

贵阳市碳平衡分区特征研究

宾声宇豪, 丁大行, 韩霜, 刘金顺, 姚明伟

贵州大学生命科学学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年3月11日; 录用日期: 2023年4月14日; 发布日期: 2023年4月21日

摘要

在“双碳”战略目标下, 碳平衡分区特征是城市生态文明建设的重要依据。目前区域碳平衡计算方法以及碳平衡分区研究已日趋完善, 贵州省作为生态文明建设示范区, 其碳平衡分区研究鲜有报道。因此, 本文以贵阳市为研究对象, 计算贵阳市2015年和2020年碳平衡空间特征, 并研究了贵阳市碳平衡分区特征。研究表明, 贵阳市各区县碳排放和碳汇特征区域差异有明显区别, 市辖区属碳强度控制区, 其碳排放经济贡献率高, 但碳吸收生态贡献率过低; 清镇市和息烽县属碳收支平衡区, 两地碳排放经济贡献率和碳吸收生态贡献率都相对较高; 修文县属碳汇功能区, 其碳排放经济贡献率较低, 而碳吸收生态贡献率较高; 开阳县属低碳优化区, 碳排放经济贡献率和碳吸收生态贡献率都相对较低, 贵阳市碳平衡分区可为贵阳市未来经济和生态发展规划提供科学依据。

关键词

碳平衡分区, 碳排放, 碳汇, 贵阳市

The Study of Carbon Balance Zoning Characteristic in Guiyang City

Shengyuhao Bing, Daxing Ding, Shuang Han, Jinshun Liu, Mingwei Yao

College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Mar. 11th, 2023; accepted: Apr. 14th, 2023; published: Apr. 21st, 2023

Abstract

On the carbon peaking and carbon neutrality goals, carbon balance zoning is an important basis for urban ecological civilization construction. At present, the calculation method of regional carbon balance and the research on carbon balance zoning have become increasingly perfect. As a demonstration area of ecological civilization construction, there are few reports on the research of carbon balance zoning in Guizhou Province. Therefore, we take Guiyang City as the research ob-

ject, calculate the spatial characteristics of carbon balance in 2015 and 2020, and study the carbon balance zoning characteristics. The results show that the regional differences of carbon emission and carbon sink characteristics are significantly different among all the districts and counties of Guiyang. The municipal district is a carbon intensity control area, which has a high economic contribution coefficient of carbon emission, but a low ecological contribution coefficient of carbon sink. Qingzhen County and Xifeng County belong to the carbon budget balance area, because the economic contribution coefficient of carbon emission and the ecological contribution coefficient of carbon sink are relatively high. Xiuwen County belongs to carbon sink functional area, which has a low carbon emission economic contribution coefficient, but a high carbon sink ecological contribution coefficient. Kaiyang County is a low-carbon optimization area, and the carbon emission economic contribution coefficient and the carbon sink ecological contribution coefficient are relatively low. Guiyang carbon balance zoning can provide scientific basis for Guiyang's future economic and ecological development planning.

