



· 黄河流域生态保护和高质量发展 ·

黄河流域生态修复测度、空间分布及影响因素 ——基于黄河流域56个城市面板数据的分析

苏永伟, 高红霞

(山西财经大学 国际贸易学院, 山西 太原 030032)

摘要 生态修复治理是构建生态文明、保障国家生态安全、推动经济社会绿色转型和高质量发展的关键战略举措。作为我国重要的水源区和生态功能区,黄河流域生态修复治理对于我国生态文明建设具有重要意义。该文以黄河流域56个城市为考察样本,从水资源利用、生态吸收能力、生态环境保护能力、生态承载能力四方面出发,构建黄河流域城市生态修复程度评价指标体系,使用熵权 Topsis 法对2011—2022年黄河流域各个城市的生态修复程度进行测度,运用时序演进特征、核密度方法对测度结果进行分析。①整体来看,黄河流域城市生态修复水平基本表现为稳步上升的时序特征,城市生态修复事业发展速度不断加快。从城市截面来看,黄河流域各城市之间生态修复指数差异较为明显;分流域来看,在样本考察期内,黄河流域56个城市生态修复发展状况呈现向好态势。同时,黄河流域各个城市生态修复水平呈现较强的动态收敛性特征,各个城市之间的生态修复水平差异逐渐缩小。②从子系统指数来看,黄河流域城市生态修复水平整体呈现良好态势。四个子系统生态修复指数增长幅度大小排序依次为:生态吸收能力>水资源利用能力>生态承载能力>生态保护能力。此外,使用 Tobit 模型进一步探讨黄河流域城市生态修复的驱动因素。经济发展水平、财政支持水平、产业结构转变、绿色创新水平、政府关注程度提高都显著促进了黄河流域城市生态修复水平提升。对外开放中的进出口贸易是主要抑制力,显著抑制了黄河流域生态修复发展。

关键词 黄河流域;城市;生态修复;修复程度;测度

中图分类号:X24 DOI:10.16152/j.cnki.xdxbzr.2025-04-006

Measurement, spatial distribution and influencing factors of ecological restoration in the Yellow River Basin: Analysis based on the panel data of 56 cities in the Yellow River Basin

SU Yongwei, GAO Hongxia

(College of International Trade, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030032, China)

Abstract Ecological restoration and governance is a key strategic measure for building an ecological civilization, ensuring national ecological security, and promoting the green transformation and high-quality development.

收稿日期:2025-03-10

基金项目:国家自然科学基金(41977412);2024年山西省回国留学人员科研资助项目(2024-100);2024年山西省留学回国人员科技活动择优资助项目(20240018)的阶段性成果。

第一作者:苏永伟,女,博士,副教授,硕士生导师,从事生态经济、产业经济方面研究,suyongwei-88@163.com。

ment of the economy and society. As an important water source area and ecological function zone in China, the ecological restoration and governance of the Yellow River Basin is of great significance to China's ecological civilization construction. This paper takes 56 cities in the Yellow River Basin as the research sample, and constructs an evaluation index system for the degree of ecological restoration of cities in the Yellow River Basin from four aspects: water resource utilization, ecological absorption capacity, ecological environmental protection capacity, and ecological carrying capacity. The entropy weight Topsis method is used to measure the degree of ecological restoration of each city in the Yellow River Basin from 2011 to 2022, and the measurement results are analyzed using the time series evolution characteristics and Kernel Density method. The results indicate that: ① Overall, the level of urban ecological restoration in the Yellow River Basin demonstrates a consistent upward trend, accompanied by an accelerating pace of development. A cross-sectional analysis reveals significant disparities in the ecological restoration index among the cities within the basin. Throughout the study period, the ecological restoration efforts across the 56 cities exhibit positive momentum, along with a notable dynamic convergence in ecological restoration levels, leading to a gradual reduction of differences among cities. ② An examination of the subsystem indices indicates a favorable trend in the overall level of urban ecological restoration in the Yellow River Basin. The ranking of growth in the ecological restoration indices for the four subsystems is as follows: ecological absorption capacity > water resource utilization capacity > ecological carrying capacity > ecological protection capacity. Furthermore, the Tobit model is utilized to investigate the driving factors influencing urban ecological restoration in the Yellow River Basin. The results reveal that levels of economic development, financial support, industrial structure transformation, green innovation, and government engagement significantly contribute to the enhancement of urban ecological restoration levels. The import and export trade that is open to the outside world emerges as a primary inhibitory force, significantly suppressing the advancement of ecological restoration in the Yellow River Basin.

