

龙思梦, 杨建州. 长江经济带经济-生态系统评价及碳排放空间分异[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(1): 108-115.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.01.015

长江经济带经济-生态系统评价及碳排放空间分异

龙思梦, 杨建州

(福建农林大学经济学院, 福建 福州 350000)

摘要: 为正确把握生态环境保护和经济发展的关系,以长江经济带 11 个省市为例构建经济发展指数和碳排放核算体系评价长江经济带经济-生态系统,并通过空间自相关分析碳排放空间分异情况。结果表明:2008-2017 年该区域碳排放总量为正值,区域生态承载超过应承受的水平,造成生态系统承载能力弱化;2008 年、2011 年、2014 年、2017 年 4 年期全区域近 40% 的市州经济发展指数超过平均水平,前 3 年期一半以上的市州碳排放指数高于平均水平,区域经济发展与碳排放存在空间分布的不平衡性;碳排放指数呈全局空间正相关且显著,局部集聚区域为上海市、重庆市、江苏省南部、湖北省、浙江省东部、安徽省南部与北部、湖南省北部以及云南省西北部。

关键词: 长江经济带; 经济发展; 碳排放; 空间自相关

中图分类号: X24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)01-0108-08

Economic-ecological system evaluation and carbon emission spatial differentiation in the Yangtze River Economic Belt

LONG Si-meng, YANG Jian-zhou

(School of Economic, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350000, China)

Abstract: In order to correctly grasp the relationship between ecological environment protection and economic development, taking 11 provinces and cities in the Yangtze River Economic Belt in China as examples, the economic development index and carbon emission accounting system were constructed to evaluate the economic-ecological system of the Yangtze River Economic Belt, and the spatial differentiation of carbon emission was analyzed through spatial autocorrelation. The results showed that the total carbon emission from 2008 to 2017 was positive, and the regional ecological carrying exceeded the level that should be borne, resulting in the weakening of the ecological carrying capacity. In 2008, 2011, 2014 and 2017, the economic development index of nearly 40% cities and prefectures in the whole study area exceeded the average level, and carbon emission index of more than half of cities and prefectures in the first three years was higher than the average level, so there was an imbalance in the spatial distribution of regional economic development and carbon emissions. The carbon emission index was positive and significant in global spatial correlation, and the local agglomeration areas were Shanghai city, Chongqing city, southern Jiangsu province, Hubei province, eastern Zhejiang province, southern and northern Anhui province, northern Hunan province and northwestern Yunnan province.

Key words: Yangtze River Economic Belt; economic development; carbon emissions; spatial autocorrelation

收稿日期:2019-10-10

基金项目:国家自然科学基金项目(71773016)

作者简介:龙思梦(1994-),女,四川宜宾人,硕士研究生,主要从事农林经济管理、资源与环境经济研究。(E-mail) 592018041@qq.com

通讯作者:杨建州,(E-mail) 69918592@qq.com

长江经济带是指由上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等 11 省市组成的沿长江附近的经济圈,总面积约 $2.05 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。长江经济带拥有独特的地理优势与巨大的生产潜力,域内人口和生产总值均达到全国 40% 以上,已成为中国综合发展实力最强、国家重要战略支撑的

区域之一。但在经济快速发展的同时,生态环境恶化的趋势未得到遏制,生态环境问题如土地退化、荒漠化、水土流失等仍然十分突出。

长江经济带生态环境保护问题已成为国内学者研究的热点问题。李雪松等^[1]从时空两个维度对长江经济带经济-社会-环境耦合协调发展状况进行评估,发现耦合发展具有区域异质性。刘永强等^[2]运用价值评估法与空间自相关分析法,分析长江中游土地利用方式变更对生态服务价值的损益影响。刘永强等^[3]构建了交叉敏感性响应矩阵,分析生态系统服务价值对土地利用转型的敏感程度并进行敏感性分区。王维等^[4]构建了城市生态承载力的综合评价体系,从生态支撑、生态压力两维度对生态承载力进行量化。杨锁华等^[5]以价值当量法估算长江经济带的生态系统服务价值,结果表明江汉平原南部及洞庭湖平原西部呈上升趋势,在“石首市-渝水区-九江县”沿线呈下降趋势。由此可见,国内关于长江经济带生态研究成果颇丰,主要从生态系统服务价值估算视角研究长江经济带的经济-生态问题,鲜少从低碳经济视角探讨生态发展状况。因此,本研究以长江经济带 11 省市为研究对象,构建经济发展指数和碳排放核算体系评价区域的经济与生态系统,以全局与局部空间自相关评估区域碳排放空间分异,以期能够更好地了解流域经济、生态情况,为制定生态文明建设及可持续发展目标提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

研究涉及的长江经济带 11 个省市(图 1)行政区划、水系流域空间分布 shp 矢量数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所。历年经济与生态核算数值来源于国家统计局、各省市统计局公布的统计年鉴等官方数据,使用 ArcGIS 10 软件对收集整理的数据进行可视化操作与空间分析。

