

广东省土地利用—碳减排—经济增长的脱钩关系

张中秋^{1,2}, 劳燕玲^{2,3}, 赵宁俊¹, 韦金洪⁴, 胡宝清⁵

(1.北部湾大学 资源与环境学院, 广西 钦州 535011; 2.钦州市国土资源利用与监测重点实验室, 广西 钦州 535011; 3.广西北部湾海洋灾害研究重点实验室, 广西 钦州 535011; 4.北部湾大学 经济管理学院, 广西 钦州 535011; 5.南宁师范大学 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西 南宁 530001)

摘要: [目的] 探究土地利用碳排放及其与经济增长的脱钩关系并进行实证分析,为广东省在“十四五”期间绿色低碳循环经济发展提供参考依据。[方法] 运用碳排放系数法,测算广东省2003—2018年土地利用碳排放量。借助经济合作与发展组织(OECD)脱钩模型,评估了土地利用碳排放与经济增长的脱钩情况。采用灰色关联模型,分析了影响脱钩情况的主要因素。[结果] ①广东省土地利用碳排放量由2003年的 2.39×10^8 t增加到2018年的 6.72×10^8 t,碳排放总量增加 4.33×10^8 t,年平均增长率达7.2%; ②土地利用碳排放与经济增长的脱钩指数总体变化为2003—2008年由0.948 3下降至0.296 9,2009—2015年由0.941 8先增至1.123 6再降至0.257 2,2016—2018年由0.471 9下降至0.416 8。脱钩关系大体经历了“相对脱钩Ⅳ—相对脱钩Ⅱ—绝对挂钩—相对脱钩Ⅰ—相对脱钩Ⅳ—相对脱钩Ⅱ”发展过程,尚未形成稳定的脱钩状态; ③从碳排放视角来看,产业结构和煤炭消费比例与脱钩关系的关联度为0.748,0.741,是主要影响因素。从经济发展视角来看,社会固定资产投资和科研经费支出与脱钩关系的关联度为0.782,0.772,是主要驱动因素。[结论] 土地利用碳排放与经济增长脱钩发展的本质是以碳减排为核心的区域经济与资源环境协调发展的关系,广东省土地利用碳排放量与经济发展均呈递增趋势,当前阶段虽然土地利用碳排放量的增长率为正值且低于经济发展增长率,但土地利用碳排放量的增速放缓,有利于二者向绝对脱钩状态发展。

关键词: 土地利用碳排放; 经济增长; 脱钩分析; 影响因素; 灰色关联度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)01-0250-09

中图分类号: F301.2, X24

文献参数: 张中秋, 劳燕玲, 赵宁俊, 等. 广东省土地利用—碳减排—经济增长的脱钩关系[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 250-258. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.033; Zhang Zhongqiu, Lao Yanling, Zhao Ningjun, et al. Decoupling relationship of landuse carbon emission reduction and economic growth in Guangdong Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 250-258.

Decoupling Relationship of Landuse Carbon Emission Reduction and Economic Growth in Guangdong Province

Zhang Zhongqiu^{1,2}, Lao Yanling^{2,3}, Zhao Ningjun¹, Wei Jinhong⁴, Hu Baoqing⁵

(1.College of Resources and Environment, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi

535011, China; 2.Qinzhou Key Laboratory of Land Resources Use and Monitor, Beibu

Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011, China; 3.Guangxi Key Laboratory of Marine

Disaster in the Beibu Gulf, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011, China; 4.School of Economics and

Management, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011, China; 5.Key Laboratory of Environmental Evolution and Resources Utilization in Beibu Gulf Under Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530001, China)

Abstract: [Objective] The decoupling mechanism between landuse carbon emission and economic growth was analyzed, and an empirical study was conducted in order to provide a reference for developing a green low-carbon circular economy in Guangdong Province during the 14th five-year plan period. [Methods] Using the carbon emission coefficient method, the landuse carbon emissions of Guangdong Province from 2003 to

收稿日期: 2021-07-08

修回日期: 2021-10-07

资助项目: 国家社会科学基金项目“北部湾‘山水林田湖海’关键性生态修复与城镇化融合发展的多维测度与优化研究”(21XGL015); 国家自然科学基金项目(41966007); 广西哲学社会科学项目(20CGL004)

第一作者: 张中秋(1989—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 信息系统项目管理师(高级), 房地产经济师, 房地产估价师, 主要从事土地利用与国土综合整治研究。Email: syzzq2008@aliyun.com。

通信作者: 劳燕玲(1974—), 女(汉族), 广西壮族自治区灵山县人, 教授, 主要从事国土空间规划研究。Email: laoyanling768@163.com。

2018 were calculated. With the organization for economic co-operation and development (OECD) decoupling model, the decoupling between landuse carbon emissions and economic growth was evaluated. The main factors affecting the decoupling were analyzed by the grey correlation model. [Results] ① The carbon emissions from land use in Guangdong Province increased from 239.256 9 tons in 2003 to 671.973 9 million tons in 2018, and the total carbon emissions increased by 432.716 9 million tons in 15 years, with an average annual growth rate of 7.2%. ② The decoupling index decreased from 0.948 3 in 2003 to 0.296 9 in 2008; increased from 0.941 8 to 1.123 6 and then decreased to 0.257 2 in 2009—2015; and decreased from 0.471 9 in 2016 to 0.416 8 in 2018. The decoupling relationship between landuse carbon emissions and economic growth in Guangdong Province had generally undergone the development process of “relative decoupling IV, relative decoupling II, absolute linkage, relative decoupling I, relative decoupling IV and relative decoupling II”, A stable decoupling state had not yet been formed. ③ From the perspective of carbon emissions, industrial structure and proportion of coal consumption were the main influencing factors, with correlation values of 0.748 and 0.741. From the perspective of economic development, social fixed assets investment and scientific research funds were the main driving factors, with correlation values of 0.782 and 0.772. [Conclusion] The essence of decoupling development between landuse carbon emission and economic growth is the coordinated development of the regional economy, and resources and environment centered on carbon emission reduction. Landuse carbon emissions and economic development in Guangdong Province currently showed an increasing trend, although the growth rate of landuse carbon emissions is positive and lower than the growth rate of economic development. However, the growth rate of landuse carbon emissions is gradually slowing, and this development will be conducive to the absolute decoupling between land use carbon emissions and economic growth.

