

DOI: 10.20103/j.stxb.202412173103

方恺,雷毅菲,李程琳,罗明强,席继轩,李若瑜.面向碳达峰碳中和与共同富裕的中国省域可持续发展评估.生态学报,2025,45(13).

Fang K, Lei Y F, Li C L, Luo M Q, Xi J X, Li R Y. Sustainable development assessment of Chinese provinces towards peak and net-zero carbon emissions and common prosperity. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(13).

# 面向碳达峰碳中和与共同富裕的中国省域可持续发展评估

方 恺<sup>1,2,3</sup>, 雷毅菲<sup>1</sup>, 李程琳<sup>1,\*</sup>, 罗明强<sup>4</sup>, 席继轩<sup>5</sup>, 李若瑜<sup>1</sup>

1 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058

2 浙江大学民生保障与公共治理研究中心, 杭州 310058

3 浙江生态文明研究院, 安吉 313300

4 湖州市人民政府, 湖州 313000

5 上海浦东发展(集团)有限公司, 上海 200127

**摘要:**推进可持续发展本土化评估在国家和地方层面均具有重大意义。将联合国可持续发展议程的目标要求与中国式现代化的特征任务相结合,提出将碳达峰碳中和与共同富裕纳入可持续发展评估的改进思路,进而构建涵盖经济高质量发展、社会民生改善、富裕均衡共享、绿色低碳转型和生态环境治理 5 大维度 48 项指标的评估体系,据此对 2013—2022 年中国 31 个省域的可持续发展水平进行测度。研究结果表明:(1)中国省域综合可持续发展水平持续提升,并呈由东南向西北递减的阶梯式分布格局;(2)省域间综合可持续发展水平极化现象加剧,高-高集聚和低-低集聚的省域数量均有所增加,分别分布在“胡焕庸线”的东南半壁和西北半壁;(3)省域可持续发展 5 大维度均呈改善态势,其中经济高质量发展、社会民生改善和富裕均衡共享在空间上呈东高西低的分布格局,而绿色低碳转型和生态环境治理则呈南高北低的分布格局;(4)省域可持续发展 5 大维度间的耦合协调度虽有所上升,但整体协调水平依然较低,西北地区的维度间发展失衡问题尤为突出;(5)碳达峰碳中和与共同富裕的推进均对省域可持续发展水平排名产生影响,其中碳达峰碳中和的权衡效应尤为明显。本研究通过引入中国式现代化的碳达峰碳中和与共同富裕评估指标,探索构建更具针对性、交互性、灵活性和均衡性的可持续发展本土化评估方法,从而为揭示我国省域可持续发展的时空演变规律提供科学参考。

**关键词:**碳达峰碳中和;共同富裕;可持续发展;评价指标体系;省域

## Sustainable development assessment of Chinese provinces towards peak and net-zero carbon emissions and common prosperity

FANG Kai<sup>1,2,3</sup>, LEI Yifei<sup>1</sup>, LI Chenglin<sup>1,\*</sup>, LUO Mingqiang<sup>4</sup>, XI Jixuan<sup>5</sup>, LI Ruoyu<sup>1</sup>

1 School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 Center of Social Welfare and Governance, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

3 Zhejiang Ecological Civilization Academy, Anji 313300, China

4 Huzhou Municipal People's Government, Huzhou 313000, China

5 Shanghai Pudong Development (Group) Company Limited, Shanghai 200127, China

**Abstract:** Advancing the localization of sustainable development assessment is significant both globally and locally. By aligning the goals of the United Nations' Sustainable Development Agenda with the tasks of Chinese-style modernization,

**基金项目:**国家社科基金重大项目(22&ZD108,24VRC079);国家自然科学基金项目(72074193,42341205)

**收稿日期:**2024-12-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 12222052@zju.edu.cn

#限于数据的可获取性,本研究尚未含中国港澳台统计数据。

this study proposes an evaluation index system that incorporates peak and net-zero carbon emissions and common prosperity into sustainable development assessment. It encompasses five key dimensions of sustainability: high-quality economic growth, social well-being improvement, equitable sharing of prosperity, green and low-carbon transition, and environmental governance, including 48 specific indicators. Using this evaluation index system, we evaluate the progress of sustainable development in 31 Chinese provinces from 2013 to 2022, with a particular focus on the spatial correlations and dimensional coupling coordination of provincial sustainability, examine the impacts of efforts towards peak and net-zero emissions and common prosperity on provincial sustainability, validate the scientific rigor of our evaluation index system, and discuss the limitations of this study and potential solutions. The results show that: (1) Provincial sustainability has continued to improve by 1.50% annually on average, exhibiting a distinct spatial gradient from southeast to northwest China; (2) The spatial positive correlation of provincial sustainability has gradually strengthened, accompanied by an intensification of spatial polarization. This polarization is characterized by increasing number of high-high and low-low clusters concentrated within the southeast and northwest of the Hu Line, respectively; (3) Provincial performance across all the five dimensions has improved, with the dimensions of high-quality economic growth, social well-being improvement, and equitable sharing of prosperity experience an east-to-west spatial gradient, while the dimensions of green and low-carbon transition and environmental governance follow a south-to-north spatial gradient; (4) Despite improvements in the coupling coordination among the five dimensions, it remains at a relatively low level in 22 provinces, especially in the northwestern regions, where disparities between environmental governance and high-quality economic growth are particularly pronounced; and (5) Efforts towards peak and net-zero emissions and common prosperity both have affected the provincial sustainability, particularly the former through trade-offs that result in a decline in the sustainable development rankings of ten provinces, with an average drop of four positions. By bringing together peak and net-zero carbon emissions and common prosperity in the context of Chinese-style modernization, we make an effort to improve a localized assessment methodology for sustainable development that is more targeted, interactive, flexible and balanced. The findings are expected to offer valuable insights into the spatio-temporal variations in sustainable development at the provincial level.

**Key Words:** peak and net-zero emissions; common prosperity; sustainable development; evaluation index system; provincial level

全球发展观经历了从“增长”导向到“发展”导向,再到“可持续发展”导向的演进阶段<sup>[1-2]</sup>。可持续发展理念强调在满足当代合理需求的同时不损害后代满足需求的能力,日益成为全球共识与战略基石<sup>[3-4]</sup>。2015年,联合国发布《改变我们的世界:2030年可持续发展议程》,正式确立了17项可持续发展目标(SDGs),为各国未来15年的发展路径和国际合作提供了指引<sup>[5]</sup>。中国作为可持续发展理念坚定的倡导者和践行者,发布了《中国落实2030年可持续发展议程国别方案》<sup>[6]</sup>,旨在探索具有代表性和引领性的区域可持续发展模式<sup>[7-8]</sup>。

可持续发展评估是对区域可持续发展进程的系统分析和科学诊断<sup>[9-11]</sup>。由于不同区域在发展水平、发展能力和发展潜力等方面存在显著差异<sup>[12-13]</sup>,当前的SDGs全球评估框架在应用于国家以下尺度时面临数据缺失<sup>[14]</sup>、指标不匹配<sup>[15]</sup>、难以反映区域实际<sup>[16]</sup>等挑战。部分研究者遵循全面性、科学性和可操作性等原则筛选与区域发展紧密相关的评估指标,在“一带一路”地区<sup>[17]</sup>、国家<sup>[18]</sup>、省级<sup>[19]</sup>、城市<sup>[20]</sup>等多个地理尺度上开展了SDGs本土化评估实践。SDGs本土化研究不仅有助于提升评估的精准性和科学性,还能促进全球目标在地方层面的细化与落实,是“自下而上”推动全球可持续发展的关键环节<sup>[21]</sup>。

当前,我国已开启全面推进中国式现代化的历史新征程。碳达峰碳中和(以下简称“双碳”目标)与共同富裕是中国式现代化的两个重要特征。前者聚焦绿色低碳转型,旨在实现经济活动与碳排放的绝对脱钩<sup>[22-23]</sup>;后者强调发展成果惠及全体人民,体现了以人民为中心的发展思想。开展面向“双碳”目标和共同