1.2 研究方法

1.2.1 经济发展指数 用经济发展指数(E_c)衡量长江经济带区域(直辖市、地级行政区等子区域)的经济发展水平,以 2008 年、2011 年、2014 年及 2017 年这 4 年期的人均 GDP 对区域的贡献情况进行纵向研究。经济发展指数的表达式如下:

$$E_c = \frac{gdp_i / p_i}{gdp_{域} / P_{域}} \quad (1)$$



图 1 长江流域省级行政分布情况

Fig. 1 Provincial administrative distribution of the Yangtze River Basin

式(1)中, E_c 表示各子区域的经济发展系数, gdp_i 表示第*i*子区域的当年 GDP 值; P_i 表示第*i*子区域的人口数(以各年常住人口数计算), $gdp_{域}$ 和 $P_{域}$ 分别表示长江经济带区域的 GDP 总值与总人口数。若 $E_c < 1$,则说明该子区域的人均 GDP 小于区域平均水平,经济效率相对较低,经济发展缓慢;若 $E_c = 1$,表明该子区域的人均 GDP 恰好等于区域平均水平,经济发展较为稳定;若 $E_c > 1$,表明该子区域的人均 GDP 大于区域平均水平,经济效率相对较高,经济发展良好。探讨全域经济发展平衡性问题,各子区域经济发展指数分布越集中表明区域发展越平衡,越分散则发展越不平衡。因此,若 $E_c > 1$ 与 $E_c < 1$ 的子区域数量相近, $E_c > 1$ 的子区域数量趋近于总数量的 50%,则认为区域发展是平衡的,反之则发展不平衡。

1.2.2 碳排放核算体系建立 高能耗、高排放、高污染的传统经济发展模式暴露出诸多问题,如极端气候的变化和雾霾现象等,使得经济快速发展的同时不断付出环境成本^[6]。低碳经济是遵循生态可持续发展理念,减少煤、石油等化石能源消耗以达到减少温室气体排放为目的,最终成为经济-生态环境保护双赢的一种社会发展形态。低碳经济的发展模式,以节能减排为着力点,是实现中国经济、生态可持续性发展的必由之路。本研究采用 2008 年、2011 年、2014 年及 2017 年这 4 年期数据,用碳排放指标评价长江经济带 11 省市的生态系统状况。

1.2.2.1 碳排放主体及主量 温室气体排放中最主要的是二氧化碳的排放,碳排放不仅是由燃料燃烧产生,人口的增加、土地利用方式的变更也会使碳

排放增加。评价长江经济带生态系统的可持续性,二氧化碳排放量的估算显得尤为重要。而碳汇主体主要包括长江经济带区域内林业和农业。以 C_a 表示区域碳吸收总量,则有:

$$C_a = C_f F + \sum_i C_e Q = C_f F + \sum_i C_e Y / \alpha \quad (2)$$

C_f 为每年 1 m^2 林地平均吸收的二氧化碳量(根据文献的经验数据^[7], $C_f = 0.6 \text{ g/m}^2$), F 为林地面积, C_e 为 i 类农作物增加一单位生物量所吸收的碳, Q 为 i 类农作物的生物总量, Y 为 i 类农作物的经济产量, α 为 i 类农作物的经济系数。通过资料收集整理,得到中国主要农作物经济系数(α)和碳吸收率(C_e)(表 1)。

表 1 主要农作物经济系数(α)和碳吸收率(C_e)

Table 1 Economic coefficient(α) and carbon absorption rate(α) of main crops

作物名称	α	C_e	作物名称	α	C_e
水稻	0.45	0.414 4	烟草	0.55	0.450 0
小麦	0.40	0.485 3	花生	0.43	0.450 0
玉米	0.40	0.470 9	甘蔗	0.50	0.450 0
麻类	0.10	0.450 0	甜菜	0.70	0.407 2
油菜	0.25	0.450 0	蔬菜	0.30	0.450 0
薯类	0.70	0.422 6	豆类	0.35	0.450 0

从人类(M_h)、牲畜($M_{畜}$)的生活过程以及燃料燃烧($M_{燃}$)这 3 个排放主体量算排放值。二氧化碳排放量(M_c)计算公式如下:

$$M_c = M_h + M_{畜} + M_{燃} \quad (3)$$

考虑到数据的可获得性与代表性,选择大牲畜为主体,以年底总头数与出栏数总和为核算值,年排放量以 365 d 计算。由于在能源消耗方面,中国主要利用煤炭、石油和天然气,因而只考察此 3 种能源的碳排放量(表 2)。

