引文格式：雷征,王易. 广西北部湾经济区土地利用碳排放与脱钩分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(9): 94-99. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.09.020

广西北部湾经济区土地利用碳排放与脱钩分析

雷　征[1,2]，王　易[1]
（1. 广西壮族自治区自然资源调查监测院，广西 南宁 530219；
2. 自然资源部北部湾经济区自然资源监测评价工程技术创新中心，广西 南宁 530219）

摘　要：基于2010—2020年土地利用数据、经济增长数据和能源消费数据，采用碳排放系数法和Tapio脱钩模型计算了广西北部湾经济区净碳排放总量，分析了与经济增长的脱钩关系。研究表明，广西北部湾经济区土地利用净碳排放量呈不断增长趋势，净碳排放量和碳排放强度总体呈东北高西南低的空间分布特征；与经济增长的关系在2015年和2020年处于扩张性负脱钩状态，其余年份处于弱脱钩状态，总体脱钩状态良好。

关键词：土地利用碳排放；经济增长；脱钩分析；广西北部湾经济区
中图分类号：TU984　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）09-0094-06

Land-use Carbon Emission and Decoupling Analysis in the Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

LEI Zheng[1,2], WANG Yi[1]
(1. Guangxi Institute of Natural Resources Survey and Monitoring, Nanning 530219, China;
2. Technology Innovation Center for Natural Resources Monitoring and Evaluation of Beibu Gulf Economic Zone, Ministry of Natural Resources, Nanning 530219, China)

Abstract: Based on the land-use data, economic development data and energy consumption data from 2010 to 2020, we used the carbon emission coefficient method and the Tapio decoupling model to calculate the total net carbon emission of the Guangxi Beibu Gulf Economic Zone and analyze the decoupling relationship with economic development. The research result shows that the net land-use carbon emission of the Guangxi Beibu Gulf Economic Zone is on the rise, the net carbon emission and carbon emission intensity generally show the spatial distribution characteristics of high in the northeast and low in the southwest. Land-use carbon emission and economic development are in an expansionary negative decoupling state in 2015 and 2020, in a weak decoupling state in the rest of the years, and the overall decoupling state is good.

Key words: land-use carbon emission, economic development, decoupling analysis, Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

土地是人类生产生活的重要场所，化石燃料燃烧、农业生产等人类活动导致的碳排放均以土地为载体。有研究证明，土地利用变化已成为仅次于化石能源燃烧的第二大温室气体排放源[1]。土地利用变化与社会经济发展息息相关[2]，土地利用碳排放与经济发展之间的关系是很多学者的研究重点，如王胜蓝[3]、邓宣凯[4]、程子腾[5]等分别以重庆市、武汉市、柳州市为例研究了土地利用碳排放与经济增长的关系；李玉玲[6]、陈芷君[7]、张兰[8]等则侧重陕西省、广东省、江苏省等省级层面的土地利用碳排放研究；赵爱文[9]、孙赫[10]等研究了全国土地碳排放与经济增长之间的脱钩关系和空间关联，其中王胜蓝[3]、程子腾[5]、陈芷君[7]等采用Tapio脱钩模型分析土地利用碳排放与经济增长的脱钩关系。土地利用碳排放效率也是学者们关注的重点，如董捷[11]、朱巧娴[12]等采用DEA、Malmquist指数模型对湖北省的土地利用碳排放效率和空间分异情况进行了分析；苏雅丽[13]等采用回归分析、IWD插值和Hopfield神经网络分析了陕西省不同土地利用方式的碳排放效益。可见，土地利用碳排放效率以及与经济发展之间关系的相关研究方法和技术思路较成熟，但当前的研究维度主要以全国、省、市为主，研究区域以北方和中部核心区、沿海发达地区为主，针对西部欠发达地区的城市群、经济发展区的研究较少。

收稿日期：2022-10-21。
项目来源：广西重点研发计划资助项目（桂科AB22080077）；广西科技基地和人才专项资助项目（桂科AD20238044）；广西空间信息与测绘重点实验室基金资助项目（191851011）。
第一作者简介：雷征（1984—），高级工程师，主要研究方向为土地利用与规划监测评估，E-mail：281411595@qq.com。

