

DOI: 10.20271/j.cnki.1673-9833.2026.2008

长江经济带土地利用碳排放分异与碳平衡分区

赵丹丹¹, 武潇健¹, 任晓莹²

(1. 保定理工学院 资源与工程技术学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省地质工程勘察院, 河北 保定 071000)

摘要: 探究长江经济带土地利用碳排放分异及碳平衡分区, 可助推其实现高质量协调发展。因此, 基于2009—2021年土地利用碳排放估量结果, 通过碳排放经济贡献系数与碳生态承载系数反映碳平衡分区状况。研究结果表明: 土地利用碳源、碳汇均随着时间的推移而增加, 且江浙沪的碳源增幅显著, 云贵地区的碳汇增幅显著; 碳排放经济贡献系数东高西低, 碳生态承载系数西高东低, 且上中下游区域内部差异均较为明显; 碳排放与经济发展分区逐渐由低碳保持区、经济发展区、碳汇发展区、综合优化区4种转变至低碳保持区、碳汇发展区2种。因此, 区域内应基于差异化推动协调发展: 云贵地区碳排放经济贡献率仍偏低, 应重点考虑如何将本地生态资源作为新质生产力, 实现碳生产力与经济发展水平提升; 中游在打造制造业基地时应通过产业转型更好地推动其清洁发展; 下游作为碳汇发展区, 应优化空间开发格局, 增强碳汇效应。

关键词: 土地利用; 碳排放经济贡献系数; 碳生态承载系数; 碳平衡分区

中图分类号: X24

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2026)02-0064-08

引文格式: 赵丹丹, 武潇健, 任晓莹. 长江经济带土地利用碳排放分异与碳平衡分区[J]. 湖南工业大学学报, 2026, 40(2): 64-71.

Spatial Differentiation of Land Use Carbon Emissions and Carbon Balance Zoning in the Yangtze River Economic Belt

ZHAO Dandan¹, WU Xiaojian¹, REN Xiaoying²

(1. School of Resources and Engineering Technology, Baoding University of Technology, Baoding Hebei 071000, China;

2. Hebei Geological Engineering Exploration Institute, Baoding Hebei 071000, China)

Abstract: Due to the fact that an inquiry made into the spatial differentiation of land-use carbon emissions and carbon balance zoning in the Yangtze River Economic Belt helps to facilitate its high-quality coordinated development, based on the estimated results of carbon emissions from land use between 2009 and 2021, the carbon balance zoning status can be reflected through the economic contribution coefficient of carbon emissions and the carbon ecological carrying coefficient. The research results show that both land use carbon sources and sinks have increased over time, with significant increases in carbon sources in Jiangsu, Zhejiang, and Shanghai, and significant increases in carbon sinks in the Yunnan Guizhou region. The carbon emission economic contribution coefficient is higher in the east and lower in the west, and the carbon ecological carrying coefficient is higher in the west and lower in the east, with significant differences within the upstream, midstream, and downstream regions; the zoning of carbon emissions and economic development has gradually shifted from four types: low-carbon conservation zones, economic development zones, carbon sink development zones, and comprehensive optimization zones to two types: low-carbon conservation zones and carbon sink development zones. Therefore, within the region, coordinated development should be promoted based

收稿日期: 2024-09-18

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(D2023403055)

作者简介: 赵丹丹, 女, 保定理工学院教师, 硕士, 主要研究方向为城市土地利用与可持续发展,

E-mail: dandanzhaoabc@sina.com

on differentiation, with the economic contribution rate of carbon emissions in Yunnan and Guizhou still being low. Emphasis should be placed on the consideration of how to use local ecological resources as new-quality productive forces to achieve the improvement of carbon productivity and economic development level. In the middle reaches, clean development should be better promoted through industrial transformation in the process of constructing a manufacturing base. As a carbon sink development area in the lower reaches, the spatial development pattern should be optimized, with the carbon sink effect to be enhanced.

Keywords: land use; carbon emission economic contribution coefficient; ecological carrying capacity coefficient; carbon balance zoning

由土地利用变化产生的碳排放是人类活动产生的碳排放总量的1/3^[1]。分析碳源碳汇时空分异特征、探究碳平衡分区,对促进区域高质量协调发展、助推“双碳”目标落地有重要意义。众多学者从土地利用碳排放时空差异^[2-7]、碳排放核算^[8]、碳排放与经济发展^[6,9-10]、碳排放驱动及影响因素^[11-12]等方面展开分析,研究尺度多集中在区域^[13-16]、省^[17-18]、市^[19],但从宏观尺度贴合长江经济带协调发展战略,从上中下游区域分析土地利用碳排放效应的研究较少。