表 2 碳排放主体及 CO_2 排放因子

Table 2 The main subject of carbon emission and CO_2 emission factors

主体	排放因子	主体	排放因子
人类(kg, 人·日)	0.9	猪(kg, 头·日)	1.2
牛(kg, 头·日)	11.0	羊(kg, 只·日)	2.1
马(kg, 匹·日)	2.1	天然气	0.4
驴(kg, 头·日)	2.1	煤炭	0.8
家禽(kg, 羽·日)	0.1	石油	0.6

燃料数据来源于联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的《国家温室气体清单指南》,其他来源于以往文献资料^[8]。

1.2.2.2 碳排放指标建立 用碳排放量与碳吸收量的差值核算长江经济带区域生态系统碳排放总量(ECO):

$$ECO = M_c - C_a \quad (4)$$

碳排放总量作为一个总量指标,只能描述总体特征,缺乏子区域间的可比性。为了更好地描述长江经济带生态系统情况,本研究构建了 1 个相对指标——碳排放指数进行生态系统的评价:

$$RC = \frac{ECO_i}{L_i} / \frac{ECO_{域}}{L_{域}} \quad (5)$$

式(5)中, RC 为子区域碳排放指数, ECO_i 和 L_i 分别为第 i 子区域的碳排放总量和土地面积(指陆地面积), $ECO_{域}$ 和 $L_{域}$ 分别为长江经济带区域的总碳排放量与总土地面积。若 $RC < 1$, 表明该子区域的碳排放指数较低,未达到长江经济带区域碳排放量的平均水平,生态功能相对较好;若 $RC = 1$, 表明该子区域刚好达到长江经济带区域碳排放量的平均值,生态功能处于中等水平;若 $RC > 1$, 表明该子区域的碳排放指数较高,碳排放量高于总区域的平均水平,生态承载较弱,生态功能较差。

2 结果与分析

2.1 长江经济带经济发展水平及空间分异

长江经济带拥有巨大的经济潜力,历年各省市 GDP 值不断上升并呈稳定增长的趋势(图 2)。从 GDP 总量上看,历年江苏省最高,其次是浙江省,贵州省最低。计算 4 期长江经济带 11 省市子区域的经济发展指数,利用 ArcGIS 10 软件进行可视化处理,得到子区域的经济水平状况(图 3)。长江经济带东部地区的经济发展水平较其他区域高。从横向上看,2008 年以江苏省苏州市、江苏省无锡市、浙江省杭州市、浙江省宁波市和上海市经济发展水平最好,经济发展指数均大于 3;以四川省阿坝州、云南省楚雄州、湖北省黄石市发展水平最低,发展指数均小于 0.2。对于长江经济带 130 个子区域中,2008 年仅 35 个市州经济发展指数超过平均水平,也就是说长江经济带靠 27% 的市州贡献带动了全域的经济发展,发展是不平衡的。在 2011 年的经济发展指数空间分布中,经济发展指数以江苏省苏州市最高,达到 4.313 5,发

展水平最低的是四川省阿坝州,指数为0.172 2;全域29%的市州达到平均水平,较2008年有所提高,数量有所上升。在2014年的经济发展指数空间分布上,经济发展指数从高到低依次为江苏省南京市、浙江省宁波市、江苏省苏州市等,最低为四川省巴中市、云南省昭通市和安徽省宿州市,指数均在0.25左右;全域

32%的市州经济发展指数大于1,发展仍是不平衡。2017年经济发展指数空间分布与2014年较为相似,其发展水平最低为湖北省十堰市,全域仅37个市州经济发展指数超过平均水平,数量明显下降,在经济快速发展的区域(东部)经济增量较大,大幅度拉升整体平均水平,发展不平衡情形加剧。