富裕的 SDGs 本土化评估,不仅符合我国进入新发展阶段的现实情况,也是对国际可持续发展理念的拓展和深化。

在 SDGs 评估维度层面,传统的“经济-社会-环境”三维框架虽被广泛采用<sup>[24-25]</sup>,但难以精准反映特定阶段和导向下的可持续发展进程,故越来越多的研究倾向于采用灵活的维度划分方法,以适应不断变化的评估需求。例如,将可持续发展评估指标分为环境依赖型、环境促进型和环境中立型三个维度,以纠正传统评估中过度偏重经济和社会维度的倾向<sup>[26]</sup>;将可持续发展评估指标分为基本需求、预期目标和治理三个维度<sup>[27-28]</sup>,明确不同指标在 SDGs 实施进程中的功能定位;根据指标实施难度和完成程度,将可持续发展评估指标分为优先完成、确保完成和推动实现三个维度,为制定针对性的政策措施提供支持<sup>[29]</sup>。在 SDGs 评估指标层面,少数研究虽尝试将碳排放强度、居民收入差距等关键指标纳入评估框架<sup>[30-31]</sup>,但指标覆盖面依然较窄,且评估中普遍采用的所有指标算数平均法容易弱化某些包含指标较少的维度信息<sup>[32]</sup>。总之,已有研究在推动我国 SDGs 本土化方面进行了诸多有益探索<sup>[33-34]</sup>,但在面对“双碳”目标和共同富裕等新战略目标时仍显不足,难以有效服务区域可持续发展决策。

有鉴于此,本文尝试将“双碳”目标和共同富裕纳入可持续发展评估框架,构建涵盖经济高质量发展、社会民生改善、富裕均衡共享、绿色低碳转型和生态环境治理 5 大维度的指标评估体系。其中,经济高质量发展维度聚焦经济增长的质效双升,社会民生改善和富裕均衡共享维度侧重民生福祉和发展成果的普惠性,而绿色低碳转型和生态环境治理维度则关注资源集约高效利用和环境质量持续改善。据此,揭示“双碳”目标和共同富裕导向下 2013—2022 年中国省域可持续发展的时空演变规律,并探讨两者对可持续发展进程的影响,以期科学考察省域发展状况、推动 SDGs 本土化评估提供科学参考。

## 1 研究方法数据来源

### 1.1 评价指标体系构建

在 SDGs 评估理念的指导下,基于对中国式现代化内涵、特征和任务的理解,遵循系统性、科学性、针对性、交互性、灵活性和均衡性等原则<sup>[15-19]</sup>,构建由经济高质量发展、社会民生改善、富裕均衡共享、绿色低碳转型、生态环境治理 5 大维度和 48 项指标构成的可持续发展评价指标体系(表 1)。

### 1.2 可持续发展得分计算

鉴于可持续发展评价指标体系中不同指标在单位和方向上存在差异,为确保数据的可比性,采用最小—最大值标准化方法对原始数据进行无量纲化处理,计算公式如下:

$$\text{正向指标: } x'_{ik} = \frac{x_{ik} - \min x_{ik}}{\max x_{ik} - \min x_{ik}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } x'_{ik} = \frac{\max x_{ik} - x_{ik}}{\max x_{ik} - \min x_{ik}} \quad (2)$$

式中, $x_{ik}$ 为省域  $i$  指标  $k$  的原始指标值; $x'_{ik}$ 为标准化后的值; $\max x_{ik}$ 、 $\min x_{ik}$ 分别为指标  $k$  在所有省域中的最大值和最小值。

采用算数平均法计算各维度可持续发展得分,以保证所有指标在评估过程中被同等对待<sup>[9]</sup>,计算公式如下:

$$U_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x'_{ik} \quad (3)$$

式中, $U_{ij}$ 为省域  $i$  可持续发维度  $j$  的得分; $m$  为该维度下评价指标的个数。

综合可持续发展得分计算公式如下:

$$y_i = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 U_{ij} \quad (4)$$

式中, $y_i$ 为省域  $i$  的综合可持续发展得分,考虑到 5 大维度同等重要,同样采用算数平均法计算。

表 1 面向“双碳”目标和共同富裕的可持续发展评价指标体系及其描述性统计

| Table 1 Indicator system of sustainable development towards peak and net-zero carbon emissions and common prosperity and its descriptive statistics |                   |                                        |                 |                    |            |                           |                |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|-----------------|--------------------|------------|---------------------------|----------------|----------------|
| 维度层<br>Dimension                                                                                                                                    | 指标层<br>Indicator  | 指标说明<br>Explanation of indicator       | 属性<br>Attribute | 样本量<br>Sample size | 均值<br>Mean | 标准差<br>Standard deviation | 最大值<br>Maximum | 最小值<br>Minimum |
| 经济高质量发展<br>High-quality economic growth                                                                                                             | 人均 GDP            | 地区 GDP/年末常住人口数/万元                      | +               | 310                | 6.20       | 3.09                      | 19.03          | 2.21           |
|                                                                                                                                                     | GDP 增长率           | 地区 GDP 增长率/%                           | +               | 310                | 1.05       | 0.05                      | 1.12           | 0.70           |
|                                                                                                                                                     | 全员劳动生产率           | 地区 GDP/年平均从业人员数/(万元/人)                 | +               | 310                | 11.52      | 5.75                      | 36.76          | 4.03           |
|                                                                                                                                                     | 产业结构高级度           | 第三产业产值/第二产业产值                          | +               | 310                | 1.42       | 0.75                      | 5.28           | 0.67           |
|                                                                                                                                                     | 产业结构合理度           | 泰尔指数                                   | -               | 310                | 0.14       | 0.09                      | 0.40           | 0.01           |
|                                                                                                                                                     | 工业化水平             | 工业增加值/地区 GDP/%                         | +               | 310                | 31.47      | 8.51                      | 51.00          | 7.05           |
|                                                                                                                                                     | R&D 经费支出占 GDP 比重  | 研究与试验发展经费/地区 GDP/%                     | +               | 310                | 2.09       | 1.54                      | 7.04           | 0.01           |
|                                                                                                                                                     | 政府债务负担            | 政府债务余额/地区 GDP/%                        | -               | 310                | 29.32      | 15.03                     | 95.88          | 2.97           |
|                                                                                                                                                     | 社会消费水平            | 社会消费品零售总额/地区 GDP/%                     | +               | 310                | 39.73      | 6.51                      | 57.64          | 13.39          |
|                                                                                                                                                     | 对外开放水平            | (进出口总额 * 美元对人民币汇率)/GDP/%               | +               | 310                | 25.25      | 25.49                     | 125.76         | 0.76           |
| 社会民生改善<br>Social well-being improvement                                                                                                             | 每万人口平均高等教育在校生数    | 高等教育在校生/年末常住人口数 * 1 万/人                | +               | 310                | 281.03     | 84.66                     | 546.90         | 116.20         |
|                                                                                                                                                     | 平均受教育年限           | (受教育人数 * 对应年限/6 岁以上总人口)/6 岁以上总人口/(年/人) | +               | 310                | 9.26       | 1.13                      | 12.78          | 4.22           |
|                                                                                                                                                     | 城镇职工基本养老保险覆盖比例    | 城镇职工参加养老保险人数/城镇总人数/%                   | +               | 310                | 47.00      | 14.16                     | 97.64          | 17.08          |
|                                                                                                                                                     | 民生性财政支出比重         | 民生性财政支出/财政总支出/%                        | +               | 310                | 41.48      | 4.69                      | 52.04          | 25.59          |
|                                                                                                                                                     | 全体居民人均可支配收入       | 全体居民人均可支配收入/万元                         | +               | 310                | 2.72       | 1.25                      | 7.96           | 0.97           |
|                                                                                                                                                     | 人均教育文化娱乐支出占消费支出比重 | 人均教育文化娱乐支出/人均消费支出/%                    | +               | 310                | 11.01      | 1.89                      | 17.15          | 4.07           |
|                                                                                                                                                     | 每万人口拥有执业(助理)医师数   | 执业(助理)医师数/年末常住人口数 * 1 万/人              | +               | 310                | 11.48      | 7.69                      | 35.00          | 0.52           |
|                                                                                                                                                     | 交通网密度             | 铁路和公路营运里程/土地面积/(km/km²)                | +               | 310                | 0.98       | 0.55                      | 2.30           | 0.06           |
|                                                                                                                                                     | 城镇登记失业率           | 城镇登记失业率/%                              | -               | 310                | 3.18       | 0.64                      | 4.60           | 1.20           |
|                                                                                                                                                     | 城乡居民消费差距          | 城镇居民人均消费支出/农村居民人均消费支出                  | -               | 310                | 2.05       | 0.35                      | 3.33           | 1.25           |
| 富裕均衡发展<br>Equitable sharing of prosperity                                                                                                           | 城乡居民收入差距          | 城镇居民人均收入/农村居民人均收入                      | -               | 310                | 2.52       | 0.36                      | 3.56           | 1.83           |
|                                                                                                                                                     | 常住人口城镇化率          | 城镇常住人口/常住总人口/%                         | +               | 310                | 60.45      | 12.36                     | 89.58          | 23.97          |
|                                                                                                                                                     | 地区居民人均可支配收入变异系数   | 各地市人均可支配收入标准差/平均数                      | -               | 310                | 0.26       | 0.07                      | 0.49           | 0.13           |
|                                                                                                                                                     | 教育基尼系数            | 教育基尼系数                                 | -               | 310                | 0.23       | 0.05                      | 0.53           | 0.16           |
|                                                                                                                                                     | 医院数量变异系数          | 各地市医院数量标准差/平均数                         | -               | 310                | 0.69       | 0.23                      | 1.29           | 0.32           |
|                                                                                                                                                     | 居民恩格尔系数           | 居民食品支出总额/居民消费品支出总额                     | -               | 310                | 0.31       | 0.05                      | 0.53           | 0.20           |
|                                                                                                                                                     | 居民收入增长弹性          | 居民人均可支配收入增长率/地区 GDP 增长率                | +               | 310                | 0.01       | 0.02                      | 0.12           | -0.07          |
|                                                                                                                                                     | 转移支付依赖度           | 中央转移支付/政府一般公共预算总收入                     | -               | 310                | 0.48       | 0.21                      | 0.93           | 0.08           |