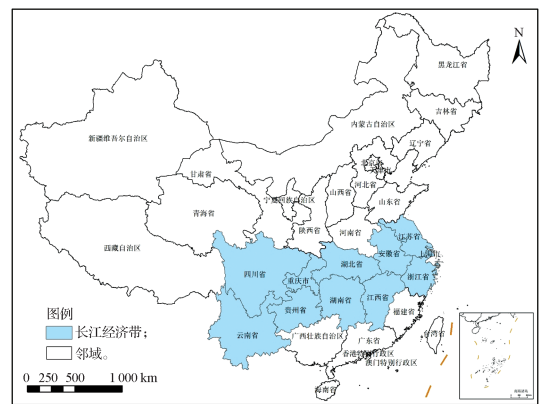
长江经济带横跨我国东中西部地区,在区域发展总体格局中具重要战略地位。2016年5月,中共中央、国务院印发的《长江经济带发展规划纲要》中,提出要将长江经济带打造成为生态文明建设的先行示范带、东中西互动合作的协调发展带。习近平总书记指出,推动长江经济带高质量发展,根本上依赖于长江流域高质量的生态环境。但是这里的地理环境差异较为显著,长江沿岸长期积累的传统落后产能体量巨大,沿袭传统发展模式和路径的惯性明显。如何推动长江经济带实现经济高地与生态高地双赢,是一个不可忽略的问题。长江经济带上中下游地区的土地利用、生态建设与经济发展具有强烈的互补性。因此,本文拟从时空变化角度聚焦其各地类碳排放变化情况,依据碳排放经济贡献率与生态承载系数进行碳平衡分区,探究长江经济带上中下游区域经济发展碳生产力与碳承载空间协调发展状态,以期优化长江经济带国土空间开发格局,助力区域高质量发展提供一定的参考与借鉴。

1 数据与方法

1.1 研究区与数据来源

长江经济带覆盖上海、江苏等11个省市(长江经济带区域分布情况详见图1)。研究区土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域及建设用地。本研究涉及的社会经济数据以及能源数据,均来源于

2010—2022年的《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》。



注:此图审图号为GS(2024)0650号,底图无改动,下同。

图1 长江经济带区位示意图

Fig. 1 Location map of the Yangtze River Economic Belt

1.2 研究方法

1.2.1 碳排放量估算

土地利用碳排放包括直接碳排放和间接碳排放,前者包括耕地、林地、草地、水域的碳排放;后者即建设用地碳排放^[20]。

1) 直接碳排放。研究采用碳排放系数(各类型碳排放系数详见表1)计算各土地利用类型的直接碳排放,测算公式为^[20]

$$C = S_i \times E_i, \quad (1)$$

式中: C 为碳排放量, t ;

S_i 为各土地利用类型面积, hm^2 ;

E_i 为各土地利用类型碳排放系数, t/hm^2 。

表1 不同土地利用类型的碳排放系数

Table 1 Carbon emission coefficients of different land use types

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域
碳排放系数	0.461	-0.581	-0.021	-0.253

2) 间接碳排放。建设用地碳排放估算方法,参考联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)能源碳排放系数法,

其公式如下^[20]:

$$C_e = \sum_{i=1}^8 B_i \times D_i \times E_i, \quad (2)$$

式中: C_e 为建设用地碳排放量, t;

B_i 为某化石能源消耗量, t;

D_i 为化石能源标准煤折算系数, kg/kg;

E_i 为化石能源碳排放系数, t/t。

标准煤折算系数、碳排放系数参考《中国能源统计年鉴》(见表2)。

表2 不同能源类型标准煤折算系数和碳排放系数

Table 2 Conversion coefficient and carbon emission coefficient of different energy types of standard coal

能源类型	标准煤折算系数	碳排放系数	能源类型	标准煤折算系数	碳排放系数
原煤	0.714 3	0.755 9	汽油	1.471 4	0.553 8
焦炭	0.971 4	0.855 0	煤油	1.471 4	0.571 4
洗精煤	0.900 0	0.755 9	柴油	1.457 1	0.592 1
其他洗煤	0.285 7	0.755 9	燃料油	1.428 6	0.618 5

1.2.2 碳排放经济贡献系数

碳排放经济贡献系数(economy contributive coefficient, ECC)以经济发展为出发点来表达碳生产力,其计算公式如下^[21]:

$$\eta_{\text{ECC}} = \frac{G_i/G}{C_i/C}, \quad (3)$$

式中: G_i 和 C_i 分别为某地 GDP 和碳排放量;

G 和 C 分别为长江经济带 GDP 和碳排放量。

若 $\eta_{\text{ECC}} > 1$, 表明该地能源利用效率和碳生产力水平较高。

1.2.3 碳生态承载系数

碳生态承载系数(ecological support coefficient, ESC)用来表达碳汇能力,即某地碳吸收占长江经济带碳吸收的比例与该地碳排放占长江经济带碳排放比例之商,具体的计算公式如下^[21,4]:

$$\eta_{\text{ESC}} = \frac{CS_i/CS}{C_i/C}, \quad (4)$$

式中: CS_i 为某地的碳吸收量;

