

2000—2020年河南省土地利用强度与碳排放脱钩关系

孟庆香, 刘祺, 李保路, 郑燕娜, 蔡恩香

(河南农业大学 资源与环境学院, 河南 郑州 450046)

摘要: [目的] 测度土地利用碳排放效应, 探索土地利用与碳排放之间的脱钩关系, 进而揭示土地利用变化的碳排放规律, 为制定资源保护和生态文明政策提供科学依据。[方法] 以中国农业典型生产中心地区、中国人口大省——河南省为研究区域, 基于近20 a间土地利用现状遥感监测数据, 从县域尺度研究土地利用碳排放和土地利用强度的时空格局演变特征, 并借助于脱钩分析的理论框架来检测它们之间的脱钩关系。[结果] ①在研究期间, 碳排放呈现出明显的空间异质性。豫中地区、豫北地区碳排放水平明显高于其他区域; 平原地区和大城市周边地区的碳排放明显高于山区和丘陵地区。②研究期间土地利用强度持续增加, 豫中地区土地利用强度明显高于豫南地区, 而豫北地区土地利用强度分布表现出明显的空间集聚现象。③研究期间土地利用强度和碳排放二者的主要关系类型为扩张负脱钩和强脱钩, 需要从资源高消耗、高碳排放的双高模式不断向资源低消耗、低碳排放的低碳发展模式转变。[结论] 不同阶段、不同地区在土地利用强度与碳排放之间的脱钩关系程度方面有着明显差异, 应采用差异性管控政策, 促进生态环境保护 and 经济发展之间形成协调稳定的发展关系。

关键词: 碳排放; 土地利用; 脱钩分析; 双碳战略; 河南省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)03-0421-09

中图分类号: K903, F301.24

文献参数: 孟庆香, 刘祺, 李保路, 等. 2000—2020年河南省土地利用强度与碳排放脱钩关系[J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 421-429. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20230216.003; Meng Qingxiang, Liu Qi, Li Baolu, et al. Decoupling relationship between land use intensity and carbon emissions in Henan Province during 2000—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 421-429.

Decoupling Relationship Between Land Use Intensity and Carbon Emissions in Henan Province During 2000—2020

Meng Qingxiang, Liu Qi, Li Baolu, Zheng Yanna, Cai Enxiang,

(College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: [Objective] The land use carbon emissions were measured, the decoupling relationship between land use and carbon emissions were determined, and the carbon emission pattern of land use change was revealed in order to provide a scientific basis for the formulation of resource protection and ecological civilization policies. [Methods] The study was conducted in Henan Province, a typical agricultural production center in China having a large population. The evolution characteristics of spatial and temporal patterns of land use carbon emissions and land use intensity at the county scale were determined based on remote sensing monitoring data of the current land use situation during the past 20 years. The decoupling relationship between land use intensity and carbon emissions was determined with the help of a theoretical framework of decoupling analysis. [Results] ① Carbon emissions during the study period showed obvious spatial heterogeneity. Carbon emission levels in central and Northern Henan Province were significantly greater than in other regions. Carbon emissions in the plain areas and areas around large cities were significantly greater than in mountainous and hilly areas. ② Land use intensity continued to increase during the study period, and land use intensity in the central region of Henan Province was significantly greater than in the southern region. The distribution of

收稿日期: 2022-05-25

修回日期: 2022-09-21

资助项目: 河南省高等学校人文社会科学研究项目“黄河中游地区耕地利用转型及调控措施研究: 以洛阳市为例”(2021-ZZJH-157); 河南省哲学社会科学规划项目(2019CJJ078); 2022年度河南省社会科学界联合会调研课题(SKJL-2022-2288)

第一作者: 孟庆香(1977—), 女(汉族), 河南省新乡市人, 博士, 副教授。主要从事土地资源调查与评价研究。Email: qxmeng@126.com。

通讯作者: 蔡恩香(1989—), 男(汉族), 河南省息县人, 博士, 教授。主要从事土地利用规划与评价、城乡用地转型研究。Email: caiex213@henau.edu.cn。

land use intensity in the northern region of Henan Province showed obvious spatial clustering. ③ The relationship between land use intensity and carbon emissions during the study period was mainly characterized as either expansion negative decoupling and strong decoupling. It is necessary to continuously shift from the double-high model of high resource consumption and high carbon emissions to the low-carbon development model of low resource consumption and low carbon emissions. [Conclusion] There were obvious differences in the degree of decoupling between land use intensity and carbon emissions at different stages and in different regions. Therefore, different control policies should be adopted to promote a coordinated and stable development relationship between ecological environmental protection and economic development.

Keywords: carbon emissions; land use; decoupling analysis; dual carbon strategy; Henan Province

全球变化当中,土地利用变化是最重要的变化原因之一,其占据着极其重要的份额^[1-2]。1990 年以来,中国城市化发展速度大幅度提升,这不仅加剧了土地利用程度,同时也对中国的生态系统服务造成恶劣影响,引发一系列诸如土地退化,环境污染,生物灭绝等问题,尤其是给中国实施碳达峰、碳中和战略带来了严峻挑战^[3]。现今,中国面临日趋严重的人地矛盾,这一矛盾加快促使人们需要在土地利用和碳排放之间做好全方面高质量的统筹。怎样科学合理地评估土地利用变化,并判断其与碳排放之间形成的互动关系,合理减缓碳排放恶化态势,并且制定高效的土地利用战略,这是政府决策者以及空间规划部门高度关注和探讨的焦点与难点。基于此种情形下,深入研究和挖掘土地利用变化与碳排放之间的关系,这对于低碳化区域管控,提高土地承载力具有重要的意义。