Keywords the Yellow River Basin; urban; ecological restoration; degree of restoration; measurement

黄河是中华民族的母亲河,黄河流域是我国重要的生态区域,其生态修复是我国生态治理的重要内容之一。2019 年 9 月,党中央将黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略,提出,治理黄河,重在保护,要在治理。黄河流域的生态问题与我国水资源安全、粮食安全、自然资源保护等工作紧密相关,加强黄河流域生态修复对于我国经济社会发展具有重要意义。2023 年中央一号文件指出,要持续开展母亲河复苏行动,科学实施农村河湖综合整治。《黄河流域蓝皮书:黄河流域生态保护和高质量发展报告(2024)》显示:2023 年沿黄 9 省区万元工业增加值用水量 12.0 m^3 ,比 2019 年下降 40.1%,水资源利用效率得到明显提升;到 2023 年底,黄河流域累计建成淤地坝 5.8 万余座,拦沙减蚀能力达到 310 亿吨以上,水土流失面积和强度实现了双下降;黄河流域一些城市实施了如三北防护林、退耕还林还草、湿地保护与恢复等生态修复工程,生态环境得到了显著改善。但现阶段我国生态文明建设仍处于压力叠加、负重前行的关键期,美丽中国建设任务

依旧艰巨。那么,当前黄河流域城市生态修复进展如何?有哪些因素影响生态修复的进一步开展?本文将聚焦这些问题重点研究。

学术界关于生态修复理论与实证的研究成果较为丰富,这些文献为本文提供了重要研究基础。

关于生态修复内涵的界定。“生态修复”这一概念目前学术界已形成基本一致的观点,即生态修复的目标是补偿过去的既有损害,推进生态的自我修复与人为干预辅助修复并行,逐步恢复生态系统的健康可持续发展功能。这要求不仅要恢复生态受损的部分,同时要修复生态自身的抵抗调节能力^[1-3]。结合时代发展与生态协调的基本要求,我国学者丰富了生态修复的内涵,即以生态的自我修复以及人力辅助为途径,首先恢复生态系统原有的保持水土、调节气候、维护生物多样性的生态功能,同时要提高生态系统的整体价值,维持社会服务功能^[4-6]。

关于生态修复治理的测度与衡量。目前学者们主要通过构建指标体系的方法,对生态修复治理程度加以测度。基于自然生态视角,有学者从

土壤环境、水环境、大气环境、自然状况环境四个层面对生态质量进行评价^[7]。基于生态环境治理基础与进一步改善的视角,有学者从资源环境水平、生态系统承受压力水平、生态治理与改善水平三个层面进行考量^[8]。需要指出的是,这里的资源环境水平是指生态系统本身的资源禀赋与基础条件^[9],是生态治理的起点;生态系统承受压力水平,主要是将工业废水、工业二氧化硫、工业烟粉尘^[10]、碳排放^[8]等纳入指标体系,综合考察生态环境压力;人工造林、森林覆盖、环境治理投资以及污染物无害化处理^[11]等反映了人力对于生态修复的影响。张秋丰等^[12]学者将生态系统服务功能引入到生态修复效果评估方法中,进一步丰富了生态修复效果评估体系。

学者们主要从以下两个方面展开生态修复影响因素的研究:自然生态层面,生态破坏程度以及自然条件是影响生态修复的根本因素,气候、海拔、区域地形^[13]、植被以及降水量^[9]等生态条件是制约生态系统恢复的重要因素;社会层面,城市供水总量以及水资源配置是社会生态系统恢复力发展的主要障碍因子,在一定程度上水资源配置显示了环境资源配置原则^[14],水资源的合理利用有利于黄河流域改善生态环境^[15]。经济良好发展能驱动人才等要素集聚、构建区位优势^[15]从而显著提高生态治理效率,但可能有“福利门槛”存在导致经济发展达到一定水平后抑制生态治理效率^[16]。政府调控能够调节财政资金流向,用好生态治理扶持政策有助于加强黄河流域生态治理^[15]。产业结构是影响城市生态修复的重要影响因素。工业过程常伴随着高污染、高耗能、高排放的环境问题^[16],尤其对于资源型城市而言,单一的经济结构在推动经济发展的同时对生态环境产生较大破坏^[17];但有学者认为产业结构升级反而会拖累黄河中游地区的绿色发展效率,原因可能在于黄河中游地区以资源型产业为主,短期内产业升级作用效果有限^[10]。农业生产力的提升以及人口压力减缓能够显著改善黄土高原植被恢复成效^[18],耕地面积能推动植被恢复效果改善^[13]。