经济发展区是人口、城镇、工业、交通等密集的空间场所，人类社会经济活动较集中和活跃，比单个城市更复杂，对土地利用方式的影响也更大，碳排放时空特征以及与经济发展的互动关系更加典型。基于此，本文以西南地区经济发展相对落后的广西北部湾经济区为例，基于2010—2020年土地利用、经济发展等数据资料，采用碳排放系数法和Tapio脱钩模型对该区域的土地利用碳排放与经济增长之间的脱钩关系进行了定量评价，并分析了区域内各市碳排放空间格局特征与变化趋势，以期为该区域今后土地利用结构优化、能源使用和碳减排工作提供依据，为引导西南地区低碳可持续发展和差异化固碳减排政策制定提供理论和实践依据。

1　研究区概况

广西北部湾经济区是国家批复建设的国际区域经济合作区，是我国西部大开发和面向东盟开放合作的重点地区。辖区总用地面积为7.34万 km^2，占广西全区的30.90%。2021年实现地区生产总值12 148.78亿元，占广西全区的48.27%；社会消费品零售总额为4 415.49亿元，占广西全区的51.71%；进出口总额为4 839.63亿元，占广西全区的81.60%。该经济区拥有丰富的林地、海洋、矿产等自然资源以及近岸海域、红树林等生态资源，是我国西南生态屏障的重要组成部分，具有非常重要的生态区位。

2　研究方法与数据来源

2.1　碳排放测算

土地利用碳排放分为两种类型：各地类在开发利用过程中产生的直接碳排放以及承载人类活动造成的间接碳排放[1]。耕地、园地、林地、草地、水域和未利用地产生的碳排放一般归于直接碳排放，建设用地承载着人类生产生活带来的能源消耗碳排放，属于间接碳排放。为便于定量统计研究，引入相关测算公式。

1）直接碳排放测算方法。耕地、园地、林地、草地、水域和未利用地的碳排放（吸收）量计算公式为：

$$C_{E1}=\sum A_i\times\alpha_i \tag{1}$$

式中，A_i 为第 i 种地类的面积；α_i 为第 i 种地类的碳排放（吸收）系数。

本文在归纳已有文献的基础上采用经验借鉴法来确定耕地、园地、林地等地类的直接碳排放（吸收）系数（表1），参照相关学者的研究，本文将耕地碳排放系数确定为0.422 t/hm^2，将林地碳吸收系数确定为−0.644 t/hm^2，将草地和未利用地的碳吸收系数确定为−0.021 t/hm^2、−0.000 5 t/hm^2，将水域碳吸收系数确定为−0.025 3 t/hm^2，将园地碳吸收系数确定为−0.398 t/hm^2。

表1　直接碳排放（吸收）系数/(t/hm^2)

耕地	林地	草地	水域	未利用地	数据来源
0.422	−0.644	−0.020	–	–	苏雅丽[13]等
0.459 5	−0.612 5	−0.020 5	−0.025 3	−0.000 5	李彦旻[14]等
0.497	−0.612 5	−0.020 5	−0.041 0	−0.000 5	景勇[15]等
0.459 5	−0.612 5	−0.022	−0.025 3	−0.000 5	张杰[16]等
0.422	−0.644	−0.021	−0.218	−0.005	王怡欣[2]等
0.422	–	−0.002 1	−0.025 2	–	班垚尧[17]等

2）间接碳排放测算方法。建设用地的碳排放主要是由其利用过程中的能源消耗产生[18]，广西北部湾经济区能源消耗以煤炭、石油、天然气和电力及其他能源为主，因此本文主要测算这4类主要能源的碳排放量。具体测算公式为：

$$C_{E2}=\sum_{i=1}^{3}E_i\times\beta_i \tag{2}$$

式中，E_i 为第 i 种能源的能源消耗量（t）；β_i 为第 i 种能源的碳排放系数，是单位能源消费产生的碳排放量。

IPCC、美国能源经济研究所、日本能源经济研究所等都公布了煤炭、石油、天然气三大主要能源的碳排放系数，为更加符合我国能源碳排放的实际情况，本文主要参考国内相关机构和学者确定的碳排放系数（表2），可以看出，国内不同机构和学者采用的碳排放系数差别不大，本文选取国家发展改革委能源研究所、国家环保局温室气体控制项目、《中国能源统计年鉴》等国内较权威部门采用的碳排放系数均值来测算广西北部湾经济区的能源消耗碳排放量，煤炭、石油、天然气碳排放系数分别取值为0.743 t(C)/t、0.580 t(C)/t、0.436 t(C)/t。

