

2005—2020年新疆14地州市土地利用碳排放综合评价分析

金都, 刘新平*

(新疆农业大学公共管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:选取2005—2020年6期土地利用、能源消费等数据,从碳排放经济效率、能源消费结构和碳排放承载能力3个方面构建碳排放综合评价指标体系,运用改进Topsis法对新疆14地州市碳排放进行综合评价。结果表明:2005—2020年新疆碳排放总量由2735万t增长至18499万t,在碳排放经济效率、能源消费结构和碳排放承载能力方面均有不同程度的下降或恶化;研究期间新疆14地州市中有9个城市碳排放综合评价值呈下降态势,碳排放低效率、协调型和能源结构失衡型城市数量变化不明显,碳排放压力型城市数量增加。建议从优化土地利用结构、提升碳排放经济效率、能源结构转型方面进行碳减排管理。

关键词:碳排放;综合评价;土地利用;新疆

中图分类号:X196;X24

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2024)03-0015-06

Comprehensive Evaluation and Analysis of Carbon Emissions from Land Use in 14 Cities in Xinjiang from 2005 to 2020

JIN Du, LIU Xinping*

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

Abstract: This study selected the data of land use and energy consumption in 6 periods from 2005 to 2020, constructed a carbon emission comprehensive evaluation index system from the aspects of carbon emission economic efficiency, energy consumption structure and carbon emission carrying capacity, and comprehensively evaluated the carbon emissions in 14 cities in Xinjiang by improved Topsis method. The results showed that from 2005 to 2020, the total carbon emissions in Xinjiang increased from 27.35 million tons to 184.99 million tons, with varying degrees of decline or deterioration in carbon emission economic efficiency, energy consumption structure and carbon emission carrying capacity. During the study period, 9 out of the 14 cities in Xinjiang showed a downward trend in the comprehensive evaluation value of carbon emissions, the number of cities with low carbon emission efficiency, coordinated and unbalanced energy structure did not change significantly, while the number of cities with carbon emission pressure increased. Carbon emission reduction management should be carried out from the aspects of optimizing land use structure, improving carbon emission economic efficiency and transforming energy structure.

Key words: Carbon emission; Comprehensive evaluation; Land use; Xinjiang

大量排放二氧化碳(CO₂)会促使气温升高并易引发海平面上升、土地生态恶化等诸多问题,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)《气候变化与土地特别报告》中曾指出,因大量碳排放导致陆地变暖速度比全球平均速度更快^[1]。在严峻的碳排放形势下,各国协同碳减排尤为必要。2020年,我国政府也积极制定“3060双碳”目标以

对抗气候变化问题。碳排放研究领域一直备受关注,研究主要集中在能源碳排放^[2]、行业碳排

收稿日期:2023-04-23;修订日期:2024-02-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71663051)

作者简介:金都(1997—),男,江西吉安人,在读研究生,研究方向为土地利用碳排放。

*通信作者:刘新平 E-mail: 2838514457@qq.com

放^[3]、土地利用碳排放^[4]及碳减排^[5]等方向,有学者基于“薄记”模型^[6]、碳排放系数^[7]等方法对碳排放进行测算,通过回归分析法^[8]、STIRPAT模型^[9]、LMDI模型^[10]等探讨其影响因素,并使用动态分布法^[11]、空间计量模型^[12]、洛伦兹曲线-基尼系数法^[13]等分析碳排放的时空变化。在碳排放评价研究领域,学者主要从碳排放强度^[14]、碳足迹^[15]、碳排放安全^[16-17]等方面来评价区域碳排放,现有研究中的碳排放评价指标单一且缺少多维度的深入探究。因此,对碳排放综合评价进一步研究有助于完善碳排放量化考核评价体系,这对政府精准施策碳减排具有重大意义。

今以新疆国土区域作为研究范围,采用碳排放系数法测算新疆及其各地州市的土地利用碳排放量并建立一套可量化、适用性强的碳排放评价体系,对新疆碳排放经济效率、能源消费结构、碳排放承载能力进行评价探讨。利用改进 Topsis 法与 Ward 系统聚类法对新疆 14 地州市 2005—2020 年碳排放进行评价及按城市类型分类,结合分类结果探讨差异化碳减排措施,以期为新疆 14 个地州市低碳化发展提供参考。