现有研究表明,不同土地利用类型(建设用地为碳源,森林和草地为碳汇)的碳排放效应已经在学术界达成共识^[4]。Zhou Xing 等^[5]通过大数据对比结合脱钩模型,发现 20 世纪末期中国八大区域工业部门的经济数据与碳排放量间多数为弱脱钩关系。Li Yina 等^[6]通过构建脱钩模型研究分析 1999—2015 年上海市经济增长与建设用地碳排放的关系,发现除 2002,2012,2014,2015 年表现为强脱钩,其余 13 a 均表现为弱脱钩。王尧等^[7]从省市域尺度和经济子部门尺度分析京津冀地区化石能源碳排放与经济发展之间的脱钩关系,发现北京市已实现经济发展与碳排放的脱钩目标。陈芷君等^[8]对珠三角城市群 15 个区县的研究表明,从 1990—2010 年,随着耕地和林地向建设用地的转化,商业消费部门呈现出强脱钩与弱脱钩交替变化的趋势,运输业部门是碳减排的重点,而工业部门对脱钩状态的演变具有决定性影响。对长江中游 266 个区县的研究表明,1995—2018 年,受碳排放的影响,平均土地利用效率从 0.652 下降到 0.569,区域内很难实现经济脱钩^[9]。上述研究为碳减排措施提供了很多路径,但仍有不足之

处: ①研究视角有待转换。现有的研究主要集中在土地覆盖变化、经济增长、能源消耗等与碳排放之间的脱钩关系,而对土地利用强度如何控制碳排放的研究却很少。虽然一些学者的探索性研究表明,土地混合利用的变化可以影响交通碳排放,但这类研究只关注交通活动产生的碳排放,未能揭示土地混合利用对区域总碳排放的作用^[10]; ②研究尺度需要更精细。省级或经济高水平发展区对于碳排放脱钩效应演变特征的研究很多,县级行政区域的研究却不多。县级行政区域作为城市化的一个重要层次,在现代化发展中起着关键作用; ③数据类型需要更新。已有研究多采用土地利用/覆被变化的截面数据^[11-12],容易造成统计数据失真或缺失造成的碳排放数据偏差。

本文以河南省为研究区,结合 2000—2020 年河南省土地利用现状数据和能源数据,首先对 20 a 间各县域碳排放和土地利用强度分别进行测算,分析二者之间的时空分布特征,并且借助脱钩分析理论框架探测二者之间的脱钩关系。具体从 3 个方面对以往研究进行补充和完善: ①基于碳排放和土地利用强度的测度方法,分别测算河南省县域单元碳排放量和土地利用强度值; ②基于土地利用强度和碳排放的空间匹配关系,探究二者之间的时空演化特征; ③通过脱钩分析模型,探究土地利用强度变化对碳排放变化的影响。

1 研究区概况

河南省位处中原地带,大部分地区处于黄河以南。全省面积约为 $1.67 \times 10^5 \text{ km}^2$,占全国总用地面积的 1.73%。地理条件得天独厚,北部连接太行山、大别山。河南省人口众多,共计有 1.10×10^8 人,由 17 个地级市和 1 个省直辖区的县级市组成。由于经济发展速度和增长速度都较快,所以被列为中国重要省份之一。河南省整体气候较为复杂多变,属于温带季风气候—亚热带季风气候,河南在中华文明史上有着非常重要的意义,又被誉为“中原粮仓”。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究中,资源环境科学与数据中心土地利用监测数据来源于中国科学院,平均分辨率为 30 m × 30 m。其中 2000, 2005, 2010, 2015 年数据生产制作是以各期 Landsat TM/ETM 遥感影像为主要数据源, 2020 年数据是在以往数据基础上进行的更新, 结合应用 Landsat 8 遥感影像, 再加上人工分析, 最终获得的数据精准度达到 90%。以河南省为例, 通过利用 ArcGIS 10.8 软件, 对该省各县域的土地利用情况予以了核算和分析, 分类标准参照中国科学院土地利用分类体系和最新版《土地利用现状分类》(GB/T2010-2017) 文件^[13-14], 本文的化石能源消费数据主要来自《中国能源统计年鉴》(2001—2021) 和《河南省统计年鉴》(2001—2021)。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用碳排放 根据以往的研究, 耕地、林地、草地和水域的碳排放采用直接碳排放的计算方法, 计算公式为:

$$E_k = \sum e_i = \sum T_i \times \delta_i \quad (1)$$

式中: 土地利用碳排放量以 E_k 来代表; 不同土地利用类型以 i 来代表; $i = 1, 2, 3, 4, 5$, 分别为土地资源利用当中耕地、林地、草地、水域等带来的碳排放^[15]; i 种土地类型引致的碳排放量以 e_i 来代表; i 种土地类型利用面积以 T_i 来代表; i 种土地类型引致的碳排放系数以 δ_i 来代表^[16], 具体详细碳排放系数可参考表 1。

表 1 非建设用地碳排放系数

Table 1 Carbon emission factors for non-building land

地类	碳排放系数/(t · hm ⁻² · a ⁻¹)	参考来源
耕地	0.497 0	蔡祖、何勇 ^[17]
林地	-0.612 5	方精云、肖红艳 ^[18-19]
草地	-0.020 5	李颖、苏丽雅 ^[20]
水域	-0.253 0	方精云、朴世龙 ^[21]
未利用地	-0.005 0	赖力 ^[22]

2.2.2 能源消费碳排放 由于在土地利用资源当中还包含了许多人类活动消耗能源, 所以在计算建设用地碳排放量时, 不可以直接通过用地面积来计算^[23], 而是通过土地利用过程中的能源消耗来估算的, 具体是通过各种能源消耗和能源碳排放系数的乘积, 这样就能够估算出土地利用间接碳排放量。考虑到各县区的能源消耗数据的不可获得性, 因此参考现有研究成果, 基于中国能源消耗结构与 GDP 的可比性^[24],

通过该县区第一、二、三产业的 GDP 占各地市 GDP 比值来推算能源消费, 计算公式为:

$$E_i = \sum_{n=1}^7 E_{in} = \sum_{n=1}^7 (E_{mi} \times b_i \times \theta_i \times \frac{GDP_n}{GDP^*}) \quad (2)$$

式中: 化石能源终端消费产生的碳排放总量^[25], 以 E_i 来表示; 第 i 类化石能源终端消费的碳排放量, 以 E_{in} 来表示; E_{mi} 表示各类化石能源终端消耗量; b_i 表示各种能源的标准煤折算系数; θ_i 表示各种能源的碳排放系数; GDP_n 表示第 n 县当年地区生产总值; GDP^* 表示第 n 县所在的地市当年的地区生产总值; 本文主要选取原煤、焦炭、原油、柴油、燃料油、热力、电力 7 种主要能源; 不同能源标准煤折算系数和碳排放系数见表 2。