表2　间接碳排放系数/(t(C)/t)

煤炭	石油	天然气	数据来源
0.748	0.583	0.444	国家发展改革委能源研究所
0.748	0.583	0.444	国家环保局温室气体控制项目
0.726	0.583	0.409	国家科学技术委员会气候变化项目
0.748	0.572	0.448	《中国能源统计年鉴》
0.748	0.583	0.444	徐国泉[19]等
0.723	0.552	0.422	董捷[11]等
0.744	0.572	0.436	王胜蓝[3]等

电力及其他能源属于二次能源，二次能源在消耗中不直接产生碳排放，其碳排放主要来自于二次能源生产过程中对化石能源的消耗[20]。广西北部湾经济区各市电力主要来自火力（煤炭）发电，因此电力及其

他能源消耗产生的碳排放按照煤炭的碳排放系数进行折算，其碳排放系数为0.743 t(C)/t。

2.2 Tapio脱钩分析

Tapio脱钩弹性模型能动态分析碳排放变化对经济发展的敏感程度，具体计算公式为：

$$T=\frac{\Delta C/C_n}{\Delta \mathrm{GDP}/\mathrm{GDP}_n}=\frac{EP}{DP} \tag{3}$$

式中，T 为脱钩弹性；ΔC 和 ΔGDP 分别为碳排放和GDP在研究末期相对于研究初期的变化量；C_n 为研究初期碳排放量；GDP_n 为研究初期GDP；EP 为碳排放的年增长率；DP 为经济年增长率。脱钩状态可划分为脱钩、负脱钩和连接3大类，细分为弱脱钩、强脱钩、衰退性脱钩、弱负脱钩、强负脱钩、扩张性负脱钩、扩张连接和衰退连接等8种类型（表3）。

表3 脱钩状态与脱钩弹性分类

状态	脱钩类型	EP	DP	脱钩弹性
脱钩	弱脱钩	>0	>0	$0\leqslant T<0.8$
	强脱钩	<0	>0	$T<0$
	衰退性脱钩	<0	<0	$T>1.2$
负脱钩	扩张性负脱钩	>0	>0	$T>1.2$
	强负脱钩	>0	<0	$T<0$
	弱负脱钩	<0	<0	$0\leqslant T<0.8$
连接	扩张连接	>0	>0	$0.8\leqslant T\leqslant 1.2$
	衰退连接	<0	<0	$0.8\leqslant T\leqslant 1.2$

2.3 数据来源

本文采用的社会经济发展数据、能源数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《广西国民经济和社会发展统计公报》《广西统计年鉴》以及北部湾经济区所辖各市统计年鉴；土地利用数据来源于自然资源主管部门的土地利用变更调查成果；能源碳排放系数来源于《2006年IPCC国家温室气体清单指南》和已有学者们的研究结果。

3 研究结果与分析

3.1 土地利用碳排放总量与时序变化

由表4可知，2010—2020年广西北部湾经济区土地利用净碳排放量呈不断增长趋势，由2 022.24万t增至3 228.92万t，增长了59.67%。2010—2013年每年净碳排放增长率较高，均在5.0%以上，尤其是2010年达到了9.20%，这期间城镇化水平大幅提升，建设用地面积不断增加，同时伴随经济区沿海产业的发展，能源消耗量不断攀升，碳排放总量迅速增长；2014年以后每年净碳排放增长率降低，均在5.0%以下，这与政府部门将污染减排指标列入经济社会发展主要目标和年度绩效考核等管控措施有关，各地节能减排工作取得了一定成效。

从土地利用类型来看，建设用地是主要碳源，碳排放贡献率逐年增加，由2010年的95.88%增至2020年的97.93%；耕地是第二碳源，但与建设用地相比，其碳排放贡献率较低，且在城镇化进程中耕地被不断侵占，碳排放贡献率从4.12%降至2.07%；林地是主要碳汇，2010—2020年碳汇贡献率均在88%以上，但林地的碳吸收量远低于建设用地承载的碳排放量；园地、水域的碳汇贡献率明显低于林地；区内草地较少，草地的碳汇贡献率较低。