续表

| 维度层<br>Dimension                          | 指标层<br>Indicator        | 指标说明<br>Explanation of indicator                                                                                                               | 属性<br>Attribute | 样本量<br>Sample size | 均值<br>Mean | 标准差<br>Standard deviation | 最大值<br>Maximum | 最小值<br>Minimum |
|-------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|------------|---------------------------|----------------|----------------|
| 绿色低碳转型<br>Green and low-carbon transition | 人均碳排放量                  | 碳排放总量/年末常住人口数/(t/人)                                                                                                                            | -               | 310                | 11.18      | 8.99                      | 47.15          | 1.93           |
|                                           | 碳排放增长率                  | 碳排放增长率/%                                                                                                                                       | -               | 310                | 2.34       | 24.76                     | 231.46         | -100.00        |
|                                           | 碳排放强度                   | 碳排放总量/地区 GDP/(t/万元)                                                                                                                            | -               | 310                | 2.12       | 2.00                      | 11.52          | 0.34           |
|                                           | 能源消费强度                  | 能源消费总量/地区 GDP/(万 t 标煤/亿元)                                                                                                                      | -               | 310                | 0.74       | 0.46                      | 2.20           | 0.17           |
|                                           | 能源消费弹性系数                | 能源消费年均增速/GDP 年均增速                                                                                                                              | -               | 310                | 0.30       | 2.79                      | 26.68          | -34.81         |
|                                           | 火力发电占比                  | 煤炭火力发电占比/%                                                                                                                                     | -               | 310                | 68.63      | 26.58                     | 99.58          | 2.91           |
|                                           | 人均能源消费量                 | 能源消费总量/年末常住人口数/(t 标煤/人)                                                                                                                        | -               | 310                | 3.95       | 2.10                      | 12.75          | 1.69           |
|                                           | 节能环保支出占比                | 节能环保支出/财政总支出/%                                                                                                                                 | +               | 310                | 2.92       | 1.02                      | 8.95           | 1.06           |
|                                           | 绿色专利授权量占比               | 绿色专利授权量/地区年度专利授权总数/%                                                                                                                           | +               | 310                | 8.28       | 1.58                      | 19.73          | 2.20           |
|                                           | PM <sub>2.5</sub> 年平均浓度 | PM <sub>2.5</sub> 年平均浓度/( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )                                                                                           | -               | 310                | 36.11      | 14.60                     | 85.65          | 4.39           |
| 生态环境治理<br>Environmental governance        | 城市空气质量优良天数比例            | 城市空气质量优良天数比例/%                                                                                                                                 | +               | 310                | 69.06      | 15.58                     | 99.18          | 13.42          |
|                                           | 水质优良比例(达到或好于三类)         | 水体达到或优于三类水质比例/%                                                                                                                                | +               | 310                | 76.29      | 20.11                     | 100.00         | 12.30          |
|                                           | 森林覆盖率                   | 森林面积/土地总面积/%                                                                                                                                   | +               | 310                | 43.22      | 18.34                     | 66.80          | 4.20           |
|                                           | 建成区绿化覆盖率                | 建成区绿化覆盖率/%                                                                                                                                     | +               | 310                | 40.18      | 3.67                      | 49.80          | 18.10          |
|                                           | 自然保护区占辖区面积比重            | 自然保护区面积/土地总面积/%                                                                                                                                | +               | 310                | 9.56       | 7.27                      | 34.00          | 2.00           |
|                                           | 人均工业废水排放量               | 工业废水排放总量/年末常住人口数/(t/人)                                                                                                                         | -               | 310                | 47.93      | 15.52                     | 91.17          | 8.39           |
|                                           | 人均一般工业固体废物产生量           | 工业固体废物总量/年末常住人口数/(t/人)                                                                                                                         | -               | 310                | 3.85       | 5.21                      | 30.17          | 0.08           |
|                                           | 生活垃圾无害化处理率              | 生活垃圾无害化处理率/%                                                                                                                                   | +               | 310                | 96.08      | 7.80                      | 100.00         | 42.30          |
|                                           | GDP: 国内生产总值             | Gross domestic product; R&D: 研发 Research & Development; PM <sub>2.5</sub> : 直径小于 2.5 微米的可入肺颗粒物 Particulate matter smaller than 2.5 micrometers |                 |                    |            |                           |                |                |

### 1.3 空间自相关分析

空间自相关分析反映了地理要素之间的空间关联特征<sup>[35]</sup>。采用全局 Moran 指数评估整个研究区域的可持续发展得分之间是否存在关联,计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - \bar{Y}) (y_j - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

式中, $I$  为全局 Moran 指数; $n$  为省域数量; $W_{ij}$  为空间临近矩阵,空间相邻为 1,不相邻为 0; $y_i$  和  $y_j$  分别为省域  $i$  和  $j$  的可持续发展水平; $\bar{Y}$  为所有省域的平均值。当  $I > 0$  时,表明可持续发展得分呈正向空间自相关关系;当  $I < 0$  时,表明呈负向空间自相关关系;当  $I = 0$  时,表明不存在显著的空间自相关关系。

由于全局空间自相关难以反映局部集聚特征<sup>[36]</sup>,故进一步采用局部 Moran 指数识别空间异质性,计算公式如下:

$$I_i = \frac{n(y_i - \bar{Y}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_j - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2} \quad (6)$$

式中, $I_i$  为省域  $i$  的局部 Moran 指数。当  $I_i > 0$  时,表明高(低)可持续发展得分省域被高(低)可持续发展得分省域包围;当  $I_i < 0$  时,表明高(低)可持续发展得分省域被低(高)可持续发展得分省域包围;当  $I_i = 0$  时,表明该省域在空间上呈随机分布。

### 1.4 耦合协调度分析

耦合协调度分析旨在测度可持续发展各维度得分之间的协调发展水平,包括维度间的耦合度(维度间相互作用的程度)和协调度(维度间同步发展的程度)<sup>[37]</sup>,计算公式如下:

$$C_i = 5 \times \left[ \frac{U_{i1} U_{i2} U_{i3} U_{i4} U_{i5}}{(U_{i1} + U_{i2} + U_{i3} + U_{i4} + U_{i5})^5} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (7)$$

$$T_i = \beta_1 U_{i1} + \beta_2 U_{i2} + \beta_3 U_{i3} + \beta_4 U_{i4} + \beta_5 U_{i5} \quad (8)$$

$$D_i = \sqrt{C_i \times T_i} \quad (9)$$

式中, $C_i$ 、 $T_i$  和  $D_i$  分别为省域  $i$  的耦合度、协调度和耦合协调度; $U_{i1}$ 、 $U_{i2}$ 、 $U_{i3}$ 、 $U_{i4}$  和  $U_{i5}$  分别为省域  $i$  经济高质量发展、社会民生改善、富裕均衡共享、绿色低碳转型和生态环境治理 5 大维度的得分; $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$  和  $\beta_5$  分别为各维度的权重系数,考虑到 5 大维度同等重要,权重系数均取 1/5。参考已有研究<sup>[38]</sup>,将耦合协调度划分为 10 个等级,判定标准如表 2 所示。

表 2 耦合协调度等级划分标准

Table 2 Classification standards for the coupling coordination degree

| 耦合协调度区间<br>Interval of coupling<br>coordination degree | 耦合协调程度<br>Degree of coupling<br>coordination | 耦合协调度区间<br>Interval of coupling<br>coordination degree | 耦合协调程度<br>Degree of coupling<br>coordination |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| [0,0.1)                                                | 极度失调                                         | [0.5,0.6)                                              | 勉强协调                                         |
| [0.1,0.2)                                              | 严重失调                                         | [0.6,0.7)                                              | 初级协调                                         |
| [0.2,0.3)                                              | 中度失调                                         | [0.7,0.8)                                              | 中级协调                                         |
| [0.3,0.4)                                              | 轻度失调                                         | [0.8,0.9)                                              | 良好协调                                         |
| [0.4,0.5)                                              | 濒临失调                                         | [0.9,1]                                                | 优质协调                                         |