Keywords: landuse carbon emissions; economic growth; decoupling analysis; influencing factor; grey relativity

近年来,温室效应所引发的全球气候变化等生态环境问题逐年加剧,二氧化碳的减排增汇成为高度关注的热点。中国在转型发展中作出了重大决策,力争实现“2030年前碳达峰,2060年前碳中和”目标。当前阶段,如何有效实施节能减排,促进绿色、低碳、循环发展,成为新时代生态文明建设的重要话题。政府界和学术界从相对宏观的产业结构转型、能源结构转型、发展低碳交通绿色建筑、建立碳披露制度等方面进行了实证研究,并取得了较好的成效。

土地利用碳排放是仅次于化石能源消耗的第二大碳排放源^[1],经济发展引起土地利用变化,并对自然界的碳循环产生显著影响。因此,深入剖析土地利用碳排放与经济增长之间的关系,对于科学制定节能减排方案意义重大,也是推动区域碳中和及可持续发展的关键。

土地利用碳排放与经济发展关系研究不仅是新时期生态文明建设中一个重要的哲学命题,也是指导中国经济社会持续发展的重要范式,学者们对其进行了大量研究。国外学者侧重从陆地生态系统碳循环角度开展了土地利用碳源、碳汇测算^[2]、影响因素分析^[3]、土地利用碳排放与经济发展关系等^[4]方面的研究。国内学者以土地利用碳排放与经济增长的理论

研究为基础^[5-6],通过脱钩^[7-8]、VECM模型^[9]、碳足迹等^[10]模型,分析了二者之间的关系,运用灰色关联模型等探究了影响因素^[11],搭建了低碳土地利用模式^[12],并提出相应的优化建议^[13]。土地利用碳排放及其脱钩效应已取得了丰硕研究成果,以此为基础,开展土地利用碳排放与经济发展的关系研究,成为当前国内众多学者的关注点。一部分采用定性法分析经济增长过程中,碳减排效益与优化路径^[14]。另一部分采用定量法,依据低碳经济理论和脱钩发展理论,借助计量统计模型,将碳排放量 and 经济指标进行量化关系分析。例如,EKC曲线和Granger因果关系等相互关系的验证^[15]。

已有研究表明,由于各区域发展特性存在异质性和发展时段的不同,碳排放与经济增长之间既存在同步关系,又存在非同步关系^[14],需要通过定性和定量相结合的方式有针对性的开展探索性研究。通过文献梳理,已有研究取得了较好的成果,为本文提供了重要参考,但也存在一定的不足,主要表现为:①对土地利用碳排放与经济增长脱钩的关系分析局限于表面的定性描述,缺乏详细的内在机理和对各因素量化的深层次剖析;②经济增长多以GDP总量或是GDP含金量衡量,较少通过对比分析法并结合区域经济发展均衡性问题,选定经济增长的衡量指标。土

地利用间接碳排放只考虑能源消耗,较少考虑建筑材料生产所产生的碳排放;③侧重对土地利用碳排放与经济增长总体关系的量测,详细的影响因素及其定量化分析有待强化。

鉴于上述分析,本文运用脱钩模型,以中国 GDP 大省、能源消耗大省和人口流动大省的广东为例,梳理了土地利用碳排放与经济增长的脱钩机理,分析了二者间的时空演变特征。运用综合评价模型和灰色关联模型,在构建影响脱钩关系指标体系的基础上,通过定量测算各指标因素的灰色关联度,进而分析影响脱钩关系的主要驱动力,以期广东省在“十四五”期间开展绿色低碳循环经济发展提供参考依据。

1 研究区概况

广东省是中国经济发展大省。2018 年广东省 GDP 为 9.995×10^{12} 元,位列中国各省、自治区、直辖市首位,占全国 GDP 总量的 11.1%。2018 年广东省耕地面积约 2.59×10^6 hm^2 ,占全国耕地总量的 1.9%。城市建设用地面积约 5.21×10^5 hm^2 ,占全国城市建设用地面积总量的 9.29%。能源消费总量为 3.33×10^8 t 标准煤,占全国能源消费总量的 7.06%。总人口数为 1.14×10^8 人,占全国总人口量的 8.13%。统计数据显示,广东省用占全国约 1.9% 的耕地,供养占全国 8.13% 的人口,在创造 11.1% 的国内生产总值过程中,消耗了 7.06% 的能源,其土地利用、能源消耗、经济增长在全国各省范围具有较强的典型性。

近年来,广东省响应国家经济转型发展战略,大力开展供给侧结构性改革,在借助珠三角、粤港澳大湾区建设等区位和政策优势下,持续推动经济社会向高质量发展转变。在 2021 年发布的“十四五”规划纲要中明确提出了要“大力推进绿色低碳循环发展,积极应对气候变化”等发展策略。本研究以广东省为例,进行土地利用碳排放与经济增长脱钩关系及其驱动力研究,具有较强的现实意义。

2 材料与方法

2.1 数据来源

本文研究所使用的指标数据主要包括广东省历年的各类经济、能源消费、建筑材料生产规模及土地利用现状等数据,其中 GDP、第一二三产业产值、进出口差额数据、人口等数据来源于《广东省统计年鉴》(2004—2019 年)和《中国社会统计年鉴》(2004—2019 年);能源消费、在校大学生人数及教育费用等数据来源于《中国能源统计年鉴》(2004—2019 年)、

《广东省统计年鉴》(2004—2019 年)和《中国统计年鉴》(2004—2019 年);土地利用类型数据源于国家自然资源局的土地调查成果展示平台和广东省自然资源厅公布的土地变更调查数据;科研人员及科研投入费用等指标数据来源《中国科研统计年鉴》(2004—2019 年)。由于部分指标数据个别年份存在缺失的情况,本文采取内插法补齐。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用碳排放与经济增长的脱钩机理

(1) 脱钩的经济学原理。运用脱钩理论探析土地利用碳排放与经济增长之间的机理,本质上是经济发展中碳减排的边际效益问题,即为在实现经济增长的基础上,逐渐降低能源与资源消耗量。土地利用碳排放的经济增长弹性就是碳排放脱钩情况,实质是将土地利用碳排放量视为经济增长的边际成本,研究边际成本与边际效益的经济合理度问题。把有限的碳排放容量视为经济增长的生产资料 and 成本,衡量每一单位经济增长量所占用碳排放空间的经济合理性(图 1)。