表 2 不同能源标准煤折算系数和碳排放系数

Table 2 Conversion factors and carbon emission factors for different energy standard coals

能源类型	标准煤折算系数 (以标准煤计)	碳排放系数 (以 C 计)
原煤	0.714 3	0.755 9
焦炭	0.971 4	0.855 0
原油	1.428 6	0.585 7
柴油	1.457 1	0.592 1
燃料油	1.428 6	0.618 5
热力	0.034 1	0.773 0
电力	0.122 9	0.213 2

注: 碳排放系数根据 IPCC2006 整理所得; 标准煤折算系数根据《中国能源统计年鉴》整理所得。

2.2.3 土地利用强度 土地利用强度 (land use intensity, LUI) 能够充分反映出人类对土地利用的具体程度^[26], 刘纪远认为土地利用强度可以从土地在自然平衡当中的保持状态来测定, 一般分为四级, 可以针对不同类型土地利用予以强度赋值 (D)。李士成等在刘纪远的基础上, 认为如果能够将不同类型土地利用予以强度赋值, 然后再进行细化, 那么最终测定出的强度结果会更准确^[27]。本研究具体赋值参考 Li 等^[26] 的研究, 最终获得耕地土地利用强度值为 0.2, 林地土地利用强度值为 0.03, 草地土地利用强度值为 0.05, 水域土地利用强度值为 0.01, 建设用地土地利用强度值为 0.7, 未用地土地利用强度值为 0.01。基于这些数据的基础上, 计算公式如下:

$$LUI = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \times D_i \quad (3)$$

式中: D_i 是第 i 地类土地利用强度赋值; S_i 是第 i 地类土地利用面积。

2.2.4 脱钩分析 脱钩理论最早来源于物理学, 它表示具有响应关系的变量之间是否存在可持续的互

动关系。如果变量之间的响应关系随着时间的推移而减弱甚至断裂,就可以被称为脱钩或解耦。Tapio^[28]于 2005 年提出了改进后的脱钩模型。脱钩分析方法在各大行业已经得到了广泛应用,比如农业、交通、能源、建设用扩张和碳排放等领域^[29],而基于这种方法基础之上,对土地利用强度和碳排放之间的关系研究却涉及较少。

本文采用脱钩分析方法对两者之间的关系进行研究。基于 Tapio 和 OECD 对脱钩理论内容的扩充和丰富,将理论框架划分为 8 种逻辑可能性,具体包括强脱钩、强负脱钩、弱脱钩、扩张连接、扩张负脱钩、衰退脱钩、衰退连接和弱负脱钩类型^[30]。结合之前的研究方法,将 1.2, 0.8 作为脱钩弹性临界值,通过碳排放变化率(ΔCE)和土地利用强度变化率(ΔLUI)的比值来构建脱钩指数。计算公式如下:

$$DI_{t_2-t_1} = \frac{\Delta CE}{\Delta LUI} = \frac{\frac{CE_{t_2} - CE_{t_1}}{CE_{t_1}}}{\frac{LUI_{t_2} - LUI_{t_1}}{LUI_{t_1}}} \quad (4)$$

式中: t 为年份; $DI_{t_2-t_1}$ 代表 t_1 年到 t_2 年的脱钩指数; CE_{t_1} 和 CE_{t_2} 分别代表 t_1 年和 t_2 年碳排放指数; LUI_{t_1} 和 LUI_{t_2} 分别代表 t_1 年和 t_2 年土地利用强度指数。

由于研究单元的土地利用强度、碳排放指数在研究期间存在无变化的情况,此时无法判断二者之间的脱钩关系,因此将属于此类的归为 0 类(表 3)。

表 4 2000—2020 年河南省不同类型土地的碳排放量

Table 4 Carbon emissions from different land types in Henan Province during 2000—2020

年份	碳排放量/ 10^4 t							碳汇	净碳排放量
	耕地	建设用地	碳源	林地	草地	水域	未利用地		
2000	536.269 9	6 104.931 8	6 641.201 6	-164.875 8	-1.938 5	-1.448 3	-0.000 4	-168.263 0	6 472.938 7
2005	531.217 1	11 141.117 5	11 672.334 7	-164.596 7	-1.927 7	-1.636 9	-0.000 3	-168.161 5	11 504.173 1
2010	527.540 9	17 770.887 1	18 298.428 1	-165.956 1	-1.816 7	-1.631 9	-0.000 1	-169.404 7	18 129.023 4
2015	354.018 7	17 571.567 6	17 925.586 3	-165.781 9	-1.810 4	-1.669 9	-0.000 1	-169.262 3	17 756.324 1
2020	513.031 1	14 490.679 4	15 003.710 5	-165.450 7	-1.829 1	-1.750 0	-0.000 1	-169.029 9	14 834.680 6

为了进一步分析碳排放及其空间匹配状况,基于县域碳排放指数空间分布状态,利用自然断点法对全体样本进行分类(分类标准见表 5),可以从总体上反映研究区在 2000—2020 年碳排放空间分布格局。研究区区域内不同时期碳排放水平空间分异见图 1,可以看出相比 2000, 2005, 2010 年碳排放的空间不均衡程度明显增加。具体来看,碳排放水平较高的区域主要分布于郑州都市圈、洛阳都市圈等城市化发展速度较快、城市化发展水平较高的区域和豫北等典型重工业产业类型地区,且总体表现出空间集聚特征。以黄河沿线、洛阳都市圈、郑州都市圈为代表的城市化发

表 3 脱钩分析状态值对应关系

Table 3 Correspondence table of decoupling analysis state values

状态	脱钩程度	ΔCE	ΔLUI	DI	类型
脱钩	强脱钩	< 0	> 0	< 0	1
	弱脱钩	> 0	> 0	$0 < DI \leq 0.8$	2
负脱钩	衰退脱钩	< 0	< 0	> 1.2	3
	强负脱钩	> 0	< 0	< 0	4
	弱负脱钩	< 0	< 0	$0 < DI \leq 0.8$	5
	扩张负脱钩	> 0	> 0	> 1.2	6
连接	增长连接	> 0	> 0	$0.8 < DI \leq 1.2$	7
	衰退连接	< 0	< 0	$0.8 < DI \leq 1.2$	8