### 1.5 数据来源

鉴于数据的可得性和一致性,将中国 31 个省级行政区作为研究对象(不包括港澳台地区),相关指标数据主要来源于 2013—2022 年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国教育统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》《中国民政统计年鉴》《中国城市统计年鉴》和各省、自

治区、直辖市的统计年鉴。缺失数据采用插值法进行补齐。48 项指标的描述性统计结果如表 1 所示。

## 2 结果分析

### 2.1 综合可持续发展的省域格局

综合可持续发展得分呈稳步上升态势。2013—2022 年,中国 31 个省域的综合可持续发展得分均值由 50.05 上升至 58.11,年均增长 1.50%(图 1)。其中,贵州的年均增幅居于全国首位,达 2.50%,主要得益于富裕均衡共享和经济高质量发展维度的显著改善。与此同时,北京的年均增幅最小,仅为 0.81%。2022 年,综合可持续发展得分最高为北京(69.66),最低为西藏(43.82)。总体上,全国省域综合可持续发展得分呈由东南向西北递减的阶梯式分布格局,广东、上海、浙江等东南沿海地区得分较高,青海、宁夏、甘肃等西北地区得分较低。

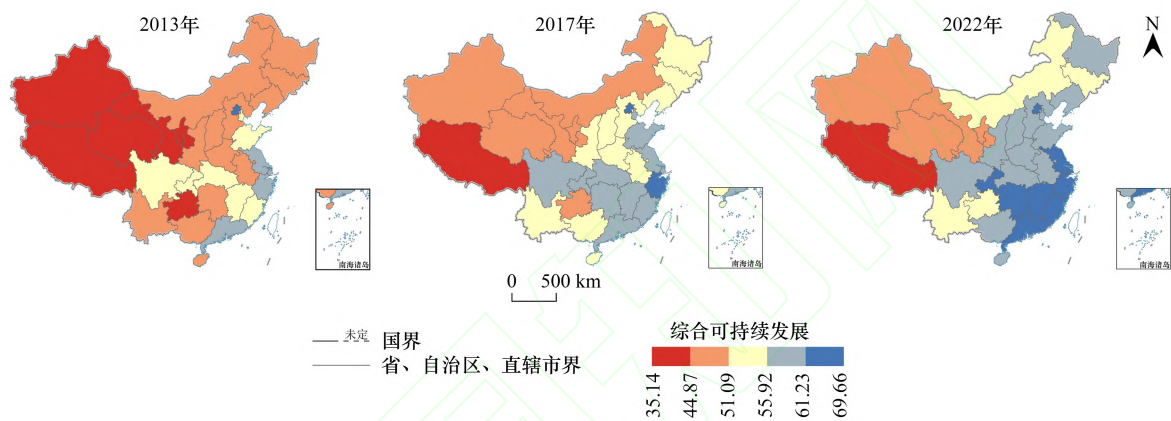


图 1 中国省域综合可持续发展的时空格局

Fig.1 Spatio-temporal pattern of overall sustainable development across Chinese provinces

### 2.2 经济高质量发展的省域格局

经济高质量发展维度得分呈波动上升态势(图 2)。2013—2019 年,中国 31 个省域的经济高质量发展得分均值由 43.21 上升至 46.13,年均增长 1.10%。2020—2022 年,受新冠疫情冲击,GDP 增长率、对外开放水平和社会消费水平等指标均有所下降,使得经济高质量发展得分均值回落至 43.41。过去 10 年间,贵州的年均增幅居于全国首位(3.98%),主要得益于产业结构合理度和政府债务负担等指标的显著改善。2022 年,经济

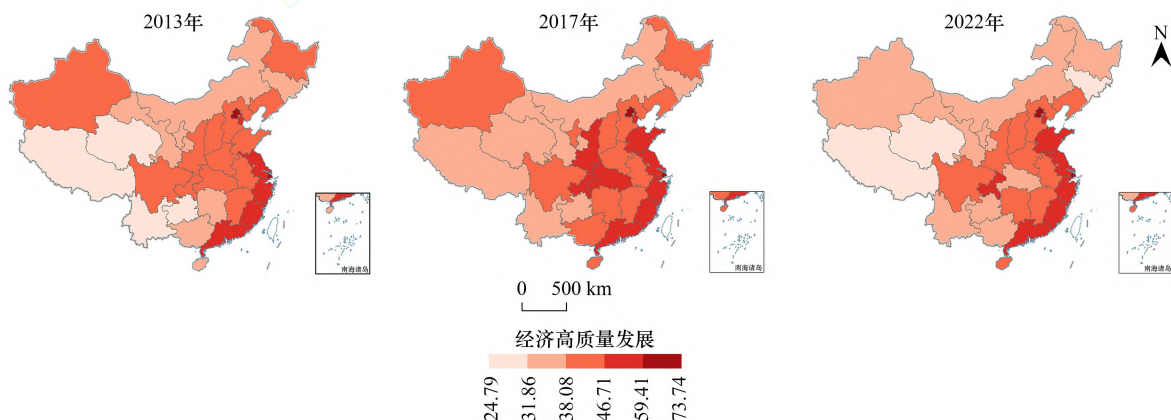


图 2 中国省域经济高质量发展的时空格局

Fig.2 Spatio-temporal pattern of high-quality economic growth across Chinese provinces

高质量发展得分最高为北京(73.74),最低为青海(27.82)。总体上,全国省域经济高质量发展得分呈东高西低的分布格局,东西部地区在产业结构合理性、对外开放水平和人均 GDP 等指标上的差异最为明显,得分差距分别为 42.88、32.56 和 30.83。

### 2.3 社会民生改善的省域格局

社会民生改善维度得分呈波动上升态势(图 3)。2013—2022 年,中国 31 个省域的社会民生改善得分均值由 37.95 上升至 50.22,年均增长 3.16%。与经济高质量发展的变化趋势相似,2020 年以来社会民生改善得分小幅下降,主要表现为人均教育、文化和娱乐支出占消费支出的比重下降,以及城镇登记失业率上升。过去 10 年间,湖南的年均增幅居于全国首位(4.57%),主要得益于城镇登记失业率和每万人口平均高等教育在校生数等指标的显著改善。2022 年,社会民生改善得分最高为北京(69.86),最低为西藏(21.68)。总体上,全国省域社会民生改善得分呈东高西低的分布格局,东西部地区在交通网密度、全体居民人均可支配收入和每万人口拥有执业(助理)医师数等指标上的差异最为明显,得分差距分别为 32.94、31.06 和 26.71。

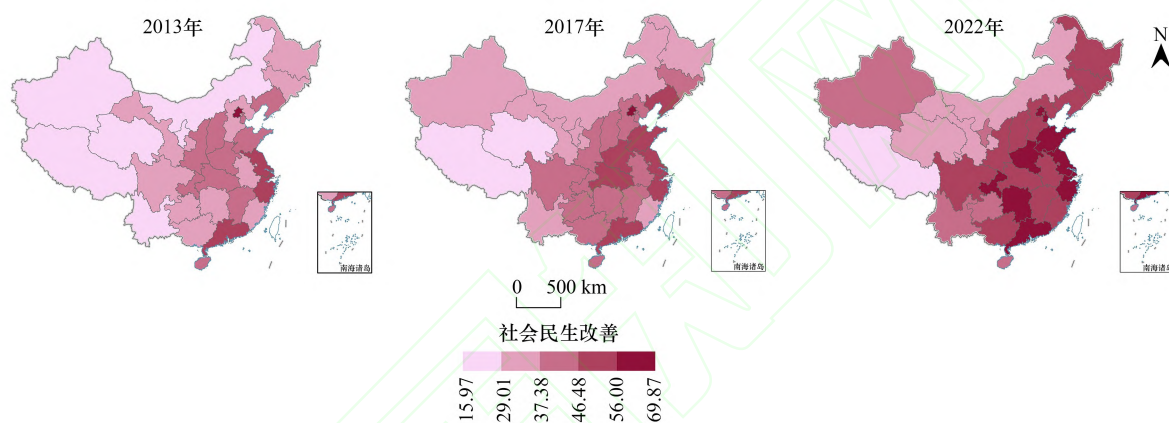


图 3 中国省域社会民生改善的时空格局

Fig.3 Spatio-temporal pattern of social well-being improvement across Chinese provinces