(2) 脱钩的社会学原理。脱钩关系主要表现为以碳减排为核心的区域经济与资源环境协调发展的辩证关系。在短期历史范畴内经济快速发展会产生大量碳排放,对生态环境和气候变化产生不利影响,需要实施碳中和、碳减排等综合措施,降低碳排放量,这可能会制约经济增长速度,但会提高发展质量。从长期历史范畴来看,经济发展取得的阶段性成果,为生态环境修复、治理、碳补偿等提供了资金支持和科技储备,通过实施各项碳减排措施,使经济增长的同时,碳排放增速下降或是增长率为负值,这将有利于创造绿色国民财富,有利于区域生态文明建设,并为后代储备大量的生态资本,是可持续发展的重要体现(图 1)。

2.2.2 土地利用碳排放测算方法 土地利用碳排放主要包括直接碳排放和间接碳排放,土地利用的直接碳排放指的是人类对耕地、园地、林地、草地、水域和未利用地的利用产生的,各土地利用类型的碳排放(吸收)系数稳定,所以直接采用直接碳排放系数法计算,计算公式如下:

$$E_i = \sum T_i \times \delta_i \quad (1)$$

式中: E_i 为土地利用直接排放量(kg); T_i 表示第 i 中土地利用类型面积(m^2); δ_i 表示第 i 种土地利用碳排放(吸收)系数(t/hm^2),正值为碳排放,负值为碳吸收。其中 6 种土地利用类型的碳排放系数依次为 0.422, 0.210, -0.644, -0.21, -0.252, -0.05 hm^2 [16-17]。

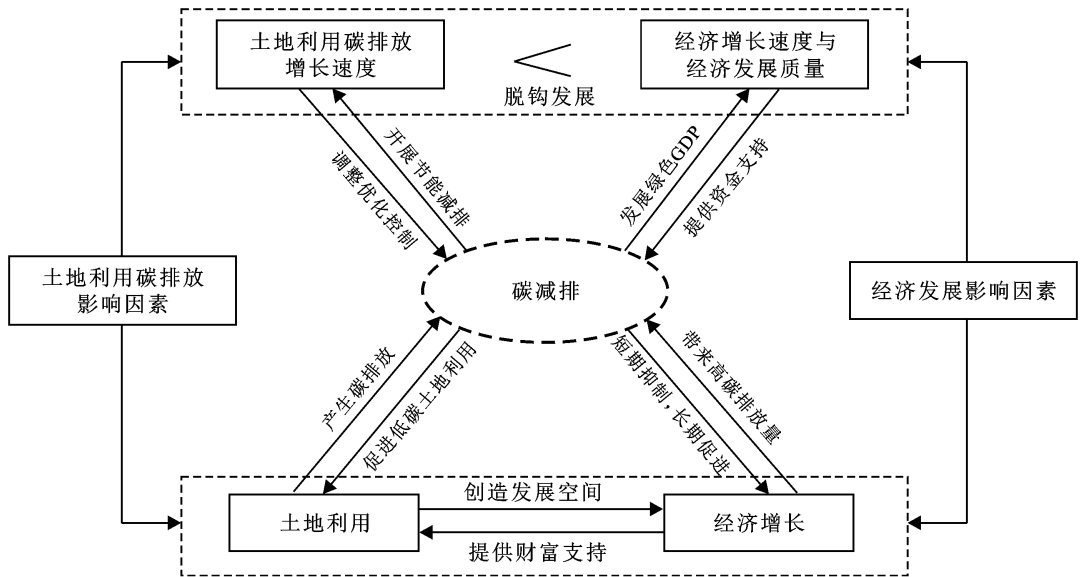


图 1 土地利用碳排放与经济增长脱钩发展机理

土地利用的间接排放量主要反映土地承载经济社会发展消耗各类能源和建筑材料所产生的碳排放,主要来源于建设用地,通过各类能耗量和建筑业建材生产量折算。参考相关文献^[8,16,18],选取的能源有煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气和电力 9 种,选取的建筑业建材有水泥、钢材、木材、铝材和玻璃 5 种,其中能源消耗碳排放计算公式如下:

$$E_j = \sum T_j \times \theta_j \times F_j \quad (2)$$

式中: E_j 为土地利用能源消耗间接性碳排放量(kg); T_j 为上述各类能源耗量(kg); θ_j 是能源转换为标准煤的系数; F_j 为各种能源碳排放系数^[8,16,18],具体取值见表 1。

表 1 不同能源的碳排放系数

能源品种	标准煤换算系数	碳排放系数
煤炭	0.714 3 kg/kg	0.755 9 kg/kg
焦炭	0.971 4 kg/kg	0.855 0 kg/kg
原油	1.428 6 kg/kg	0.585 7 kg/kg
汽油	1.471 4 kg/kg	0.553 8 kg/kg
煤油	1.471 4 kg/kg	0.571 4 kg/kg
柴油	1.457 1 kg/kg	0.592 1 kg/kg
燃料油	1.428 6 kg/kg	0.618 5 kg/kg
天然气	1.214 3 kg/m ³	0.448 3 kg/m ³
电力	0.404 0 kg/(kw·h)	0.793 5 kg/(kw·h)
水泥		0.9 t/t
钢材		2.0 t/t
木材		0.2 t/t
铝材		9.5 t/t
玻璃		300 t/10 ⁴ 重量箱

注:能源品种中各种炭、油、天然气及电力的系数均以标准煤计算。

建筑材料碳排放计算公式如下:

$$E_k = \sum T_k \times F_k \quad (3)$$

式中: E_k 为土地利用建材生产间接性碳排放量; T_k 为上述各类建材生产量(10⁴ t); F_k 为各种建材碳排放系数^[19],具体取值见表 1。

据此,区域土地利用碳排放总量计算公式如下:

$$E = E_i + E_j + E_k \quad (4)$$

式中: E_i 为土地利用直接排放量; E_j 为土地利用能源消耗间接性碳排放量; E_k 为土地利用建材生产间接性碳排放量。

2.2.3 脱钩指数计算方法 Tapio 模型能够用来分析环境压力与经济增长之间的相互关系^[20]。本文以土地利用碳排放量表示环境压力,经济增长本文用人均 GDP 和 GDP 含金量分别进行测算,然后进行结果对比,其计算公式为:

$$D_i = \frac{\Delta E}{\Delta G} = \frac{(E_2 - E_1)/E_1}{(G_2 - G_1)/G_1} \quad (5)$$

式中: D_i 为第 i 个研究期脱钩指数; ΔE 为第 i 个研究期土地利用碳排放变化指数; ΔG 为第 i 个研究期人均 GDP 变化(或 GDP 含金量变化)指数。 E_2 为计算年的土地利用碳排放量; E_1 为基准年的土地利用碳排放量; G_2 为计算年的人均 GDP(或 GDP 含金量); G_1 为基准年的人均 GDP(或 GDP 含金量)。由于研究区经济发展势态良好,对脱钩程度的标准划分,参考李雪梅等^[16]和盖美等^[21]的研究,将脱钩程度分为绝对脱钩、相对脱钩和绝对挂钩 3 种类型,各类型按照均匀系数分布法进行细分(见表 2)。

