

DOI: 10.20103/j.stxb.202312072667

崔晓伟,王金胜,刘志晓,王仁卿,张国富,丁萃华.碳排放“双控”背景下山东省碳中和实现路径.生态学报,2024,44(21):9783-9791.

Cui X W, Wang J S, Liu Z X, Wang R Q, Zhang G F, Ding C H. Path of carbon neutralization under the background of “dual control” of carbon emissions in Shandong Province. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(21): 9783-9791.

碳排放“双控”背景下山东省碳中和实现路径

崔晓伟¹,王金胜¹,刘志晓¹,王仁卿^{2,*},张国富³,丁萃华¹

1 中共山东省委党校,济南 250103

2 山东大学生命科学院,青岛 266237

3 栖霞市森林资源监测保护服务中心,烟台 265300

摘要:我国将控制碳排放总量和强度作为实现碳中和目标的重要抓手,山东作为碳排放大省,在碳排放“双控”背景下探讨其碳中和实现路径具有重要意义。基于山东省 16 市社会经济发展情况,通过构建“双碳”指数模型,科学划定降碳区、低碳区和固碳区等 3 个管控分区。结果显示,2015—2019 年全省碳排放量总体呈上升趋势,2019 年碳排放总量相对 2015 年增加 0.82 亿 t,但各市碳排放变化差异较大,其中东营碳排放减少最大(0.61 亿 t),滨州碳排放增加最多(0.82 亿 t);2019 年全省各类生态系统碳汇总量为 4.88 亿 t,陆域生态系统碳汇占主体地位(4.82 亿 t,占 98.77%),各类生态系统空间分布差异显著,由于临沂森林生态系统面积较大使其成为碳汇总量最高的地区(0.54 亿 t,占 11.05%);“双碳”指数模型显示,2019 年全省 9 个市为降碳区,5 个市为低碳区,2 个市为固碳区。基于此,本研究聚焦碳排放“双控”要求,立足各市发展实际,提出差异化管控措施,探讨符合山东的碳中和实现路径,以期为我国积极稳妥推进“双碳”工作提供参考。

关键词:碳排放“双控”;“双碳”模型;管控分区;碳中和;山东省

Path of carbon neutralization under the background of “dual control” of carbon emissions in Shandong Province

CUI Xiaowei¹, WANG Jinsheng¹, LIU Zhixiao¹, WANG Renqing^{2,*}, ZHANG Guofu³, DING Cuihua¹

1 Shandong Provincial Party Committee School of the Communist Party of China, Jinan 250103, China

2 School of Life Sciences, Shandong University, Qingdao 266237, China

3 Forest Resources Monitoring and Protection Service Center of Qixia, Yantai 265300, China

Abstract: China regards controlling the total amount and intensity of carbon emissions as an important route to achieve carbon neutrality goal. As a province with high carbon emissions, it has great significance to explore the path to achieving carbon neutrality in Shandong under the background of “dual control” of carbon emissions. Based on the actual social and economic development situation of 16 cities in Shandong Province, a “dual carbon” index model was constructed. Using the “dual carbon” index model, the 16 cities of Shandong had been scientifically designated as three control zones, which including carbon reduction zone, low-carbon zone, and carbon sequestration zone. The results of carbon emission showed that the overall carbon emissions of Shandong Province had been showed an upward trend from 2015 to 2019. In addition, the whole carbon emissions of Shandong Province in 2019 had been increasing by 82 million tons compared to that in 2015. However, the changes of carbon emissions vary were different among the 16 cities, which Dongying had the largest reduction in carbon emissions (it reduced about 61 million tons from 2019 to 2015), while Binzhou had the largest increase in carbon

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2022QC211);2022 年山东省委党校(山东行政学院)重大项目攻关创新科研支撑项目(2022CX031)

收稿日期:2023-12-07; **网络出版日期:**2024-08-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: rqwang@sdu.edu.cn

emissions (it increased about 82 million tons from 2019 to 2015). While, the total carbon sequestration of various ecosystems of Shandong Province was 488 million tons in 2019, and the carbon sink of terrestrial ecosystems accounts for the majority, which was about 482 million tons, accounting for 98.77% of the total carbon sink of the all ecosystems. Moreover, there were significant differences in the distribution area of various ecosystems among 16 cities, due to the large distribution area of forest ecosystem, Linyi had the highest total ecosystem carbon sink among all cities of Shandong, which was about 54 million tons, accounting for 11.05% of the total carbon sink of the all cities. Lastly, the result of the “dual carbon” index model showed that 9 cities were carbon reduction zone, and 5 cities were low carbon zone, while only 2 cities were carbon sequestration zone of Shandong Province in 2019. According to the above results, we proposed differentiated measures and suggestions for each control zones, which focused on the requirements of “dual control” of carbon emissions and the actual development of the cities, to explore carbon neutrality route that suitable for Shandong Province. The carbon neutrality path for Shandong of this study would be an important measure for China to actively and steadily promote the “dual carbon” work.