### 2.4 富裕均衡共享的省域格局

富裕均衡共享维度得分呈稳步上升态势(图 4)。2013—2022 年,中国 31 个省域的富裕均衡共享得分均值由 53.05 上升至 67.57,年均增长 2.73%。其中,2014 年富裕均衡共享得分上升尤为显著,表现为居民收入增长弹性和居民恩格尔系数等指标大幅上升。过去 10 年间,贵州、西藏和新疆等 7 个省域的得分增幅超过了 20 分,主要得益于它们在城乡居民收入与消费差距上的缩小,以及地区间医疗资源分配差距的改善。2022 年,富裕均衡共享得分最高为天津(82.21),最低为西藏(40.12)。总体上,全国省域富裕均衡共享得分呈东高西低的分布格局,东西部地区在转移支付依赖度、城乡居民收入差距和常住人口城镇化率等指标上的差异最为明显,得分差距分别为 45.53、25.75 和 24.06。

### 2.5 绿色低碳转型的省域格局

绿色低碳转型维度得分呈波动上升态势(图 5)。2013—2022 年,中国 31 个省域的绿色低碳转型得分均值由 55.40 上升至 58.03,年均增长 0.52%。其中,2018—2020 年,绿色低碳转型得分呈波动下降,主要归因于节能环保支出占比和绿色专利授权量占比的双重缩减。随着“双碳”目标及一系列配套政策措施的出台,火力发电占比和能源消费强度等指标明显改善,导致 2021 年以来绿色低碳转型得分均值反弹回升。2022 年,绿色低碳转型得分最高为四川(70.33),最低为宁夏(42.63)。过去 10 年间,海南绿色低碳转型得分的年均增幅居于全国首位(1.82%),主要得益于碳排放强度指标的显著改善。总体上,全国省域绿色低碳转型得分呈南高北低的分布格局,南北方地区在人均能源消费量、能源消费强度和火力发电占比等指标上的差异最为明显,得分差距分别为 27.04、24.48 和 19.55。

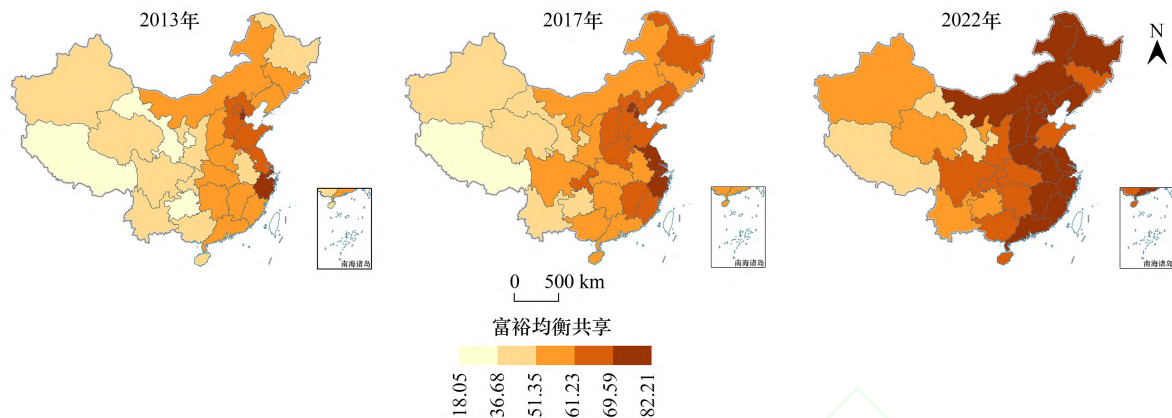


图4 中国省域富裕均衡共享的时空格局

Fig.4 Spatio-temporal pattern of equitable sharing of prosperity across Chinese provinces

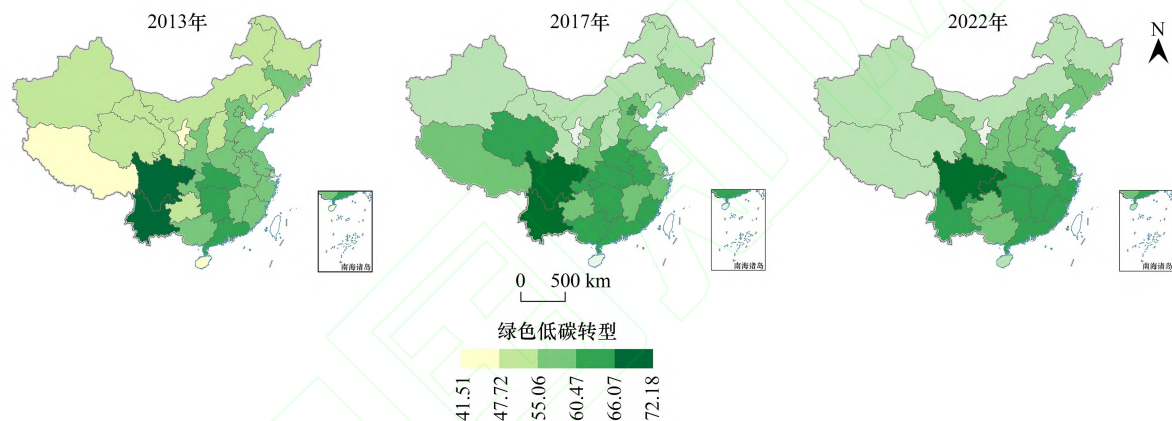


图5 中国省域绿色低碳转型的时空格局

Fig.5 Spatio-temporal pattern of green and low-carbon transition across Chinese provinces

## 2.6 生态环境治理的省域格局

生态环境治理维度得分呈稳步上升态势(图6)。2013—2022年,中国31个省域的生态环境治理得分均值由60.63上升至71.31,年均增长1.64%。其中,天津的年均增幅居于全国首位(3.34%),主要得益于京津冀及其周边地区“2+36”等大气污染防治政策的实施,有效降低了 $PM_{2.5}$ 年平均浓度等污染负荷指标<sup>[39]</sup>。2022年,生态环境治理得分最高为江西(81.06),最低为上海(60.45)。总体上,全国省域生态环境治理得分呈南高北低的分布格局,南北方地区在森林覆盖率、人均一般工业固体废物产生量和城市空气质量优良天数比例等指标上的差异最为明显,得分差距分别为23.47、16.32和11.83。

## 3 讨论

### 3.1 省域可持续发展的空间关联水平

分别采用全局Moran指数和局部Moran指数对综合可持续发展得分的空间关联特征和空间异质性进行分析(表3)。2013—2022年,中国31个省域综合可持续发展得分的Moran指数由0.441上升至0.542,空间正相关性逐渐增强,且均在1%统计水平上显著为正,存在空间集聚现象,可以分为高-高集聚、低-低集聚、低-高集聚和高-低集聚4种空间集聚类型(图7)。过去10年间,高-高集聚和低-低集聚的省域数量均有所增加,省域间综合可持续发展得分的极化现象加剧。具体而言,高-高集聚的省域由11个增加至15个,主要分布在

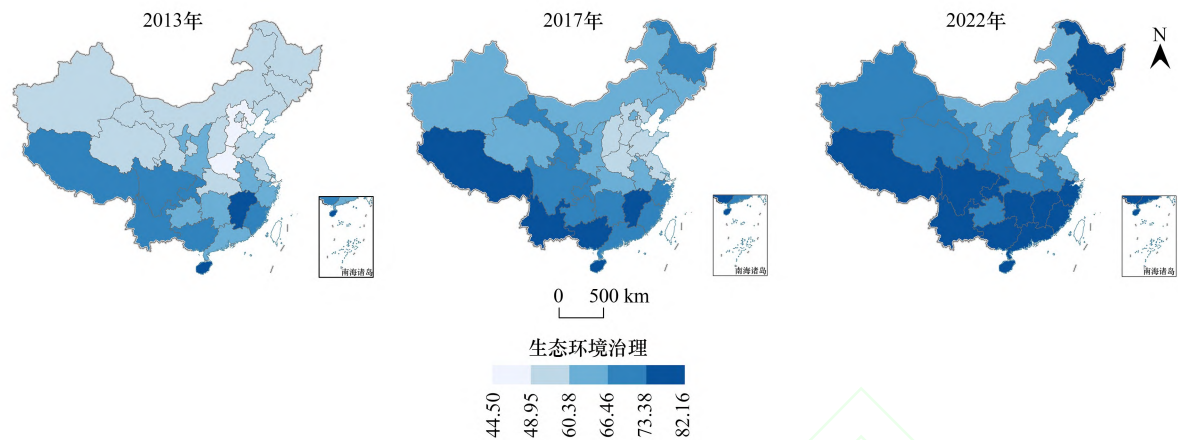


图 6 中国省域生态环境治理的时空格局

Fig.6 Spatio-temporal pattern of environmental governance across Chinese provinces