CS 为长江经济带的碳吸收量。

若 $\eta_{\text{ESC}} > 1$, 则表明该地域的碳汇能力较高。

2 结果与分析

2.1 区域土地利用碳排放总体分析

2.1.1 碳源演变特征

2009—2021 年间部分年份长江经济带的土地利用碳排放情况见图2。

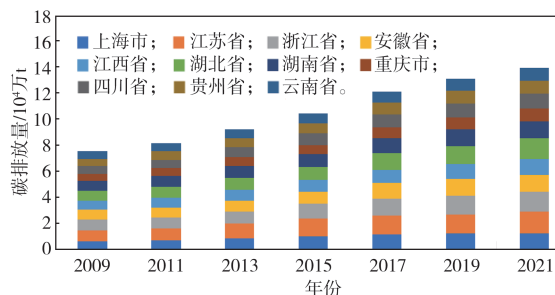


图2 2009—2021 年长江经济带土地利用碳排放量统计结果
Fig. 2 Statistical results of carbon emissions from land use in the Yangtze River Economic Belt from 2009 to 2021

由图2可得,总体来看,2009—2021 年长江经济带的土地利用碳排放量增长率约为 85.94%,以 2015 年为中介点进行划分:2009—2015 年的土地利用碳排放量增长率约为 39.20%,2015—2021 年的土地利用碳排放量增长率约为 33.58%。

从具体分区来看,2009—2021 年下游的上海市、江苏省、浙江省,中游的湖北省,以及上游的四川省,其碳排放量增加明显,碳排放增长率均在 88% 以上,尤以上海市最为明显,碳排放增长率达 100.06%。上海市作为区域增长极,人口、产业等集聚效应明显,使得生产、生活活动中的碳排放量快速增加;浙江省和江苏省作为次级增长极,一方面受上海市的辐射影响,另一方面对周围要素产生一定的吸引力,人口与产业密度增加,碳排放量随之增加;湖北省作为中部崛起战略实施后的新型发展城市,制造业发展快速,导致其碳排放量增加;四川省在西部地区中的发展位于前列,随着产业结构不断完善,成为人口回流的吸引地。横向对比分析发现,长江经济带区域内土地利用碳排放量增加率呈现出东高西低的变化;纵向对比分析发现,与 2009—2015 年相比,2015—2021 年下游土地利用碳排放量增幅明显放缓,中游增幅提速,上游增幅基本保持稳定。横纵对比分析结果基本反映出长江经济带上中下游发展实际。

基于上述碳源演变特征,分析其可能的原因如下:研究期内长江经济带土地利用碳排放量一定程度增加,基本符合经济发展规律,即一二三产业发展所衍生出的负外部效应。而在研究时段后期(2015—2021 年)土地利用碳排放量增幅放缓,这与国家政策导向紧密关联:2016 年、2018 年习近平总书记先后在重庆市、武汉市召开长江经济带发展座谈会,特别强调“共抓大保护,不搞大开发”,助推长江经济带向高质量发展转型,紧密贴合我国生态文明战略,使得长江经济带区域发展重点转向国土空间开发格局优化、产业结构转型升级、内部挖潜等方面,从而在一定程度上弱化了碳排放效应。

2.1.2 碳汇演变特征

2009—2021年间部分年份长江经济带土地利用碳吸收量情况见图3。

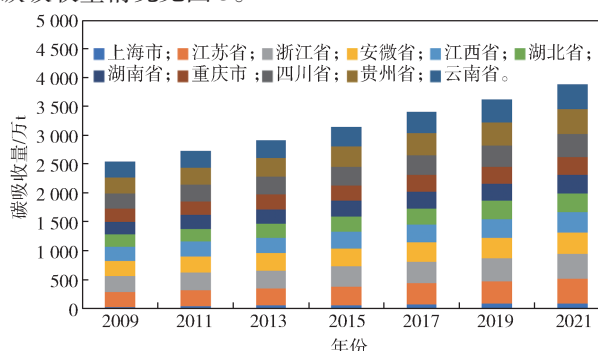


图3 2009—2021年长江经济带土地利用碳吸收量统计结果
Fig.3 Statistical results of land use carbon absorption in the Yangtze River Economic Belt from 2009 to 2021

由图3可得，总体来看，2009—2021年长江经济带的土地利用碳吸收量的增长率为52.53%；以2015年为中介点进行划分：2009—2015年的增长率

为23.49%，2015—2021年的增长率为23.52%。具体分区来看，2009—2021年下游的江苏省、浙江省，中游的湖北省，以及上游的贵州省、云南省的碳吸收量增加明显，增长率均在56%以上。这是因为江浙区域、云贵地区的林草地生态系统发育良好，观光农业、休闲旅游、生态康养等产业发展较快，在一定程度上优化了产业结构布局，带动区域生态环境向好发展，碳吸收量效应突出。

横向对比分析发现，土地利用碳吸收量增加率的区域差异不甚明显；纵向对比分析发现，与2009—2015年相比，2015—2021年长江经济带大部分区域的碳吸收量增幅均有所增加，这与中国生态文明战略转型背景下大力推进生态文明建设有明显关联。