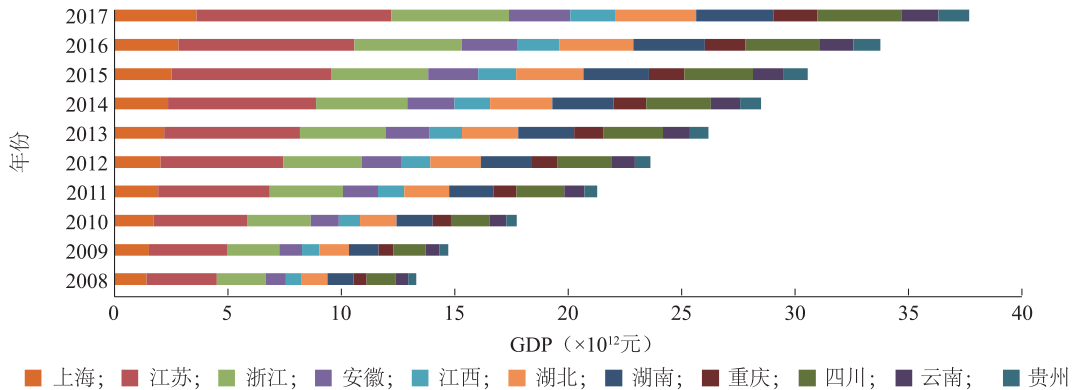


图2 2008-2017年长江经济带11省份GDP

Fig.2 GDP of the 11 provinces in the Yangtze River Economic Belt in 2008-2017

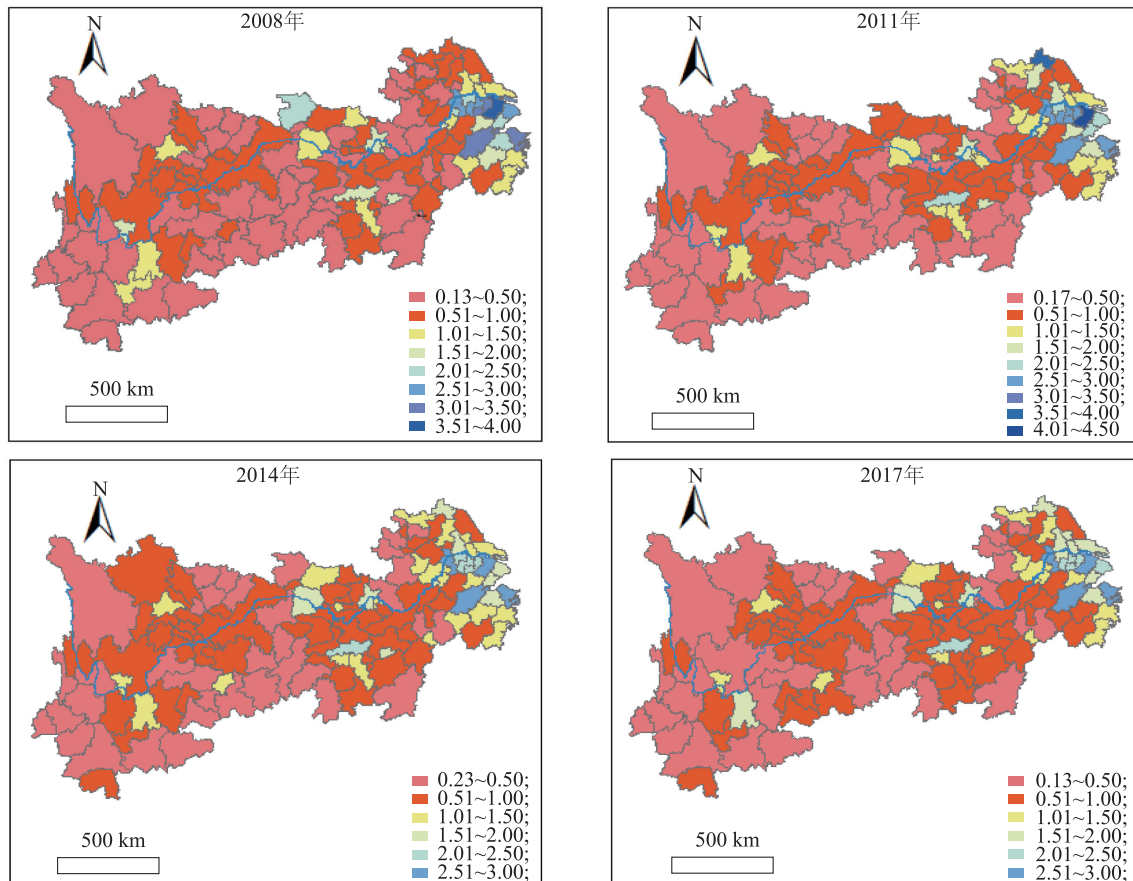


图3 长江经济带经济发展指数空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of economic development index in the Yangtze River Economic Belt

从纵向时空分布上来看,在11省市中上海市的经济发展指数最高,2008年、2011年、2014年及2017年4年期分别为2.83、2.16、1.92和2.30;其次是江苏省和浙江省。2008年浙江省经济发展指数高于江苏省,其余3年期则是江苏省高于浙江省,两省指数均在1.5至2.0之间,区域经济贡献较大。另外8省市的经济发展指数均小于1,发展较为缓慢。2008年和2011年贵州省经济发展指数最低,数值在0.4左右;2014年和2017年以云南省经济发展指数最低,数值在0.5左右。由此可见,随着年份增加,最高和最低省份经济发展指数均有增加,但2017年省市经济发展不平衡加剧,中间区域经济发展指数有下降的趋势,经济发展动力不足的情况出现。

2.2 长江经济带碳排放空间分异

建立碳排放核算体系对长江经济带生态系统进行评价,包括区域碳排放总量(*ECO*)与碳排放指数(*RC*)2部分。图4显示,2008–2017年,长江经济带*ECO*最低值为2008年的 5.9761×10^8 t,在2012年达到最大值 8.1421×10^8 t。在11省市中,历年以江苏省*ECO*最高,其次是浙江省与四川省。云南省在2008–2010年,*ECO*值为负,具有生态正效应;2011–2017年,*ECO*值为正,在经济发展的同时碳排放不断增加。江西省近10年*ECO*值均为负,生态系统良好,能够承载更多的人口与牲畜。因2008–2017年长江经济带*ECO*为正值,表明人口、能源等碳排放量大于林业、农业等碳吸收量,区域生态承载超过应承受的水平,造成生态系统承载能力弱化。