Key Words: ‘dual control’ of carbon emissions; the ‘dual carbon’ model; control zoning; carbon neutrality; Shandong Province

以 CO₂ 为主的温室气体是导致气候变暖的重要因素之一, 节能减排和调节自然生态系统成为减缓二氧化碳浓度升高的重要途径^[1]。为应对气候变暖带来的一系列全球变化问题, 我国将控制碳排放总量和强度作为实现“碳达峰碳中和”(以下简称“双碳”)目标的重要抓手, 重点约束化石能源消费总量与强度, 打破能耗双控对可再生能源利用的约束, 促进化石能源向可再生能源转型。实现“双碳”目标不仅有利于推动经济结构转型、保障能源安全、进一步实现经济高质量发展, 也有利于顺应国际形势, 增强国际话语权, 对中国和世界各国共同推进构建人类命运共同体具有十分重要的意义^[2]。山东作为我国碳排放大省, 在碳排放“双控”背景下, 探讨其碳中和实现路径对我国实现“双碳”目标具有重要现实意义。

国内外学者围绕“双碳”目标实现路径从不同角度开展了相关研究。欧美等发达国家在自然碳达峰基础上, 分别提出了符合自身发展的碳中和计划。欧盟作为“双碳”目标的提出者, 为确保 2050 年前实现碳中和的目标, 制定了一系列配套措施, 并将减排任务细分到六大行业^[3]; 美国是最大的碳排放国家, 其提出“电力清洁零碳、能源结构替碳、节能增效降碳、非二气体减碳、生态系统汇碳和地下空间封碳”等途径, 实现 2050 年温室气体净零排放^[4]; 日本推出《区域脱碳路线图》等政策, 利用金融引导企业脱碳转型, 确保实现碳中和^[5]; 英国是世界上最早实行绿色低碳转型的国家, 但路径选择的不当, 没能使英国在应对气候变化方面取得显著成效, 反而能源安全面临更为严峻的挑战^[6]。我国尚未实现碳达峰, 国外学者对我国的碳达峰也开展了相关研究, Tollefson 基于中国 2020 年达到煤炭消费峰值和中国政府持续对可再生能源投资的基础上, 认为中国将提前实现碳排放峰值^[7], 然而 Elzen 等利用

能源与土地利用模型预测中国 2030 的碳排放结果显示, 中国当前的减排政策不足以保障在 2030 年实现峰值, 需要更加积极地调整产业结构^[8]。鉴于我国面临的碳减排压力和较短的碳中和窗口期, 丁仲礼认为“双碳”目标的研究重点应该是“如何实现碳中和”, 并提出了我国实现碳中和的框架路线^[9], 学者们分别从碳减排、碳汇以及政策等方面探讨碳中和路径。于贵瑞等认为中国“双碳”行动需强化气候变化、地球系统碳循环科学研究及脱碳、低碳产业技术变革^[10], 贺克斌等认为“双碳”不仅仅是生态环境问题, 要采取健全的战略规划、政策措施和行动, 推动经济社会全面绿色低碳转型, 最终实现减碳目标^[11]; 庄贵阳等认为我国实现“双碳”目标具有良好基础, 既要培育壮大新动能促进产业结构快速平稳转型, 也要设计协调适配的一揽子政策^[12]; 也有学者基于不同地区的发展差异, 对黄河流域九省区“双碳”目标的实现路径提出通过区域差异化的措施建议^[13]。

综上所述, 学者们围绕碳中和实现路径开展的相关研究, 为文章提供了较好的研究基础。但仍然存在以

下问题:1) 量化研究仅从碳排放与经济发展脱钩或者自然生态系统碳汇方面进行研究,缺乏从碳排放、碳汇和社会经济发展多层面的量化研究。2) 政策性研究缺乏“双碳”相关量化数据支撑,研究提出的建议具有普适性,但其针对性相对较弱。基于此,本研究从山东省碳排放、碳汇以及社会经济发展等三个层面构建“双碳”目标指数模型,科学划定“双碳”管控分区,针对不同管控分区内城市发展特征,提出差异化的建议措施,为山东落实碳排放“双控”提供新思路,同时也为我国实现碳中和目标提供可行性技术路线。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