2.2 空间碳平衡分析

2.2.1 碳排放经济贡献系数时空演变特征

2009、2015、2021年长江经济带经济贡献系数空间分布特征如图4所示。

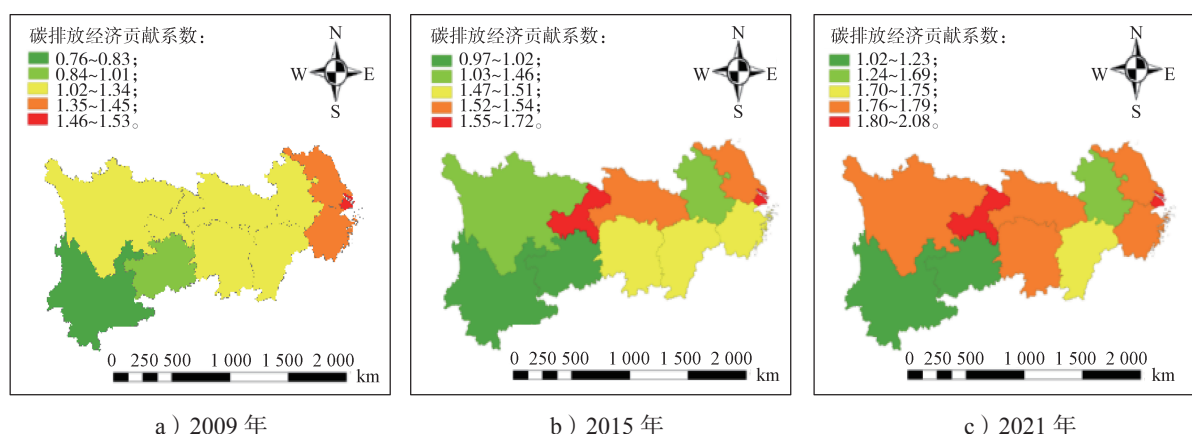


图4 2009、2015、2021年长江经济带经济贡献系数空间分布

Fig.4 Spatial distribution of economic contribution coefficient of the Yangtze River Economic Belt of 2009, 2015 and 2021

由图4a可知，2009年长江经济带经济贡献系数为0.76~1.53，下游区域经济贡献系数处于1.35~1.53之间，中游以及上游的四川省、重庆市的经济贡献系数处于1.02~1.34之间，上游云南省、贵州省的经济贡献系数处于0.76~1.01之间，其总体呈现出东高西低的变化趋势，表明长江经济带下游即传统的长三角区域能源利用效率与碳生产力较高。

由图4b可知，2015年长江经济带经济贡献系数为0.97~1.72，其中上游区域的云南省经济贡献系数由0.83增加至1.02，重庆市由1.27增加至1.68，两地经济贡献系数增幅明显，表明这一阶段内产业化发展水平有所提升，能源利用结构得到优化，能源利用效率得以提升。贵州省成为经济贡献系数低于1的唯一地区，反映出该地区存在经济发展动力不足，碳生产力偏低等问题。

由图4c可知，2021年长江经济带的经济贡献系数为1.02~2.08，且除贵州省、云南省的经济贡献系数相对偏低（分别为1.02、1.23）以外，其余各省市间的差异有所缩小。仅有上海市经济贡献系数大于2，反映出2009—2021年该区域内产业发展的碳生产力有待进一步提升。

综上分析，可知2009—2021年间长江经济带的经济贡献系数整体呈现出增加向好的态势，表明该地区在经济发展过程中注重了优化产业结构与能源消费结构，这与我国提出的“高质量发展战略”“生态文明战略转型导向”密切吻合。同时，区域内上中下游呈现出的碳排放经济贡献系数差异与其在区域协同发展过程中的定位不同有关：下游的上海市与浙江省、江苏省，尤其是与安徽省碳排放经济贡献系数有一定差距，上海市作为区域发展的引领者，其产业

发展的虹吸效应明显,集聚江浙地区以及两湖地区等的资源,碳生产力明显超出同位于下游的浙江省和江苏省;江浙地区作为下游的次级发展中心,虽然相对滞后于上海市,但是在其经济发展辐射范围内仍然获得了相对较高的碳生产力;安徽省同时位于江浙沪的辐射外圈与中游两湖强劲发展的相对边缘地带,碳生产力相对偏低。中游的湖北省、湖南省与江西省的碳排放经济贡献系数基本无差异,这与中部崛起战略将其作为制造业基地发展的统一定位密切相关。

上游的川渝与云贵地区的碳排放经济贡献系数差异较为明显,虽然同位于一级阶梯,但是川渝地区的后起之势明显,成为西部地区新兴引领发展者,资源、产业集聚力明显增强,推动了其碳生产力急速提升;云贵地区地处喀斯特地貌,生态环境脆弱,产业发展效应相对较弱。