进一步计算4期长江经济带11省市子区域的碳排放指数(*RC*),运用ArcGIS 10软件得到子区域的碳排放指数空间分布情况(图5),从横纵向角度对长江经济带碳排放指数情况进行分析。在横向上,2008年上海市的*RC*值最高(27.61),碳排放量远超过长江经济带区域平均水平,生态系统较为脆弱;安徽省淮北市、江苏省南京市、江苏省苏州市和江苏省无锡市*RC*值均在10以上,为区域生态贡献负效应;*RC*值最少的依次为云南省德宏州、湖北省恩施州和湖北省仙桃市,分别为-1.45、-3.90和-14.86,碳排放指数均较低,未达到长江经济带区域碳排放量的平均水平;全区域130个子区域中,31个市州的*RC*为负值,表明这31年子区域生态承载力良好,生态系统呈正效应;61个市州*RC*值小于1,这些子区域生态系统相对良好。与2008年碳排放指数分布相比,其他3年期上海市、安徽省淮北市、

江苏省南京市、江苏省苏州市和江苏省无锡市的地位并无变化,仍是长江经济带高碳排放的区域,湖北省恩施州和湖北省仙桃市是低碳排放区域,均为负值。2011年有34个市州的*RC*为负值,数量略有上升,这些子区域碳汇功能高于碳排放量,生态系统呈正效应;63个市州*RC*值小于1,生态系统相对良好。从2014年来看,27个市州的*RC*为负值,61个市州*RC*值小于1,数量较2011年均有所下降,区域经济发展碳排放空间分布的不平衡性与发展非生态可持续性加重。在2017年,34个市州的*RC*为负值,67个市州*RC*值小于1,数量均有上升,表明区域发展是生态可持续性的,同时空间分布的不均衡性减轻。

从纵向时空分布上看,江苏省碳排放指数最高,2008年、2011年、2014年和2017年分别为78.33、83.43、73.05和74.37,碳排放量远远超过总区域的平均水平,生态承载负荷大,生态功能相对较差;其次是上海市,4年期*RC*值均在30左右,生态系统仍较为薄弱。云南省*RC*值在2008年、2011年和2014年在11省市中最低,分别为-1.27、0.33和-3.43,在2017年达到2.98。2017年以湖南省碳排放指数最少,数值为0.735,与前3年期相比下降幅度较大。长江经济带11省市中,2008年、2011年、2014年和2017年仅2个省市*RC*值小于1,前3年期分别是重庆市和云南省,第4年期为湖南省与重庆市,碳排放省域空间分布极不平衡。

2.3 长江经济带的空间相关性

地理数据来源于空间之中,会受到空间相互作用的影响,数据之间可能存在相关性。空间自相关性是指一个研究区域与其相邻区域中的某一现象、属性值的相关程度^[9]。一般地,空间自相关分析分为全局与局部自相关分析,全局自相关研究总区域的空间自相关,局部自相关只分析一个或几个特定区域单元的空间自相关情况^[10]。因此,本研究以全局和局部空间自相关性分析长江经济带碳排放的空间分异。

2.3.1 碳排放全局空间自相关 采用基于距离的空间权重确定邻近位置,邻域定义为基于多边形质心的距离,运用Geoda软件分析空间权重与空间相关性。对2008年、2011年、2014年和2017年的碳排放指数,以单变量莫兰指数(Univariate Moran's I)分析全局空间自相关。结果显示,4年期Moran's I>0,分别为0.1987、0.2101、0.2176和0.1957,表示