表4 2010—2020年广西北部湾经济区不同地类碳排放（吸收）

年份	耕地/万t	园地/万t	林地/万t	草地/万t	水域/万t	未利用地/万t	建设用地/万t	净碳排放量/万t	碳排放增长率/%
2010年	93.42	−16.89	−219.88	−0.55	−10.41	−0.16	2 176.71	2 022.24	9.20
2011年	93.25	−16.81	−219.59	−0.54	−10.41	−0.16	2 354.27	2 200.01	8.79
2012年	70.02	−16.81	−219.60	−0.54	−10.41	−0.16	2 500.24	2 322.73	5.58
2013年	93.34	−16.72	−219.33	−0.54	−10.37	−0.16	2 685.53	2 531.75	9.00
2014年	93.16	−16.68	−219.17	−0.54	−10.34	−0.16	2 786.85	2 633.12	4.00
2015年	92.98	−16.66	−219.00	−0.53	−10.32	−0.16	2 847.22	2 693.53	2.29
2016年	92.84	−16.61	−218.90	−0.53	−10.29	−0.16	2 940.97	2 787.31	3.48
2017年	92.66	−16.55	−218.72	−0.53	−10.26	−0.16	3 035.56	2 881.98	3.40
2018年	92.19	−16.44	−218.33	−0.53	−10.23	−0.16	3 153.32	2 999.82	4.09
2019年	73.47	−18.66	−272.99	0.00	−8.09	−0.04	3 304.99	3 078.68	2.63
2020年	73.02	−18.72	−272.35	0.00	−8.10	−0.04	3 455.12	3 228.92	4.88

3.2 土地利用碳排放空间分布格局

由图1可知，广西北部湾经济区土地利用净碳排放区域差异显著，总体呈东北高西南低的空间分布特征，核心城市南宁的净碳排放量最高，人口密集区玉林次之，沿海城市北海和钦州处于中等水平，崇左和防城港较低。2010—2020年净碳排放空间变化也较明显，净碳排放高和较高区域分布范围持续扩大，2010年净碳排放量集中区域在南宁、钦州和玉林，净碳排放

总量达到1 453.55万t，占整个经济区的71.88%；2015年主要集中在南宁、玉林、钦州和北海，排放总量为2 242.03万t，占整个经济区的83.24%；2020年南宁和玉林的净碳排放仍占主导，崇左由低排放区域演变为中等排放区域，低排放区域由2010年的3个市减至1个。

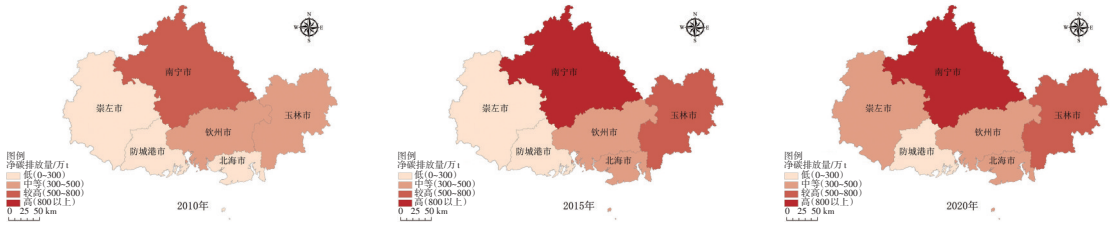


图1　2010年、2015年、2020年广西北部湾经济区各市净碳排放量空间分布图

审图号：桂S(2022)42号

由图2可知，2010—2020年广西北部湾经济区土地利用碳排放强度整体呈下降趋势，由0.47 t/万元降至0.30 t/万元；其空间分布和演变趋势与净碳排放不同，总体呈现北低南高、中心低周边高的空间分布特征。2010年钦州和北海较高，但均呈快速下降趋势，玉林和崇左也较高，呈下降趋势但速度较慢，南宁处于中等水平，呈下降且趋缓态势，防城港较低，且逐年下降；2015年北海由较高碳排放强度区域演变为低碳排放强度区域，钦州由较高碳排放强度区域演化为较低区域，经济区已没有较高碳排放强度区域；2020年南宁、北海、钦州、防城港全部为低碳排放强度区域。

