辽阳市为 LH 集聚区. 2013

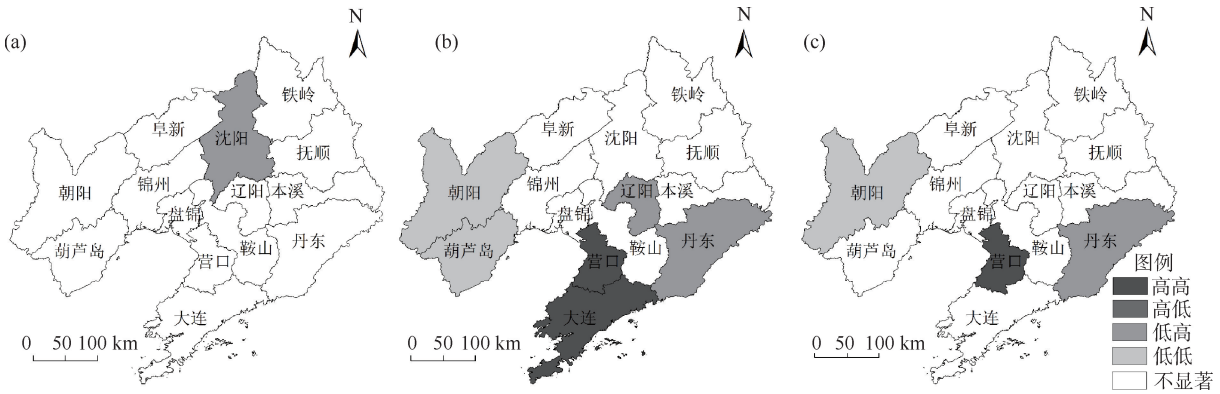


图 5 辽宁省 14 个地级市某几年碳排放量的 LISA 集聚

(a)2006 年;(b)2010 年;(c)2013 年

年,LL、HH 和 LH 集聚区城市数量均减少,依次为朝阳市、营口市和丹东市. 总体上,HH 集聚区以营口市为主,营口市产业结构不合理,第二产业占 GDP 的比例偏高,第三产业占比低于省内其他沿海城市;LL 集聚区以朝阳市为主,朝阳市的经济发展水平相对较低,经济发展方式较为粗放. 资源能源利用率低,每万元 GDP 能耗高达 2.1 t 标准煤,高于全国平均水平,资源供求矛盾突出;LH 集聚区以丹东市为主,丹东市工业规模小,人口少,第三产业是推动经济快速发展的主要动力.

LISA 集聚图能体现地级市碳排放效率的空间关联特征,但无法反映空间关联类型的转移情况,时空跃迁方法可探究碳排放量空间关联类型的时空转移特征(表 2). 可知时空跃迁主对角线上的元素均保持稳定. 最普遍的跃迁类型为Ⅳ,没有属于Ⅱ型、Ⅲ型变迁的城市,区域内部和邻近地区的空间分布差异程度较小. 说明碳排放量在时空变化下存在稳定性. 另外,根据时空迁移矩阵可知,东部地区碳排放量的空间关联结构稳定性高于中西部地区.

表 2 2006—2017 年辽宁省 14 个地级市碳排放量时空跃迁矩阵

空间关联模式	HH_{t+1}	LH_{t+1}	LL_{t+1}	HL_{t+1}
HH_t	Ⅳ型(营口市、大连市)	Ⅰ型	Ⅲ型	Ⅱ型
LH_t	Ⅰ型(营口市)	Ⅳ型(辽阳市、丹东市)	Ⅱ型	Ⅲ型
LL_t	Ⅲ型	Ⅱ型	Ⅳ型(朝阳市、葫芦岛市)	Ⅰ型
HL_t	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅰ型	Ⅳ型

注:HH 为高高聚集;LH 为低高聚集;LL 为低低聚集;HL 为高低聚集.