空间正相关性,空间聚集效果有先上升后下降的趋势; Z 统计量均大于 2.58,全局自相关性非常显著。

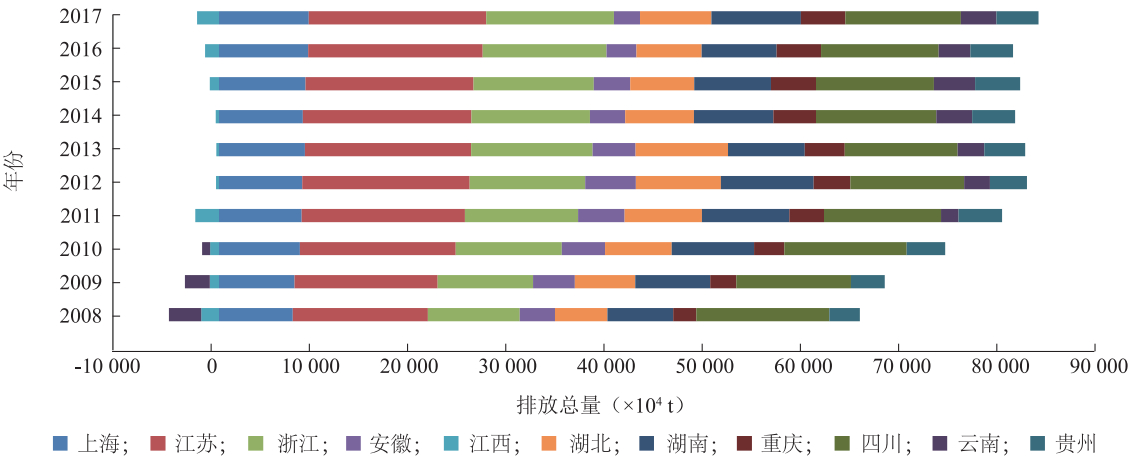


图 4 2008–2017 年长江经济带 11 省市碳排放总量
Fig.4 Total carbon emissions of 11 provinces or cities in the Yangtz River Economic Belt in 2008–2017

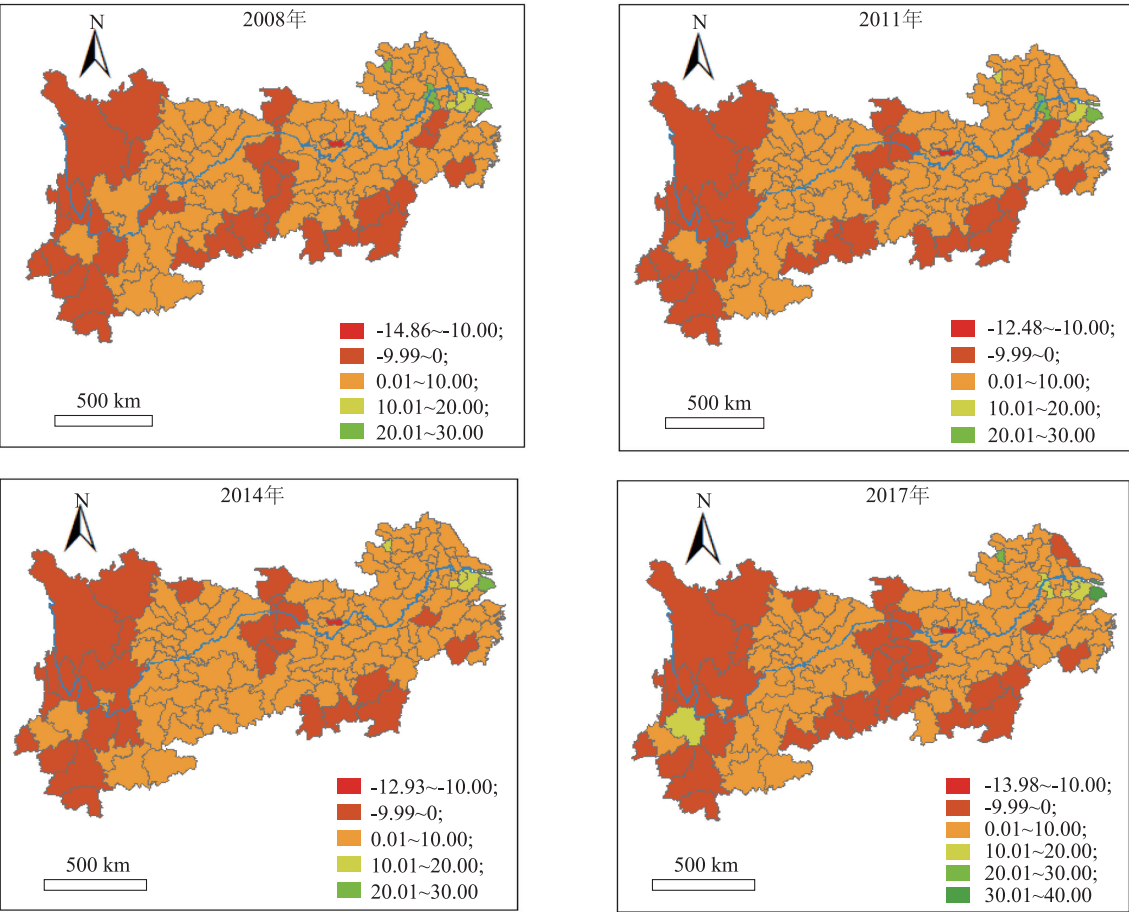


图 5 长江经济带碳排放指数空间分布图
Fig.5 Spatial distribution of carbon emission index in the Yangtz River Economic Belt

2.3.2 碳排放局部空间自相关 基于 Geoda 软件,利用局部 Moran’s I 统计量分析 4 年期碳排放局
部空间自相关性,将局部空间自相关数值运用 Arc-
GIS 10 软件进行空间分布分析(图 6),显著区域为