2.2.4 灰色关联分析法计算 灰色关联分析的基本思想是根据序列曲线几何形状相似程度来判断其联

系是否紧密,曲线越接近相关要素的关联度越大^[22]。因此,可借助灰色关联模型来分析影响脱钩状况的主要驱动因素。具体为:先构建影响脱钩发展的指标体系,将脱钩指数视为参考数列,将影响脱钩状态的各指标因素视为比较数列,求取参考数列与比较数列的灰色关联系数后计算各指标因素与脱钩状态的关联度,并据此判定影响脱钩发展的主要驱动力。

表 2 土地利用碳排放与经济增长脱钩程度判别标准

脱钩程度	ΔE	ΔG	$\Delta E/\Delta G$
绝对脱钩	<0	>0	<0
相对脱钩	I	>0	$[0.0,0.25)$
	II	>0	$[0.25,0.5)$
	III	>0	$[0.5,0.75)$
	IV	>0	$[0.75,1)$
绝对挂钩	>0	>0	≥ 1

表 3 2003—2018 年广东省土地利用碳排放量

年份	碳源/ 10^4 t				碳汇/ 10^4 t			碳排放总量/ 10^4 t
	建设用地	耕地	园地	林地	草地	水域	未利用地	
2003	24 477.10	129.05	17.85	-655.91	-0.59	-41.42	-0.38	23 925.69
2004	27 886.36	128.16	17.87	-655.33	-0.59	-41.42	-0.37	27 334.68
2005	31 715.39	124.62	19.43	-654.11	-0.57	-41.42	-0.36	31 162.98
2006	35 544.42	121.66	20.33	-652.76	-0.57	-41.42	-0.35	34 991.31
2007	39 995.90	120.19	20.94	-652.44	-0.57	-41.42	-0.35	39 442.25
2008	41 513.62	119.47	21.17	-652.24	-0.57	-41.42	-0.35	40 959.68
2009	43 921.14	106.86	28.58	-652.51	-7.55	-39.29	-0.35	43 356.88
2010	50 485.71	108.43	28.10	-650.87	-7.29	-39.02	-0.34	49 924.71
2011	54 968.52	109.78	27.59	-649.21	-7.14	-38.92	-0.34	54 410.27
2012	55 803.96	110.33	27.34	-648.29	-7.08	-38.81	-0.34	55 247.11
2013	56 738.13	110.64	27.07	-647.51	-7.01	-38.66	-0.34	56 182.33
2014	60 113.30	110.70	26.84	-646.68	-6.91	-38.49	-0.34	59 558.42
2015	61 092.52	110.39	26.70	-646.21	-6.85	-38.33	-0.33	60 537.89
2016	63 325.67	110.04	26.58	-645.74	-6.79	-38.19	-0.33	62 771.25
2017	65 906.99	109.71	26.47	-645.15	-6.75	-38.04	-0.33	65 352.91
2018	67 751.13	109.43	26.38	-644.63	-6.70	-37.89	-0.33	67 197.39

广东省土地利用碳排放总量从 2003 年的 2.39×10^8 t 增加到 2018 年的 6.72×10^8 t, 年平均增长率为 7.2%, 增长率呈递减趋势。碳源从 2003 年的 2.46×10^8 t 上升到 2018 年的 6.79×10^8 t, 碳汇从 2003 年的 -6.98×10^6 t 下降到 2018 年的 -6.90×10^6 t, 区内林地、草地、水域、及未利用地的碳吸收能力较弱, 固碳容量非常有限。

碳源方面, 耕地碳排放量从 1.29×10^6 t 下降到 1.09×10^6 t, 总体呈逐年递减趋势, 这有利于耕地低碳化利用。建设用地中能源消耗碳排放量从 1.50×10^8 t 增长到 3.89×10^8 t, 年均增长量为 1.49×10^7 t。建材生产碳排放量从 9.43×10^7 t 增长到 2.88×10^8 t, 年均增长量为 1.29×10^7 t。能源消耗碳排放量占

2.2.5 GDP 含金量计算 GDP 含金量是在 GDP 经济内涵范畴内, 侧重反映人民生活幸福感^[23], 计算方式如下:

$$GGDP = \frac{(UDI_{PC} + RNI_{PC}) \times UR}{GDP_{PC}} \quad (6)$$

式中:GGDP 为 GDP 含金量; UDI_{PC} 为城镇居民人均可支配收入; RNI_{PC} 为农民人均纯收入; UR 为城镇人口比重; GDP_{PC} 为人均 GDP。

3 结果与分析

3.1 土地利用碳排放结果与分析

根据上述所介绍的土地利用碳排放量计算公式, 计算出广东省 2003—2018 年这 16 a 间的土地利用碳排放情况。具体计算结果见表 3。

建设用地总碳排放量的比例由 2003 年的 61.45% 下降至 2018 年的 57.43%, 而建材生产碳排放量占建设用地总碳排放量的比例由 2003 年的 38.55% 上升至 2018 年的 42.57%。从数据来看, 虽然能源消耗碳排放是建设用地碳排放的主体, 但其比例呈下降态势, 而建材生产碳排放比例呈上升态势。碳汇方面, 虽然林地的碳吸收量占碳汇总量的 93.4%, 但碳吸收量从 2003 年的 6.56×10^6 t 下降到 2018 年的 6.45×10^6 t。因此广东省在贯彻碳减排过程中: ①在降低能源消耗的同时, 应着重对建筑材料低碳化生产进行控制, 有效促进建筑行业低碳化发展; ②广东要出台相关措施, 有效制止林地面积减少的状态, 通过人工林建设, 进一步提高森林覆盖率, 增强碳吸收能力。

3.2 经济增长特征分析

如表 4 所示,广东省 GDP 含金量经历了两降两升的变化,当前状态仍高于全国平均水平(2018 年为 49.74%)。2003—2008 年 GDP 含金量处于第一个下降期,由 51.37% 下降至 44.31,此阶段城镇化率增速较快,第二、三产业发展速度快,对外开放力度持续强化,积极的财政政策和相对宽松的宏观产能政策进一步促进了 GDP 增加,但这一阶段城镇居民人均可支配收入和农民人均纯收入并未呈现同比例增长。另外,受 2008 年金融危机影响,通货膨胀导致 GDP 含金量进一步缩水。2009—2018 年,GDP 含金量波动回暖,稳步上升,由 2009 年的 45.28% 上升至 2018 年的 50.32%。