1 研究区概况与数据获取

新疆维吾尔自治区位于我国西北地区,面积约 $166.49 \times 10^4 \text{ km}^2$,现辖 4 个地级市(乌鲁木齐市、哈密市、克拉玛依市、吐鲁番市),5 个地区(阿克苏地区、喀什地区、和田地区、塔城地区、阿勒泰地区)及 5 个自治州(昌吉回族自治州、伊犁哈萨克自治州、博尔塔拉蒙古自治州、巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州)。近十几年来,新疆因西部大开发、丝路经济带等政策而发展迅速,截至 2020 年新疆国内生产总值(GDP)达 13 797 亿元,约为 2005 年(2 604 亿元)的 5.3 倍,全域总人口为 2 585 万人。

选取 2005 年、2010 年、2013 年、2015 年、2018 年和 2020 年 6 期新疆土地利用数据(栅格数据精度为 1 km),该数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>);所用的社会经济数据、能源消费数据主要来源于《新疆统计年鉴(2005—2020年)》,部分来源于新疆各州市统计年鉴。能源折算标准煤系数和碳排放系数来源于《中国能源统计年鉴(2020年)》《IPCC 国家温室气体清单指南(2019年)》。

2 评价体系与方法

2.1 评价体系

通过查阅碳排放评价相关文献,在碳排放指标^[18-19]选取的基础上,依据科学性、普适性、系统性、量化原则,从碳排放经济效率、能源消费结构、碳排放承载能力 3 个维度构建一套碳排放评价体系,具体指标选取如下。

碳排放经济效率(W_1):选取单位碳排放 GDP(I_1)、工业碳排放产值(I_2)、工企碳排放利税(I_3)3 个指标代表碳排放经济效率维度,用来衡量一个地区的碳排放经济效率的高低。

能源消费结构(W_2):选取工业能源协调度(I_4)、居民生活耗能占比(I_5)、高碳能源占比(I_6)3 个指标代表能源消费结构维度,用来衡量一个地区的能源消费结构是否协调。其中,高碳能源是指碳排放系数较大的能源,选取原煤、焦炭作为高碳能源。

碳排放承载能力(W_3):选取碳汇强度(I_7)、土地汇碳率(I_8)、碳汇潜力指数(I_9)3 个指标代表碳排放承载能力维度,用来衡量一个地区的生态汇碳能力和容纳碳排放量的大小,从而反映地区碳排放承载能力的强弱。各指标计算公式为:

$$I_1 = G/C \quad (1)$$

$$I_2 = G_i/(E\beta) \quad (2)$$

$$I_3 = R/(E\beta) \quad (3)$$

式中: G 、 C 分别为地区的 GDP 和能源消费碳排放量; G_i 为地区第二产业产值; E 为地区工业能源消费量与折标准煤系数的乘积, β 为能源碳排放系数, $E\beta$ 代表地区能源消费碳排放量; R 为地区规模工业企业利税额。

$$I_4 = (G_i/G_u)/(E/E_1) \quad (4)$$

$$I_5 = \alpha P/E \quad (5)$$

$$I_6 = F_e/E \quad (6)$$

式中: G_u 为新疆各地州市第二产业产值的总和, G_i/G_u 代表地区工业贡献率; E_1 为新疆各地州市能源消费折标准煤后的总和, E/E_1 代表地区能源消费贡献率; α 为人均生活标准煤消费量; P 为地区总人口数; F_e 为地区高碳能源消费量与折标准煤系数乘积的总和。

$$I_7 = (\sum S_n \theta_n)/S \quad (7)$$

$$I_8 = (\sum S_n \theta_n)/(\sum S_m \theta_m + E\beta) \quad (8)$$

$$I_9 = (S - S_j)/S_j \quad (9)$$

式中: S_n 为地区第 n 种碳汇土地类型面积; θ_n 为第 n 种碳汇土地类型的碳汇系数的绝对值; S 为地区土地总面积; S_m 和 θ_m 分别为第 m 种碳源土地类型的面积和碳排放系数; S_j 为地区建设用地面积。