Keywords

Carbon Balance Zoning, Carbon Emission, Carbon Sink, Guiyang City

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人类活动对自然资源的不合理开发利用引发了一系列全球变化,严重威胁到人类社会的可持续发展,为了应对全球变化,我国提出了在 2035 年实现“碳达峰”,在 2060 年实现“碳中和”的生态文明发展战略。碳平衡是指在一定区域范围内,碳排放与碳吸收总量相抵消,即碳中和[1]。近年来,国内外学者针对城市区域碳平衡特征展开了大量研究,区域碳平衡计算方法已日趋成熟。结合现阶段研究成果,区域尺度碳平衡的核算原则主要取决于土地利用类型、人口规模、能耗模式及经济发展水平。土地利用类型主要有耕地、林地、草地、水体、未利用地和建筑用地,不同的土地利用类型对碳平衡的作用不同[2]。耕地、林地、草地和水体主要是碳汇系统,联合国政府间气候变化专门委员会(The United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)为不同土地利用类型和植被确定了不同的碳汇系数[3]。工业化和城镇化过程中建筑用地增加、能源消耗是碳排放的重要方面,碳排放核算主要包括人口呼吸和能源消耗两方面。IPCC 的《碳排放清单算法指南》的编制框架按照能源、土地利用方式、工业生产、废弃物处理等方面计算碳排放[4]。徐从等[5]、郑全义等[6]、王政强等[7]、张思敏等[8]、张小平[9]均参考上述方法核算了不同区域的碳收支总量,揭示不同尺度区域的碳平衡特征。在碳平衡特征的基础上,众多学者研究了碳平衡分区划分,并为城市发展提出了与之相适应的城市发展策略。李颖[10]综合考虑各区域土地利用结构的碳排放效率相对有效性、碳排放效率高低、碳排放总量大小以及碳汇能力强弱,对中国各省进行国土空间碳排放功能分区,设立碳排放强度控制区、碳总量排放控制区、收支平衡区和碳汇功能区四大功能区,不同功能区发展策略不同。杨向军[11]对长株潭区域土地利用碳收支量进行核算,根据不同区域碳平衡特征将长株潭经济区划分为主要碳源区、重要碳汇区和碳中和区 3 个碳综合功能区,并提出低碳土地利用方式。杨静媛等[12]利用经济贡献系数和生态承载系数等指标,从经济和生态的角度进行碳平衡分区并提出针对性的策略。Churkina [13]认为城市的碳循环应当考虑城市碳汇量和碳输出量两个方面,由此构建了“碳源-碳汇”模型,碳平衡核算及分区的既有研究表明,该模型是目前城市低碳发展

的重要理论基础。然而，贵阳市是我国西南地区重要的中心城市之一，是我国生态休闲度假旅游城市，贵州省作为我国首批生态文明发展示范省之一，碳平衡分区特征鲜有报道。基于此，本文参考日臻成熟的碳收支核算方法，计算贵阳市碳平衡特征，以碳平衡对经济和生态两方面的贡献为依据，划分贵阳市不同碳平衡区域，为贵阳市低碳发展提供科学依据。

2. 研究方法

2.1. 碳平衡计算

碳平衡(B)是碳收支情况，包含 2 个方面，碳源(碳排放量 E)和碳汇(碳吸收量 A)，计算公式见式 1。碳排放量主要包括人口呼吸排放和能源碳排放两方面，见式 2。其中， E_1 为人口呼吸产生的碳排放，根据相关研究[14]，成人每天排出的 CO_2 量为 0.9 Kg，则每万人每天排出 CO_2 取 3285 t/万人。 E_2 是能源碳排放的碳排放量， E_2 的计算采用 IPCC 中碳排放计量模型，如公式 4 示， C 为单位 GDP 煤能耗，取值为 2.66。

碳汇系统包括耕地、林地、草地、水体和未利用地，不同的土地利用类型和植被具有不同的碳汇系数。碳汇总量计算见式 5， C_i 为土地利用类型 i 的碳汇系数， S_i 为土地利用类型 i 的面积。其中碳汇系数采用叶祖达、方精云等人的研究成果给出的碳汇系数确定(表 1) [5]，未利用地比例太小，忽略。不同土地利用类型面积数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心。

$$B = E - A \tag{1}$$

$$E = E_1 + E_2 \tag{2}$$

$$E_1 = P * 3285 \tag{3}$$

$$E_2 = C * GDP \tag{4}$$

$$A = \sum_{i=1}^n C_i * S_i \tag{5}$$

Table 1. Carbon sink coefficient of different land use type
表 1. 不同土地利用类型碳汇系数

土地利用类型	C_i (t/hm ²)
耕地	1.16
林地	3.55
草地	0.021
水体	2.56

2.2. 碳平衡分区

$$EEC = \frac{E_i / G_i}{E / G} \tag{6}$$

$$SEC = \frac{A_i / E_i}{A / E} \tag{7}$$

碳平衡分区以碳平衡特征为基础，依据碳平衡对经济和生态的两方面的贡献，划分贵阳市不同碳平衡区域。碳平衡对经济和生态的两方面的贡献用碳排放经济贡献率和碳吸收生态贡献率两个指标衡量。碳排放经济贡献率(Carbon Emission Economic Contribution Coefficient, EEC)用于从经济利益的角度衡量各区域碳排放量的差异性[9]，是某一地区碳排放量占全区比例与该区域 GDP 量占全区比例的商，计算过程见公式 6。碳吸收生态贡献率(Carbon Sink Ecological Contribution Coefficient, SEC)表示某一地区碳吸收量占