生态治理修复旨在恢复生态系统自我机能,实现生态自我健康循环,同时能与经济社会和谐发展、共同促进。生态修复工作的推进需要因地制宜,与时俱进,紧紧把握治理方向。学者们关于生态修复的大量研究为黄河流域生态修复提供了重要借鉴,拓展了生态脆弱区域的修复发展方向。但由于各城市之间自然地理、产业结构以及经济社会发展等方面的不同,学术界对于黄河流域沿岸城市生态修复这一问题的研究还有待进一步深入。为此,本文以黄河流域生态修复问题为研究对象,测度生态修复取得的阶段性成果,这对于进一步精准高效、针对性改进修复措施,从而加快黄河流域生态文明建设,推动黄河流域城市高质量发展具有重要意义。

1 研究方法

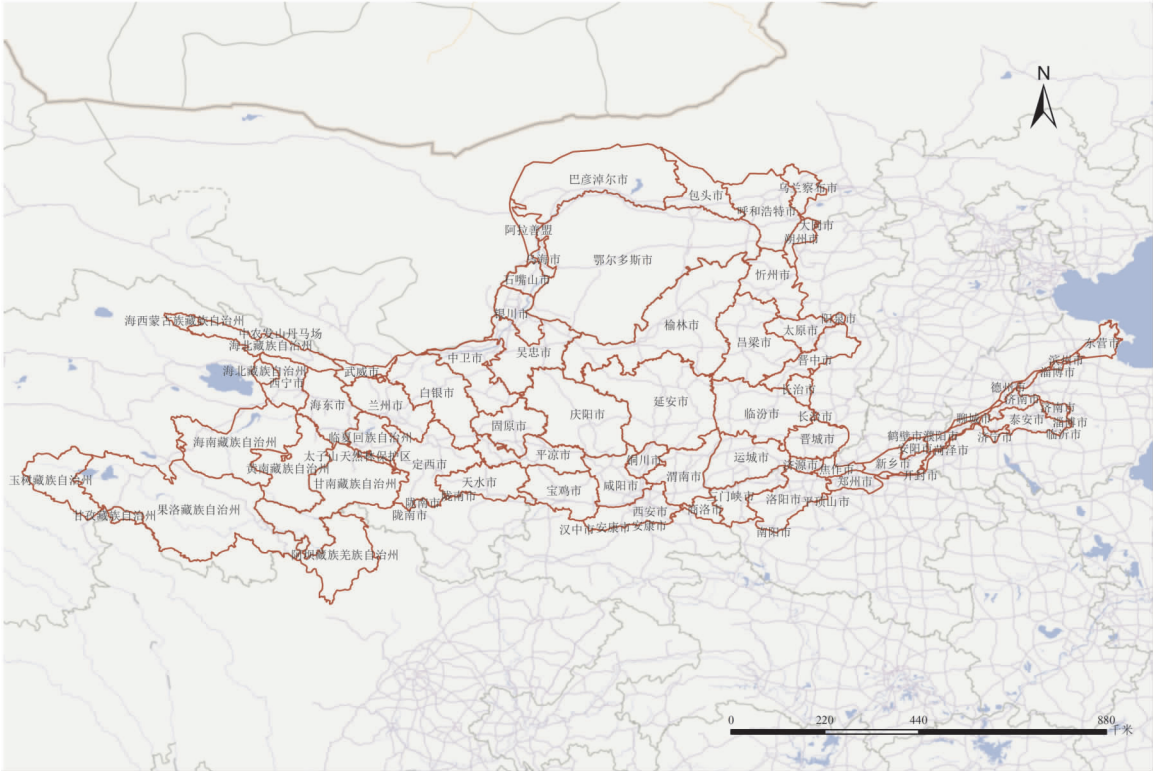
1.1 研究区概况

黄河流域指黄河水系这一河流在我国境内途经及造成生态影响的区域。行政上,其横跨我国青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东 9 个省级区域的多个城市。黄河横跨我国国土东、中、西部,西高东低,存在较大的地势差,季节与气候差别大,地区差异明显。同时黄河流域矿产、能源和生物资源都很丰富。目前,黄河流域在政府政策引导下,正逐步实现产业结构转型升级,不断地发展第三产业,培育新兴业态,经济发展质量和经济效益也在不断提高,基础设施逐步完善,社会经济发展向好。但同时,黄河流域是我国生态脆弱地区,生态问题突出表现在生态系统功能退化、水土涵养能力不足、河流污染等方面。从生态和社会经济发展的角度看,黄河流域发展前景广阔,但生态恢复过程任重道远。