注: ΔCE 为碳排放指数之差; ΔLUI 为土地利用强度指数之差; DI 为脱钩指数。

3 结果与分析

3.1 碳排放时空格局

从碳排放水平总体数量变化来看,河南省县域研究单元的碳排放水平呈现出明显的先快速上升后缓慢降低的波动性变化特征(表 4)。由 2000 年的 6.47×10^7 t 增加到 2010 年的 1.81×10^8 t,之后下降到 2020 年的 1.48×10^8 t。其中,碳源在 2000—2010 年增加了 1.17×10^8 t,之后在 2010—2020 年减少了 3.29×10^7 t,碳汇总体增加了 7 700 t。可以看出,碳源的主要贡献量来源于建设用地,历年比例接近 90%。碳汇的主要贡献量来源于林地,草地次之,未利用地最小,林地的碳汇比例历年超过 70%。这与“十三五”期间产业重心调整,产业构成以新型工业为核心,大力发展低碳环保产业链的政策密切相关。

展区域,在碳排放水平上处于全局第一梯队,长期处于碳排放的强势区域;豫东平原地区由于产业结构以农业为主,长期处于碳排放的弱势区域。例如,2000—2020 年期间,研究区域内的年碳排放水平较高区域集中在华龙区、安阳市、禹州市、灵宝市、新密市、荥阳市、济源市、汝州市、巩义市、金水区等区域。

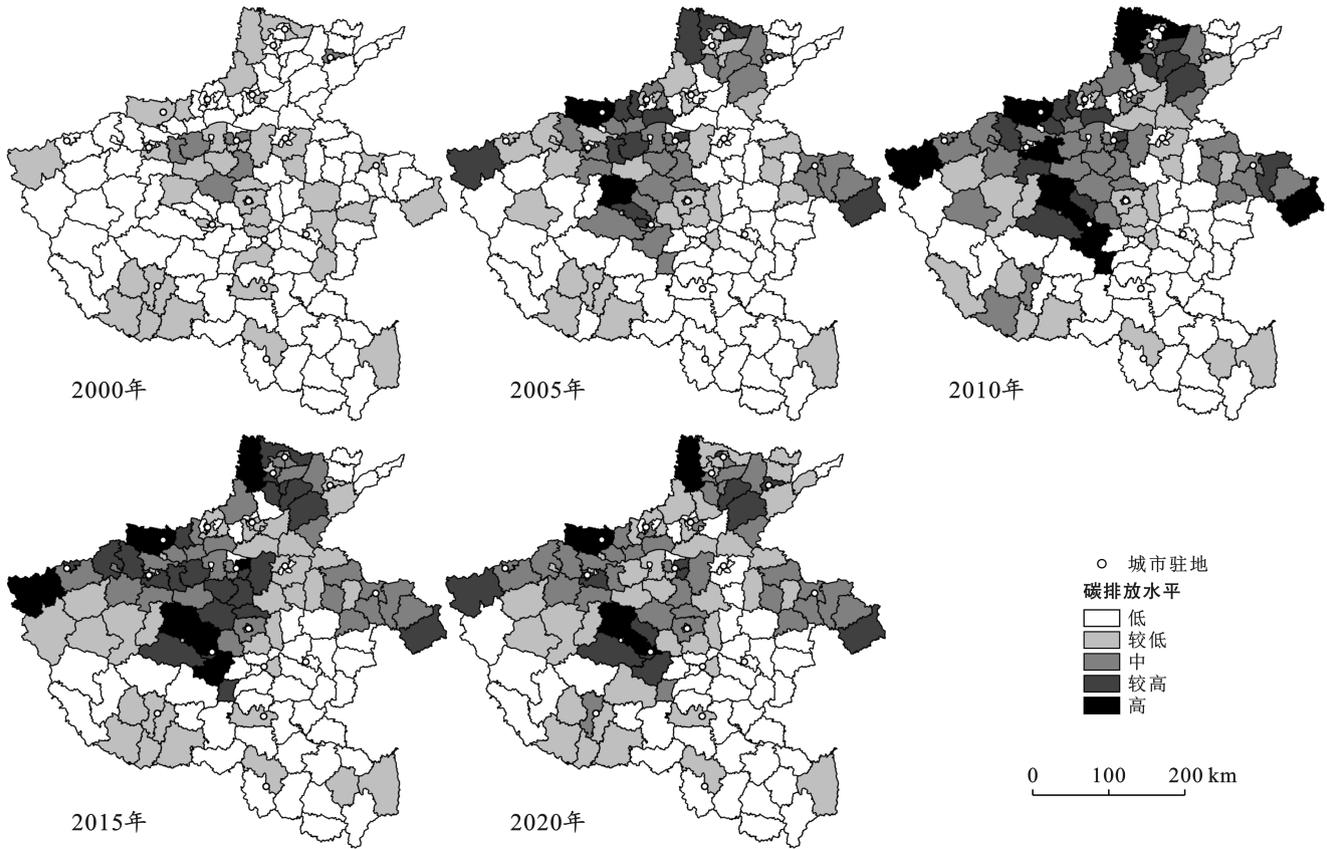
从碳排放水平空间演变趋势(图 1)来看,河南省县域研究单元的碳排放内部差异的分布特征比较稳定,总体呈现中部高四周低的分布格局。从空间分布规律来看,碳排放水平较高的区域以郑州、洛阳市为中心,向周围不断扩散,形成圈层状分布,而豫南和豫

西等区域由于自然、资源等条件限制,难以大规模推进工业化和城镇化建设,碳排放也一直保持在较低水平。另外,不同碳排放水平面临的碳排放状态存在结构性差异,空间上呈现豫中地区、豫北地区高和豫东、豫西、豫南地区低的格局。研究表明,碳排放水平随着城镇化进程不断加快,而高增长的碳排放比例呈增长趋势,同时受环境变化的影响,碳排放增长幅度差异较大。

表 5 碳排放水平分类标准

Table 5 Classification criteria for carbon emission levels

类型编号	类型名称	取值范围/t
1	低	$(-\infty, 465\ 352]$
2	较低	$(465\ 352, 924\ 105]$
3	中	$(924\ 105, 1\ 669\ 877]$
4	较高	$(1\ 669\ 877, 2\ 883\ 776]$
5	高	$(2\ 883\ 776, +\infty)$