2.2 研究方法

2.2.1 碳排放量核算

测算的碳排放量是地区对土地利用所产生的碳排放总量,涉及的土地利用类型分类标准采用中科院土地利用数据集的一级分类标准,其中建设用地碳排放量是依据能源消费产生的碳排放量,其他地类碳排放量采用碳排放系数法,碳排放量测算公式如下:

$$C = \sum L_i \mu_i + \sum E_j \delta_j \varphi_j \quad (10)$$

式中: L_i 和 μ_i 分别为第 i 种土地利用类型的面积和碳排放系数,根据石洪昕等^[20]、方精云等^[21]研究,采用系数为耕地 $0.0422 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、林地 $-0.0674 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、草地 $-0.0021 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、水域 $-0.0253 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、未利用地 $-0.0005 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; E_j 为第 j 种能源的消费量; δ_j 和 φ_j 分别为第 j 种能源的折标准煤系数和碳排放系数。

2.2.2 改进Topsis法评价

传统Topsis法是一种多目标多属性决策方法,被应用于很多学科领域。该法也有一定局限性,诸如缺少权重确定、理想值设定较随意,故基于改进Topsis法^[22]对碳排放进行综合评价。首先用极差法对所有指标数据标准化处理以消除量纲不同所带来的影响,然后采用熵值赋权法计算各指标权重,结果见表1。

表1 碳排放综合评价指标权重

Table 1 Weights of carbon emission comprehensive evaluation index

指标层	指标权重	方向
单位碳排放GDP(I_1)	0.121	正向
工业碳排放产值(I_2)	0.103	正向
工业碳排放利税(I_3)	0.110	正向
工业能源协调度(I_4)	0.101	正向
居民生活耗能占比(I_5)	0.119	正向
高碳能源占比(I_6)	0.113	负向
碳汇强度(I_7)	0.107	正向
土地汇碳率(I_8)	0.122	正向
碳汇潜力指数(I_9)	0.104	正向

充分考虑碳排放经济效率、能源消费结构、碳排放承载能力维度各指标与碳排放的关系,并且通过专家咨询,最终得到正理想方案 I_+ ($j=1,2,\dots,9$)和负理想方案 I_- ($j=1,2,\dots,9$)的解。分别计算新疆各地州市评价方案 I_j ($j=1,2,\dots,9$)与正、负理想方案的欧式距离 D_+ 、 D_- ,然后计算新疆各地州市评价方案与正理想方案的贴近值 l , $l \in (0,1)$ 。若 l 越大则评价方案越佳,表示地区碳排放经济效率、能源消费结构、碳排放承载能力越优。

3 结果与讨论

3.1 新疆碳排放主要特征

根据新疆2005—2020年能源消费及土地利用现状数据,计算得到2005—2020年间新疆各时期碳排放总量及各指标值(见表2)。因新疆工业能源协调度指标在各时期数值均为1,故不列入表中且以第二产业比例指标代替。由表2可知,2005—2020年间新疆碳排放总量呈现递增态势,增速由快转慢。从2005年的碳排放总量2735万t增长至2020年的18499万t,15年间增长了约5.76倍,按平均增长法计算,这15年年均增长率为13.59%,各时期碳排放均值为10604万t,在2013—2015年、2010—2013年两时期碳排放增速最快,年均增速分别为19.47%、18.74%。

在碳排放经济效率维度方面,2005—2020年间单位碳排放GDP、工业碳排放产值、工业碳排放利税3个指标变化几乎同步,以2010年为分界点,3个指标均在2005—2010年间呈增长态势,而在2010—2020年间则波动下降,且期末值均低于2005年期初值。可见,碳排放经济效率呈现先高后低变化态势。这表明2005—2010年新疆每吨碳排放量所带来的GDP效应、工业产值贡献、企业利税额在2005—2010年间是增长的,处于能源碳排放边际报酬递增阶段,在2010—2020年间或处于能源碳排放边际报酬递减阶段。因此,相关部门应注重对能源碳排放的减排管理,提升能源碳排放的经济效率。