本文从地级市层面分析黄河流域生态修复效果,研究时间跨度为 2011—2022 年,研究范围包括山西、内蒙古、山东、河南、陕西、甘肃、青海、宁夏共 8 个省区的 56 个城市^①(见图 1)。需要说明的是,由于四川省黄河流域城市数据以及其他省份部分黄河流域城市数据缺失,在研究时,并未包

① 56 个城市分别为:兰州、嘉峪关、金昌、天水、武威、张掖、平凉、庆阳、定西、西宁、银川、石嘴山、吴忠、呼和浩特、包头、乌海、鄂尔多斯、巴彦淖尔、乌兰察布、太原、大同、阳泉、长治、晋城、朔州、晋中、运城、忻州、临汾、吕梁、济南、淄博、东营、济宁、泰安、德州、聊城、滨州、菏泽、郑州、开封、洛阳、安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳、三门峡、西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南、延安、榆林、商洛。

括在内。



审图号:GS(2024)0650 号,底图边界无修改。

图 1 研究区概况图

Fig. 1 Research areas

1.2 分析方法与模型

1.2.1 熵权-Topsis 法

熵权法和 Topsis 法是两种常用的综合评价方法。熵权法是一种客观赋权方法,通过各指标标志值之间的差异程度,确定指标权重。Topsis 法在熵权法确定的权重的基础上,找到其中的最优距离与最劣距离,构造相对接近度,对评价对象进行排序。综合使用这两种方法,可以进行更客观地评价。

1.2.2 核密度估计方法

核密度估计是目前分析特定地理事物或现象差异时较具代表性的方法,用于识别并可视化数据在空间中的分布模式,其基本思想是将考察对象的分布格局视为某种概率分布,利用连续的密度曲线描述对象的分布形态,使用有限的样本数据对整体进行推断分析。本文主要选用高斯(Gaussian)核密度函数,使用 Stata 软件进行分析。

1.2.3 Tobit 模型

本文测算的黄河流域城市生态修复得分数值范围在 0~1 之间,且测量结果存在被切割的特点,符合受限因变量的 Tobit 回归模型设定条件。

因此,可以使用该模型来深入分析黄河流域城市生态修复发展的影响因素。模型公式如下所示。

$$\begin{cases} Y'_{it} = \partial_0 + \beta_k Z_{it} + \varepsilon_{it} \\ \text{若 } Y'_{it} \leq 0, Y_{it} = 0 \\ \text{若 } Y'_{it} > 0, Y_{it} = Y'_{it} \\ i = 1, 2, \dots, 56; \\ t = 2011, 2012, \dots, 2021; \end{cases}$$

本文探讨影响黄河流域生态修复水平的因素,基准回归模型细化为

$$E_{it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln G_{it} + \beta_2 O_{it} + \beta_3 F_{it} + \beta_4 I_{it} + \beta_5 \ln P_{it} + \beta_6 \ln C_{it} + \varepsilon_{it}$$

式中: E_{it} 是被解释变量,即黄河流域城市的生态修复水平, G_{it} 表示经济发展水平、 O_{it} 表示对外开放程度、 F_{it} 表示财政支持水平、 I_{it} 表示产业结构转变情况、 P_{it} 表示绿色创新水平、 C_{it} 表示政府关注程度; α_0 是常数项; β_k 是变量系数; ε_{it} 为扰动项, i 表示地区, t 表示年份。