注:本图基于自然资源部标准地图服务系统 GS(2019)1822 号下载的标准地图制作,底图无修改,下同。

图 1 2000—2020 年河南省县域碳排放水平空间分布

Fig.1 Spatial distribution of carbon emission levels at county scale in Henan Province during 2000—2020

3.2 土地利用强度时空格局

2000—2020 年土地利用强度呈现出空间集聚的分布态势,层级结构稳定性强,呈现出一定程度的多中心特征(图 2)。以郑州、洛阳市为代表的区域土地利用强度优势区域,在城镇化快速发展、人口以及社会经济不断积聚的过程中,其土地利用强度也不断提高,属于典型的开发建设驱动型区域;而豫东区域,由于主体功能的限制,更多是耕地利用的程度、规模不断提高和扩大,属于典型的农业驱动型区域,二者虽然土地利用强度均较高,但内在驱动力、条件具有显著区别。从局部空间分异格局看,土地利用强度均以郑州、洛阳市为双核心形成高值凸显区;中值区域分布在北部和东部的高度城市化区,低值区连绵分布在西部和南部地区。

由图 2 可以看出,土地利用强度较高区分布在重点城市化区域,在省会城市与洛阳地区集聚明显,并呈现出二者互相重合的态势。土地利用强度分布具有显著的空间自相关性,不同类型土地利用强度空间分异特征显著,整体上表现出与主体功能区相适应的格局。土地利用强度不仅受到历史发展、自然资源、宏观政策的综合影响,且社会环境中的人口活动与交通密度的交互作用对此空间异质性有着较强的解释力。

3.3 土地利用强度与碳排放脱钩分析

为了更好地剖析碳排放和土地利用强度之间的脱钩关系,本文先从二者之间的相关性展开分析,从前文获得的分析结果中能够了解到,这二者之间的关系程度会随着时间推移产生线性关系,当土地利用强

度越高时,碳排放量也会增加,到达临界值后,又随着土地利用强度的提高而持续下降。在早期利用阶段,主要是将未利用地进行开垦最后用作种植草木、农作物等用地,这就形成了几种不同的土地利用类型,从

而带动了整个地区的碳排放量的增加。伴随土地利用强度越来越高,土地利用类型也在逐渐转变,有从草地转为耕地,也有从耕地转为建设用地等不同用地类型的转变,这必然会造成总体碳排放量的减少。

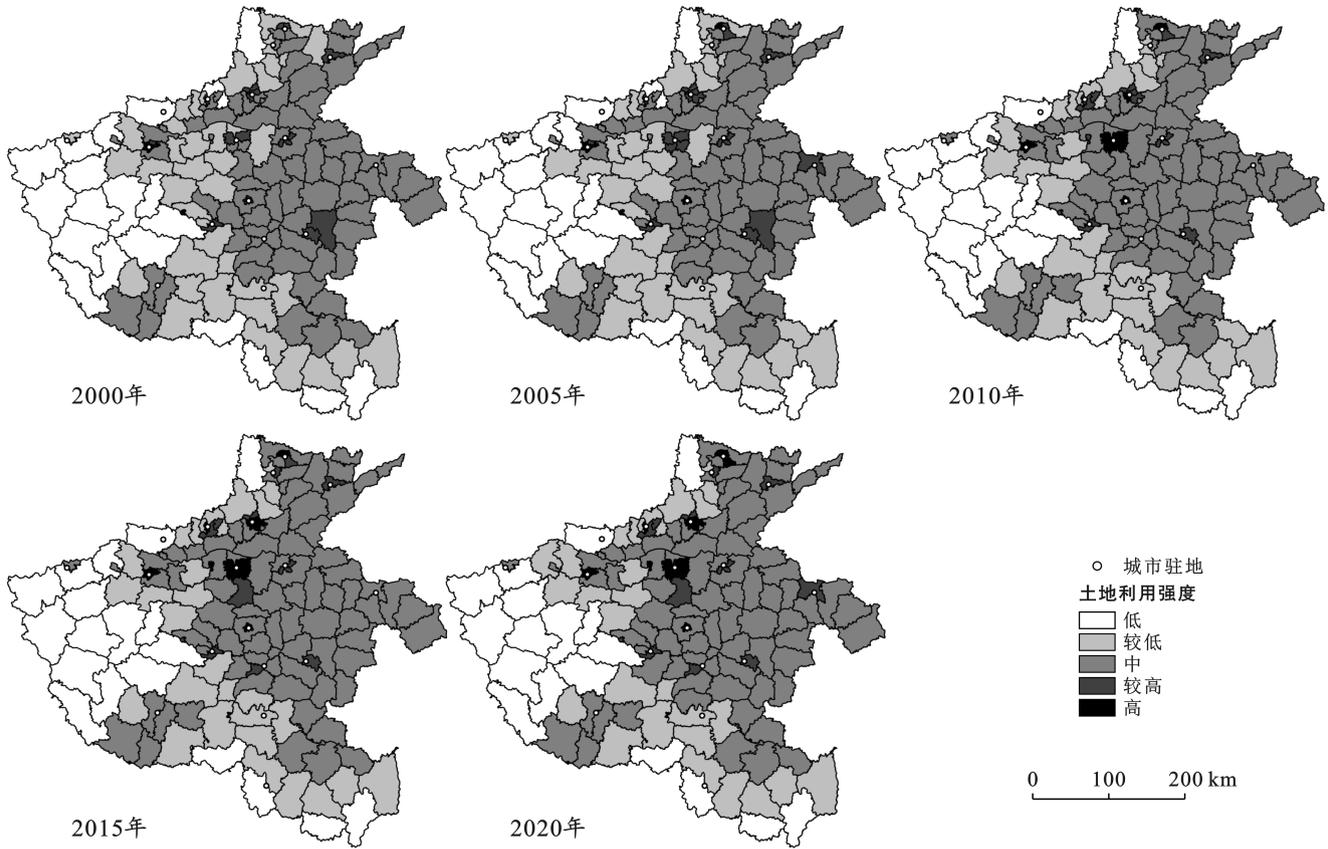


图 2 2000—2020 年河南省县域土地利用强度空间分布

Fig.2 Spatial distribution of land use intensity at county scale in Henan Province during 2000—2020