“胡焕庸线”的东南半壁,低-低集聚的省域由 10 个增加至 11 个,主要分布在“胡焕庸线”的西北半壁。这种空间分异特征可能与资源要素的流向密切相关<sup>[40]</sup>;东南半壁省域凭借自身发展基础持续吸引资源要素不断流入,资源的集聚与整合进一步提升了其综合可持续发展水平,形成了正反馈机制<sup>[41—42]</sup>;而西北半壁省域则更易陷入“资源诅咒”,形成“生态脆弱-经济受限-治理乏力”的恶性循环<sup>[43—44]</sup>,加剧了综合可持续发展水平的区域分化。因此,在制定区域可持续发展战略时,应着力优化资源配置,注重在低-低集聚省域培育内生发展动力,推动形成更为均衡、协同的可持续发展格局。

表 3 综合可持续发展得分的 Moran 指数

Table 3 Moran's *I* for overall sustainable development index

| 年份<br>Year | Moran 指数<br>Moran index | <i>z</i> 值<br><i>z</i> -score | <i>P</i> 值<br><i>P</i> -value | 年份<br>Year | Moran 指数<br>Moran index | <i>z</i> 值<br><i>z</i> -score | <i>P</i> 值<br><i>P</i> -value |
|------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2013       | 0.441                   | 4.006                         | 0.000                         | 2018       | 0.510                   | 4.583                         | 0.000                         |
| 2014       | 0.451                   | 4.090                         | 0.000                         | 2019       | 0.522                   | 4.684                         | 0.000                         |
| 2015       | 0.492                   | 4.430                         | 0.000                         | 2020       | 0.493                   | 4.437                         | 0.000                         |
| 2016       | 0.484                   | 4.363                         | 0.000                         | 2021       | 0.528                   | 4.739                         | 0.000                         |
| 2017       | 0.495                   | 4.460                         | 0.000                         | 2022       | 0.542                   | 4.853                         | 0.000                         |

3.2 省域可持续发展的维度协调水平

采用耦合协调度模型对可持续发展各维度得分之间的协调水平进行分析(图 8)。2013—2022 年,中国 31 个省域可持续发展 5 大维度间的耦合协调度呈上升态势,初级协调及以上水平的省域数量由 2013 年的 12 个增长至 2022 年的 29 个,但仍有 22 个省域的协调度处于濒临失调及以下水平。相比于东南沿海地区,西北地区的协调度相对较低,主要表现为生态环境治理和经济高质量发展两个维度之间差距悬殊,这种不平衡的发展模式对当地的可持续发展构成潜在威胁。尽管总体上可持续发展 5 大维度间的相互作用日益紧密,但协调性不足使得这种紧密性未能有效转化为推动省域综合可持续发展的合力。过度侧重某一维度的发展,可能导致其他维度发展变缓乃至停滞,进而成为制约综合可持续发展的短板因素<sup>[45—46]</sup>。因此,应充分考虑不同省域内各维度之间的相互关系,因地制宜统筹推进可持续发展各维度的协调与平衡。

3.3 “双碳”目标和共同富裕对省域可持续发展水平的影响

为进一步揭示“双碳”目标和共同富裕对省域可持续发展水平的影响,对比分析了以下四种情景下 2022 年省域综合可持续发展得分排名的变动情况:不考虑“双碳”目标和共同富裕(即基线情景,仅包含经济高质量发展、社会民生改善和生态环境治理 3 个维度的综合得分)、仅考虑“双碳”目标(在基线情景基础上增加绿

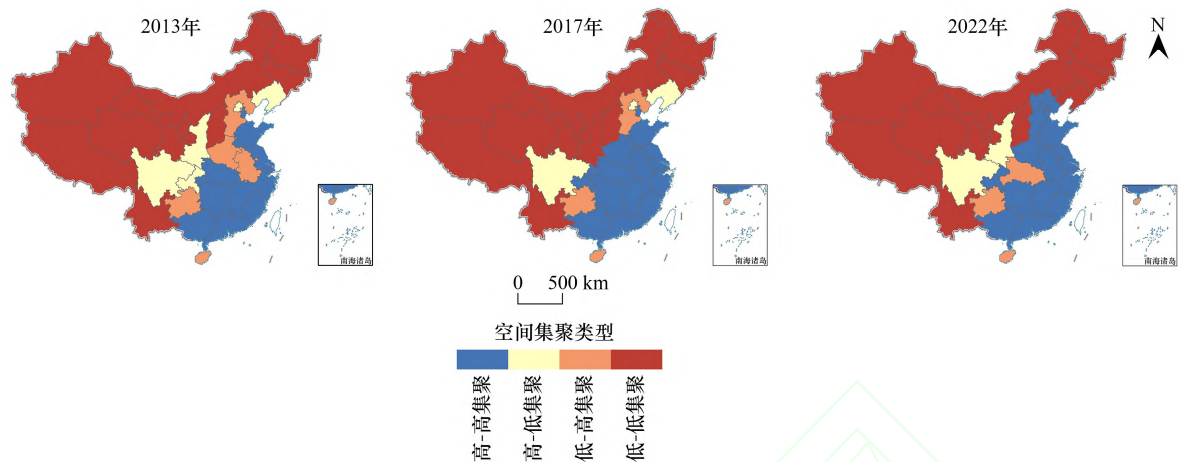


图7 中国省域综合可持续发展的空间集聚特征

Fig.7 Spatial agglomeration of overall sustainable development across Chinese provinces

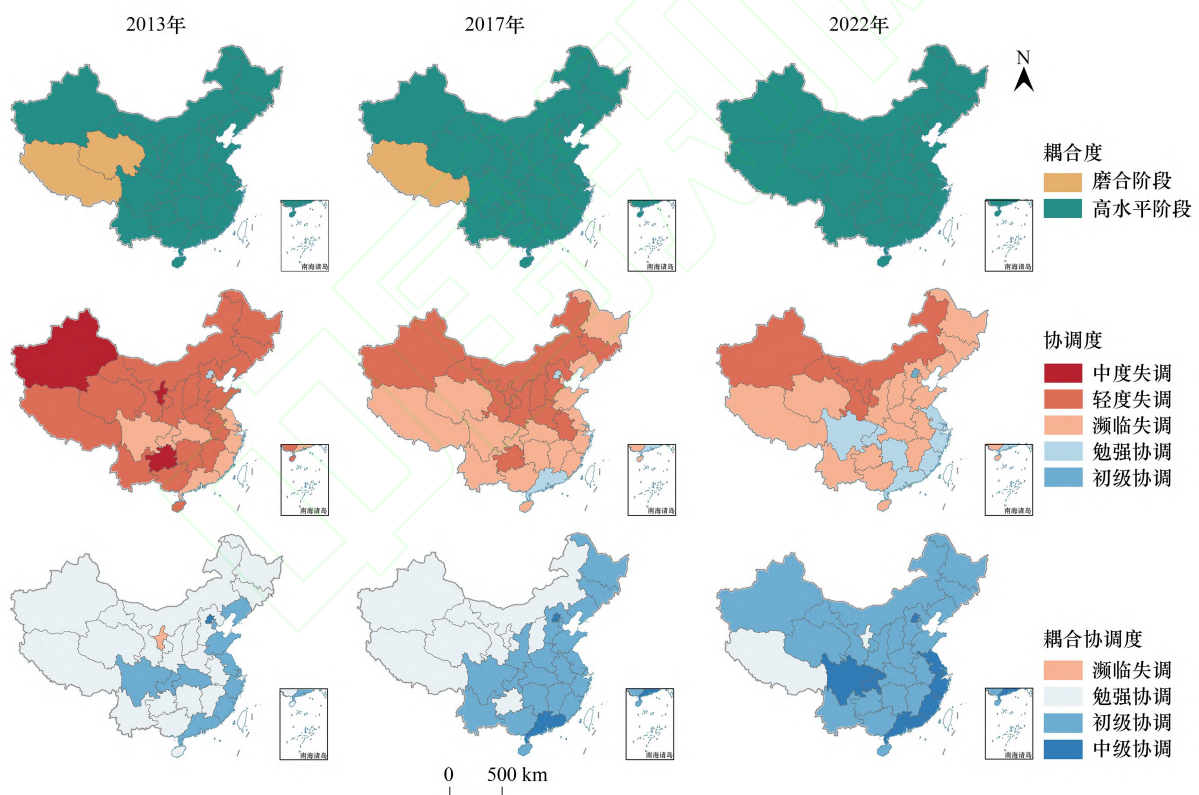


图8 中国省域耦合协调度的时空格局

Fig.8 Spatial-temporal pattern of coupling coordination degrees across Chinese provinces