4.2 碳排放效率的空间差异

对辽宁省碳排放效率进行空间自相关分析,计算 Moran's *I*. 结果表明,除 2006 年的 Moran's *I* 为正,其余年份均为负值. 研究期内,Moran's *I* 呈现下降趋势,说明碳排放效率随时间变化在空间分布上呈分散状态. 从图 6 可知:2006 年鞍山市为 HH 集聚区,盘锦市为 LH 集聚区;2010 年 LH 集聚区消失,仅有鞍山市为 HH 集聚区;2013 年营口市和丹东市为 LH 集聚区,鞍山市和辽阳市为 HH 集聚区. 总体来看,HH 集聚区以鞍山市和辽阳市为主,主要原因是鞍山和辽阳市作为工业城市,在大力发展经济的同时,对环境污染严重的热电厂等进行了综合治理,积极引进节能环保技术,为能源有效利用提供了有力支撑;LH 集聚区以丹东市、营口市为主,这与能源消耗量大,经济实力不强,碳减排技术水平较低有关.

采用时空跃迁矩阵进一步分析碳排放效率的时空转移特征,如表 3 所示. 可知发生Ⅳ型跃迁的地级市数量多,且以中西部地区的地级市为主,说明东南沿海地区碳排放效率的局部空间关联稳定性高于中西部地区. 另外,研究期内,没有属于Ⅱ型、Ⅲ型变迁的地级市,这也直接反应出碳排放效率空间格局具有一定的空间依赖特征.

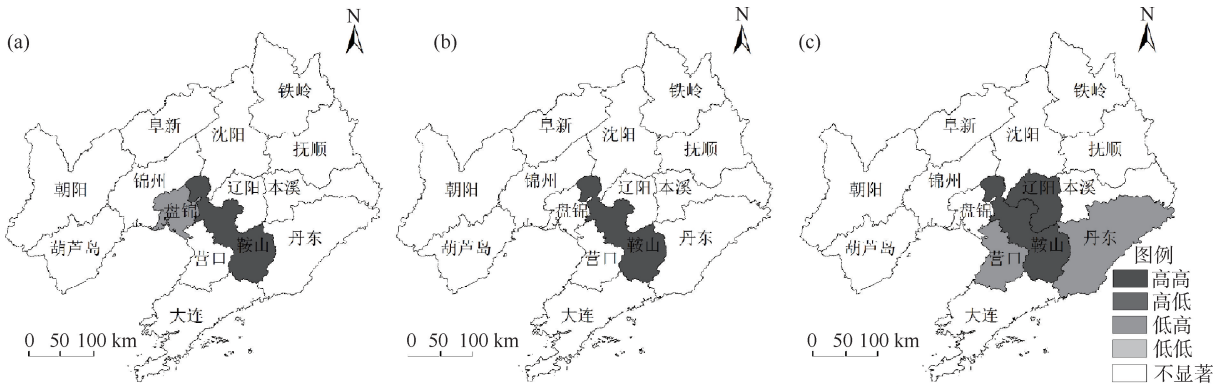


图 6　辽宁省 14 个地级市碳排放效率的 LISA 集聚

(a)2006 年;(b)2010 年;(c)2013 年

表 3　2006—2017 年辽宁省 14 个地级市碳排放效率时空跃迁矩阵

空间关联模式	HH_{t+1}	LH_{t+1}	LL_{t+1}	HL_{t+1}
HH_t	Ⅳ型(鞍山市、辽阳市)	Ⅰ型(辽阳市、鞍山市)	Ⅲ型	Ⅱ型
LH_t	Ⅰ型	Ⅳ型(营口市、丹东市、盘锦市)	Ⅱ型	Ⅲ型
LL_t	Ⅲ型	Ⅱ型	Ⅳ型	Ⅰ型
HL_t	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅰ型	Ⅳ型

4.3　碳排放量及效率的空间特征差异分析

辽宁省碳排放量与碳排放效率呈现不同的空间演变特征.碳排放量的全局 Moran's *I* 由负转正,说明碳排放量随时间变化由空间分散向空间集聚发展;碳排放效率的 Moran's *I* 多为负值,说明碳排放效率以空间分散为主.碳排放量呈 HH、LL 和 LH 集聚,碳排放效率呈 HH 和 LH 集聚,碳排放量及其效率共有的集聚类型为 HH 和 LH 集聚.各地级市碳排放效率差异较大,主要原因是地级市空间联系不强,区域分工不明确,未能最大限度的实现资源共享,优势互补.时空跃迁测度方法计算的碳排放量及其效率都具有空间平稳性,主要表现为Ⅳ型.具有时空跃迁特征的地级市主要集中在西北和中部地区,说明东南沿海地区空间稳定性高于其他地区.