山东省地处我国东部沿海、黄河下游,国土总面积 20.07 万 km^2 ,其中陆域面积 15.53 万 km^2 ,管辖海域面积为 4.54 万 km^2 ,是黄河流域唯一河海交汇区。截至 2019 年底,全省地区生产总值 7.32×10^4 亿元,位列全国第三,然而能源消费量(折标准煤) 4.14×10^4 万 t,碳排放量 9.37 亿 t,约占全国总排放量的十分之一。为深入贯彻新发展理念,服务构建新发展格局,更好服从服务国家战略,积极稳妥推进碳达峰碳中和,山东不断完善“1+1+N”政策体系,针对电力、钢铁、化工、建材、水泥、交通等重点行业出台碳达峰行动方案,基于能源转型需求制定新型储能、光伏并网、分布式光伏推进、氢能发电等政策规划。然而,各市在如何实现全省“双碳”目标方面的工作定位尚不明确,亟需全省统筹“一盘棋”,基于各地市发展实际,有计划分步骤地实施各地市碳排放“双控”措施,确保全省碳中和目标顺利实现。

1.2 数据来源

主要收集的数据包括山东省 16 地市碳排放数据、能源消耗、产业结构比、土地利用等基础数据,其中 2015—2019 年的碳排放数据来源于中国碳核算数据库(Carbon Emission Accounts & Datasets, CEADs)^[14],规模以上工业综合能源消耗和产业结构比等数据来源于山东省及各地市统计年鉴(2020)以及统计局官方报道数据,土地利用数据以自然资源部“国土调查成果共享应用服务平台”2019 年山东省第三次全国国土调查(以下简称国土“三调”),各类数据时间统计上具有一致性,满足本研究数据分析需求。

山东各地市 2020—2022 年期间,受疫情影响生产生活变化差异对碳排放影响较大,为准确测算各地市真实的碳中和状态,采用 2019 年山东及各地市碳汇、碳排放以及碳排放强度等数据进行测算模拟。由于碳汇、碳排放以及碳排放强度数据来自不同统计部门和研究团队,且部分地市相关数据缺失,基于数据可获取性、权威性以及可行性,碳排放数据采用基于 IPCC 清单法测算的结果,该方法为国际公认的计量方法之一;碳汇计量方面,自然生态系统是固碳的主要途径,当前人工固碳量可忽略不计,故仅测算生态系统碳汇;碳排放强度则以山东省以及各地市统计年鉴等官方公布数据为依据测算,并通过数据插补对缺失数据完善补充。因此,研究数据能够反映山东省的基本情况,具有研究价值。

2 研究方法

2.1 生态系统碳汇计量

根据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)中 12 个土地利用一级分类,按照各地类之间的相关性和同质性,归并为耕地生态系统、森林生态系统(包括园地)、草地生态系统、湿地生态系统和近海生态系统和城镇生态系统等 7 类生态系统。根据 7 类生态系统的划分结果,通过中国陆地生态系统通量观测研究网络、期刊文献等获取山东省不同生态系统的固碳潜力相关数据或研究成果(表 1),测算不同生态系统碳汇。

2.2 “双碳”指数模型

围绕碳排放“双控”要求,立足山东 16 地市碳排放量、生态系统碳汇量,结合影响各市碳排放总量和强度因子,构建“双碳”指数模型。模型中碳排放量以 CEADs 数据库中各市碳排放量为依据,碳汇则是各市各类生态系统的年碳汇总量,碳排放“双控”判别系数则由规模以上工业综合能耗和第二产业结构比构成。具体模型如下:

表 1 不同生态系统固碳潜力测算表

Table 1 Potential carbon sequestration among different ecosystems

生态系统 Ecosystem	子系统 Subsystems	固碳速率/(g C m ⁻²) Carbon sequestration rate	参考文献 References
农田生态系统 Cropland ecosystem	—	509.6	[15]
森林生态系统 Forest ecosystem	—	322.13	[16—17]
草地生态系统 Grassland ecosystem	—	3.18	[18—10]
城镇生态系统 City ecosystem	—	0	
内陆湿地生态系统 Inland wetland ecosystem	河流湖泊生态系统 内陆滩涂生态系统	31.22 134.06	[20—22]
滨海湿地生态系统 Coastal wetland ecosystem	盐沼	213.98	[23]
近海生态系统 Marginal Sea Ecosystems	黄河口区域 其他近海区域	15.3 500	[24]

$$C_i = C_i^{\text{emission}} - C_i^{\text{sink}} \quad (1)$$

$$C_n = \frac{C_i \times \varepsilon}{|C_i|} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{P_i}{P} \times 0.7 + \frac{C_{P_i}^{\text{emission}}}{C_P^{\text{emission}}} \times 0.3 \quad (3)$$