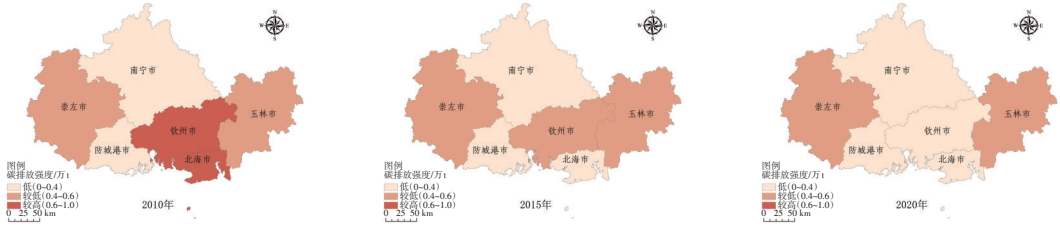


图2　2010年、2015年、2020年广西北部湾经济区各市碳排放强度空间分布图

审图号：桂S(2022)42号

由此可见，2010—2020年广西北部湾经济区和各市的净碳排放量不断上升，但随着能源结构调整和碳减排措施的深入实施，整个经济区的碳排放强度不断降低，崇左和玉林的经济发展主要依赖糖、锰、机械等高能耗产业，碳排放强度下降速度较慢，在今后的发展中应更加注重调整产业结构、推动产业转型升级、加快节能减排。

3.3　土地利用碳排放与经济增长脱钩关系分析

由表5可知，2010—2020年广西北部湾经济区GDP增长率与土地利用碳排放量的增长率均为正，说明GDP和土地利用碳排放总量均呈增长趋势；除2015年和2020年外，其他年份的土地利用碳排放增长率均小于GDP增长率，阶段性特征明显。2010—2013年土地利用碳排放增长率较高，2010年最高，为9.20%，随后缓慢震动下降，到2014年出现迅速下降趋势，2015年达到最低，为2.29%；2016—2020年土地利用碳排放增长率呈现下降、上升交替变化趋势。GDP增长率的波动较明显，2010—2011年保持高位增长态势，增长率均在20%以上；2012—2014年GDP增长率放缓，2015年直降至0.13%，又迅速增至2017年的10.66%，随后GDP增长率也呈下降、上升、下降交替变化态势。

2010—2014年土地利用碳排放和GDP一直处于弱脱钩状态，说明这期间广西北部湾经济区的土地利用碳排放增长速度小于经济增长速度；脱钩弹性指数在2015年达到最大，为18.144 85，呈扩张性负脱钩状态，碳排放增长率明显高于GDP增长率，2016—2019年弹性值上升、下降交替变化，脱钩状态一直保持弱脱钩，2020年碳排放增长率再一次高于GDP增长率，达到1.282 48，呈现扩张性负脱钩状态。2016—2019年脱钩弹性指数平均值0.415 24小于2010—2014年的0.467 78。总体来讲，2010—2020年广西北部湾经济区土地利用碳排放与经济增长的脱钩状态良好，这与广西北部湾经济区实施的大力打造向海经济、构建生态环境协同监管体系、高效运行环境污染联防联治机制、牢固构筑西南生态安全屏障等绿色发展战略具有

密切联系。

表5 2010—2020年广西北部湾经济区土地利用碳排放与经济增长的脱钩关系

年份	土地利用碳排放增长率	GDP增长率	脱钩弹性指数	脱钩状态
2010年	0.091 97	0.219 54	0.418 92	弱脱钩
2011年	0.087 91	0.238 97	0.367 86	弱脱钩
2012年	0.055 78	0.110 36	0.505 43	弱脱钩
2013年	0.089 99	0.127 69	0.704 75	弱脱钩
2014年	0.040 04	0.117 09	0.341 92	弱脱钩
2015年	0.022 94	0.001 26	18.144 85	扩张性负脱钩
2016年	0.034 82	0.093 76	0.371 35	弱脱钩
2017年	0.033 97	0.106 59	0.318 66	弱脱钩
2018年	0.040 89	0.059 30	0.689 47	弱脱钩
2019年	0.026 29	0.093 40	0.281 47	弱脱钩
2020年	0.048 80	0.038 05	1.282 48	扩张性负脱钩

4 结论与建议

4.1 研究结论

广西北部湾经济区土地利用净碳排放量呈不断增长趋势，2010—2013年土地利用净碳排放年均增长率高于2014—2020年。建设用地是主要碳源地类，碳排放贡献率逐年增加；林地是主要碳汇地类，碳汇贡献率在88%以上，但林地的碳吸收量远低于建设用地承载的碳排放量。