1.3 指标选取

1.3.1 黄河流域生态修复测度指标选取
本文在参考借鉴李雪红构建的生态系统测度指标体系^[14]、温煜华构建的生态环境综合评价指

标体系^[19]、蒋应刚等构建的社会-生态系统恢复力测度指标体系^[11]研究成果的基础上,根据黄河流域生态修复工作的实际需要,提出从水资源利用、生态吸收能力、生态环境保护能力、生态承载能力四方面构建黄河流域生态修复的测度指标体系。水资源利用方面,由于黄河流域地区的水资源较为缺乏,故水资源利用的效率高低将会对其生态修复的实现程度产生重要影响。在参考上述学者文献的基础上,本文提出使用人均日生活用水量、供水普及率这 2 项指标来衡量黄河流域水资源利用水平的高低。生态吸收能力方面,选取工业二氧化硫排放强度、工业烟粉尘排放强度、污水集中处理率、生活垃圾无害化处理率 4 项指标来衡量和测度。生态环境保护能力方面,主要通过节能环保财政支出、人工造林总面积这 2 项指标考察城市的生态环境保护能力和水平。生态承载能力方面,选用化肥施用负荷、人口密度、人均

公园绿地面积、建成区绿化覆盖率这 4 项指标加以衡量和测度。在总共的 12 项指标中,人均日生活用水量、工业二氧化硫排放强度、工业烟粉尘排放强度、生活垃圾无害化处理率、化肥施用负荷、人均公园绿地面积、建成区绿化覆盖率这 7 项指标均来源于李雪红、温煜华、蒋应刚等人构建的相关指标体系或结合数据的可获得性,对指标名称进行了略微修改。其余 5 项指标均是考虑了黄河流域地区的实际情况后,结合本文研究需要提出。其中,人均日生活用水量代表了黄河流域城市生活的用水基础,可供利用的生活用水量越多,越有利于生态修复工作的开展;工业二氧化硫排放强度、工业烟粉尘排放强度这 2 项指标数值与减污降碳紧密相关,指标数值越小,对于做好生态修复工作越有利;化肥施用负荷指标数值越大,表明单位面积土地施用的化肥量越多,对生态保护修复工作造成压力。具体指标体系如表 1 所示。

表 1 黄河流域生态修复测度指标体系

Tab. 1 Index system of ecological restoration measurement in the Yellow River Basin

一级指标	权重	二级指标	权重	单位	指标属性
水资源利用能力	0. 102 8	人均日生活用水量	0. 076 2	L	正
		供水普及率	0. 026 6	%	正
生态吸收能力	0. 117 9	工业二氧化硫排放强度	0. 033 6	t	负
		工业烟粉尘排放强度	0. 025 4	t	负
		污水处理厂集中处理率	0. 030 1	%	正
		生活垃圾无害化处理率	0. 028 9	%	正
生态环境保护能力	0. 380 9	节能环保财政支出	0. 170 7	万元	正
		人工造林总面积	0. 210 2	hm ²	正
生态承载能力	0. 398 2	化肥施用负荷	0. 151 4	t	负
		人口密度	0. 131 1	人/km ²	正
		人均公园绿地面积	0. 080 7	m ³ /人	正
		建成区绿化覆盖率	0. 035 1	%	正

1. 3. 2 Tobit 模型的变量选取及作用机制分析

参考学者的以往研究,初步判断对黄河流域城市生态修复的影响因素包括经济发展水平^[15]、对外开放程度^[12]、财政支持水平^[20]、产业结构转变情况^[21]、绿色创新水平^[22]、政府关注程度^[23]等。明确各因素对黄河流域城市生态修复事业发展的影响程度及其作用机制,对于提出黄河流域城市生态修复的路径选择和针对性措施具有重要意义。故以黄河流域城市生态修复指数为被解释变量,选取经济发展水平、对外开放程度、财政支

持水平、产业结构转变、绿色创新水平、政府关注程度为解释变量进行实证检验,变量的描述性统计见表 2。

经济发展水平(*G*)。选取人均 GDP 并取对数来衡量城市经济发展水平,检验其对黄河流域城市生态修复的影响效应。经济实力的提升能够推动生态修复的资金投入、技术发展,同时经济发展能够促使人们转变消费方式,提升绿色环保消费意识。

对外开放程度(*O*)。选取地区进出口贸易总

额占地区生产总值的比重来衡量。城市进行进出口贸易,一方面,可能为城市带来先进生产技术与管理经验,也有利于促进生产方面的高效能、低污染;同时还能够利用国内外市场优化资源配置,减