3.3 脱钩关系结果与分析

由于影响土地利用碳排放与经济增长变化的因素具有连续效应,选取前一年为基期年,根据前文的脱钩公式,计算结果见表 5。

表 4 广东省 2003—2018 年 GDP 含金量

年份	城镇居民人均可支配收入/元	农民人均可支配收入/元	城镇人口比例/%	人均地区生产总值/%	GDP 含金量/%
2003	12 380.40	4 054.58	0.56	17 950	51.37
2004	13 627.65	4 365.87	0.58	20 647	50.89
2005	14 769.94	4 690.49	0.61	23 997	49.22
2006	16 015.58	5 079.78	0.63	27 861	47.70
2007	17 699.30	5 624.04	0.63	33 236	44.28
2008	19 732.86	6 399.77	0.63	37 543	44.13
2009	21 574.72	6 906.93	0.63	39 876	45.28
2010	23 897.80	7 890.25	0.66	45 252	46.49
2011	26 897.48	9 371.73	0.67	51 474	46.86
2012	30 226.71	10 542.84	0.67	54 908	50.04
2013	29 537.30	11 669.31	0.68	59 665	46.80
2014	32 148.11	12 245.56	0.68	64 374	46.89
2015	34 757.16	13 360.44	0.69	68 490	48.27
2016	37 684.25	14 512.15	0.69	73 844	48.91
2017	40 975.14	15 779.74	0.70	80 932	48.98
2018	44 340.97	17 167.74	0.71	86 412	50.32

表 5 广东省土地利用碳排放与经济增长脱钩状态

年份	ΔE	ΔHG (GDP 含金量)	ΔRG (人均 GDP)	HD (GDP 含金量)	与 GDP 含金量的脱钩关系	RD (人均 GDP)	与人均 GDP 的脱钩关系
2003—2004	0.159 4	-0.020 0	0.150 3	-7.114 5	绝对挂钩	0.948 3	相对脱钩 IV
2004—2005	0.121 7	-0.022 1	0.162 3	-6.342 4	绝对挂钩	0.863 2	相对脱钩 IV
2005—2006	0.119 0	-0.030 9	0.161 0	-3.969 4	绝对挂钩	0.762 9	相对脱钩 IV
2006—2007	0.107 8	-0.071 7	0.192 9	-1.773 7	绝对挂钩	0.659 3	相对脱钩 III
2007—2008	0.036 9	-0.003 4	0.129 6	-11.401 3	绝对挂钩	0.296 9	相对脱钩 II
2008—2009	0.055 5	0.026 1	0.062 1	2.240 4	绝对挂钩	0.941 8	相对脱钩 IV
2009—2010	0.119 4	0.026 6	0.134 8	5.690 4	绝对挂钩	1.123 6	绝对挂钩
2010—2011	0.089 3	0.007 9	0.137 5	11.368 0	绝对挂钩	0.653 4	相对脱钩 III
2011—2012	0.013 1	0.068 0	0.066 7	0.226 0	相对脱钩 I	0.230 5	相对脱钩 I
2012—2013	0.016 0	-0.064 9	0.086 6	-0.260 9	绝对挂钩	0.195 4	相对脱钩 I
2013—2014	0.042 8	0.002 1	0.078 9	29.005 0	绝对挂钩	0.761 4	相对脱钩 IV
2014—2015	0.007 9	0.029 4	0.063 9	0.559 7	相对脱钩 III	0.257 2	相对脱钩 II
2015—2016	0.045 1	0.013 3	0.078 2	2.775 5	绝对挂钩	0.471 9	相对脱钩 II
2016—2017	0.055 4	0.001 4	0.096 0	28.885 8	绝对挂钩	0.428 5	相对脱钩 II
2017—2018	0.031 1	0.027 4	0.067 7	1.030 7	绝对挂钩	0.416 8	相对脱钩 II

如表 5 所示,当以 GDP 含金量来衡量经济增长时,土地利用碳排放与其他的脱钩关系在绝大部分年份为绝对挂钩状态(除 2011—2012 年和 2014—2015 年外),且脱钩指数跨度较大(范围在-7.1 至 29 之间),表现出两种发展状态:①土地利用碳排放和经济发展速度均为正向,但土地利用碳排放量增长速度高于经济发展;②土地利用碳排放量增长速度为正向,个别时段的经济负向发展。这两种状态均表明广东省土地利用碳排放与经济增长是绝对挂钩发展的最不利状况,这种结果与当前现实状态存在一定偏差。如广东省“国民经济和社会发展规划纲要”中,单位生产总值能耗(10^4 t 标准煤)2005 年为 0.79,2010 年为 0.66,

2015 年为 0.55,能耗水平下降显著。再如,广东省“十三五”纲要中将单位 GDP 能耗降低量、单位 GDP 二氧化碳排放降低量等指标列为约束性指标,并超额完成。相较之下,以人均 GDP 来衡量经济增长,测算出的脱钩指数跨度较小,脱钩关系类型较多,数值更紧密,评测的结果与国民经济和社会发展规划纲要的吻合度更高。因此,通过对比,本文选择以人均 GDP 来衡量经济增长,并基于此开展脱钩分析。

(1) 研究年限内广东省土地利用碳排放与经济增长之间的脱钩关系经历了从“相对脱钩 IV—相对脱钩 II—绝对挂钩—相对脱钩 I—相对脱钩 IV—相对脱钩 II”的发展态势,总体来看,土地利用碳排放变化指

数和经济增长变化指数均呈现下降趋势,但土地利用碳排放的变化速度低于人均 GDP 变化速度。

(2) 2003—2008 年脱钩指数由 0.948 3 下降至 0.296 9,呈向好发展态势。①土地利用碳排放的平均增长率为 10.89%,经济发展的平均增长率为 15.92%,经济发展增加量所引起的碳排放在降低。在这一时段内,耕地面积减少了 $22.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$,园地增加了 $15.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$,林地减少 $5.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$,建设用地增加 $13.74 \times 10^4 \text{ hm}^2$,土地利用结构的优化调整,特别是对农用地转建设用地的控制,对这一阶段土地利用碳排放的调控起到了主要作用;②受 2003 年“非典”和 2008 年金融危机等影响,从一定层面制约了钢铁、煤炭等实体产业的发展,资源与能源消耗量增速放缓,有利于脱钩发展。