广西北部湾经济区净碳排放量和碳排放强度总体呈东北高西南低的空间分布特征。从净碳排放总量来看，南宁最高，玉林次之，北海和钦州处于中等水平，防城港和崇左较低。从碳排放强度来看，钦州、北海、玉林、崇左较高，但钦州和北海呈快速下降趋势，玉林和崇左虽也呈下降趋势，但下降速度较慢；南宁处于中等水平，呈下降且趋缓态势；防城港较低，且逐年下降。

广西北部湾经济区土地利用碳排放与经济增长的脱钩关系在2015年和2020年处于扩张性负脱钩状态，脱钩弹性指数大于1，土地利用碳排放量增长速度大于经济增长速度；其余年份土地利用碳排放与经济增长均处于弱脱钩状态，脱钩弹性指数呈现下降、上升、下降交替起伏变化态势。整体来讲，研究期内广西北部湾经济区土地利用碳排放与经济增长的脱钩状态良好。

4.2 相关建议

1）基于不同城市功能定位合理控制建设用地规模。根据广西北部湾经济区6市的功能定位、经济基础、资源禀赋等合理确定各类建设用地规模。南宁作为广西首府和北部湾经济区的核心，在适当满足交通、物流、旅游、产业等用地需求的同时，应严格控制城镇建设用地和农村居住用地规模。北海、钦州和防城港是经济区对外开放的前沿与窗口，当前发展重点是内涵挖潜与品质提升，在控制好城镇开发边界的同时，需尽快完成数量向质量的转变与提升。玉林和崇左则要严格控制淘汰落后产业用地规模，通过控制碳排放来限制新增建设用地向高能耗、高污染产业的供应审批。广西北部湾经济区作为整体，还需进一步加强各市间重大基础设施和公共服务设施的共建共享，避免多次重复建设产生不必要的建设用地碳排放。

2）采取差别化产业发展政策促进用地结构布局优化。依托交通枢纽、产业园区和边贸集群，加强城市间产业分工协作，加快形成“综合效益好、空间格局优、生态环境美”的一体化发展态势。钦州、北海、防城港应发挥沿海沿边优势，集中发展临港优势产业，打造北部湾石化基地、冶金和有色金属精深加工基地，形成具有国际竞争力的向海产业发展带。南宁则发挥首府优势，大力发展现代金融、数字经济、先进制造等“硬核”产业，将资本和劳动密集型产业适当分散到经济区其他城市。玉林和崇左要逐步淘汰用地粗放、能耗高、污染大的劣势产业，集中力量将优势产业推向纵深化发展。对经济区内已不适宜发展工业产业的区域，逐步缩减或调出产业用地，通过不断调整能源消耗结构和产业用地结构有效降低碳排放强度。

3）调整改进土地利用方式推动土地利用效率提升。紧紧围绕“减排降碳”主要目标，加大存量建设用地、低效工业用地、工矿废弃地的盘活利用，不断提高土地利用效率。加快现有城镇存量用地的盘活利用，控制产生新的城镇存量用地，引导多主体参与城镇低效用地再开发。制定工业产业用地碳排放负面清单，通过严格限制高污染、高能耗产业的用地供应形成倒逼机制，尤其是倒逼玉林、崇左等落后产能的转型升级，引导土地利用优惠政策向新兴、高科技产业倾斜。玉林和崇左可在盘活利用存量用地、优化产业用地空间布局的前提下，承担来自粤港澳大湾区的产业转移，但应严格限制碳排放量高的产业入驻。继续发挥钦州、防城港林地资源较丰富的优势，通过不断增加林地碳汇量、发展生态经济的方式，继续提高脱钩发展水平。

参考文献

[1] 曲福田，卢娜，冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J].