式中, C_n 是某市的碳中和指数; C_i 是“双碳”系数, C_i^{sink} 是某市生态系统碳汇量, C_i^{emission} 是某市的碳排放量; ε 是碳排放双控系数, P_i 是某市的第二产业在国民经济中的占比, P 是山东省第二产业在国民经济中占比, $C_{P_i}^{\text{emission}}$ 是某市规模以上工业综合能耗占该市能源总消费量比例, C_P^{emission} 是山东省规模以上工业综合能耗占全省能源总消费量比例。由于第二产业是碳排放的主要来源, 某市产业结构是否偏重是衡量未来一段时期内该市碳排放量高低的重要指标, 因此将碳排放“双控”数据作为判别系数; 为更好地反映现实情况, 经过不同系数对比分析, 本研究确定产业结构占比为 0.7, 规模以上工业综合能耗为 0.3。

2.3 管控分区标准

本研究将山东各地市划分为降碳区、低碳区以及固碳区(表 2)。其中, 降碳区划分标准($C_n > 1$): 该市碳排放总量高于其自然生态系统碳汇, 且碳排放双控系数显示该市产业结构和规模以上工业能耗占比高于全省的占比值; 低碳区划分标准($0 < C_n < 1$): 该市碳排放总量高于其自然生态系统碳汇, 但产业结构或规模以上工业能耗占比低于全省的占比值; 固碳区划分标准($C_n < 0$): 该市碳排放总量低于其自然生态系统碳汇。

表 2 管控分区划分标准

Table 2 Standards of control zoning

划分标准 Standards of classification	$C_n > 1$	$0 < C_n < 1$	$C_n < 0$
管控分区 Control zones	降碳区	低碳区	固碳区

3 结果分析

3.1 山东省及各市碳排放结果

山东省及各市的碳排放数据统计结果显示(表 3), 2015—2019 年山东省碳排放量总体呈上升趋势。2019 年碳排放量达到 9.37 亿 t, 相对 2015 年的碳排放量增加了 0.83 亿 t, 上升 9.67%, 但各市的年度碳排放量变化差异较大。碳排放量逐年下降趋势的地区主要有济南、淄博、东营、威海、临沂等 5 个市, 其中东营 2019 年相对 2015 年碳排放量减少最多, 碳排放量减少 0.61 亿 t, 降幅约 57.33%, 随后分别是济南、临沂、淄博和威海, 分别减少 2.44、1.52、0.09 和 0.06 亿 t。碳排放量逐年上升趋势的地区包括枣庄、潍坊、日照、德州、聊城、滨州和

菏泽等 7 个市,其中滨州碳排放量增加最大,2019 年相对 2015 年碳排放量增加 0.82 亿 t,上涨 2.6 倍左右,随后分别是日照、菏泽、枣庄、聊城、德州、潍坊,分别增加 0.39、0.19、0.16、0.15、0.13 和 0.10 亿 t。碳排放量变化趋势不明显的地区是青岛、烟台、济宁、泰安等 4 市,其中青岛、烟台碳排放相对较低且基本维持不变,而泰安、济宁碳排放量略有增长。数据表明,山东省各市碳排放量差异较大,碳排放总量受到城市规模和经济水平等影响比较明显。

表 3 2015—2019 年山东省及各市碳排放量

Table 3 Carbon emissions of Shandong Province and its cities among 2015 to 2019

名称 Name	2015/亿 t	2016/亿 t	2017/亿 t	2018/亿 t	2019/亿 t
山东省	8.54	8.63	8.36	9.02	9.37
济南市	1.09	1.00	0.95	0.95	0.84
青岛市	0.42	0.40	0.42	0.49	0.40
淄博市	0.77	0.69	0.70	0.64	0.68
枣庄市	0.45	0.35	0.40	0.56	0.61
东营市	1.06	1.09	0.92	0.47	0.45
烟台市	0.47	0.41	0.38	0.40	0.47
潍坊市	0.61	0.58	0.58	0.66	0.71
济宁市	0.60	0.43	0.40	0.44	0.63
泰安市	0.38	0.26	0.35	0.38	0.41
威海市	0.20	0.15	0.17	0.17	0.14
日照市	0.51	0.50	0.56	0.75	0.90
临沂市	0.55	0.46	0.44	0.40	0.40
德州市	0.32	0.29	0.30	0.34	0.45
聊城市	0.41	0.43	0.35	0.40	0.56
滨州市	0.31	1.23	1.04	1.45	1.13
菏泽市	0.39	0.37	0.40	0.52	0.58