在能源消费结构维度方面,新疆第二产业比例、居民生活耗能占比均在逐年下降。第二产业比例由期初的44.7%下降至期末的34.4%,表明新疆产业结构或在转型,工业对GDP贡献程度逐年下降;居民生活耗能占比下降,表明工业能源消费大幅增加、工业发展迅速。高碳能源占比在研究期

内逐年上升,由期初的 41.9% 增长至期末的 62.9%,表明新疆工业生产对原煤、焦炭等高碳能源消费有较大的偏好。综上可知,工业能源消费增长速度较快,而工业产值对 GDP 贡献度却在下降,表明工业发展与能源消费不协调,工业对高碳能源消费偏好较大。由此可见,工业比例下降,能源消费结构逐渐失衡。

在碳排放承载能力维度方面,研究期间新疆植树造林面积一直在扩大,使得碳汇强度在研究期内

一直保持低速增长,由 2005 年的 $6.09 \text{ t}/\text{km}^2$ 增长至 2020 年的 $7.12 \text{ t}/\text{km}^2$;而土地汇碳率和碳汇潜力指数则在逐年下降,表明建设用地面积、能源消费增长速度较快。由此可见,碳汇强度虽逐年增强,但土地汇碳率、碳汇潜力指数呈下降趋势。研究期间新疆碳汇能力虽有一定增强,但远不能弥补能源消费所带来的碳排放增长,表明新疆碳排放压力日趋显著,碳排放承载能力逐渐削弱,须引起相关部门重视。

表 2 2005—2020 年间新疆各时期碳排放总量及各指标值

Table 2 Total carbon emissions and indicator values in Xinjiang in different periods from 2005 to 2020

指标	2005 年	2010 年	2013 年	2015 年	2018 年	2020 年	平均值
碳排放总量 $Q/\text{万 t}$	2 735	5 451	9 125	13 024	14 792	18 499	10 604
单位碳排放 GDP/ $(\text{元} \cdot \text{t}^{-1})$	9 213	9 832	9 196	7 146	8 659	7 459	8 584
工业碳排放产值/ $(\text{元} \cdot \text{t}^{-1})$	3 159	3 935	3 487	2 479	2 975	2 448	3 080
工企碳排放利税/ $(\text{元} \cdot \text{t}^{-1})$	1 556	2 174	1 347	758	1 018	744	1 266
第二产业比例/%	44.7	46.3	41.5	37.0	36.4	34.4	40.0
居民生活耗能占比/%	17.4	9.3	7.4	6.1	6.7	5.8	8.8
高碳能源占比/%	41.9	48.0	51.7	60.0	61.5	62.9	54.3
碳汇强度/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2})$	6.09	6.43	6.57	6.73	6.95	7.12	6.65
土地汇碳率/%	27.1	16.4	10.7	7.9	7.3	6.1	12.6
碳汇潜力指数	135	120	108	102	95	92	109

3.2 各地州市碳排放评价与分类

3.2.1 各地州市碳排放分析

由于地区每年对能源消费量的变化波动较大

而引起各年份贴近值差异较大,故采用平均法求得新疆各地州市 2005—2013 年间 (T_1)、2013—2020 年间 (T_2) 两期贴近值的平均值,结果见图 1。