(3) 2009—2015 年脱钩指数由 0.941 8 先增至 1.123 6 再降至 0.257 2,脱钩状态由相对脱钩 IV 转变为相对脱钩 I。2009—2010 年土地利用碳排放与经济发展脱钩状态不理想,其原因是在经历 2008 年金融危机和通货膨胀后,2009 年广东经济发展强势反弹,为完成“十一五”发展目标,重点实施了交通运输工程、电源电网等能源工程和产业结构调整等,两年间耕地数量减少 $26.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$,建设用地增加 $22.55 \times 10^4 \text{ hm}^2$,建设规模的扩张和能源消耗的加剧导致脱钩状态不理想。2011—2015 年总体脱钩状态相对较好:①广东省大力开展国土综合整治,据《中国

国土资源统计年鉴》统计,2011—2013 年广东实施土地整治规模分别为 26 395.56,18 516.12,25 113.35,5 211.17,1 463.46 hm^2 ,有效改善了土地利用状况;②得益于节能减排等政策的实施,在工业、交通、建筑等领域碳减排成效显著。据统计,广东省“十二五”期间,单位生产总值能源消耗降低 16%,单位生产总值二氧化碳排放减少 17%。2016—2018 年脱钩状态为相对脱钩 II,“十三五”开局,为贯彻落实创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,编制实施了《广东省生态文明建设“十三五”规划》,在转变经济发展方式的改革与实践中,产业结构调整引起土地利用结构调整,耕地面积减速放缓,建设用地增速得到有效控制,土地利用内涵式开发利用成效显著,加之“多规合一”和国土空间规划等政策的逐渐落地,土地领域的供给侧结构性改革对促进国民经济绿色发展初显成效。

3.4 影响脱钩的驱动力分析

影响脱钩状态的因素众多,既包含土地利用碳排放方面,又包含经济发展方面,在参考相关文献的基础上^[11],构建碳排放影响因子与经济发展影响因子体系,运用灰色关联模型,测算各影响因素与脱钩指数的关联度,进而明确主要驱动力^[22]。

3.4.1 土地利用碳排放层面的驱动力分析 采用变量替换方式,从供需规模、发展结构、能耗规模、经济规模和发展质量 5 个的角度构建指标体系,测算各因素与脱钩指数的关联度,结果如表 6 所示。

表 6 广东省土地利用碳排放影响因素与脱钩状态的灰色关联度

因素层	因子层	因子说明与描述	因子关联度	因素关联度
供需规模	总人口 $X_1/10^4$ 人	总需求来源	0.735	0.731
	土地规模 $X_2/10^4 \text{ hm}^2$	人类活动承载规模	0.727	
发展结构	产业结构 $X_3/\%$	第二产业产值占比	0.748	0.729
	建设用地与农用地规模比 $X_4/\%$	两大类用地结构与规模	0.710	
能耗规模	能源消费强度 $X_5(\text{t}/10^4 \text{ 元})$	实现发展所需能耗	0.699	0.720
	煤炭消费比例 $X_6/\%$		0.741	
经济规模	总 GDP $X_7/10^8$ 元	当地经济发展水平	0.724	0.718
	人均 GDP $X_8(\text{元}/\text{人})$		0.713	
发展质量	GDP 含金量 $X_9/\%$	反映发展带来的幸福感受水平	0.698	0.713
	城镇化率 $X_{10}/\%$	反映综合发展水平	0.728	

土地利用碳排放各因素与脱钩指数的关联度介于 0.698 到 0.748 之间,由高到低分别为:产业结构 > 煤炭消费比例 > 总人口 > 城镇化率 > 土地规模 > 总 GDP > 人均 GDP > 建设用地与农用地规模比 > 能源消费强度 > GDP 含金量。灰色关联度较大的因子分别是产业结构(X_3)和煤炭消费占比(X_6),其值分别为 0.748,0.741。表明广东省土地利用碳排放与产业结构和煤炭消耗具有高度关联性,产业结构和能源消

费的不断优化调整是影响土地利用碳排放的关键要素。经济规模的发展和产业结构的调整是推动地区土地利用方式、土地利用结构、土地利用强度变化的主要动力,对脱钩影响最大。广东省 GDP 总量位列全国第一,在低碳发展背景下,要大力发展高新技术产业和新能源产业,淘汰大能耗、低附加值的重化工业,通过工业的高端化、高质化和高新化,实现降重工业化,调整第二产业结构,并进一步优化第二产业用

地布局,促进低碳发展。煤炭资源消费反映了能源使用与经济效益之间的关系,煤炭资源消耗量是土地利用间接碳排放的重要组成。因此,广东省在微观层面,应着重从降低第二产业发展中对煤炭资源消耗量入手,逐步淘汰落后的炼铁、炼钢、焦炭、铁合金等工业,引导钢铁、水泥、平板玻璃等重点工业行业转型发

展,在技术改造、节能减排等方面给予政策和资金支持,提高低碳化发展水平。

3.4.2 经济增长驱动因素分析 从产业水平、科技水平、劳动力水平、城镇化水平、外贸水平和经济结构 6 个方面构建指标体系^[11],并计算各因素与脱钩指数的关联度,结果如表 7 所示。

表 7 广东省经济增长影响因素与脱钩状态的灰色关联度

因素层	因子层	因子说明与描述	因子关联度	因素关联度
产业水平	Y_1 第一产业产值/ 10^8 元		0.724	0.742
	Y_2 第二产业产值/ 10^8 元	反映当地产业结构	0.707	
	Y_3 第三产业产值/ 10^8 元		0.755	
	Y_4 社会固定资产投资/ 10^8 元	反映地方投资情况	0.782	
科技水平	Y_5 科研人员人数/ 10^4 人	反映当地科技情况	0.750	0.761
	Y_6 科研经费支出/ 10^8 元		0.772	
劳动力水平	Y_7 每十万人人口高等学校平均在校生数/人		0.738	0.734
	Y_8 年末从业人数/ 10^4 人	反映人力资源储备情况	0.713	
	Y_9 教育经费/ 10^8 元		0.751	
城镇化水平	Y_{10} 城镇化率/%	反映城镇化情况	0.728	0.728
外贸水平	Y_{11} 进出口差额占 GDP 总值比例/%	反映对外开放情况	0.731	0.731
经济结构	Y_{12} 第三产业产值比例/%	反映服务业市场化发展情况	0.727	0.727