3.2 山东省及各市生态系统碳汇结果

山东省及各市 2019 年各类生态系统碳汇统计结果显示(表 4),全省各类生态系统碳汇总量为 4.88 亿 t,其中陆域生态系统碳汇总量 4.82 亿 t,海域碳汇总量 0.06 亿 t,分别占全省碳汇总量的 98.69%和 1.31%,表明陆域生态系统碳汇处于主体地位,而提升海洋蓝碳将是未来自然生态系统增加碳汇的重要抓手。各市的碳汇分析结果显示,临沂碳汇总量最大,约 0.54 亿 t,占全省碳汇总量的 11.05%,随后分别是潍坊(0.48 亿 t, 9.90%)、菏泽(0.43 亿 t, 8.88%)、烟台(0.42 亿 t, 8.76%)、德州(0.36 亿 t, 7.44%)、青岛(0.35 亿 t, 7.09%)和济宁(0.33 亿 t, 6.78%);济南和聊城分别为 0.31 亿 t 和 0.30 亿 t,占比为 6.24%和 6.14%;其他各市碳汇总量约为 1.36 亿 t,占比为 27.73%。各市碳汇总量结果表明,虽然山东各市的自然生态系统类型差异不大,不同生态系统的空间分布是直接影响各市生态系统的碳汇总量的关键因素。

3.3 山东省“双碳”管控分区结果

依据“双碳”指数模型测算结果,山东省 16 地市划分为降碳区、低碳区、固碳区(图 1)。降碳区包括淄博、枣庄、东营、潍坊、济宁、日照、德州、滨州和菏泽等 9 市,其中碳中和指数(C_n)最大的是东营(1.44,表 5),随后是淄博、滨州、枣庄等市,碳中和指数表明降碳区各市不仅碳排放量显著高于市域内碳汇量,且各市的产业结构较重,并且工业能耗较大,明显高于全省平均水平。低碳区包括济南、青岛、烟台、泰安和聊城等 5 个市,尽管济南碳排放量最高(0.84 亿 t),但其第二产业占比(34.6%)是全省最低,且规模以上工业能耗(50.74%)占全市的一半,表明济南新旧动能转换成效初显;青岛碳排放量最低(0.40 亿 t),且其规模以上工业能耗(27.31%)和第二产业占比(35.6%)均低于全省的占比值,表明青岛是全省绿色低碳转型较快地区;泰安、聊城两市情况类似,产业结构相对较轻,但规模以上工业能耗占比高,说明两市有高排放企业且第二产业是主要碳源,而烟台是产业结构相对较重,但规模以上工业能耗占比较低,说明该市企业控碳较好,且碳汇和碳排放相当。固碳区包括威海和临沂两市,但各市发展实际存在较大差异,威海规模以上工业能耗占比(53.94%)和

第二产业占比(40.4%)相对全省平均水平较高,说明该市第二产业是主导产业,但第二产业以轻工业为主,高排放企业较少;而临沂拥有生态环境相对良好,尤其是森林资源比较丰富、林业碳汇优势明显,尽管该市第二产业结构占比(37.9%)相对全省水平较低,但其规模以上工业能耗占比(87.27%)说明该市第二产业存在高耗能、高排放企业,是全市主要碳排放来源。

表 4 2019 年山东省及各市生态系统固碳潜力

Table 4 Potential carbon sequestration of Shandong Province and its cities in 2019

名称 Name	陆域碳汇/亿 t Carbon sink of terrestrial ecosystems	海域碳汇/亿 t Carbon sink of marginal sea ecosystems	碳汇总量/亿 t Carbon sink of all ecosystems	占比/% Proportion
山东省	4.82	0.06	4.88	100
济南市	0.31	0	0.31	6.24
青岛市	0.33	0.02	0.35	7.09
淄博市	0.17	0	0.17	3.47
枣庄市	0.15	0	0.15	2.97
东营市	0.17	0.01	0.18	3.71
烟台市	0.41	0.01	0.42	8.76
潍坊市	0.48	0	0.48	9.90
济宁市	0.33	0	0.33	6.78
泰安市	0.24	0	0.24	4.90
威海市	0.17	0.01	0.18	3.79
日照市	0.17	0.01	0.18	3.58
临沂市	0.54	0	0.54	11.05
德州市	0.36	0	0.36	7.44
聊城市	0.30	0	0.30	6.14
滨州市	0.26	0	0.26	5.31
菏泽市	0.43	0	0.43	8.88



图 1 山东省“双碳”管控分区图

Fig.1 Map of “dual carbon” control zoning of Shandong Province

表 5 2019 年山东“双碳”管控分区划分表
Table 5 Results of “dual carbon” control zones of Shandong Province in 2019