色低碳转型维度后的综合得分)、仅考虑共同富裕(在基线情景基础上增加富裕均衡共享维度后的综合得分)、同时考虑“双碳”目标和共同富裕(在基线情景基础上增加绿色低碳转型和富裕均衡共享维度后的综合得分,即本文 2.1 的计算结果)。从图 9 可知,相比于基线情景,仅考虑“双碳”目标和仅考虑共同富裕均会对省域可持续发展水平排名产生影响。其中,“双碳”目标对省域综合可持续发展得分排名的权衡效应更为显著,导致 10 个省域排名下降,平均降幅为 4 个位次;共同富裕推进过程中尽管有 11 个省域排名下降,但平均

降幅仅为 2 个位次。这一差异可能源于“双碳”目标与共同富裕在实施路径上的不同:绿色低碳转型维度下的碳排放强度、人均能源消费量等关键指标,其微小的调整便可引发一系列经济社会效应,进而影响省域综合可持续发展得分<sup>[47]</sup>。相比之下,富裕均衡共享维度下的指标涉及教育、医疗、收入等社会公平问题,政策引导周期长、见效慢,短期内对省域综合可持续发展得分排名的影响较为有限<sup>[48]</sup>。此外,在同时考虑“双碳”目标和共同富裕后,原综合可持续发展得分处于前段(排名 1—10)的省域相对稳定,处于中段(排名 11—20)的省域变动较大,处于后段(排名 21—31)的省域变动次之,平均变动幅度分别为 2、5 和 3 个位次。其中,海南(下降 11 个位次)、吉林(下降 6 个位次)和云南(下降 5 个位次)等中段省域对“双碳”目标与共同富裕推进过程中的权衡效应更为敏感。因此,在推进“双碳”目标和共同富裕的过程中,应充分考虑省域自身状况,加强对基线情景中综合可持续发展得分排名中段省域的政策引导,以增强与其他可持续发展维度的协同效应。

|     | 不考虑“双碳”目标<br>和共同富裕 | 仅考虑<br>“双碳”目标 | 仅考虑<br>共同富裕 | 考虑“双碳”目标<br>和共同富裕 |
|-----|--------------------|---------------|-------------|-------------------|
| 北京  | 1                  | 1             | 1           | 1                 |
| 浙江  | 2                  | 3             | 2           | 3                 |
| 广东  | 3                  | 2             | 4           | 4                 |
| 江西  | 4                  | 10            | 3           | 7                 |
| 重庆  | 5                  | 6             | 6           | 6                 |
| 上海  | 6                  | 4             | 7           | 2                 |
| 福建  | 7                  | 8             | 5           | 8                 |
| 江苏  | 8                  | 5             | 8           | 5                 |
| 湖南  | 9                  | 7             | 10          | 9                 |
| 四川  | 10                 | 9             | 12          | 12                |
| 海南  | 11                 | 21            | 9           | 22                |
| 广西  | 12                 | 15            | 11          | 16                |
| 山东  | 13                 | 11            | 15          | 10                |
| 陕西  | 14                 | 14            | 13          | 15                |
| 安徽  | 15                 | 12            | 14          | 13                |
| 湖北  | 16                 | 13            | 20          | 19                |
| 吉林  | 17                 | 23            | 17          | 23                |
| 黑龙江 | 18                 | 22            | 16          | 20                |
| 云南  | 19                 | 19            | 22          | 24                |
| 天津  | 20                 | 17            | 18          | 11                |
| 辽宁  | 21                 | 20            | 19          | 17                |
| 河北  | 22                 | 18            | 21          | 18                |
| 河南  | 23                 | 16            | 23          | 14                |
| 贵州  | 24                 | 25            | 25          | 25                |
| 山西  | 25                 | 24            | 24          | 21                |
| 甘肃  | 26                 | 26            | 28          | 28                |
| 新疆  | 27                 | 27            | 26          | 27                |
| 西藏  | 28                 | 30            | 30          | 31                |
| 宁夏  | 29                 | 29            | 29          | 29                |
| 内蒙古 | 30                 | 28            | 27          | 26                |
| 青海  | 31                 | 31            | 31          | 30                |

图 9 考虑“双碳”目标和共同富裕与否对 2022 年中国省域可持续发展排名变化

Fig.9 Changes in the 2022 sustainable development rankings of Chinese provinces with or without consideration of peak and net-zero emissions and common prosperity

### 3.4 面向“双碳”目标和共同富裕的可持续发展评价指标体系的科学性

本文构建的本土化可持续发展评价指标体系在遵循 SDGs 评估理念的同时,还具有一些特色和优势:一是针对性和交互性。传统的“经济-社会-环境”三维框架虽然使得各维度特征鲜明且相互独立,但难以充分反映评价对象的复杂性和交互性。以新纳入的“双碳”目标为例,既涉及环境,又与经济和社会密切相关,单一的经济、社会或环境维度难以全面揭示其多维关联。为此,从需求导向出发,针对中国式现代化的特征任务,提出了涵盖经济高质量发展、社会民生改善、富裕均衡共享、绿色低碳转型和生态环境治理 5 大维度的评估体系,突破了原有三维框架非此即彼的局限性,使得评估结果更具针对性和交互性。二是灵活性和均衡性。可持续发展在不同国家、不同阶段面临不同的机遇与挑战,不少 SDGs 的指标(如 SDG 11.1 生活在贫民窟家庭中的城市人口比例和 SDG 16.a 符合《巴黎原则》的独立的国家人权机构的存在)并不适用于我国国情。为

此,基于系统性、科学性等原则,选取了 48 个指标对应上述 5 大维度,能够较为全面精准地覆盖我国可持续发展的主要方面,且基本采用结构性指标(如比例、强度、速率等),避免了以往“重数量、轻质量”的评价倾向,并通过先在各维度内对指标进行等权处理,再在各维度间进行等权处理的方法,能够更为均衡地反映各维度的贡献,避免了以往对所有指标进行算数平均导致某些维度信息被弱化或忽视的问题,使得评估结果更具灵活性和均衡性。

#### 4 结论

通过对 2013—2022 年 31 个省域可持续发展水平进行测度,揭示了我国可持续发展进程的总体趋势和空间特征,得出如下主要结论:

(1)省域综合可持续发展水平呈稳步上升态势,年均增长 1.50%,并在空间上呈由东南向西北递减的阶梯式分布格局;

(2)省域间综合可持续发展水平的空间正相关性逐渐增强。同时,高-高集聚和低-低集聚的省域数量均有所增加,且分别分布在“胡焕庸线”的东南半壁和西北半壁,极化现象加剧;

(3)省域可持续发展 5 大维度均呈改善态势,其中,经济高质量发展、社会民生改善和富裕均衡共享在空间上具有相似性,呈东高西低的分布格局,而绿色低碳转型与生态环境治理则呈南高北低的分布格局;

(4)省域可持续发展 5 大维度间的耦合协调度呈上升态势,但整体协调水平依然较低。2022 年,仍有 22 个省域的协调度处于濒临失调及以下水平,西北地区的维度间发展失衡问题尤为突出;

(5)“双碳”目标和共同富裕的推进均对省域可持续发展水平排名产生影响,其中“双碳”目标的权衡效应尤为明显,导致 10 个省域排名下降,平均降幅为 4 个位次。

本研究将“双碳”目标和共同富裕纳入可持续发展评估框架,是一次在中国式现代化背景下重新诠释可持续发展理念的探索,不仅有助于揭示我国省域可持续发展的时空演变规律,还为 SDGs 本土化评估提供了方法参考。诚然,本研究也存在一定的局限性。首先,聚焦于中宏观层面的省域分析,缺乏市、县等微观尺度区域的探讨,无法更细致反映可持续发展的空间异质性。其次,5 大维度的整体耦合协调度分析无法充分反映两两维度间的相互关系和作用机制,限制了对可持续发展各维度间权衡和协同效应的进一步探究。再次,“双碳”目标与共同富裕的实现是一个长期且复杂的过程,涉及众多因素,未来应根据实际情况对评价指标体系进行更新优化,以更全面、动态地反映我国可持续发展进程中的优势与挑战。