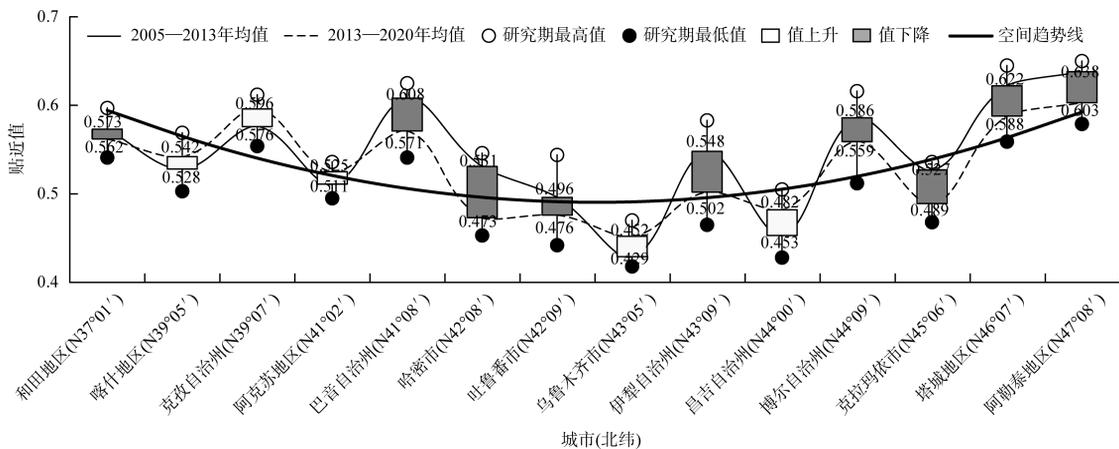


图 1 2005—2020 年新疆各地州市碳排放评价贴近值

Fig. 1 Approximate values of carbon emission assessment in various cities in Xinjiang from 2005 to 2020

由图 1 可知,2005—2020 年间新疆 9 个地州市碳排放评价贴近值下降,占比 64.29%,分别为和田地区、巴音郭楞蒙古自治州、哈密市、吐鲁番

市、伊犁哈萨克自治州、博尔塔拉蒙古自治州、克拉玛依市、塔城地区和阿勒泰地区,究其主要原因是地方政府为谋求经济增长发展粗犷式工业、大量消

费化石能源等,以至于经济增长的同时能源碳排放大幅增加,其中贴近值期末较期初大幅下降的有巴音郭楞蒙古自治州、哈密市、阿勒泰地区等;仅有5个地州市的评价贴近值上升,占比35.71%,分别是喀什地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州、阿克苏地区、乌鲁木齐市、昌吉回族自治州。研究期间,评价贴近值振幅较大的有巴音郭楞蒙古自治州、吐鲁番市、伊犁哈萨克自治州、博尔塔拉蒙古自治州、阿勒泰地区,原因与这些地区经济基础薄弱、年能源消费量不稳定、能源消费为经济发展贡献存在滞后性有关。

3.2.2 各地州市碳排放类型

选取 T_1 、 T_2 为时间截面,利用改进Topsis法分别计算新疆各地州市碳排放经济效率(W_1)、能源消费结构(W_2)、碳排放承载能力(W_3)3个维度的贴近值,将其作为分区依据,以Ward系统聚类理论为基础,采用离差平方和法进行聚类。依托Origin软件系统聚类功能对新疆各地州市碳排放类型进行分类,通过选取合适的类别间相对距离将 T_1 、 T_2 时期新疆14地州市碳排放类型均分为碳排放低效型、能源结构失衡型、碳排放压力型、碳排放协调型4种,并依据分类结果提出低碳发展建议。

(1)碳排放低效型。该类型 W_1 、 W_2 、 W_3 维度平均贴近值分别为0.147、0.168、0.183。该碳排放类型差的方面通常表现为地区单位GDP碳排放量大、单位碳排放工业产值低、工业企业经营效率不佳;好的方面表现为能源消费结构较合理、地区碳排放压力不是很明显。 T_1 时期4个城市(和田地区、喀什地区、昌吉回族自治州、博尔塔拉蒙古自治州)和 T_2 时期3个城市(阿克苏地区、伊犁哈萨克自治州、博尔塔拉蒙古自治州)属于碳排放低效型,占比分别为28.57%和21.43%。此类城市应加快完善企业、产品等碳排放核查核算体系并推行碳排放的量化管理,整改高碳排放、低经济效益型企业,致力扶持发展绿色低碳高效益产业。阿克苏地区应重点对煤电煤化工产业、制造业制定行业节能减碳技术推广应用清单,谋划布局高固碳率产品,优化焦炉煤气低碳利用方式,巩固落实能耗“双控”政策,从而进一步提高能源碳排放经济效率和降低碳排放总量。博尔塔拉蒙古自治州应重点推进州内纺织服装、现代电子产业绿色低碳制造体系建设,鼓励企业实现废旧棉纺织品循环再生产和开发利用碳环保原料,以数字赋能提升生产智能