全区比例与该区域碳排放量占全区比例的商[15] [16], 反映了该区域碳汇能力的大小。计算方法见公式 7。

2.3. 数据来源

本文研究数据来源《贵阳统计年鉴》和中国科学院资源环境科学与数据中心(resdc.cn)。其中 2020 年《贵阳统计年鉴》未给出单位碳 GDP 能耗, 为保持数据一致, 2020 年的单位碳 GDP 能耗由当年能源消费总量除以 GDP 得到, 该方法用于计算 2016 年单位碳 GDP 能耗后所得结果与《贵阳统计年鉴》基本一致。

3. 研究结果

依据上述计算方法, 分别计算贵阳市各区县的碳平衡特征, 包括碳排放总量、碳汇总量、碳排放强度、碳汇强度、碳排放经济贡献率和碳吸收生态贡献率 6 项指标, 结果如表 2 所示。

Table 2.The carbon balance index of Guiyang City

表 2.贵阳市碳平衡指标

年份	辖区	碳源总量 (万 t)	碳汇总量 (万 t)	碳源强度 (t/hm ²)	碳汇强度 (t/hm ²)	碳排放经济贡献率	碳吸收生态贡献率
2015 年	市辖区	4377.2	45.3	184.54	1.91	1.43	0.48
	清镇市	972.38	31.79	65	2	0.79	1.52
	息烽县	570.71	19.66	55.62	1.92	0.79	1.60
	开阳县	1430.54	46.32	70.71	2.29	0.39	1.50
	修文县	385.4	23.8	36	2.22	1.10	2.86
2020 年	市辖区	2748.66	44.79	116.17	1.89	1.34	0.45
	清镇市	813.08	29.71	54	2	0.37	1.01
	息烽县	471.91	19.99	46.09	1.95	0.35	1.17
	开阳县	1088.58	47.61	53.8	2.35	0.28	1.46
	修文县	453.2	24.6	42.3	2.3	0.44	1.50

3.1. 贵阳市碳排放特征

贵阳市碳排放总量在 2015 年和 2020 年分别为 7736.23 和 5575.43 万 t, 相较 2015 年, 2020 年碳排放量减少达 27.9%。贵阳各区县碳排放总量市辖区最大, 开阳县和清镇市次之, 息烽县和修文县碳排放量较少。除修文县外, 各区县碳排放量均呈现不同程度的下降, 其中, 下降幅度最大为市辖区, 碳排放减少达 37.2%, 其次为开阳县, 碳排放量减少为 23.9%, 清镇市和息烽县碳排放减少量为 16~17%, 修文县碳排放量增加 17.6% (图 1(a))。该时期各个区域人口并没有显著变化, 主要原因是因为能源碳排放的碳排放量的下降而导致的。贵阳市碳排放强度在 2015 年和 2020 年分别为 71.6 和 44.1 t/hm², 碳排放强度明显下降。图 1(b)可以看出贵阳各区县碳排放强度空间特征, 表现为市辖区最大, 平均为 150.35 t/hm²; 其次为开阳县、清镇市和息烽县, 平均为 62.25、59.5 t/hm² 和 50.9 t/hm²; 修文县最小, 为 39.15 t/hm²。2020 年与 2015 年碳排放强度相比, 市辖区碳排放强度下降程度最大, 为 68.37 t/hm²; 开阳县和清镇市次之, 分别为 16.91、11 t/hm²; 修文县则增加 6.3 t/hm², 而息烽县无明显变化。碳排放强度与碳排放下降趋势基本一致, 清镇市与息烽县碳排放量变化幅度相似, 碳排放强度变化却不同的原因是清镇市的面积相对息烽县而言小, 对碳排放变化更为敏感。