在 0.05 水平上显著。长江经济带地理单元分为不显著、高-高、低-低、低-高和高-低 5 种空间相关类别,其中不显著类别表示该区域在 0.05 水平上碳排放指数空间自相关性不显著,高-高类别代表该区域与周围地区都具有较高的 RC 值,低-低类别表示该

区域与周围地区一样具有较低的 RC 值,低-高类别为该区域 RC 值低、周围地区 RC 高,高-低类别为该区域 RC 值高、周围地区 RC 低。高-高与低-低类别反映的是碳排放空间的聚集,而低-高与高-低类别反映碳排放空间的分异。

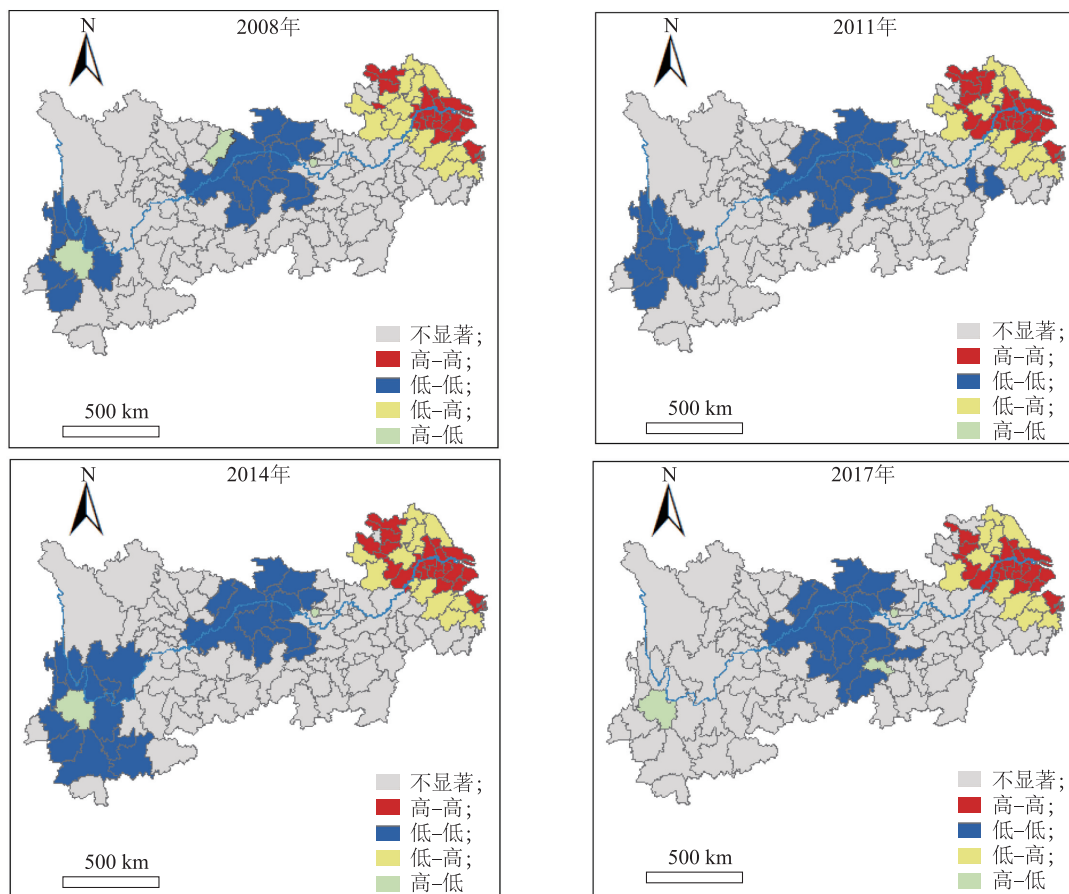


图 6 长江经济带碳排放指数局部 Moran's I 空间分布

Fig.6 Spatial distribution of local Moran's I in the Yangtze River Economic Belt

从 2008 年碳排放指数集聚分布图中可以看出,高-高类别共有 17 个市,位于长江经济带东部地区,包括上海市,安徽省的宿州市、淮北市、淮南市和马鞍山市,江苏省的南京市、扬州市和泰州市等 9 市,浙江省的嘉兴市、宁波市和湖州市。低-低类别共有 17 个市州,包括重庆市,湖北省十堰市、恩施州等 6 市州,湖南省张家界市、湘西州、益阳市,云南省丽江市、迪庆州等 6 市州,贵州省铜仁市。低-高类别有 16 市,为安徽省合肥市、阜阳市、蚌埠市等 8 市,江苏省连云港市、盐城市、淮安市、宿迁市,浙江省杭州市、绍兴市、金华市、台州市。高-低类别仅为云南省大理州、四川省达州市和湖北省潜江市。2011 年碳排放指数