5　结　论

本研究利用碳排放量系数法、超效率 SBM 模型对辽宁省的碳排放量、碳排放效率进行测度和评价,借助探索性时空分析模型探讨了碳排放量及其效率的时空差异,得到以下结论:

(1)从时序变化特征来看,2006—2017 年,辽宁省碳排放量呈现先升后降变化趋势,地级市有增长型、下降型、倒 U 型和波动型 4 种演变类型.碳排放效率呈先降后升变化趋势,3 个地区碳排放效率与总效率同方向变动.从碳排放量及其效率变化趋势可知,目前,辽宁省节能减排效果虽已初显,但由于碳排放量基数较大,碳减排形势依然严峻.因此,辽宁省仍需加大环保力度,减少碳排放量.

(2)辽宁省碳排放量及其效率在空间分布中极不均衡.碳排放量的 HH 集聚区以营口市为主,LH 集聚区主要分布在丹东市.碳排放效率的 HH 集聚区主要集中在鞍山市,LH 集聚区以营口市和丹东市为主.时空跃迁方法下各地级市碳排放量及其效率的空间分布格局比较稳定.

总体来看,要想实现经济发展与环境保护协调发展,辽宁省需要制定积极的能源政策,提倡节能减排生活方式,增强居民的环保意识.同时,还要充分认识到科学环保技术对减排的贡献力,加大对环保资金的投入力度.辽宁省碳排放量及其效率的时空差异,主要是由于各地级市的资源状况、经济基础和政策条件等因素不同.各地级市需要制定符合自身特色的碳减排战略,沈阳市、大连市和鞍山市应充分发挥经济优势,在保证碳排放效率的同时,加大科技创新力度来减少碳排放量;抚顺市应控制工业企业规模,减少无效能源消费量;铁岭市、朝阳市和阜新市应积极调整产业结构,大力发展第三产业,积极借鉴其他地区碳减排的政策和具体措施.

参 考 文 献

[1] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素[J]. 地理学报, 2018, 33(3): 414 – 428.

[2] 程叶青, 王哲野, 张守志, 等. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量[J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1418 – 1431.

[3] 刘晓婷, 陈闻君. 基于 ESDA-GIS 的新疆能源碳排放空间差异动态演化[J]. 干旱区地理, 2016, 39(3): 679 – 680.

[4] 盖美, 张福祥. 辽宁省区域碳排放 – 经济发展 – 环境保护耦合协调分析[J]. 地理科学, 2018, 38(5): 764 – 770.

[5] 王维, 于浩. 长江经济带社会 – 经济 – 资源 – 环境协调机理及其时空格局[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 73 – 83.

[6] 金凤君, 王姣娥, 杨宇, 等. 东北地区创新发展的突破路径与对策研究[J]. 地理科学, 2016, 36(9): 1285 – 1292.

[7] 郭义强, 郑景云, 葛全胜. 一次能源消费导致的二氧化碳排放量变化[J]. 地理研究, 2010, 29(6): 1027 – 1028.

[8] 王少剑, 刘艳艳, 方创琳. 能源消费 CO_2 排放研究综述[J]. 地理科学进展, 2015, 34(2): 152 – 154.

[9] 谢守红, 王利霞, 邵珠龙. 国内外碳排放研究综述[J]. 干旱区地理, 2014, 37(4): 720 – 721.

[10] 舒娱琴. 中国能源消费碳排放的时空特征[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 4950 – 4960.

[11] 赵敏, 张卫国, 俞立中. 上海市能源消费碳排放分析[J]. 环境科学研究, 2009, 22(8): 984 – 989.

[12] GENG Y H, TIAN M Z, ZHU J J, et al. Quantification of provincial level carbon emisssions from energy consumption in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(8): 3658 – 3668.

[13] 胡艳兴, 潘竟虎, 王怡睿. 基于 ESDA-GWR 的 1997—2012 年中国省域能源消费碳排放时空演变特征[J]. 环境科学学报, 2015, 35(6): 1898 – 1900.