2.2.2 碳生态承载系数时空演变特征

2009、2015、2021 年长江经济带生态承载系数空间分布情况如图 5 所示。

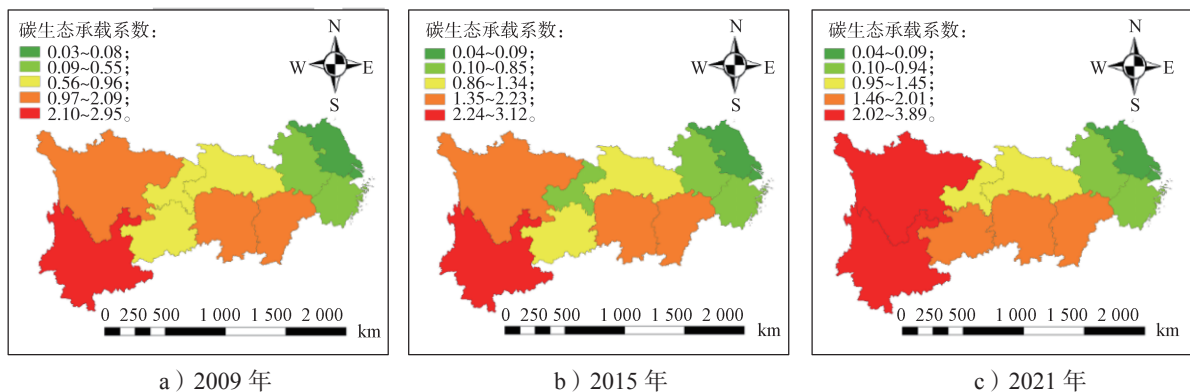


图 5 2009、2015、2021 年长江经济带生态承载系数空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of ecological carrying capacity coefficient in the Yangtze River Economic Belt of 2009, 2015 and 2021

由图 5a 可知,与经济贡献系数相比,长江经济带的碳生态承载系数空间分布差异更为明显。2009 年长江经济带的生态承载系数为 0.03~2.95,下游区域生态承载系数为 0.03~0.55,其中上海市尤为明显,仅为 0.03,碳生态承载潜质突出;中游区域的生态承载系数为 0.96~2.09,江西省、湖南省的生态承载系数相对较高,反映出其产业发展过程中碳吸收效应较为明显;上游的四川省、云南省的生态承载系数较高,尤其是云南省的,高达 2.95。总体来看,生态承载系数呈现出西高东低的分布特征,且上中下游区域内部碳生态承载系数分布差异均较为明显。

由图 5b 可知,2015 年长江经济带的生态承载系数为 0.04~3.12,空间分布规律基本与 2009 年相似,不同的是,中游的湖北省的生态承载系数由 0.96 增加至 1.18,跨越 1 的分界线。这一结果反映出,在这一阶段,湖北省经济发展过程中的碳吸收效应较为明显,碳生态承载能力增强。西部地区亦然,贵州省的生态承载系数发生了质的改变,由 0.96 增加至 1.34,综合碳排放经济贡献系数来看,这一阶段内贵州省产业集聚发展效应较弱,而生态建设效应明显,当地资源生态化价值逐渐显化,碳生态承载能力凸显。

由图 5c 可知,2021 年长江经济带的生态承载系数为 0.04~3.89,下游 4 个省市的生态承载系数仍然低于 1,表明在新发展阶段下游区域应着重发挥生态

资源价值,增强碳生态承载能力,实现经济、生态协调发展。中游的湖北省、湖南省、江西省的碳生态承载能力不断增强,且区域内的差异不断缩小,反映出其发展一体化的趋势。上游的碳生态承载系数持续增加,且与中下游的差距逐渐拉大,不同的是,重庆市的碳生态承载系数由 0.85 增至 1.33,至此中游区域省市碳生态承载系数全部大于 1,表明其生态资源价值不断增强,生态化发展步伐逐渐一致。总体来看,下游碳生态承载系数相对偏低,出现“经济高地”与“生态洼地”并存这一现象的可能原因,在于人口流动、产业结构调整的正向效应均存在一定的时间滞后性,同时国土空间开发格局优化也需要经历相对漫长的实现过程,从而使得生态空间建设步伐相对缓慢。

2.2.3 碳平衡分区

2009、2015、2021 年长江经济带的碳平衡分区情况如图 6 所示。

由图 6a 可知,2009 年长江经济带的碳排放与经济发展分区包括低碳保持区、经济发展区、碳汇发展区、综合优化区 4 种。其中,低碳保持区为四川省、湖南省和江西省,表明该区域经济发展过程中,产业发展规模与能源利用结构较为合理,能源利用效率较高,且空间生态资源较为丰富,生态资源价值在经济发展过程中得以合理发挥,即在实现空间生态资源价值化过程中发挥了碳汇功能,碳承载能力与经济发展

