

双碳目标下土地利用碳排放的驱动机制与减排路径探究 ——以重庆市为例

刘丁瑜 刘祎頔 杜沐洋

新疆农业大学公共管理学院(法学院), 中国·新疆 乌鲁木齐 830052

摘要: 本文基于重庆市 2003—2023 年数据, 运用 LMDI 模型和 Tapio 脱钩模型分析碳排放驱动因素及与经济增长的脱钩关系。结果表明: 经济发展是首要增排因素, 土地利用效率是最强抑制因素, 建设用地结构持续推高排放, 传统节能边际效益递减; 脱钩呈现“扩张负脱钩—弱脱钩—强脱钩—弱脱钩”演变。当前减排进入瓶颈期, 绿色技术与碳管理服务空间广阔, 从五个维度提出针对性减排路径, 为区域低碳转型提供参考。

关键词: 土地利用碳排放; 驱动机制; 脱钩效应; 减排路径; 重庆市

Exploration of the Driving Mechanism and Emission Reduction Path of Land Use Carbon Emissions under the Dual Carbon Goals: A Case Study of Chongqing City

Liu Dingyu, Liu Yidi, Du Muyang

College of Public Administration (Law School), Xinjiang Agricultural University, China Xinjiang Urumqi 830052

Abstract: Based on the data of Chongqing from 2003 to 2023, this paper uses the LMDI model and Tapio decoupling model to analyze the driving factors of carbon emissions and their decoupling relationship with economic growth. The results show that economic development is the primary factor contributing to increased emissions, land use efficiency is the strongest inhibitory factor, the structure of construction land continuously drives up emissions, and the marginal benefit of traditional energy conservation is decreasing. The decoupling relationship has evolved from "expansionary negative decoupling - weak decoupling - strong decoupling - weak decoupling". Currently, carbon reduction has entered a bottleneck period, and there is a broad space for green technology and carbon management services. Five targeted carbon reduction paths are proposed to provide a reference for regional low-carbon transformation.

Keywords: Land use carbon emissions; Driving mechanism; Decoupling effect; Carbon reduction path; Chongqing City

0 引言

碳达峰、碳中和目标为土地利用绿色转型提供了核心引领。土地利用变化是仅次于化石燃料燃烧的第二大碳排放来源, 贡献了全球约 22% 的温室气体排放^[1]。其中, 建设用地与耕地是主要碳源, 林草地则发挥着显著的碳汇作用^[2]。1997 年直辖以来, 重庆市城镇化进程持续加快, 建设用地规模扩张超两倍, 碳排放压力日益增大, 现有林地碳汇已经难以抵消持续增长的碳排放量^[3]。作为我国西部地区唯一的直辖市, 以及成渝地区双城经济圈的核心增长极, 重庆在推进发展的同时实现碳减排, 既面临严峻挑战, 也蕴藏重大机遇^[4]。因此, 精准识别土地利用碳排放的关键驱动因素, 进而挖掘市场机遇、释放减排潜力, 具有重要的现实意义。

1 数据与方法

1.1 数据来源

土地利用数据源于武汉大学 30m 遥感(2003—2023 年), 能源、社会经济数据分别来自《重庆市统计年鉴》

《中国能源统计年鉴》及历年统计年鉴。碳排放系数参考《省级温室气体清单编制指南》及 IPCC 指南。

1.2 碳排放核算

土地利用碳排放可划分为直接碳排放与间接碳排放两大类。其中, 直接碳排放针对耕地、林地、草地、水域等土地类型, 采用排放系数法测算: 耕地属于碳源, 林地、草地及水域则具备碳汇功能。间接碳排放主要对应建设用地, 先将其承载的各类能源消耗(涵盖原煤、焦炭、汽油、煤油、柴油、天然气等能源类型)测算后折算为标准煤当量, 再结合对应碳排放系数计算得到。最终, 总净碳排放量为直接碳排放与间接碳排放的代数和。

1.3 LMDI 分解模型

借鉴 Kaya 恒等式, 将总碳排放量表示为五个影响因子的乘积, 构建土地利用碳排放的 LMDI 分解模型^[5]:

$$C = \sum_{i=1}^n (CI_i \times S_i \times E_i \times G_i \times P_i)$$

其中, i 代表不同的土地利用类型, $CI_i = \frac{C_i}{A_i}$ 为第 i 类土

地的碳排放强度, $S = \frac{A_i}{A}$ 为第 i 类土地的结构占比; $E = \frac{S}{GDP}$ 为土地利用效率; $G = \frac{GDP}{P}$ 为人均 GDP; P 为人口规模。