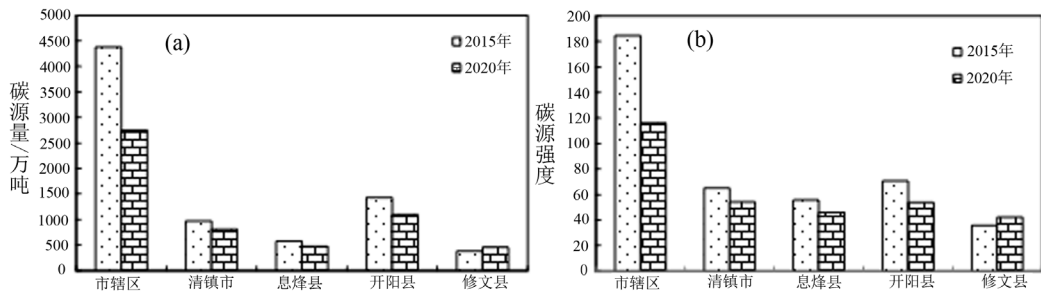


Figure 1. The carbon emission characteristic of Guiyang City
图 1. 贵阳市碳排放特征

3.2. 贵阳市碳汇特征

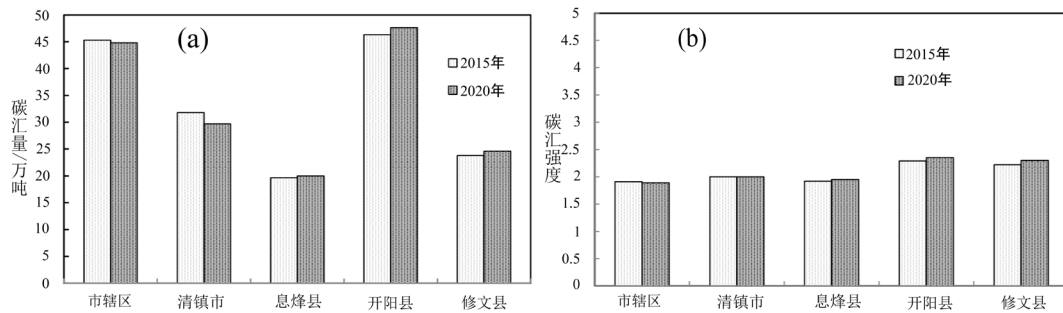


Figure 2. The carbon sink characteristic of Guiyang City
图 2. 贵阳市碳汇特征

贵阳市碳汇总量在 2015 年和 2020 年分别为 166.87 和 166.7 万 t，相较 2015 年，2020 年碳汇变化较小。贵阳各区县碳汇总量开阳县和市辖区最大，平均为 47.0 和 45.04 万 t；清镇市和修文县次之，平均为 30.8 和 24.2 万 t；息烽县最少，仅 19.8 万 t (图 2(a))。2020 年与 2015 年碳汇量比较发现，贵阳市各区县碳汇量变化较小，其中市辖区和清镇市碳汇量减少，减少率分别为 1.1% 和 6.5%；开阳、修文和息烽 3 县碳汇量增加，增加率分别为 2.8%、3.4% 和 1.7%。市辖区除林地面积有增加外，其余碳汇土地利用类型均减少。清镇市除水体面积增加外，其余碳汇土地利用类型均减少。开阳县林地和水体面积增加，耕地和草地面积减少。修文县耕地和草地面积减少，林地和水体面积增加。息烽县林地面积增加，根底面积几乎不变，水体和草地面积都减少。贵阳市市辖区碳汇强度在 2015 年和 2020 年分别为 1.91 和 1.89 t/hm²，碳汇强度降低。图 2(b) 可以看出贵阳各区县碳汇强度空间特征，表现为市辖区碳汇强度最小，仅 1.9 t/hm²，其次为息烽县碳汇强度平均为 1.94 t/hm²；市辖区碳汇强度最小，仅 1.9 t/hm²，清镇市、开阳县和修文县碳汇强度平均为 2 t/hm²、2.32 t/hm² 和 2.26 t/hm²。2020 年与 2015 年碳汇强度相比，息烽县、开阳县和修文县有小幅上升，清镇市没有变化，市辖区下降。碳排放变化与碳汇变化趋势基本一致。

3.3. 贵阳市碳平衡分区特征

图 3 为贵阳市各区县的碳排放经济贡献率及碳吸收生态贡献率特征。贵阳市各区县碳排放经济贡献率范围为 0.28~1.62，区域间差异较大(图 3(a))。市辖区碳排放经济贡献率最大，平均为 1.53；修文县次之，平均为 0.82；清镇市与息烽县差异较小，平均为 0.6；开阳县最小，仅 0.3。2020 年与 2015 年碳排放经济贡献率比较发现，市辖区显著上升，其余 4 区县均下降，其中修文县下降程度最大，清镇市和息烽县次之，开阳县下降程度最小，表明相较碳排放增量，修文县、清镇市和息烽县 3 地经济增长速率相