化程度,发挥石灰石资源优势,加快培育州内纳米新材料碳中和绿色产业。

(2)能源结构失衡型。该类型 W_1 、 W_2 、 W_3 维度平均贴近值分别为0.179、0.144、0.190。该碳排放类型差的方面通常表现为居民生活能源消费占地区能源消费小、能源消费拉动经济增长效果差、高碳能源消费占比较大;好的方面表现为碳排放经济效率适中、地区碳排放压力不是很明显。 T_1 时期2个城市(巴音郭楞蒙古自治州、吐鲁番市)和 T_2 时期2个城市(哈密市、吐鲁番市)属于产业-能源失衡型,占比均为14.29%。此类城市应进一步提高风电、太阳能发电等清洁能源在一次能源总用量中的比例,鼓励并适度扶持企业优先消费低碳能源以改善能源使用结构;优化地区产业结构,加快第三产业发展,推进乡村绿色-清洁-低碳型能源供给体系建设。哈密市应重点推动煤炭绿色开发,积极开展驱油先导实验创新碳封存技术,全力建设碳捕集与利用示范项目并发挥区域辐射效应,同时优化产业结构,发展农业碳汇经济。吐鲁番市应推动煤炭煤电煤化工产业绿色低碳转型,推广实施能量梯级利用,调控产品碳链结构以提高煤炭碳原子利用率,从而实现碳减排、降耗目标。

(3)碳排放压力型。该类型 W_1 、 W_2 、 W_3 维度平均贴近值分别为0.195、0.171、0.144。该碳排放类型差的方面通常表现为区域单位面积土地碳汇强度较低、区域土地汇碳率较低、建设用地面积占比较大;好的方面表现为碳排放经济效率适中、产业-能源结构较为合理。 T_1 时期2个城市(乌鲁木齐市、克拉玛依市)和 T_2 时期4个城市(乌鲁木齐市、昌吉回族自治州、巴音郭楞蒙古自治州、克拉玛依市)属于碳排放压力型,占比分别为14.29%和28.57%。此类城市应加快落实能耗强度下降及能源消费总量控制目标,严格淘汰高耗能高碳排放型企业,优先布局以节碳、碳减排、碳利用为主的产业;加大植树造林的力度且推进生态系统保护修复,以提升碳汇能力;着力推动产业低碳化发展,以煤炭、化工、建材、钢铁等领域为重点,严控产业过程碳排放,发展低碳交通,推广节能和新能源车辆,鼓励城市开展减污降碳协调管控工作。

(4)碳排放协调型。该类型 W_1 、 W_2 、 W_3 维度平均贴近值分别为0.191、0.184、0.203。这类城市通常表现为碳排放经济效率较好、产业-能源结构较协调、区域碳排放压力不显著,具有较强的碳

汇能力。 T_1 时期6个城市(克孜勒苏柯尔克孜自治州、阿克苏地区、哈密市、伊犁哈萨克自治州、塔城地区、阿勒泰地区)和 T_2 时期5个城市(和田地区、喀什地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州、塔城地区、阿勒泰地区)属于碳排放协调型,占比分别为42.86%和35.71%。此类城市数量占比较高,表明新疆多数城市碳排放处于合理区,且城市碳汇植树有一定成效。此类城市在保持各方面协调发展的同时,应依托自身农业优势资源,着力提供更多优质生态产品;推动本区域工业绿色改造升级,加快构建绿色低碳工业体系;提前布局碳汇经济产业,将防沙治沙与碳汇林业发展相结合,开发森林、草原碳汇资源项目,将碳汇优势转化为经济优势。