水平相得益彰。经济发展区为云南省,反映出该地生态文明建设较好,碳生态承载能力较强,但同时经济发展过程中的碳排放经济贡献率较低,考虑到其独特的地理位置,应进行空间生态资源一体化开发,稳固其生态屏障功能。碳汇发展区包括上海市、浙江省、江苏省、安徽省、湖北省和重庆市,这些区域为经济发展高地,同时为生态化洼地。这得益于建设用地扩张,经济快速发展,人口、产业等资源加速集聚,生产、生活碳排放明显,但是其土地利用结构中生态用地相对偏少,碳吸收效应不足,碳生态承载提升的空间较大。因此,江浙沪地区应结合自身产业结构发展实际,有效发挥增长极的涓滴扩散效应,优化土地利用结构与产业结构,缩减碳排放规模;重庆市地处一级阶梯,应抓住自身地理位置优势,推进空间生态资源价值化,提升碳汇能力。综合优化区为贵州省,未来可以将该区域生态旅游资源作为新质生产力,推动经济发展与碳汇能力提升协调发展。

由图 6b 可知,2015 年长江经济带的碳排放与经济发展分区包括低碳保持区、经济发展区、碳汇发展区 3 种。其中,低碳保持区新增湖北省、云南省:湖北省由上一阶段的碳汇发展区转变为低碳保持区,表明其生态资源在经济发展过程中不断蓄力,碳吸收效应得到强化;云南省由经济发展区演变为低碳保持区,反映出该地区在发展生态旅游、助力经济发展方面取得了一定成效。贵州省由上一阶段的综合优化区演变为经济发展区,表明上一阶段贵州省生态化建设取得成效,碳汇增加,碳生态承载能力增强。上海市、江苏省、浙江省、安徽省、重庆市依然为碳汇发展区。

由图 6c 可知,2021 年长江经济带的碳排放与经济发展分区包括低碳保持区和碳汇发展区。其中,碳汇发展区包括上海市、江苏省、浙江省、安徽省,表明其未来应朝着优化土地利用结构与产业结构,疏解过密资源方向努力,逐步向低碳保持区转变。其余地区均为低碳保持区。

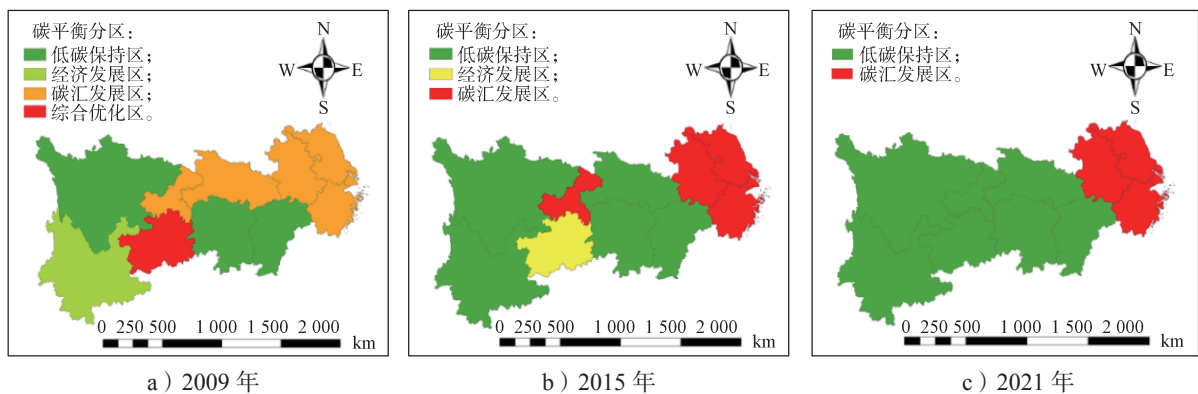


图 6 2009、2015、2021 年长江经济带碳平衡分区

Fig. 6 Carbon balance zoning of the Yangtze River Economic Belt of 2009, 2015 and 2021

3 结论与讨论

3.1 结论

1) 长江经济带土地利用碳源、碳汇均增加。碳源增加区域集中在下游的上海市、江苏省、浙江省,中游的湖北省,以及上游的四川省;碳汇增加区域集中在下游的江苏省、浙江省,中游的湖北省,以及上游的贵州省、云南省。

2) 土地利用碳排放经济贡献系数东高西低且系数值不断增加。碳排放经济贡献系数整体呈现增加向好的变化态势,表明区域内经济发展注重优化产业结构与能源消费结构,这与我国提出的“高质量发展战略”“生态文明战略转型导向”密切吻合。同时,上中下游呈现出的碳排放经济贡献系数差异与其区域协同发展过程中的定位不同有关。

3) 碳生态承载系数分布呈西高东低,且上中下

游区域内部碳生态承载系数分布差异均较为明显。下游 4 个省市的碳生态承载系数持续低于 1,表明在新发展阶段下游区域应着重实现空间生态资源价值,增强碳生态承载能力,实现经济、生态协调发展。