根据相关性分析结果显示(图 3):2000—2005 年之间的相关系数为 0.033($p=0$),2005—2010 年之间的相关系数为 0.324($p=0$),2010—2015 年之间的相关系数为 0.063($p=0$),2015—2020 年之间相关系数为 0.04($p=0$),显著性良好。总的来说,二者之间存在正相关关系。然而在部分地区,土地利用强度提高,也会引致碳排放降低,碳排放水平呈显著下降趋势,且城市间空间差异也在不断增大,具有相似特征的地区呈现出集中分布的趋势。例如郑州都市圈地区、洛阳都市圈地区的碳排放和土地利用强度两者之间显示出显著的正相关,即碳排放水平越高,土地利用强度越高。其中洛阳都市圈地区土地利用强度增加带来的碳排放降低最为显著,相反豫南地区大部分县区土地利用强度的增加会促进碳排放的增加,只有少数县区土地利用强度增加同时碳排放会降低,土地利用强度与碳排放的脱钩关系表现出显著空间异质性。

同时,基于碳排放与土地利用强度的脱钩分析,得出 2000—2005,2005—2010,2010—2015,2015—

2020 年土地利用强度和碳排放脱钩指数的空间分布特征(图 4)。2000—2020 年期间强脱钩、扩张负脱钩两种模式的研究单元比例总体最高,强脱钩模式的研究单元数量增加趋势相对较为明显,而扩张负脱钩模式研究单元数量呈现先增加后逐渐减少的趋势。强脱钩类型代表土地利用强度的增加的同时碳排放水平的降低,这种发展模式处于土地资源利用程度提高与碳排放降低的较为理想的状态。扩张负脱钩代表着土地利用强度增加的同时碳排放水平也在增加,且碳排放水平增加幅度大于土地利用强度,处于资源利用程度提高同时碳排放水平增加的两难状态。强脱钩类型的区域比例在 4 个时期分别为 34.18%, 9.89%, 48.73%, 59.49%, 其次是扩张负脱钩类型,这种类型在 4 个研究时段分别为 54.43%, 57.59%, 45.57%, 32.91%(表 6),而且碳排放水平的增加幅度高于土地利用强度的增加,代表了一种资源利用强度提高、碳排放水平增加的“双高”发展模式,这种模式是较为不理想的状态。

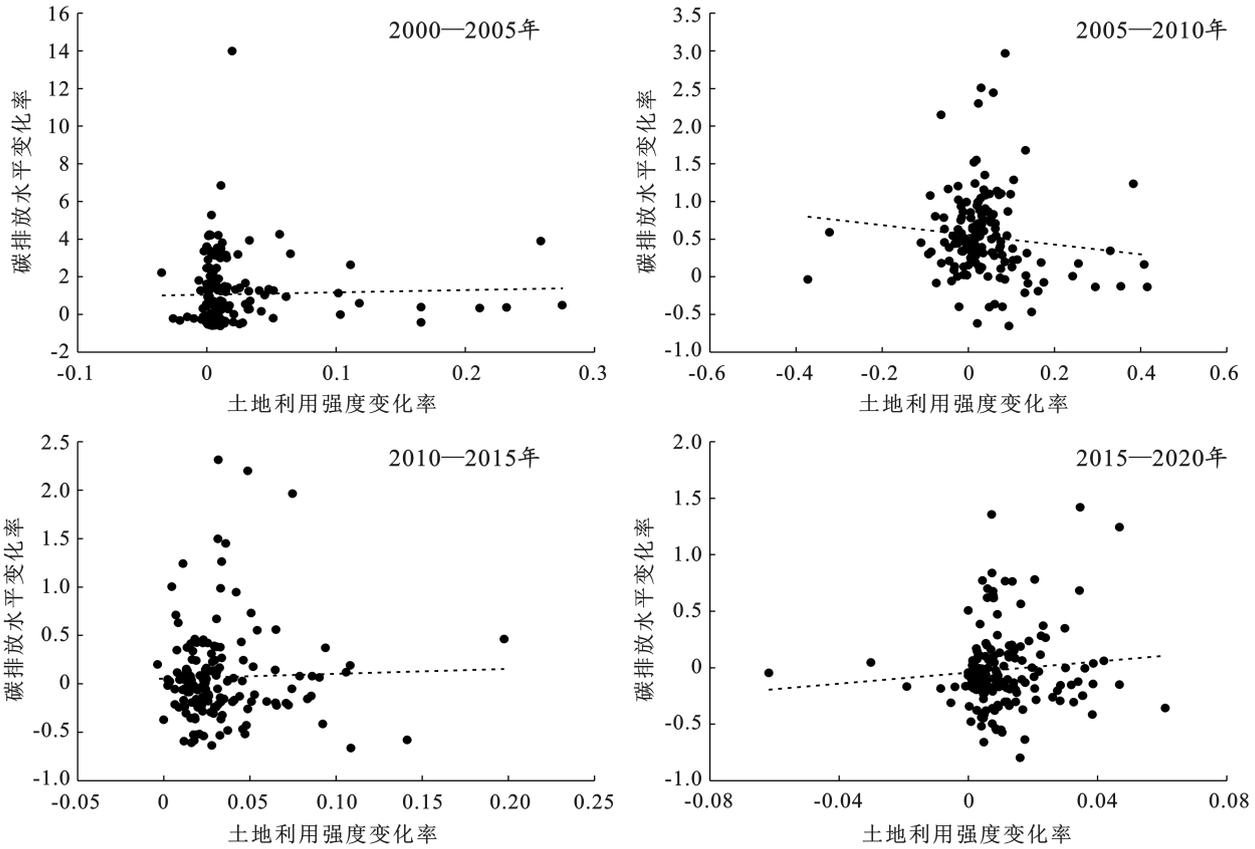


图 3 2000—2020 年河南省县域土地利用强度与碳排放量的散点图

Fig.3 Scatter plots of land use intensity and carbon emissions at counties of Henan Province during 2000—2020

表 6 2000—2020 年河南省县域土地利用强度与碳排放量脱钩逻辑可能性

Table 6 Likelihood of decoupling logic of land use intensity and carbon emissions at counties of Henan Province during 2000—2020