4 结论

(1) 2005年—2020年,新疆碳排放总量从2 735万t增长至18 499万t,期间增长了约5.76倍。研究期间新疆碳排放经济效率维度中各子指标值总体上均呈下降趋势,表明新疆碳排放经济效率下降;能源消费结构维度显示,新疆能源消费大幅增加且对高碳能源消费有一定偏好,可第二产业比例却在逐年下降,表明新疆产业或在转型;碳排放承载能力维度显示,新疆土地碳汇能力逐渐加强,可其增长速度却远低于碳排放增长速度,以至于碳排放压力明显上升。

(2) 研究期间新疆有9个地州市评价贴近值下降,占比达64.29%,其余5个地州市评价贴近值略微上升,表明新疆多数地州市碳排放综合现状恶化。研究期末新疆碳排放协调型、碳排放压力型、能源结构失衡型、碳排放低效型城市占比分别为35.71%、28.57%、14.29%、21.43%。其中,碳排放压力型城市数量在研究期内增长明显,表明新疆碳排放压力逐步上升,其主要原因为新疆建设用地增长致使碳源增加,且高碳排放型传统工业仍处于贡献经济发展的重要地位,生态碳汇能力提升有限,以至于区域减碳任务严峻。

[参考文献]

- [1] 黄磊,王长科,巢清尘. IPCC《气候变化与土地特别报告》解读[J]. 气候变化研究进展,2020,16(1):1-8.
- [2] 邓光耀. 能源消费碳排放的区域差异及其影响因素分析[J]. 统计与决策,2023,39(6):56-60.
- [3] 吴茜,陈强强. 甘肃省行业碳排放影响因素及脱钩努力研究[J]. 干旱区地理,2023,46(2):274-283.
- [4] 鱼冠雄,海新权,杨鑫. 泾河流域生态系统碳储量时空演变与预测[J]. 环境监测管理与技术,2023,35(5):33-38.
- [5] 郭春梅,卞晨航,孟冲,等. 天津生态城低碳体验中心碳排放及减碳潜力研究[J]. 环境监测管理与技术,2022,34(2):7-11.
- [6] 葛全胜,戴君虎,何凡能,等. 过去300年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究[J]. 中国科学D辑:地球科学,2008,38(2):197-210.
- [7] ZHOU Y, CHEN M X, TANG Z P, et al. Urbanization, land use change, and carbon emissions: Quantitative assessments for city-level carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 66: 102701.
- [8] 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.
- [9] 冯杰,张胜,王涛. 中国省际土地利用碳排放及其影响因素分析[J]. 统计与决策,2019,35(5):141-145.
- [10] 独孤昌慧. 中国农地利用碳排放及影响因素研究:1990—2016年[J]. 生态经济,2020,36(5):19-23.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 杨俊,王佳,张宗益. 中国省际碳排放差异与减排目标实现——基于碳洛伦兹曲线的分析[J]. 环境科学学报,2012,32(8):2016-2023.
- [14] WANG Y D, ZHENG Y M. Spatial effects of carbon emission intensity and regional development in China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(11):14131-14143.
- [15] 李世祥,康契赢. 碳中和背景下长江经济带碳足迹测算——基于省际及产业部门的实证分析[J]. 生态经济,2022,38(9):37-42.
- [16] 荣培君,杨群涛,秦耀辰,等. 中国省域能源消费碳排放安全评价[J]. 地理科学进展,2016,35(4):487-495.
- [17] 何岩岩,南灵. 基于CRITIC权灰靶模型的土地利用碳排放安全评价——以陕西省为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):304-308.
- [18] 李小敏,许亚宣,赵玉婷,等. 中国特色的碳排放评价体系研究与思考[J]. 环境影响评价,2022,44(4):76-82.
- [19] 苑韶峰,唐奕钰. 低碳视角下长江经济带土地利用碳排放的空间分异[J]. 经济地理,2019,39(2):190-198.
- [20] 石洪昕,穆兴民,张应龙,等. 四川省广元市不同土地利用类型的碳排放效应研究[J]. 水土保持通报,2012,32(3):101-106.
- [21] 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.
- [22] 王颖君. 基于改进Topsis法的土地集约利用评价研究[D]. 武汉:华中农业大学,2013.