1.4 Tapio 脱钩模型

为深入揭示经济增长与碳排放的动态关系, 采用 Tapio 脱钩模型, 并将 LMDI 分解的各因素贡献值引入脱钩框架, 构建脱钩影响因素弹性分解模型^[6], 脱钩指数计算公式为:

$$D = \frac{\Delta C / C_0}{\Delta GDP / GDP_0}$$

式中, D 为碳排放与 GDP 增长的脱钩指数; C_0 为研究基期的碳排放量; GDP_0 为研究基期的区域内的 GDP; ΔC 为研究时期与研究基期碳排放量的差值; ΔGDP 为研究时期与研究基期 GDP 的差值。

2 结果分析

2.1 净碳排放演变

研究期内重庆市净碳排放整体呈现先上升、后回落、再攀升的波动特征, 其中建设用地碳排放量由 1217.83 万吨增长至 3404.49 万吨, 在碳排放总量中始终占据主导地位; 与之相比, 二十年间全市碳汇规模仅增加了 14.75 万吨。2023 年, 碳汇吸收的碳排放总量远低于碳源排放量, 仅依靠扩大林地面积已难以有效抵消碳源的持续增长, 见表 1。

表1 重庆市净碳排放量及其构成演变 (单位: 万吨CO₂)

年份	碳排放量			碳吸收量				净排放量	净碳排放增长率/%
	碳源总和	耕地	建设用地	碳汇总和	林地	草地	水域		
2003年	1376.78	158.95	1217.83	-280.22	-278.04	-0.03	-2.15	1096.57	—
2008年	2525.57	156.52	2369.04	-282.19	-279.59	-0.02	-2.57	2243.38	20.92
2013年	3442.39	156.03	3286.36	-279.77	-276.90	-0.02	-2.85	3162.63	8.19
2018年	3130.24	152.13	2978.11	-283.82	-281.04	-0.01	-2.77	2846.42	-2.00
2023年	3548.53	144.04	3404.49	-294.97	-292.37	-0.01	-2.59	3253.56	2.78

表2 2003—2023年重庆市土地利用碳排放因素贡献值 (单位: 万吨CO₂)

时间段	土地碳排放强度	土地利用结构	土地利用效率	经济发展水平	人口规模	变化总值
2003—2008	618.861	511.957	-1306.767	1286.392	20.394	1130.837
2008—2013	-327.489	1246.735	-2121.546	1963.997	157.549	919.246
2013—2018	-1093.228	788.175	-1516.318	1368.371	147.947	-305.053
2018—2023	-18.033	425.403	-1016.716	989.601	27.114	407.369
累计贡献	-819.889	2972.27	-5961.347	5608.361	353.004	2152.399

表3 2003—2023重庆市土地利用碳排放与经济增长脱钩演变

时间段	脱钩指数 (D)	ΔGDP (亿元)	ΔC (万吨)	脱钩状态
2003—2008	0.822	3283.92	1130.837	扩张负脱钩
2008—2013	0.339	7128.11	919.246	弱脱钩
2013—2018	-0.148	8561.2	-305.053	强脱钩
2018—2023	0.361	8556.99	407.369	弱脱钩

2.2 LMDI 分解结果

基于 LMDI 模型, 本研究测算得到 2003—2023 年重庆市土地利用碳排放各影响因素的贡献值, 结果如表 2 所示。正向驱动因素中, 经济发展水平效应的贡献程度最为显著, 在所有研究时段均占据主导地位。土地利用结构效应的贡献值在 2008—2013 年间达到峰值, 这一特征与该时段重庆市建设用地的快速扩张密切相关。人口规模效应始终发挥正向驱动作用, 但整体贡献度相对有限。负向驱动因素中, 土地利用效率对碳排放的抑制作用最为突出, 且该抑制效应在 2008—2013 年间表现最为显著。土地碳排放强度效应自 2008 年起转为负向, 成为推动碳排放总量下降的关键因素; 但在 2018—2023 年, 该效应有所减弱, 反映出技术减排的边际效益呈现递减趋势, 见表 2。

2.3 经济增长脱钩关系分析

根据 Tapio 脱钩模型的分级标准, 脱钩指数 $D < 0$ 为强脱钩 (经济增、碳减), $0 \leq D < 0.8$ 为弱脱钩 (经济增、碳增速更低), $0.8 \leq D \leq 1.2$ 为扩张负脱钩 (二者同步快增)。按此标准, 研究期内重庆市脱钩指数整体呈现“扩张负脱钩—弱脱钩—强脱钩—弱脱钩”的演化趋势。其中, 土地碳排放的强度效应对脱钩的影响由正转负, 在 2013—2018 年对强脱钩起到推动作用, 后续推动作用逐步减弱; 结构效应始终为正, 对脱钩发挥稳定的抑制作用;