对落后。

贵阳市各区县碳汇生态贡献率范围为 0.48~2.82，区域间差异较大(图 3(b))。市辖区碳汇生态贡献率最小，仅 0.5，表明市辖区碳排放量远大于碳汇量；修文县最大，平均为 2.3；其余 3 县差异较小，约 1.5。2020 年与 2015 年碳汇生态贡献率比较发现，除市辖区略微上升外，其余 4 区县均下降，其中修文县下降程度最大，为 1.05；清镇市和息烽县次之，开阳县下降程度最小。

根据贵阳市各区县的碳排放经济贡献率及碳吸收生态贡献率特征，将贵阳市划分为碳收支平衡区、碳强度控制区、碳汇功能区以及低碳优化区 4 类(表 3)。碳收支平衡区为碳排放经济贡献率和碳吸收生态贡献率都相对较高的区域，生态压力相对不明显，清镇市和息烽市属于该类区域。碳强度控制区指碳排放经济贡献率高，但由于忽视了生态系统建设，导致碳吸收生态贡献率过低的区域，市辖区属于该区域。碳汇功能区指碳排放经济贡献率较低，但由于农林基础和生态环境较好，碳吸收生态贡献率较高，修文县属于该区域。低碳优化区为碳排放经济贡献率和碳吸收生态贡献率都相对较低的区域，开阳县属于该区域。

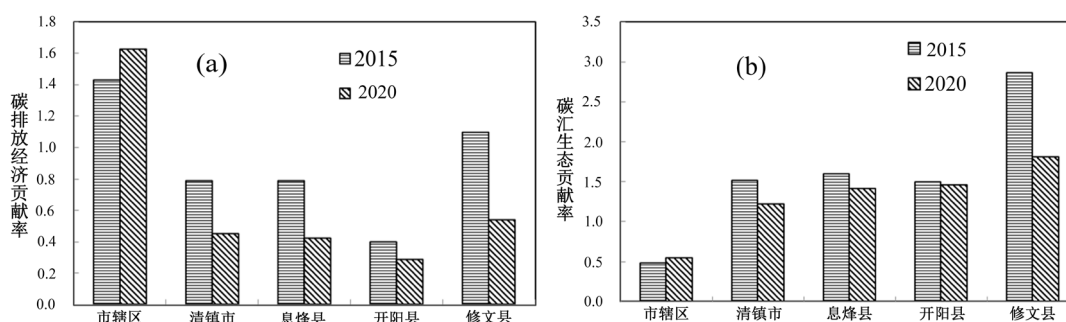


Figure 3. The carbon balance zoning characteristic of Guiyang City
图 3. 贵阳市碳平衡分区特征

Table 3. The carbon balance zoning of Guiyang City
表 3. 贵阳市各区县碳平衡分区划分

区县	碳排放经济贡献率	碳吸收生态贡献率	碳平衡分区
市辖区	高	低	碳强度控制区
清镇市	中	中	碳收支平衡区
息烽县	中	中	碳收支平衡区
开阳县	低	中	低碳优化区
修文县	中	高	碳汇功能区

4. 结论

本文以碳平衡为理论依据，计算贵阳市碳平衡分区特征，利用碳平衡分区方法对贵阳市各区县进行碳平衡分区划分，为贵阳市进一步的经济和生态发展规划提供科学依据。本文得出如下结论：

1) 贵阳市各区县碳排放量区域差异大。碳排放量市辖区最大，修文县最小，然而修文县碳排放量 2020 年比 2015 年显著增加 17.6%，其余区县碳排放量均下降；贵阳市各区县碳排放强度市辖区最大，息烽最小，与 2015 年相比，仅修文县碳排放强度 2020 年增加，其余区县下降。

2) 贵阳市各区县碳汇量区域差异相对较小。碳汇量开阳县和市辖区最大，息烽县最小，市辖区和清镇市碳汇量 2020 年比 2015 年有所增加，其余区县碳汇量均下降；贵阳市各区县碳汇强度息烽县最大，市辖区最小，与 2015 年相比，2020 年息烽县碳汇强度下降程度最大，其余 4 区县碳汇强度几乎无变化。