少资源错配造成的生态环境压力。另一方面,进出口贸易的扩大可能会增加当地生态资源消耗,导致生态环境进一步恶化,生态修复事业受阻。

表 2 变量的描述性统计
Tab. 2 Descriptive statistics of variables

变量名称	样本数	平均值	标准误	最小值	中位数	最大值
<i>E</i>	616	0.48	0.03	0.36	0.49	0.56
$\ln G$	616	10.78	0.57	8.84	10.78	12.46
<i>O</i>	616	0.08	0.12	0.00	0.04	1.21
<i>F</i>	616	0.21	0.11	0.07	0.17	0.70
<i>I</i>	616	0.91	0.07	0.69	0.92	1.06
$\ln P$	616	4.71	1.50	0.00	4.63	8.87
$\ln C$	616	3.78	0.43	1.39	3.81	4.94

财政支持水平(*F*)。选取政府财政一般支出占地区生产总值的比重来衡量。生态环境事业投入中,政府财政投入占有较大比重。首先,政府财政投入支持了生态治理的基础设施建设;同时政府财政的大力投入可引导社会资本参与生态治理项目。

产业结构转变(*I*)。选取第三产业增加值占地区生产总值的比重来衡量产业结构转型升级水平。产业结构实现由劳动密集型向资本密集型再向技术密集型的转化,由第一、二产业向第三产业转移,能够减少生态环境压力,改善生态环境,生态修复水平能够不断提高。

绿色创新水平(*P*)。选取绿色专利申请数量并取对数来衡量城市的绿色创新水平。绿色专利不仅强调技术创新,同时强调技术环保性。绿色专利技术发展一方面能够直接有效从技术层面减少环境污染,推进生态治理。另一方面,绿色专利的普及应用能够增强公众环保意识,推动生态修复事业发展。

政府关注程度(*C*)。基于对政府工作报告中与环境规制相关词汇频率的统计,以词频并取对数来代表政府对生态治理的关注程度。政府对于生态事业的关注一定程度上体现了对于区域生态治理的财政支持,同时能够引导社会资本流向。此外,政府对于生态环保的关注能够增强公众环保意识。

1.4 数据来源

本文使用的数据主要来源于《中国城市统计年鉴》、各城市统计年鉴,水资源公报,水土保持公报,黄河流域相关地市政府官网,环境质量公报,国民经济与社会发展统计公报等公开出版资

料。影响因素中,政府关注程度数据,参考陈诗一和陈登科^[23]、邓慧慧和杨露鑫^[24]等学者的做法,借助 Python 软件对政府工作报告进行分词处理,统计政府工作报告中与环境规制相关的关键词的词频。其中,部分缺失数据采用线性插值法补齐。

2 黄河流域城市生态修复程度测度结果分析

2.1 黄河流域城市生态修复指数呈现差异性时序特征

整体来看,黄河流域城市生态修复水平表现出稳步上升趋势(见图 2)。其中,2011 年是样本考察时期内测度得分最小值,2021 年为最大值,2022 年较 2021 年略有小幅度波动。2011—2021 年期间,黄河流域城市生态修复指数从 0.462 3 提高至 0.494 1,环比增长率为 0.669%,增速较为缓慢。2022 年生态修复指数为 0.493 4,出现小幅波动。2011—2014 年,生态修复指数从 0.462 3 提高至 0.480 5,增速较快。2015—2020 年整体增长速度放缓,但 2021 年生态修复指数增速提升,指数突破 0.49,此后基本保持在这一水平。这一时期,全国以及黄河流域地区的重要生态系统保护和修复重大工程总体规划持续贯彻实施,成效不断显现。

从城市截面来看,黄河流域各城市之间生态修复指数差异较为明显。从平均水平差异来看,济南市生态修复各年得分差异最小(0.015 8),开封市差异最大(0.138 1),极差为 0.122 3。

对 56 个城市生态修复数据均值大小进行排序,可分为 3 个梯队:第一梯队为长治市、鄂尔多

斯市、郑州市、西安市、安阳市、咸阳市、新乡市、渭南市、石嘴山市、乌兰察布市,共10个城市,生态修复平均得分在0.5000~0.6000之间;第三梯队平均得分在0.4000~0.4500范围内,包括嘉峪关市、天水市、商洛市、忻州市、平凉市、兰州市、定西市,共7个城市;第二梯队平均得分在0.4500~0.5000之间,包括除第一梯队、第三梯度外的39个城市。从总体上看,黄河流域56个城市间的生态修复水平差距较小,生态修复得分指数大多数集中在0.4500~0.5000之间。省会城市中:只有郑州、西安位于第一梯队;济南、银川、呼和浩特、太原、西宁位于第二梯队;兰州位于第三梯队。黄河流域中下游生态环境修复发展水平略好于上游城市。