脱钩类型	区域所占比例/%			
	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2015—2020 年
无变化	1.90	0.84	0.00	2.58
强脱钩	34.18	9.89	48.73	59.49
弱脱钩	0.00	2.55	2.52	0.90
衰退脱钩	4.41	1.37	0.64	3.27
强负脱钩	5.10	25.75	0.64	0.60
弱负脱钩	0.00	0.00	0.00	0.00
扩张负脱钩	54.43	57.59	45.57	32.91
增长连接	0.00	1.37	1.91	0.85
衰退连接	0.00	0.64	0.00	0.00

具体而言,强脱钩模式研究单元的空间分布呈现出较强的空间集聚性,2000—2005 年主要集中分布于豫南生态功能区和豫东农产品区,2005—2010 年主要分布于郑州、焦作等工业化较发达区,2010—2015 年主要分布于环郑州都市圈的豫东、豫西区域,2015—2020 年主要分布于郑州、洛阳等城市化重点发展区和信阳、驻马店等生态功能区。扩张负脱钩类型在 2000—2005 年主要集中分布于豫北、豫中地区;

2005—2010 年主要离散分布在豫西、豫北地区;2010—2015 年主要分布在豫中、豫南地区;2015—2020 年主要分布于豫东、豫南部分区域(图 4)。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文基于碳排放量、土地利用强度指数等模型方法,采用 ArcGIS 空间分析平台,基于脱钩分析理论框架基础上,以河南省为例,对 2000—2020 年该省各县域土地利用与碳排放之间的脱钩关系进行测度。

(1) 碳排放水平随着经济社会发展而不断增加,且空间分布具有显著的空间异质性特征,经济、人口集聚度越高,地区碳排放水平越显著,可见碳排放的时空格局受到自然地理要素、人文和社会经济要素等多方面影响。

(2) 土地利用程度高和较高等级区域逐渐增加,总体保持着“高、低值区聚集、中值区分散”的空间格局,即以郑州、洛阳为主的城市化区域土地利用强度高值区和豫西、豫南土地利用程度低值区域总体空间聚集分布,而中值区域则分散分布于豫东、豫北区域。土地利用程度的时空格局演变表现出较为明显的空间自相关性。

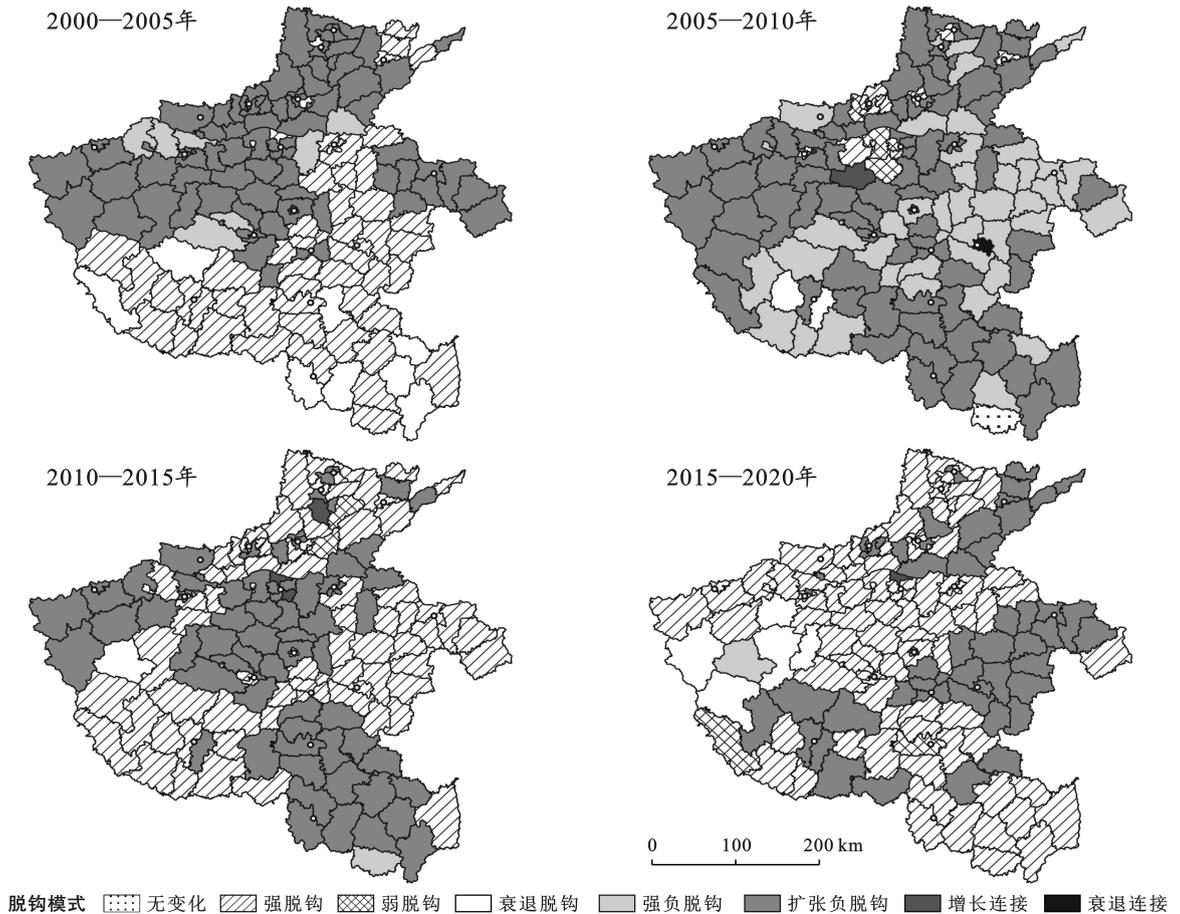


图 4 2000—2020 年河南省县域土地利用强度与碳排放脱钩模式的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of decoupling patterns of land use intensity and carbon emissions at counties of Henan Province during 2000—2020

(3) 当发展时期不同,土地利用对碳排放形成的干扰也会产生明显的差异,无论在时间上还是空间上差异性都较为显著。从脱钩分析结果可以获知,当土地利用强度提高时,碳排放会出现增加和降低两种现象。就河南省而言,该区域的土地利用强度和碳排放之间的关系充分体现出两种类型,即强脱钩和扩张负脱钩类型,前者是资源高效利用与低碳发展双赢的模式,后者是资源利用与控制碳排放两难的困境。