3) 贵阳市各区县碳平衡分区特征不同, 不同的碳平衡分区特征为贵阳市区域差异化的经济和生态规划发展提供了科学指导。贵阳市碳平衡分区特征表明, 市辖区碳排放经济贡献率高, 但碳吸收生态贡献率过低, 为碳强度控制区; 清镇市和息烽县的碳排放经济贡献率和碳吸收生态贡献率都相对较高, 属碳收支平衡区; 修文县碳排放经济贡献率较低, 而碳吸收生态贡献率较高, 属碳汇功能区; 开阳县碳排放经济贡献率和碳吸收生态贡献率都相对较低, 属低碳优化区。

受限于客观条件, 本研究尚有以下不足: 1) 本文收集数据时期跨幅不大, 只能搜集近年来贵阳市公布的数据进行分析。2) 没有对未利用地等土地利用类型核算碳汇或碳排放量, 同种土地利用类型不同, 如林地中存在不同的森林群落类型, 耕地中不同的农作物类型碳排放之间的差别没有进行区分。3) 由于对贵阳市区域碳汇清单的研究不足, 引用的碳汇系数是基于已有研究成果, 与当地的实际情况存在一定的差异。4) 已存在研究以县域为研究对象, 以乡镇为单元, 本研究精度可以进一步精确。

基金项目

本文系 2022 年度贵州省生态学一流本科专业建设项目和贵州大学大学生科研训练项目(贵大 SRT 字 [2022] 451 号)资助。

参考文献

- [1] 朱晓青, 朱可宁, 黄志豪. 浅析碳平衡视角下的区域生态补偿机制[J]. 建筑与文化, 2019(11): 52-53.
- [2] 杨立, 郝晋珉, 艾东, 等. 基于区域碳平衡的土地利用结构调整——以河北省曲周县为例[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2293-2301.
- [3] 彭文甫, 周介铭, 徐新良, 等. 基于土地利用变化的四川省碳排放与碳足迹效应及时空格局[J]. 生态学报, 2016(22): 7244-7259.
- [4] 计军平, 马晓明. 碳足迹的概念和核算方法研究进展[J]. 生态经济, 2011(4): 76-80.
- [5] 徐从, 张思敏, 解华明. 合肥市碳收支平衡分析[J]. 城乡建设, 2019(11): 56-59.
- [6] 郑全义, 文正敏. 基于碳排放、碳汇的县域城镇体系优化——以广西全州县为例[J]. 小城镇建设, 2022, 40(11): 88-94.
- [7] 王政强, 覃盟琳, 唐世斌, 赵胤程, 庞雅月, 龚苑红. 北部湾城市群土地利用碳收支时空分异及碳补偿分区[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 348-359.
- [8] 张思敏, 徐从广, 解华明. 基于碳平衡视角的安徽省城市碳收支差异研究[J]. 建筑节能, 2020, 48(3): 133-138.
- [9] 张小平. 碳平衡分区方法在桓台县域低碳空间规划中的应用[J]. 工业建筑, 2021, 51(4): 12-19.
- [10] 李颖. 中国碳排放效率及土地利用低碳调控研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京大学, 2011.
- [11] 杨向军. 低碳经济视角下长株潭土地利用方式探析[J]. 经济研究导刊, 2014(22) : 173-176.
- [12] 杨静媛, 张明, 多玲花, 肖圣, 赵昱茜. 江西省土地利用碳排放空间格局及碳平衡分区[J]. 环境科学研究, 2022, 35(10): 2312-2321.
- [13] Churkina, G. (2008) Modeling the Carbon Cycle of Urban Systems. *Ecological Modelling*, **216**, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.03.006>
- [14] 宋亚男. 平顶山城区碳环境演变时间序列分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(4): 65-69.
- [15] 王刚, 张华兵, 薛菲, 甄艳. 成都市县域土地利用碳收支与经济发展关系研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(7): 1170-1182.
- [16] 魏燕茹, 陈松林. 福建省土地利用碳排放空间关联性与碳平衡分区[J]. 生态学报, 2021, 41(14): 5814-5824.