管控分区 control zones	名称 Name	C_i	规模以上工业能源消费占比/% Proportion of energy consumption by industrial enterprises above the designated size	第二产业占比/% Proportion of secondary industry	C_n
降碳区 Carbon reduction zone	淄博市	50.70	79.17	49.9	1.19
	枣庄市	46.10	75.86	43.5	1.07
	东营市	27.25	90.12	57.4	1.44
	潍坊市	22.81	75.15	40.3	1.01
	济宁市	30.01	70.17	40.3	1.01
	日照市	72.32	70.05	42.7	1.03
	德州市	9.05	68.83	41.8	1.01
	滨州市	86.87	88.56	42.4	1.10
	菏泽市	15.04	70.00	42.6	1.03
低碳区 Low carbon zone	济南市	54.00	50.74	34.6	0.81
	青岛市	5.58	27.31	35.6	0.73
	烟台市	4.30	56.09	41.6	0.95
	泰安市	17.33	63.34	38.9	0.94
	聊城市	26.48	76.57	35.7	0.93
固碳区 Carbon sequestration zone	威海市	-4.86	53.94	40.4	-0.92
	临沂市	-14.38	87.27	37.9	-1.01

4 讨论

4.1 降碳区路径探讨

“十四五”时期我国生态文明建设进入以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型的关键时期。庄贵阳等认为降低碳排放要坚决遏制“两高”项目的发展^[25],在降碳区必须严格限制引入高排放企业、严格控制高碳行业规模,从源头减少碳排放量。除了产业升级转型外,赵忠秀等认为能源强度和能源结构决定着经济发展的碳排放效率,需大力绿色技术创新应用,提高能源利用效率,同时充分利用清洁能源发展的禀赋优势,大力开发新能源^[13]。因此,降碳区一方面要坚决淘汰落后低效产能,加快推动产业优化升级,提高能源利用效率;同时因地制宜地推动新能源体系建设,在沿海区域盐碱滩涂地加快推进海上风电规模化开发打造海上风电基地,在内陆地区则可通过渔光互补、农光互补等模式打造“光伏+”基地,缓解化石能源的碳排放压力。此外,通过构建绿色技术创新平台,提高地区经济低碳发展水平也是实现降碳的重要途径之一^[13],降碳区各市亟须加大科技创新转化,依托现有科技创新平台和成果,推动一批重大绿色低碳技术成果转化,尽快实现碳达峰。总体来说,降碳区各市产业结构偏重、能源消费量大,需大力优化调整产业结构和能源结构,通过能源转型、产业调整、科技创新等多种途径,逐步实现碳排放增长与经济增长脱钩,助力碳排放双控目标稳步实现,为实现碳中和奠定良好基础。

4.2 低碳区路径探讨

低碳区 5 市的产业结构和经济发展水平差异较大,基于各市经济发展差异性,制定不同的碳中和实现路径。郝向举等认为绿色智能是低碳发展的重要驱动力,低碳城市与智慧城市发展模式叠加加速了城市绿色低碳发展^[26],在高新技术产业相对集中或智慧城市建设基础较好地区,优先开展数字城市建设,探索生产生活节能减排、经济发展动力转换,引导市民转变生活消费理念,为低碳减排与经济增长提供借鉴经验;在传统农业、畜牧业区,邓国仙等认为农业减排固碳也是碳中和的重要研究内容,建议重视农业农村减排工程,有序推进农村清洁取暖,发展节能农业大棚,实施农药化肥减量增效行动,提高农村污水垃圾处理能力,实现人居环境低碳发展^[27]。此外,也有学者认为公共机构是生态文明建设的重要力量,在做好碳达峰、碳中和工作中承

担着重要职责^[28],因此低碳区各市均需持续推进公共机构照明、电梯、中央空调、数据中心等节能改造,加快各级机关公务新能源公务用车配备,推进新能源汽车推广和充电基础设施建设。总体来说,低碳区在落实绿色低碳发展过程中,必须避免依靠“两高”项目拉动经济增长,力争率先实现碳达峰,基于各市发展特色以及城乡发展差异,探索不同经济发展水平下的绿色低碳发展模式。

4.3 固碳区路径探讨

自然生态系统是重要的碳汇,是实现碳中和目标关键保障。于贵瑞等认为通过统筹陆地和海洋等各类自然生态系统和各种增汇技术,可实现中国区域生态系统自然和人为碳汇功能倍增目标^[29],杨元合等也认为增强陆地生态系统碳汇是减缓 CO₂ 浓度上升和全球变暖的重要手段,也是实现我国“碳中和”目标的有效途径^[30]。森林生态系统是陆地生态系统碳汇的重要组成部分,要加强重点林区、河湖、湿地生态保护和修复,持续强化林业碳汇优势,提升生态系统固碳能力,并积极参与碳交易和开发碳交易项目,推广林业碳汇交易经验。此外,海洋蓝碳也是重要碳汇组成,焦念志认为海洋在碳中和目标实现方面可以发挥重要碳汇作用^[31],王法明等认为滨海湿地是海岸带蓝碳生态系统的主体,是基于自然的气候变化治理手段^[32],因此在滨海地区要充分发挥海洋蓝碳功能,实施滨海湿地固碳增汇行动,推进盐沼生态系统修复,增加海草床面积、海草覆盖度,提高海洋生态系统碳汇能力,并探索建设蓝碳交易平台,推动海洋碳汇由资源转化成资产。此外,也有学者认为应该在生态资源良好的地区加快推动碳中和进程^[12],可在生态良好地区提前探索设计碳中和进程的相关政策体系。