[14] 刘贤赵, 高长春, 张勇, 等. 中国省域能源消费碳排放空间依赖及影响因素的空间回归分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(10): 2 – 5.

[15] 胡雪瑶, 焦文献, 陈兴鹏, 等. 河南省能源消费碳排放动态变化及空间分异[J]. 地域研究与开发, 2016, 30(10): 2 – 5.

[16] 关伟, 许淑婷. 辽宁省能源效率与产业结构的空间特征及耦合关系[J]. 地理学报, 2014, 69(4): 520 – 521.

[17] 周五七, 聂鸣. 中国工业碳排放效率的区域差异研究:基于非参数前沿的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2018(9): 58 – 70.

[18] 孙秀梅, 张慧, 王格. 基于超效率 SBM 模型的区域碳排放效率研究:以山东省 17 个地级市为例[J]. 生态经济, 2016, 32(5): 68 – 72.

[19] 马大来, 陈仲常, 王玲. 中国省际碳排放效率的空间计量[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(1): 68 – 72.

[20] 李涛, 傅强. 中国省际碳排放效率研究[J]. 统计研究, 2011, 28(7): 62 – 70.

[21] 孙秀梅, 张慧, 綦振法, 等. 我国东西地区的碳排放效率对比及科技减排路径研究[J]. 华东经济管理, 2016, 30(4): 74 – 79.

[22] 李云燕, 羡瑛楠. 北京市能源消费与碳排放现状、预测及低碳发展路径选择省[J]. 中央财经大学学报, 2014(10): 105 – 112.

[23] TONE K A. Slack-based measured of efficiency in data envelopment analysis[J]. Geographical Analysis, 2001, 33(3): 195 – 214.

[24] 张军, 张元. 对中国资本存量 K 的再估计[J]. 经济研究, 2003(7): 35 – 43.

[25] 高长春, 刘贤赵, 李朝奎, 等. 近 20 年来中国能源消费碳排放时空格局动态[J]. 地理科学进展, 2016, 35(6): 747 – 757.

[26] REY S J. Spatial empirics for economic growth and convergence[J]. Geographical Analysis, 2001, 33(3): 195 – 214.

Study on Spatio-temporal Differences of Carbon Emissions and Its Efficiency in Liaoning Province

GUAN Wei[1,2]　GUO Xiuyao[1]　XU Shuting[1]

(1. School of Geography, Liaoning Normal University, Liaoning Dalian　116029; 2. Marine Economy and Sustainable Development Research Center, Liaoning Normal University, Liaoning Dalian　116029)

Abstract: Global warming caused by carbon emissions has brought severe challenges to the sustainable development of human society. Studying on the spatial and temporal differences of carbon emissions and their efficiency are of great significance to guide carbon emission reduction. Based on the carbon emission coefficient method and data envelopment analysis, this paper calculated the carbon emission and carbon emission efficiency of Liaoning Province, and used exploratory spatial analysis (ESDA) and spatio-temporal transition method to conduct dynamic research on the carbon emission and carbon emission efficiency from 2006 to 2017, and discussed the spatio-temporal difference between them. The results showed that: (1) the total carbon emission of Liaoning Province rose first and then decreased, and the prefecture-level cities showed four types of evolution, including growth, decline, inverted U and undulation. Total carbon emission efficiency decreased first and then rose. Northwest, Central, and Southeast Coastal Regions carbon emission efficiency changes in line with total efficiency. (2) The spatial correlation of carbon emission in Liaoning Province has gradually become more prominent, increasing from a single low-high agglomeration area to low-low, high-high, and low-high agglomeration areas. Chaoyang City is a low-low concentration area. The low-high concentration area is transformed from Shenyang City to Dangdong City. The high-high concentration area is dominated by Yingkou City. The carbon emission efficiency is scattered in the spatial distribution. The high-high corcentration area is dominated by Anshan city. The low-high concentration areas include Dandong and Yingkou City. (3) There is a certain spatial dependence on the carbon emissions and efficiency of Liaoning Province measured by the spatio-temporal transition method.

Keywords: carbon emission; carbon emission efficiency; spatio-temporal difference; Liaoning