#### 参考文献(References):

- [1] World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1887.
- [2] 张志强,孙成权,程国栋,牛文元. 可持续发展研究:进展与趋向. 地球科学进展, 1999, 14(6): 589-595.
- [3] Fang K. Moving away from sustainability. Nature Sustainability, 2022, 5(1): 5-6.
- [4] 牛文元. 可持续发展理论的内涵认知——纪念联合国里约环发大会 20 周年. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(5): 9-14.
- [5] United Nations. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. New York, 2015.
- [6] 中华人民共和国外交部. 中国落实 2030 年可持续发展议程国别方案. 2016.
- [7] 孙新章. 中国建立落实 2030 年可持续发展议程创新示范区的战略思考. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(4): 1-5.
- [8] 汪涛,张家明,刘炳胜. 国家可持续发展议程创新示范区评价指标体系研究. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(12): 17-26.
- [9] Schmidt-Traub G, Kroll C, Teksoz K, Durand-Delacre D, Sachs J D. National baselines for the sustainable development goals assessed in the SDG index and dashboards. Nature Geoscience, 2017, 10: 547-555.
- [10] Sachs J, Schmidt-Traub G, Kroll C, Laforune G, Fuller G. Sustainable Development Report 2020. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2021.
- [11] 方恺. 基于改进生态足迹三维模型的自然资本利用特征分析——选取 11 个国家为数据源. 生态学报, 2015, 35(11): 3766-3777.
- [12] 方恺,朱思睿,刘潇,王思元,许安琪,李程琳. 面向可持续发展目标的中国城市气候治理绩效评估. 环境保护, 2023, 51(23): 39-44.
- [13] Zhang Q F, Wiedmann T, Fang K, Song J N, He J J, Chen X P. Bridging planetary boundaries and spatial heterogeneity in a hybrid approach: a focus on Chinese provinces and industries. Science of the Total Environment, 2022, 804: 150179.
- [14] Stokstad E. Sustainable goals from U.N. under fire. Science, 2015, 347(6223): 702-703.

- [15] 邵超峰, 陈思含, 高俊丽, 贺瑜, 周海林. 基于 SDGs 的中国可持续发展评价指标体系设计. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(4): 1-12.
- [16] Hu Z G, Wu Q, Li J. The localization of SDGs in China: system construction, status assessment and development reflection. *Ecological Indicators*, 2023, 154: 110514.
- [17] Fang K, Xu A Q, Wang S Q, Jia X P, Liao Z J, Tan R R, Sun H P, Su F. Progress towards Sustainable Development Goals in the Belt and Road Initiative countries. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 424: 138808.
- [18] Wu X T, Fu B J, Wang S, Liu Y X, Yao Y, Li Y J, Xu Z C, Liu J G. Three main dimensions reflected by national SDG performance. *The Innovation*, 2023, 4(6): 100507.
- [19] Xu Z C, Chau S N, Chen X Z, Zhang J, Li Y J, Dietz T, Wang J Y, Winkler J A, Fan F, Huang B R, Li S X, Wu S H, Herzberger A, Tang Y, Hong D Q, Li Y K, Liu J G. Assessing progress towards sustainable development over space and time. *Nature*, 2020, 577(7788): 74-78.
- [20] 陈思含, 邵超峰, 高俊丽, 赵润, 杨岭. 基于可持续发展目标的资源型城市可持续发展评价技术及应用——以湖南省郴州市为例. 生态学报, 2022, 42(12): 4807-4822.
- [21] 朱婧, 孙新章, 何正. SDGs 框架下中国可持续发展评价指标研究. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(12): 9-18.
- [22] 胡鞍钢. 中国实现 2030 年前碳达峰目标及主要途径. 北京工业大学学报: 社会科学版, 2021, 21(3): 1-15.
- [23] 林伯强. 碳中和进程中的中国经济高质量增长. 经济研究, 2022, 57(1): 56-71.
- [24] Costanza R, Daly L, Fioramonti L, Giovannini E, Kubiszewski I, Mortensen L F, Pickett K E, Ragnarsdottir K V, De Vogli R, Wilkinson R. Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecological Economics*, 2016, 130: 350-355.
- [25] Rockström J, Schellnhuber H J, Hoskins B, Ramanathan V, Schlosser P, Brasseur G P, Gaffney O, Nobre C, Meinshausen M, Rogelj J, Lucht W. The world's biggest gamble. *Earth's Future*, 2016, 4(10): 465-470.
- [26] Wackernagel M, Hanscom L, Lin D. Making the sustainable development goals consistent with sustainability. *Frontiers in Energy Research*, 2017, 5: 18.
- [27] Yin C C, Zhao W W, Fu B J, Meadows M E, Pereira P. Key axes of global progress towards the sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 385: 135767.
- [28] Zhang J Z, Wang S, Pradhan P, Zhao W W, Fu B J. Mapping the complexity of the food-energy-water nexus from the lens of Sustainable Development Goals in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 183: 106357.
- [29] 邹波, 朱婧. 联合国可持续发展目标框架下中国目标数据的可获得性及进程分类研究. 国际商务研究, 2020, 41(5): 15-25.
- [30] Wang Q, Liu C, Hou Y T, Xin F, Mao Z, Xue X Z. Study of the spatio-temporal variation of environmental sustainability at national and provincial levels in China. *Science of the Total Environment*, 2022, 807: 150830.
- [31] Guan Y, Qiang Y, Qu Y Y, Lu W T, Xiao Y, Chu C J, Xiong S G, Shao C F. Environmental sustainability and beautiful China: a study of indicator identification and provincial evaluation. *Environmental Impact Assessment Review*, 2024, 105: 107452.
- [32] Diaz-Sarachaga J M, Jato-Espino D, Castro-Fresno D. Is the Sustainable Development Goals (SDG) index an adequate framework to measure the progress of the 2030 Agenda? *Sustainable Development*, 2018, 26(6): 663-671.
- [33] 叶靓俏, 尹彩春, 赵文武. 基于文献计量分析的联合国可持续发展目标研究. 生态学报, 2023, 43(24): 10480-10489.
- [34] 薛澜, 翁凌飞. 中国实现联合国 2030 年可持续发展目标的政策机遇和挑战. 中国软科学, 2017, (1): 1-12.
- [35] 孟斌, 王劲峰, 张文忠, 刘旭华. 基于空间分析方法的中国区域差异研究. 地理科学, 2005, 25(4): 393-400.
- [36] 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋. 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局. 生态学报, 2014, 34(2): 247-257.
- [37] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 治丹丹, 戴彬婷. 国内耦合协调度模型的误区及修正. 自然资源学报, 2021, 36(3): 793-810.
- [38] 任祁荣, 于逸恩. 甘肃省生态环境与社会经济系统协调发展的耦合分析. 生态学报, 2021, 41(8): 2944-2953.
- [39] 李慧, 王淑兰, 张文杰, 王涵, 王涵, 王少博, 李海生. 京津冀及周边地区“2+26”城市空气质量特征及其影响因素. 环境科学研究, 2021, 34(1): 172-184.
- [40] 陈良文, 杨开忠. 我国区域经济差异变动的原因: 一个要素流动和集聚经济的视角. 当代经济科学, 2007, 29(3): 35-42.
- [41] 胡焕庸. 中国人口的分布、区划和展望. 地理学报, 1990, (2): 139-145.
- [42] 方创琳, 李广东, 戚伟, 孙思奥, 崔学刚, 任宇飞. “胡焕庸线”东西部城乡发展不平衡趋势及沿博台线微突破策略. 地理学报, 2023, 78(2): 443-455.
- [43] 曹诗颂, 王艳艳, 段福洲, 赵文吉, 王志恒, 房娜. 中国贫困地区生态环境脆弱性与经济贫困的耦合关系——基于连片特困区 714 个贫困县的实证分析. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2614-2622.
- [44] 邵帅, 齐中英. 西部地区的能源开发与经济增长——基于“资源诅咒”假说的实证分析. 经济研究, 2008, 43(4): 147-160.
- [45] Liu Y L, Du J Q, Wang Y F, Cui X Y, Dong J C, Hao Y B, Xue K, Duan H B, Xia A Q, Hu Y, Dong Z, Wu B F, Zhao X Q, Fu B J. Evenness is important in assessing progress towards sustainable development goals. *National Science Review*, 2020, 8(8): nwaa238.
- [46] Qi Y T, Shi X P, Chen Y N, Shen Y F. Country-level evenness measure in assessing progress towards Sustainable Development Goals (SDGs). *Humanities and Social Sciences Communications*, 2024, 11(1): 1117.
- [47] Jia X P, Zhang Y M, Tan R R, Li Z W, Wang S Q, Wang F, Fang K. Multi-objective energy planning for China's dual carbon goals. *Sustainable Production and Consumption*, 2022, 34: 552-564.
- [48] 李实, 朱梦冰. 推进收入分配制度改革, 促进共同富裕实现. 管理世界, 2022, 38(1): 52-62, 76.