4.4 不确定性分析

本研究提出的“双碳”管控分区是基于现状数据的测算,然而影响碳排放双控的因素较多,例如国家政策、碳计量方法以及社会经济发展等变化均会影响测算结果,进而导致其分区结果也将随之产出变化,同时各地市的碳中和路径和相关政策措施也将随之而变。国家政策的影响,碳排放双控政策相对能源双控要求提出了新的统计口径和统计标准,直接影响碳排放测算对象的范围以及碳排放周期。计量方法的不确定性,由于我国尚未出台统一的碳排放、碳汇计量方法,不同统计口径的数据差异性较大,因此定量化测算碳排放和碳汇也存在较大不确定性。研究的分区并不是唯一不变的,随着各地市能源替代、产业转型和生态保护等发展措施的落实,也将对分区结果产生影响,例如重点项目的布局会对某地市碳排放总量产生直接影响,而生态工程的落实也会显著增加地区生态系统碳汇量。本研究所采用的方法和分区结果,也可作为各地市在推动碳排放双控取得成效评估的参考之一。

5 结论

研究依据碳排放“双控”要求,通过构建“双碳”指数模型,测算了山东省 16 个地市碳排放、碳汇以及社会经济发展现状,科学划分了降碳区、低碳区和固碳区。研究结果显示淄博、枣庄等 9 市为降碳区,济南、青岛等 5 市为低碳区,临沂和威海 2 市是固碳区。基于山东各市的现实情况,借鉴学者们不同角度的研究建议,本研究认为山东省应分类分层次制定差异化的碳中和路径,建议降碳区要把节能降碳摆在突出位置,大力优化调整产业结构和能源结构,逐步实现碳排放增长与经济增长脱钩;低碳区要坚持绿色低碳发展,坚决不走依靠“两高”项目拉动经济增长的老路,力争率先实现碳达峰;固碳区要巩固减排成果,探索提升自然生态系统绿碳和蓝碳固碳能力和碳汇价值实现路径,在率先实现碳达峰的基础上加快推动碳中和进程。通过差异化管控措施,各市协同落实降碳减污扩绿增长任务,统筹全省一盘棋,确保全省碳中和目标顺利实现。尽管本研究测算方法还存在一定不确定性,但研究结果客观地反映出山东省各市的实际情况,对推动实现碳中和目标具有一定的现实指导价值。

参考文献 (References):

- [1] 庄贵阳,魏鸣昕.城市引领碳达峰、碳中和的理论和路径.中国人口·资源与环境,2021,31(9):114-121.