4.2 讨论

综上所述,不同地区在二者之间的脱钩关系程度方面有着明显差异。也正由于此,采用差异性管控政策对不同地区的发展才是高效的。而就扩张负脱钩类型区域来说,该区域面对两难境地,土地利用强度提高,也会引致碳排放增加。如果这种强度过度增加还会造成该区域生态系统受到破坏,协调土地利用强度和经济发展以及碳排放三者之间的相互促进发展关系,既是保护土地资源获得持久有效利用最有效方式,也是保护生态系统稳定发展的有效途径。通过测度土地利用强度高,并不可以直接作为衡量土地利用是否合理的依据。然而,在衡量土地利用是否合理时,碳排放是衡量和评估的一个最科学、最主要的指标。需

要研究创建一套科学合理的土地管理机制,采用节约用地模式,优化和改善总体用地结构和用地分配布局,提升土地利用效率,扩大生态用地范围,针对建设用地要予以严格把控,通过倒逼机制来减小土地利用强度提高时对生态系统形成的破坏程度。强脱钩类型虽然可以实现双赢,然而为了更好的保护生态环境完整不受破坏,需要全面释放土地和生态红利,促成生态环境保护和经济发展之间形成协调稳定的发展关系。

本研究采用脱钩分析方法,针对土地利用强度与碳排放之间的关系予以了一定程度的研究,研究结果显示:它们之间既存在负相关,也存在正相关。总体来说,负向影响要大于正向影响,研究成果有利于国土资源有效持久开发利用,为实现区域碳达峰和碳中和提供依据。由于数据获取的局限性,虽然本文通过引入土地利用强度测度了县级土地利用强度水平,但是鉴于土地利用本身较为复杂和多样,再加上环境条件异变性较强,强度空间差异性考虑不全面等问题。因此,本文并未探讨碳排放与土地利用结构、环境承载力、经济发展等多个要素之间的脱钩关系。所以,在后续的研究当中,将结合未考虑多方面要素,深入剖析碳排放和这些要素之间的脱钩关系。

[参 考 文 献]

- [1] Mooney H A, Duraiappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(S1): 3665-3672.
- [2] Aboumahboub T. On the CO₂ emissions of the global electricity supply sector and the influence of renewable power-modeling and optimization [J]. Energy Policy, 2012, 42: 297-314.
- [3] 孙建卫, 赵荣钦, 黄贤金, 等. 1995—2005年中国碳排放核算及其因素分解研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1284-1295.
- [4] 汪晗, 吴静兰, 张安录, 等. 土地利用强度碳排放效应分析: 以广西南宁为例[J]. 生态经济, 2016, 32(9): 42-46.
- [5] Zhou Xing. A comparative study on decoupling relationship and influence factors between China's regional economic development and industrial energy-related carbon emissions [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 783-800.
- [6] Li Yina. Decoupling analysis of carbon emission from construction land in Shanghai [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 210: 25-34.
- [7] 王尧. 京津冀经济增长与碳排放脱钩效应研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2019.
- [8] 陈芷君, 刘毅华, 林华荣. 广东省土地利用碳排放与经济增长之间的脱钩分析[J]. 生态经济, 2018, 34(5): 26-32.
- [9] 陈万旭, 李江风, 朱丽君. 长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(2): 325-337.
- [10] 徐泽, 李储, 牛陆. 呼包鄂榆城市群土地混合利用与碳排放的脱钩关系[J]. 环境科学研究, 2022, 35(1): 299-308.
- [11] 郑金铃. 城市、城市群与居民碳排放: 基于紧凑空间形态的研究[J]. 经济与管理, 2016, 30(1): 89-96.
- [12] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2565-2576.
- [13] 马远, 刘真真. 黄河流域土地利用碳排放的时空演变及影响因素研究[J]. 生态经济, 2021, 37(7): 35-43.
- [14] 景勇, 左玲丽, 彭文甫. 四川盆地西北部土地利用碳排放时空变化分析: 以绵阳市为例[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(06): 172-185.
- [15] 袁壮壮, 叶长盛, 李辉丹. 基于土地利用变化的南昌市碳排放效应分析[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2021, 44(5): 30-39.
- [16] 周璟茹, 赵华甫, 吴金华. 关中城市群土地集约利用与碳排放关系演化特征研究[J]. 中国土地科学, 2017, 31(11): 55-61.
- [17] 何勇, 姜允迪, 丹利, 等. 中国气候、陆地生态系统碳循环研究[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [18] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981—2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2007, 37(6): 804-812.
- [19] 肖红艳, 袁兴中, 李波, 等. 土地利用变化碳排放效应研究: 以重庆市为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2012, 29(1): 38-42.
- [20] 李颖. 江苏省农业能源消耗碳排放与经济发展脱钩分析[J]. 农业与技术, 2021, 41(24): 77-80.
- [21] 朴世龙, 方精云, 黄耀. 中国陆地生态系统碳收支[J]. 中国基础科学, 2010, 12(2): 20-22.
- [22] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 江苏南京: 南京大学, 2010.
- [23] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响[J]. 地理学报, 2010, 65(6): 708-714.
- [24] 沈薇, 翁翎燕, 刘柄麟, 等. 浙江省土地利用碳排放效应研究[J]. 资源与产业, 2020, 22(1): 61-68.
- [25] 宋旭, 贾俊松, 陈春帝, 等. 江西省能耗碳排放时空特征、脱钩关系及其驱动因素[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7451-7463.
- [26] Li Shicheng, Bing Zilu, Jin Gui. Spatially explicit mapping of soil conservation service in monetary units due to land use/cover change for the Three Gorges Reservoir area, China [J]. Remote Sensing, 2019, 11(4): 468.
- [27] 罗红. 泸州市农业碳排放公平性评价与脱钩弹性关系分析[D]. 四川成都: 四川师范大学, 2020.
- [28] 张志高, 袁征, 刘雪, 等. 基于投入视角的农业碳排放与经济增长的脱钩效应分析: 以河南省为例[J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 272-278.
- [29] 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.
- [30] 陈万旭, 曾杰. 中国土地利用程度与生态系统服务强度脱钩分析[J]. 自然资源学报, 2021, 36(11): 2853-2864.