集聚分布与 2008 年相比有少许差异,高-低分异仅出现在湖北省潜江市,安徽省合肥市从低-高类别空间分异过渡到高-高类别的空间集聚,2011 年碳排放指数空间相关性分布中高-高、低-低和低-高类别空间分异与集聚均有增加。2014 年低-高类别空间分异仅存在于云南省大理州和湖北省潜江市,高-高、低-低和低-高类别数量分别上升至 22、23 和 13 个市州。与前 3 期相比,2017 年空间分布差异较大,除大理州外云南省其他各市州均为空间相关性不显著,高-高集聚区、低-低集聚区、低-高和高-低分异区数量分别为 20、16 和 11。综合分析,碳排放指数空间集聚区域主要分布在上海市、重庆市、江苏省南部、湖北省、浙江

省东部、安徽省南部与北部、湖南省北部以及云南省西北部,空间分异区域集中在江苏省北部、安徽省东部与西部、浙江省西部与南部。

3 结 论

本研究以长江经济带 11 省市为研究对象,构建经济发展指数和碳排放核算体系评价区域的经济与生态系统,以全局与局部自相关评估区域碳排放空间分异情况,结论如下:(1)从 GDP 总量上看,江苏省最高,其次是浙江省,贵州省最低。不到 40% 的市州经济发展指数超过平均水平,发展极不平衡。从子区域上分析,上海市的经济发展指数最高,其次是江苏省和浙江省。(2)2008 年、2011 年、2014 年和 2017 年 4 年期中以江苏省碳排放总量最高,其次是浙江省和四川省。全域 130 个子区域中,近 30% 市州的 RC 为负值,表明这些子区域碳汇功能高于碳排放量,生态承载力良好,生态系统呈正效应。RC 值小于 1 的市州数量未达总数量的一半,区域发展明显是非生态可持续性的,也存在区域碳排放的空间分布的不平衡。(3)4 年期碳排放指数全局 Moran's I > 0,表示空间正相关性,空间聚集效果有先上升后下降的趋势,全局自相关性非常显著。局部 Moran's I 统计量分析结果表明,碳排放指数空间集聚区域主要分布在上海市、重庆市、江苏省南部、湖北省、浙江省东部、安徽省南部与北部、湖南省北部以及云南省西北部,空间分异区域集中在江苏省北部、安徽省东西部、浙江省西南部。

综上所述,长江经济带经济发展水平高的省市往往具有较高的碳排放总量和碳排放系数(如江苏省、浙江省等),表现为高经济效益-低生态效益。发展水平高的区域一般也是人口密集区,且当前经济增长以消耗大量非可再生能源为代价,而生态承载能力有限,由此造成区域生态系统功能较弱,呈现社会发展的生态非可持续性。

从区域经济分析的结果看,长江经济带具

有不平衡发展的态势,尤其是近年来,经济从高速增长转变为中高速增长,高速发展区域增速较为平稳,中间区域发展动力不足,需要寻找新的经济增长点以提高经济水平,实现区域均衡化发展。以低碳视角分析长江经济带生态系统情况,2008-2017 年碳排放总量为正值,区域生态承载能力超过应承受的水平,造成生态系统承载能力弱化。经济快速发展的地区碳排放总量与碳排放指数往往较大,经济与生态发展成反比。因此,既要发展经济,又要保护生态环境,碳排放控制与碳汇吸收应同步进行,才能保证低耗能、低消费的发展模式下,实现绿水青山。

参考文献:

- [1] 李雪松,龙湘雪,齐晓旭.长江经济带城市经济-社会-环境耦合协调发展的动态演化与分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(3):505-516.
- [2] 刘永强,龙花楼.长江中游经济带土地利用转型时空格局及其生态服务功能影响[J].经济地理,2017,37(11):161-170.
- [3] 刘永强,龙花楼,李加林.长江中游经济带土地利用转型及其生态服务功能交叉敏感性研究[J].地理研究,2018,37(5):1009-1022.
- [4] 王维,张涛,王晓伟,等.长江经济带城市生态承载力时空格局研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(12):1963-1971.
- [5] 杨锁华,胡守庚,瞿诗进.1990-2014 年长江中游经济带生态系统服务价值时空变化特征[J].水土保持研究,2018,25(3):164-169.
- [6] 谢志祥,秦耀辰,沈威,等.中国低碳经济发展绩效评价及影响因素[J].经济地理,2017,37(3):1-9.
- [7] 苑韶峰,唐奕钰.低碳视角下长江经济带土地利用碳排放的空间分异[J].经济地理,2019,39(2):190-198.
- [8] 周陶,高明,谢德体,等.重庆市农田系统碳源/汇特征及碳足迹分析[J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(1):96-102.
- [9] 毛先成,黄继先,邓吉秋,等.空间分析建模与应用[M].北京:科学出版社,2015:124.
- [10] FISCHER M M,王劲峰.空间数据分析:模型、方法与技术[M].张璐,肖光恩,吕博才,译.北京:中国人民大学出版社,2018:23-28.

(责任编辑:张震林)