效率效应始终为负,是推动脱钩最稳定的动力;经济效应始终为正且贡献程度最大,是抑制脱钩的首要因素;人口效应的影响则极小,见表3。

3 结论与政策建议

3.1 结论

第一,经济发展与土地利用效率是影响碳排放的核心矛盾。其中,经济发展是推动碳排放增长的最主要动力,土地利用效率则是抑制碳排放的最强因素,二者的影响作用基本相互抵消。但传统效率提升的边际优化空间已明显收窄,碳排放与经济脱钩状态也从强脱钩退回弱脱钩,当前减排工作已经进入瓶颈期。

第二,土地利用结构仍持续推动碳排放增长,绿色市场前景广阔。城市扩张引发的建设用地结构效应始终推高排放;效率效应是促进脱钩最稳定的动力,而经济效应是最大阻力。当前的弱脱钩状态意味着减排政策将持续加码,绿色技术、碳管理服务等领域的发展空间将进一步扩大。

3.2 政策建议

第一,针对经济发展效应。重庆作为汽车工业重镇与西部交通枢纽,应重点布局充电桩、加氢站、分布式光伏等绿色基础设施,尤其要在两江新区、科学城等新兴区域进行系统性规划推进。同时可依托本地天然气资源优势,在工业园区推广天然气分布式能源站,逐步降低产业发展对燃煤的依赖。服务层面,既可针对企业需求提供定制化碳减排方案咨询,也可结合重庆每年举办的高交会、智博会等大型活动,开发特色低碳会展服务。

第二,针对土地利用效率效应。重庆山多地少,建设用地资源本就紧张,提升单位土地的产出效能十分迫切。应鼓励主城区推广多层标准厂房与“工业上楼”模式,例如在九龙坡、大渡口等老工业区的改造过程中,可将传统平铺布局的厂房改造为垂直厂房,释放出的土地空间可用于建设绿地与公共服务设施。在产业园区层面,可推行集中供冷供热系统,有效降低单个企业的能耗成本。此外,还可以盘活闲置边角地、废弃工矿用地,将其临时改造为光伏停车场或社区菜园,既能够创造额外收益,也可以减少裸地扬尘问题。

第三,针对土地利用结构效应。重庆城市扩张受到地形条件制约,对每一寸建设用地的集约高效利用提出了更高要求。应当优先发展 TOD 模式,也就是围绕轨道交通站点开展高强度混合开发:例如在沙坪坝、观音桥等站点周边打造“轨道+商业+住宅”的多功能综合体,从而减少私家车出行需求。在老旧小区改造过程中,应当配建屋

顶光伏、雨水回收等节能设施;临街建筑可推广垂直绿化,借助爬山虎、花槽等成本低、效果好的方式增加碳汇,同时缓解城市热岛效应。

第四,针对碳排放强度效应。重庆钢铁、水泥、化工等重工业占比较高,碳排放强度大,传统节能改造的优化空间已接近极限。应当提前布局碳回收技术研发应用,例如可将钢铁厂高炉废气转化为甲醇,或是用于混凝土养护。还可依托本地天然气资源优势,试点开展氢能制备以及重卡加氢站建设,满足果园港、团结村等重要物流枢纽电动重卡的运营需求。同时,应支持中小科技企业研发低成本烟气监测设备,帮助广大中小企业精准掌握自身碳排放情况。

第五,针对人口效应。重庆常住人口已超过3000万,人均碳排放水平虽不高,但碳排放总量不容忽视。对此可大力推广共享出行,持续扩大轨道交通覆盖范围,推动网约车、共享单车与公共交通系统实现无缝接驳;还可打造官方“碳积分”平台,市民可通过步行、骑行、垃圾分类等低碳行为积累积分,兑换公交券、景区门票等各类奖励,调动公众低碳出行与生活的积极性。针对三峡库区等生态敏感区域,可开发湿地碳汇体验项目,让公众在休闲游玩过程中主动参与减排行动。在社区层面,可定期举办低碳集市、旧物交换等活动,从消费端减少资源浪费。

参考文献:

- [1] IPCC. Seventh assessment report [R/OL]. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar/>.
- [2] 赵荣钦,黄贤金.基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J].地理研究,2010,29(9):1639-1649.
- [3] 李颖,黄贤金,甄峰.江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J].农业工程学报,2008,24(S2):102-107.
- [4] 蓝家程,傅瓦利,袁波等.重庆市不同土地利用碳排放及碳足迹分析[J].水土保持学报,2012,26(01):146-150+155.
- [5] KAYA Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios[R]. Paia: IPCC Energy and Industry Subgroup.
- [6] 李玉玲.陕西省土地利用碳排放及其与经济增长的脱钩性研究[D].西北农林科技大学,2018.

作者简介:刘丁瑜,女,汉族,重庆忠县人,本科生,研究方向:土地资源管理。