经济增长各因素与脱钩指数的关联度介于 0.707 到 0.782 之间,由高到低分别为:社会固定资产投资 > 科研经费支出 > 第三产业产值 > 教育经费 > 科研人员人数 > 每十万人人口高等学校平均在校生数 > 进出口差额占 GDP 总值比例 > 城镇化率 > 第三产业产值比例 > 第一产业产值 > 年末从业人数 > 第二产业产值。灰色关联度较大的因子分别是社会固定资产投资、科研经费支出和第三产业产值,其值分别为 0.782, 0.772, 0.755。① 社会固定资产投资是经济发展状态与成效的重要标志,涉及房产、建筑、机械、运输等多领域的建造活动。广东经济基础雄厚、发展机遇优越,在城市基础设施建设、房地产开发投资等方面的投资力度较大,拉动了能源、工料、劳动力等的消耗力度,从一定层面影响碳排放的增加;② 科技投入是实现创新驱动发展的重要支撑,高新技术、高新产业的发展,需要较强的科研经费投入与支持,科学技术的变革推动经济社会向高质量发展,引领产业淘汰落后技术,提高生产力水平,对实现节能减排有正向促进作用;③ 区域第三产业占比越高,对拉低第一二产业的能源消耗能力越强。广东是中国转型发展、高质量发展的试验区,第三产业发展活力显著,通过内部结构的优化调整,可有效促进碳减排与经济增长向脱钩发展状态转变。

3.5 有关建议

基于上述结果与分析,提出 3 点建议:① 加大对

第二产业的污染治理投资。当前阶段,广东省对高能耗、高排放的工业污染治理投资仍然不足。2019 年工业污染治理完成投资额为 3.17×10^9 元,占当年全国工业污染治理完成投资额的 5.15%,位列全国第 7,且同年山东省的工业污染治理完成投资额为 9.54×10^9 元,是广东省的 3 倍,可见在污染治理方面迫切需要加大投入,助理生态环境修复,缓解温室效应;② 强化对绿色专利领域的扶持力度。2019 年广东省专利申请受理量为 807 700 件,占当年全国专利申请授权量的 19.3%,其中广东省在高效节能技术领域的专利申请受理量为 22 576 件,占全国该领域的 10.9%。在新能源产业领域的专利申请受理量为 99 672 件,占全国该领域的 11.2%。在节能环保领域的专利申请受理量为 134 878 件,占全国该领域的 11.53%。3 个主要绿色专利领域的申请受理量比例低于全部专利申请受理量比例。由此可见,今后广东省的科技投入重点应为节能环保、高效节能和新能源产业领域的绿色专利,大力推进绿色技术研发,以高新绿色专利技术支持碳减排;③ 深挖海洋经济的发展潜力。在产业结构调整中,利用广东在大湾区建设中的区位优势,以发展海洋经济为抓手,从海洋工程装备、海洋生物医药、海上风电、海底油气资源等领域拓展新的经济增长点,从而降低对传统资源、能源的开发利用,以发展向海经济促进高质量的绿色、循环发展。

4 讨论与结论

4.1 讨论

在“十四五”开局之年,国家持续推进高质量发展,力行“碳达峰”和“碳中和”行动,为经济社会持续发展提供了强大动力。广东省是发展中国特色社会主义的排头兵,深化改革开放的先行地和探索科学发展的试验区,对其开展土地利用碳排放与经济增长关系研究具有重要意义。本文虽然在一定程度揭示了土地利用碳排放与经济增长时空演变、脱钩状态和主要影响因素,但也还存在继续改进和细化的空间。

①对土地利用碳排放的研究,还可借助 LMDI 模型,运用扩展的 Kaya 恒等式,从能源碳排放强度、能源强度、经济规模、土地规模、人口规模等方面^[7],建立土地利用碳排放影响因素分解模型,进而细化驱动力研究;②通过对比分析法,分别以 GDP 含金量^[24]和人均 GDP 衡量经济增长,与土地利用碳排放进行脱钩分析,认为以人均 GDP 代表经济增长更合理,但更为广泛的案例分析还有待扩展。在土地利用间接碳排放核算中,相比以往研究,本文认为由能源消耗碳排放和建材生产碳排放组成,但忽略了建材生产过程中也消耗了一定能源的问题。因此,如何科学测定扣除能耗碳排放的建材生产碳排放,也需要后续研发;③土地利用碳排放与经济增长之间的关系,本质上是以碳减排为核心的区域经济与资源环境协调发展的辩证关系,学术界在“能源—经济—环境系统”^[25]和“碳减排—经济增长—环境保护”等^[26]方面的耦合协调关系方面取得了丰硕成果,研究方法也侧重以面板数据为基础,运用 VAR,VEC,GVAR 模型来探究二者更深层面的经济学关系^[27],如何整合已有方法,并从不同视角开展碳排放与经济增长的细化研究,也有待后续深入探究。

4.2 结论

(1) 区域土地利用间接碳排放主要由能源消耗和建筑材料生产两部分构成,经济增长用人均 GDP 来衡量要优于 GDP 含金量,土地利用碳排放与经济增长之间的本质是以碳减排为核心的区域经济与资源环境协调发展的辩证关系。

(2) 影响广东省土地利用碳排放与 GDP 增长脱钩关系的主要影响因素中,从碳排放视角来看,产业结构和煤炭消费占比是主要影响因素,其灰色关联度值分别为 0.748,0.741。从经济增长视角来看,社会固定资产投资和科研经费支出是主要驱动因素,其灰色关联度值分别为 0.782,0.772。