- [2] 刘满平. 我国实现“碳中和”目标的意义、基础、挑战与政策着力点. 价格理论与实践, 2021(2): 8-13.
- [3] 曾桢, 谭显春, 王毅, 高瑾昕. 碳中和背景下欧盟碳边境调节机制对我国的影响及对策分析. 中国环境管理, 2022, 14(1): 31-37.
- [4] 王陆新, 王叙斐, 王永臻. 美国 2050 年实现净零排放的气候战略及启示. 中国能源, 2022, 44(2): 67-72, 28.
- [5] 杜江, 秦雨桐. 日本迈向“碳中和”的困境及其实现路径. 现代日本经济, 2022(3): 66-80.
- [6] 梁晓菲, 吕江. 碳达峰、碳中和与路径选择: 英国绿色低碳转型 20 年(2000—2020 年)的启示. 宁夏社会科学, 2021(5): 55-65.
- [7] Tollefson J. China's carbon emissions could peak sooner than forecast. Nature, 2016, 531(7595): 425-426.
- [8] den Elzen M, Fekete H, Höhne N, Admiraal A, Forsell N, Hof A F, Olivier J G J, Roelfsema M, van Soest H. Greenhouse gas emissions from current and enhanced policies of China until 2030: can emissions peak before 2030? Energy Policy, 2016, 89: 224-236.
- [9] 丁仲礼. 中国碳中和框架路线图研究. 中国工业和信息化, 2021(8): 54-61.
- [10] 于贵瑞, 郝天象, 朱剑兴. 中国碳达峰、碳中和行动方略之探讨. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 423-434.
- [11] 贺克斌. 实现碳中和, 将给中国带来哪些变化? 资源再生, 2021(11): 67-69.
- [12] 庄贵阳. 我国实现“双碳”目标面临的挑战及对策. 人民论坛, 2021(18): 50-53.
- [13] 赵忠秀, 闫云凤, 刘技文. 黄河流域九省区“双碳”目标的实现路径研究. 西安交通大学学报: 社会科学版, 2022, 42(5): 20-29.
- [14] Guan Y R, Shan Y L, Huang Q, Chen H L, Wang D, Hubacek K. Assessment to China's recent emission pattern shifts. Earth's Future, 2021, 9(11): e2021EF002241.
- [15] 李研, 张玉春. 我国林业碳汇价值实现路径及对策研究. 工业技术与职业教育, 2018, 16(2): 77-81.
- [16] 李威, 黄玫, 张远东, 顾峰雪, 巩贺, 郭瑞, 钟秀丽, 严昌荣. 中国国家森林公园碳储量及固碳速率的时空动态. 应用生态学报, 2021, 32(3): 799-809.
- [17] 焦念志, 梁彦韬, 张永雨, 刘纪化, 张瑶, 张锐, 赵美训, 戴民汉, 翟惟东, 高坤山, 宋金明, 袁东亮, 李超, 林光辉, 黄小平, 严宏强, 胡利民, 张增虎, 王龙, 曹纯洁, 罗亚威, 骆庭伟, 王南南, 党宏月, 王东晓, 张恩. 中国海及邻近区域碳库与通量综合分析. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(11): 1393-1421.
- [18] Chen Z, Yu G R, Ge J P, Sun X M, Hirano T, Saigusa N, Wang Q F, Zhu X J, Zhang Y P, Zhang J H, Yan J H, Wang H M, Zhao L, Wang Y F, Shi P L, Zhao F H. Temperature and precipitation control of the spatial variation of terrestrial ecosystem carbon exchange in the Asian region. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 182/183: 266-276.
- [19] 刘迎春, 高显连, 付超, 于贵瑞, 刘兆英. 基于森林资源清查数据估算中国森林生物量固碳潜力. 生态学报, 2019, 39(11): 4002-4010.
- [20] Yu G R, Ren W, Chen Z, Zhang L M, Wang Q F, Wen X F, He N P, Zhang L, Fang H J, Zhu X J, Gao Y, Sun X M. Construction and progress of Chinese terrestrial ecosystem carbon, nitrogen and water fluxes coordinated observation. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(7): 803-826.
- [21] 朱燕茹. 山东省农田生态系统碳源碳汇时空格局演变[D]. 济南: 山东师范大学, 2019.
- [22] 郑玉琴, 刘宁, 代文卿, 赵琴, 王玲玲, 张颖. 崑崙山林场森林碳汇及经济价值研究. 山东林业科技, 2019, 49(3): 1-6.
- [23] 李雪静. 徂徕山林场森林碳汇生产潜力研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [24] 段晓男, 王效科, 逮非, 欧阳志云. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力. 生态学报, 2008, 28(2): 463-469.
- [25] 王思博, 庄贵阳, 窦晓铭. 中国省域碳达峰梯次划分与差异化排放路径——基于碳排放与经济发展双重视角的考察. 武汉大学学报: 哲学社会科学版, 2023, 76(3): 136-150.
- [26] 郝向举, 何爱平, 薛琳. 城市发展模式叠加与绿色低碳发展——基于智慧城市与低碳城市协同减排的实证分析. 城市问题, 2023(7): 93-103.
- [27] 邓国仙, 许忠裕, 黎丽菊, 林树恒, 李茜薇, 虞永泉. 碳达峰与碳中和背景下农业绿色发展对策研究. 热带农业工程, 2022, 46(03): 21-23.
- [28] 徐永胜. 深入学习贯彻党的二十大精神 以公共机构绿色低碳转型助力碳达峰碳中和. 中国行政管理, 2022(12): 12-13.
- [29] 于贵瑞, 朱剑兴, 徐丽, 何念鹏. 中国生态系统碳汇功能提升的技术途径: 基于自然解决方案. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 490-501.
- [30] 杨元合, 石岳, 孙文娟, 常锦峰, 朱剑霄, 陈蕾伊, 王欣, 郭焱培, 张宏图, 于凌飞, 赵淑清, 徐亢, 朱江玲, 沈海花, 王媛媛, 彭云峰, 赵霞, 王襄平, 胡会峰, 陈世革, 黄玫, 温学发, 王少鹏, 朱彪, 牛书丽, 唐志尧, 刘玲莉, 方精云. 中国及全球陆地生态系统碳源汇特征及其对碳中和的贡献. 中国科学: 生命科学, 2022, 52(4): 534-574.
- [31] 焦念志. 研发海洋“负排放”技术支撑国家“碳中和”需求. 中国科学院院刊, 2021, 36(2): 179-187.
- [32] 王法明, 唐剑武, 叶思源, 刘纪化. 中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策. 中国科学院院刊, 2021, 36(3): 241-251.