4) 研究初期,碳排放与经济发展分区包括低碳保持区、经济发展区、碳汇发展区、综合优化区 4 种,随后逐渐转变至仅涵盖低碳保持区、碳汇发展区 2 种。虽然中上游均为低碳保持区,但区域内部应从差异化角度出发推动其协调发展:上游的云南省、贵州省的碳排放经济贡献率仍然偏低,表明两地应重点考虑如何将本地生态资源作为新质生产力,实现碳生产力与经济发展水平的协调发展。中游在打造制造业基地过程中应通过产业转型更好地推动清洁能源发展。

3.2 讨论

本文在土地利用碳排放估量基础上,分析了碳排放经济贡献系数和生态承载系数,并划分碳排放与经

济发展分区,但仍然存在一定不足:可考虑再对碳排放经济贡献系数和生态承载系数的时空跃迁路径进行分析,并探究其吻合状况。

参考文献:

- [1] WANG C, ZHAN J Y, ZHANG F, et al. Analysis of Urban Carbon Balance Based on Land Use Dynamics in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 281: 125138.
- [2] 吴长兰,王 东,苏彦涛.广东省市域碳排放时空分异特征及影响因素:基于 EDGAR 数据的分析[J]. 地域研究与开发, 2020, 39(1): 127-132, 151.
WU Changlan, WANG Dong, SU Yantao. Study on Spatial-Temporal Variation and Influencing Factors of Urban Carbon Emissions in Guangdong Province Based on EDGAR Data[J]. Areal Research and Development, 2020, 39(1): 127-132, 151.
- [3] 李彦旻,沈育生,王世航.基于土地利用变化的安徽省陆地碳排放时空特征及效应[J]. 水土保持学报, 2022, 36(1): 182-188.
LI Yanmin, SHEN Yusheng, WANG Shihang. Spatio-Temporal Characteristics and Effects of Terrestrial Carbon Emissions Based on Land Use Change in Anhui Province[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(1): 182-188.
- [4] 李缘缘,魏 伟,周俊菊,等.中国土地利用碳排放变化及协调分区[J]. 环境科学, 2023, 44(3): 1267-1276.
LI Yuanyuan, WEI Wei, ZHOU Junju, et al. Changes in Land Use Carbon Emissions and Coordinated Zoning in China[J]. Environmental Science, 2023, 44(3): 1267-1276.
- [5] 孙雷刚,刘剑锋,徐全洪,等.环京津区域城市碳排放效应及时空格局分析[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(4): 113-118.
SUN Leigang, LIU Jianfeng, XU Quanhong, et al. Effects of Urban Carbon Emissions and Their Spatial-Temporal Patterns Around Beijing and Tianjin[J]. Geography and Geo-Information Science, 2016, 32(4): 113-118.
- [6] 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.
YUAN Shaofeng, TANG Yiyu. Spatial Differentiation of Land Use Carbon Emission in the Yangtze River Economic Belt Based on Low Carbon Perspective[J]. Economic Geography, 2019, 39(2): 190-198.
- [7] 张 杰,陈 海,刘 迪,等.基于县域尺度土地利用碳排放的时空分异及影响因素研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2022, 52(1): 21-31.
ZHANG Jie, CHEN Hai, LIU Di, et al. The Spatial and Temporal Variation and Influencing Factors of Land Use Carbon Emissions at County Scale[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2022, 52(1): 21-31.
- [8] 侯建坤,陈建军,张凯琪,等.基于 InVEST 和 GeoSoS-FLUS 模型的黄河源区碳储量时空变化特征及其对未来不同情景模式的响应[J]. 环境科学, 2022, 43(11): 5253-5262.
HOU Jiankun, CHEN Jianjun, ZHANG Kaiqi, et al. Temporal and Spatial Variation Characteristics of Carbon Storage in the Source Region of the Yellow River Based on InVEST and GeoSoS-FLUS Models and Its Response to Different Future Scenarios[J]. Environmental Science, 2022, 43(11): 5253-5262.
- [9] 李玉玲,李世平,祁静静.陕西省土地利用碳排放影响因素及脱钩效应分析[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 382-390.
LI Yuling, LI Shiping, QI Jingjing. Influencing Factors on Carbon Emissions of Land Uses and Analysis of Their Decoupling Effects in Shaanxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(1): 382-390.
- [10] 邝嫦娥,李文意,黄小丝.长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调的时空演变及驱动因素[J]. 经济地理, 2022, 42(8): 30-40.
KUANG Chang'e, LI Wenyi, HUANG Xiaosi. Spatial-Temporal Evolution and Driving Factors of Coupling Coordination Between Carbon Emission Intensity and High-Quality Economic Development in Urban Agglomerations in the Middle Reaches of the Yangtze River[J]. Economic Geography, 2022, 42(8): 30-40.
- [11] 李 键,毛德华,蒋子良,等.长株潭城市群土地利用碳排放因素分解及脱钩效应研究[J]. 生态经济, 2019, 35(8): 28-34, 66.
LI Jian, MAO Dehua, JIANG Ziliang, et al. Research on Factors Decomposition and Decoupling Effects of Land Use Carbon Emissions in Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration[J]. Ecological Economy, 2019, 35(8): 28-34, 66.
- [12] 韩方红,高 凡,何 兵,等.1990—2020 年阿克苏河流域土地利用碳排放时空轨迹与影响因素[J]. 环境科学, 2024, 45(6): 3297-3307.
HAN Fanghong, GAO Fan, HE Bing, et al. Exploring the Spatial and Temporal Trajectories of Land Use Carbon Emissions and Influencing Factors in the Aksu River Basin from 1990 to 2020[J]. Environmental Science, 2024, 45(6): 3297-3307.
- [13] 张 娜,孙芳城,胡钰苓,等.长江经济带三大城市群土地利用碳排放的区域差异及空间收敛性[J]. 环境科学, 2024, 45(8): 4656-4669.