(3) 广东省土地利用碳排放量与 GDP 均呈递增

趋势,当前阶段虽然土地利用碳排放量的年均增长率为正值且低于人均 GDP 年均增长率,二者尚未形成稳定的脱钩状态,但土地利用碳排放量的增速放缓,有利于二者向绝对脱钩状态发展,这对促进以碳减排为核心的区域经济与资源环境协调发展具有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] Watson R T, Noble I R, Bolin B, et al. Land Use, Land-Use Change, and Forestry: A Special Report of the IPCC [M]. UK, Cambridge: Cambridge University Press, 2000:189-217.
- [2] Houghton R A, Hackler J L. Emissions of carbon from forestry and land-use change in tropical Asia [J]. Global Change Biology, 1999,5(4):481-492.
- [3] Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition [J]. Energy, 1998,23(6):489-495.
- [4] Ang J B. Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia [J]. Journal of Policy Modeling, 2008,30(2):271-278.
- [5] 朱道林,林瑞端.论低碳经济与转变土地利用方式[J].中国土地科学,2010,24(10):3-6.
- [6] 赵一平,孙启宏,段宁.中国经济发展与能源消费响应关系研究:基于相对“脱钩”与“复钩”理论的实证研究[J].科研管理,2006,27(3):128-134.
- [7] 丁正满,蒋小荣.基于 LMDI 分解的襄阳市土地利用碳排放与经济增长的脱钩关系研究[J].农村经济与科技,2020,31(17):50-52.
- [8] 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.
- [9] 薛建春,侯思杰,吴彤.基于 VECM 模型的内蒙土地土地利用碳排放与经济增长、产业结构的动态关系分析[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2020,51(2):129-134.
- [10] 白翠媚,梅响,张苗.武汉市土地利用变化碳排放及碳足迹分析[J].湖北农业科学,2015,54(2):313-317.
- [11] 黄鑫,邢秀为,程文仕.土地利用碳排放与 GDP 含金量的脱钩关系及驱动因素[J].地域研究与开发,2020,39(3):156-161.
- [12] 赵荣钦,刘英,郝仕龙,等.低碳土地利用模式研究[J].水土保持研究,2010,17(5):190-194.
- [13] 张宇.低碳导向的土地利用结构优化研究:以赤峰市为例[D].江苏南京:南京农业大学,2014.
- [14] 何建坤,卢兰兰,王海林.经济增长与二氧化碳减排的双赢路径分析[J].中国人口·资源与环境,2018,28(10):9-17.
- [15] 赵明轩,吕连宏,张保留,等.中国能源消费、经济增长与碳排放之间的动态关系[J].环境科学研究,2021,34(6):1509-1522.

(下转第 266 页)

- [4] Ruiz-Ballesteros E. Social-ecological resilience and community-based tourism: An approach from Agua Blanca, Ecuador [J]. *Tourism Management*, 2011, 32(3): 655-666.
- [5] 彭少麟. 发展的生态观: 弹性思维 [J]. *生态学报*, 2011, 31(19): 5433-5436.
- [6] 王群, 陆林, 杨兴柱. 国外旅游地社会—生态系统恢复力研究进展与启示 [J]. *自然资源学报*, 2014, 29(5): 894-908.
- [7] 杨秀平, 贾云婷, 翁钢民, 等. 城市旅游环境系统韧性的系统动力学研究: 以兰州市为例 [J]. *旅游科学*, 2020, 34(2): 23-40.
- [8] Díaz-Aguilar A L, Escalera-Reyes J. Family relations and socio-ecological resilience within locally-based tourism: The case of EL Castillo (Nicaragua) [J]. *Sustainability*, 2020, 12(15): 5886.
- [9] Weis K, Chambers C, Holladay P J. Social-ecological resilience and community-based tourism in the commonwealth of Dominica [J]. *Tourism Geographies*, 2021, 23(3): 458-478.
- [10] García-Jácome L G, García-Frapolli E, Bonilla-Moheno M, et al. Multiple resource use strategies and resilience of a socio-ecosystem in a natural protected area in the Yucatan Peninsula, Mexico [J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020, 4: 522657.
- [11] Kutzner D. Environmental change resilience, and adaptation in nature-based tourism: Conceptualizing the social-ecological resilience of birdwatching tour operations [J]. *Journal of Sustainable Tourism*, 2019, 27(8): 1142-1166.
- [12] 张家界统计局. 张家界统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [13] 夏赞才. 张家界现代旅游发展史研究 [D]. 湖南长沙: 湖南师范大学, 2004.
- [14] 王群, 陆林, 杨兴柱. 千岛湖社会—生态系统恢复力测度与影响机理 [J]. *地理学报*, 2015, 70(5): 779-795.
- [15] 唐波, 肖欣. 粤北山区社会—生态—经济系统恢复力及其协调度 [J]. *水土保持通报*, 2020, 40(5): 218-226.
- [16] 胡蒙蒙, 张军民, 黄锦楼. 鄂尔多斯社会—生态系统恢复力评价及驱动机制研究 [J]. *水土保持研究*, 2017, 24(4): 191-197.
- [17] 展亚荣, 盖美. 滨海旅游地社会—生态系统恢复力测度及协调发展研究 [J]. *地域研究与开发*, 2018, 37(5): 158-164.
- [18] 李能斌. 海岛旅游地社会—生态系统恢复力研究: 以福建省东山岛为例 [D]. 福建泉州: 华侨大学, 2017.
- [19] 赵克勤. 集对分析对不确定性的描述和处理 [J]. *信息与控制*, 1995, 24(3): 162-166.
- [20] 郑华伟, 夏梦蕾, 张锐. 基于熵值法和灰色预测模型的耕地生态安全诊断 [J]. *水土保持通报*, 2016, 36(3): 284-289.
- [21] 孔伟, 任亮, 刘璐. 京津冀生态涵养区旅游地社会—经济—生态系统脆弱性特征及其影响因素 [J]. *水土保持通报*, 2020, 40(4): 211-218.

(上接第 258 页)

- [16] 李雪梅, 周文华. 土地利用碳排放与经济增长脱钩分析: 以天津市滨海新区为例 [J]. *天津城建大学学报*, 2020, 26(1): 60-64.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 张丽丽. 基于 STIRPAT 模型的建筑业碳排放影响因素分析: 以陕西省为例 [D]. 陕西西安: 西安建筑科技大学, 2020.
- [20] 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, 72.
- [21] 盖美, 胡抗爱, 柯丽娜. 长江三角洲地区资源环境与经济增长脱钩分析 [J]. *自然资源学报*, 2013, 28(2): 185-198.
- [22] 张中秋, 胡宝清, 韦金洪. 广西土地整治碳排放影响因素及脱钩效益分析: 基于 LMDI 模型 [J]. *生态经济*, 2020, 36(1): 47-55.
- [23] 潘竞虎. 中国地级及以上城市 GDP 含金量时空分异格局 [J]. *地理科学*, 2015, 35(12): 1502-1510.
- [24] 李喜成. 基于关联分析方法的 GDP 与 GDP“含金量”的实证性研究 [J]. *经济师*, 2016, 324(2): 65-66.
- [25] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析: 兼论三系统耦合公式及其扩展形式 [J]. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 788-799.
- [26] 刘志华, 徐军委, 张彩虹. 省域碳减排—经济增长—环境保护协调发展的时空分异及驱动机制 [J]. *海南大学学报(人文社会科学版)*, 2021, 39(5): 63-72.
- [27] 赵明轩, 吕连宏, 张保留, 等. 中国能源消费、经济增长与碳排放之间的动态关系 [J]. *环境科学研究*, 2021, 34(6): 1509-1522.