中国人口·资源与环境,2011,21(10):76-83
[2] 王怡欣,崔佳.哈长城市群土地利用碳排放的时空演化及脱钩分析[J].农业与技术,2021,41(18):92-97
[3] 王胜蓝,周宝同,陈怡君,等.重庆市土地利用碳排放与经济增长的脱钩分析[J].内江师范学院学报,2016,31(10):52-56
[4] 邓宣凯.武汉市土地利用碳排放特征及与经济增长的脱钩分析[J].武汉学研究,2021(1):179-196
[5] 程子腾,严金明,高峰.土地利用碳排放与经济增长研究:以柳州市为例[J].生态经济,2016,32(8):87-89
[6] 李玉玲.基于脱钩分析的土地利用碳排放与经济增长关系研究:以陕西省为例[J].新疆农垦经济,2017(7):48-56
[7] 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
[8] 张兰,刘友兆,郑华伟.江苏省土地承载碳排放及其脱钩效应分析[J].资源科学,2012,34(6):1 108-1 118
[9] 赵爱文,李东.中国碳排放与经济增长间脱钩关系的实证分析[J].技术经济,2013,32(1):106-111
[10] 孙赫,梁红梅,常学礼,等.中国土地利用碳排放及其空间关联[J].经济地理,2015,35(3):154-162
[11] 董捷,贡开奇.湖北省土地利用碳排放总量及其效率[J].水土保持通报,2016,36(2):337-342
[12] 朱巧娴,梅昀,陈银蓉,等.基于碳排放测算的湖北省土地利用结构效率的DEA模型分析与空间分异研究[J].经济地理,2015,35(12):176-184
[13] 苏雅丽,张艳芳.陕西省土地利用变化的碳排放效益研究[J].水土保持学报,2011,25(1):152-156
[14] 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
[15] 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(6):172-185
[16] 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
[17] 班垚尧,刘彦花.广西土地利用变化及其碳排放效应研究[J].大众科技,2020(2):7-11
[18] 张晓光,张赢心,李士美,等.基于土地利用的青岛市碳排放变化特征与预测[J].地理空间信息,2022,20(5):1-5
[19] 徐国泉,刘则渊,姜照华.中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995—2004[J].中国人口·资源与环境,2006,16(6):158-161
[20] 朱勤,彭希哲,陆志明,等.中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析[J].资源科学,2009,31(12):2 072-2 079

(上接第66页)

[21] Ding Q, Shao Z, Huang X, et al. Monitoring, Analyzing and Predicting Urban Surface Subsidence: A Case Study of Wuhan City, China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2021,102(6):1-13
[22] 肖巍峰,杨文涛,李朝奎,等.基于PS-InSAR数据的北京市地面沉降影响因素及其交互作用探测[J].地理信息世界,2020,27(6):7-13
[23] Wang W H, He Y, Zhang L F, et al. Analysis of Surface Deformation and Driving Forces in Lanzhou[J]. Open Geosciences,2020,12(1):1 127-1 145
[24] 郭世鹏,张王菲,康伟,等.融合PS、SBAS、DS InSAR技术的昆明地面沉降研究[J].遥感技术与应用,2022,37(2):460-473
[25] 周定义,左小清,喜文飞,等.时序新方法在城市地面沉降监测中的研究[J].测绘科学,2022,47(5):115-124
[26] Li S M, Wang Z M, Yuan L W, et al. Mechanism of Land Subsidence of Plateau Lakeside Kunming City Cluster (China) by MT-InSAR and Leveling Survey[J]. Journal of Coastal Research,2020,115(S1):666-675
[27] 支泽民,陈琼,张强,等.地理探测器在判别滑坡稳定性影响因素中的应用:以西藏江达县为例[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(2):19-26
[28] 姜乃齐,左小清,王志红,等.基于PS-InSAR和SBAS技术监测昆明市主城区地面沉降[J].贵州大学学报(自然科学版),2020,37(4):72-78
[29] 熊鹏,左小清,李勇发,等.双极化Sentinel-1数据在昆明市沉降监测中的应用[J].地球物理学进展,2020,35(4):1 317-1 322
[30] Shi X G, Zhang S C, Jiang M, et al. Spatial and Temporal Subsidence Characteristics in Wuhan City (China), During 2015-2019, Inferred from Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) Interferometry[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences,2021,21(8):2 285-2297
[31] 王艳,葛大庆,张玲,等.升降轨PSInSAR地面沉降监测结果的互检验与时序融合[J].国土资源遥感,2014,26(4):125-130
[32] 李益敏,刘师祷,李盈盈,等.福贡县土壤侵蚀时空变化及其影响因素分析[J].水土保持研究,2022,29(3):57-63