- ZHANG Na, SUN Fangcheng, HU Yuling, et al. Regional Difference and Spatial Convergence of Land Use Carbon Emissions in Three Urban Agglomerations of Yangtze River Economic Belt[J]. *Environmental Science*, 2024, 45(8): 4656–4669.
- [14] 郭安宁, 牛 陆, 刘霏珈, 等. 黄河流域城市群土地利用的碳排放效应 [J]. *经济地理*, 2023, 43(9): 172–178, 240.
- GUO Anning, NIU Lu, LIU Peijia, et al. Carbon Emission from Land Use in Urban Agglomeration of the Yellow River Basin[J]. *Economic Geography*, 2023, 43(9): 172–178, 240.
- [15] 赵先超, 田一豆, 张潇湘. 长株潭城市群土地利用碳排放与生态系统服务价值时空关系分析 [J]. *水土保持学报*, 2023, 37(5): 215–225.
- ZHAO Xianchao, TIAN Yidou, ZHANG Xiaoxiang. Spatio-Temporal Relationship Between Land Use Carbon Emissions and Ecosystem Service Value in Changzhutan Urban Agglomeration[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2023, 37(5): 215–225.
- [16] 杨 扬, 周 浩, 文高辉, 等. 1980—2020 年洞庭湖流域土地利用变化及其碳效应 [J]. *水土保持通报*, 2023, 43(3): 390–397.
- YANG Yang, ZHOU Hao, WEN Gaohui, et al. Land Use Change and Its Carbon Effect in Dongting Lake Basin During 1980—2020[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023, 43(3): 390–397.
- [17] 武爱彬, 赵艳霞, 郭小平, 等. 碳中和目标下河北省土地利用碳排放格局演变与多情景模拟 [J]. *农业工程学报*, 2023, 39(14): 261–270.
- WU Aibin, ZHAO Yanxia, GUO Xiaoping, et al. Evolution and Multi Scenario Simulation of Land Use Carbon Emission Pattern in Hebei Province Under Carbon Neutral Target[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(14): 261–270.
- [18] 李效顺, 李志鑫, 谢晓彤, 等. 河南省城镇化、碳排放与“三生”空间交互机制分析 [J]. *农业工程学报*, 2023, 39(11): 256–265.
- LI Xiaoshun, LI Zhixin, XIE Xiaoteng, et al. Analysis of the Interaction Mechanism of Urbanization, Carbon Emissions, and Production-Living Ecological Space in Henan Province of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(11): 256–265.
- [19] 胡冉再琪, 孔雪松, 文高辉, 等. 武汉城市圈“三生”功能与土地利用碳排放耦合测度及协同分区 [J]. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(5): 209–221.
- HU Ranzaiqi, KONG Xuesong, WEN Gaohui, et al. The Coupling Measurement and Co-Zoning of Production-Living-Ecological Functions and Land Use Carbon Emission in Wuhan Metropolitan Region[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(5): 209–221.
- [20] 李志英, 朱晓珊, 杨 丽, 等. 云南省土地利用碳排放时空演变特征及影响因素 [J]. *水土保持通报*, 2023, 43(5): 297–303, 311.
- LI Zhiying, ZHU Xiaoshan, YANG Li, et al. Spatial-Temporal Evolution Characteristics and Influencing Factors of Carbon Emissions in Yunnan Province Based on Land Use Changes[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023, 43(5): 297–303, 311.
- [21] 李建豹, 陈红梅, 张彩莉, 等. 长三角地区碳源碳汇时空演化特征及碳平衡分区 [J]. *环境科学*, 2024, 45(7): 4090–4100.
- LI Jianbao, CHEN Hongmei, ZHANG Caili, et al. Spatial-Temporal Evolution Characteristics and Carbon Sources and Carbon Sinks and Carbon Balance Zoning in the Yangtze River Delta Region[J]. *Environmental Science*, 2024, 45(7): 4090–4100.

(责任编辑: 廖友媛)