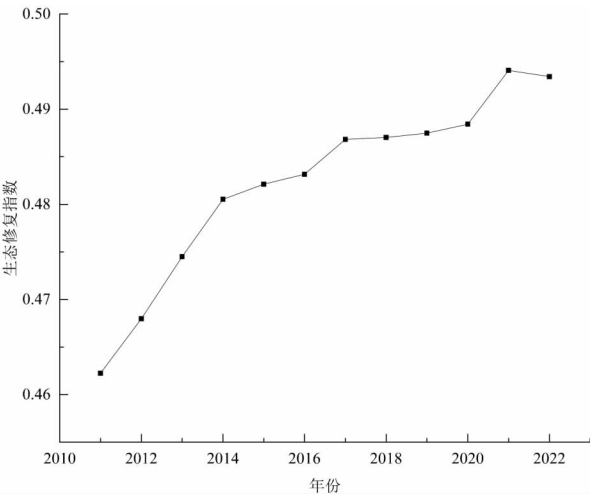


图2 黄河流域城市生态修复指数时序特征
Fig.2 Temporal characteristics of urban ecological restoration index in the Yellow River Basin

分流域来看(见图3),在样本考察期内,黄河流域56个城市生态修复状况不断提升。黄河流域中下游城市的生态修复平均发展水平长期好于上游城市,中下游城市近年来在生态修复指数方面总体呈现增长态势,偶尔存在小幅波动。上游城市在生态修复指数方面不断提升,2011—2017年发展速度较快,2017年以后出现小幅波动,和2011年相比,2022年黄河流域上游城市的生态修复情况实现了巨大发展。

2.2 黄河流域城市四大子系统得分的时序演变特征

对各个一级指标子系统进行具体考察,利用熵权法对4个子系统生态修复指数趋势进行分析(见图4)。

从图4可以看出,黄河流域城市生态修复水

平整体呈现良好态势,生态吸收能力得分增长趋势明显,水资源利用能力得分次之,生态承载能力基本呈现稳定状态无明显波动,生态保护能力得分在波动中呈现下降态势。

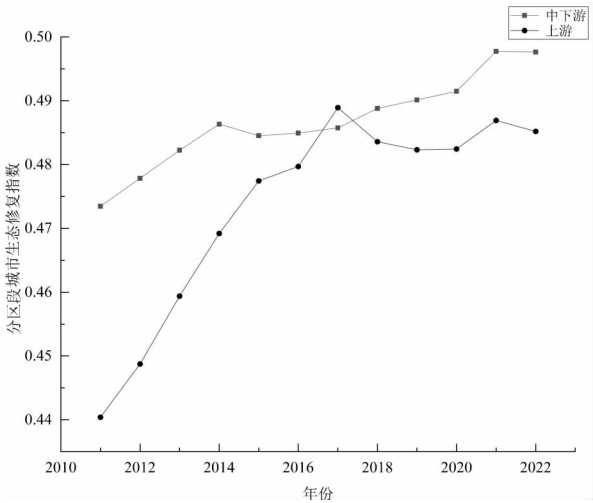


图3 黄河流域分区段城市生态修复指数时序特征
Fig.3 Temporal characteristics of urban ecological restoration index in distributary section of Yellow River Basin

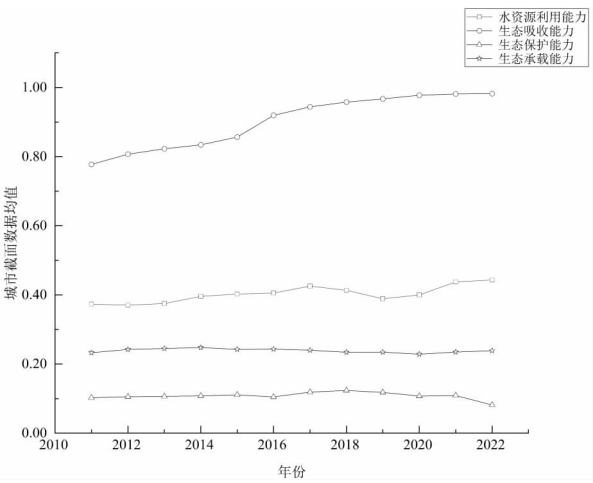


图4 黄河流域城市子系统生态修复水平时序比较
Fig.4 Temporal comparison of ecological restoration levels of urban subsystems in the Yellow River Basin

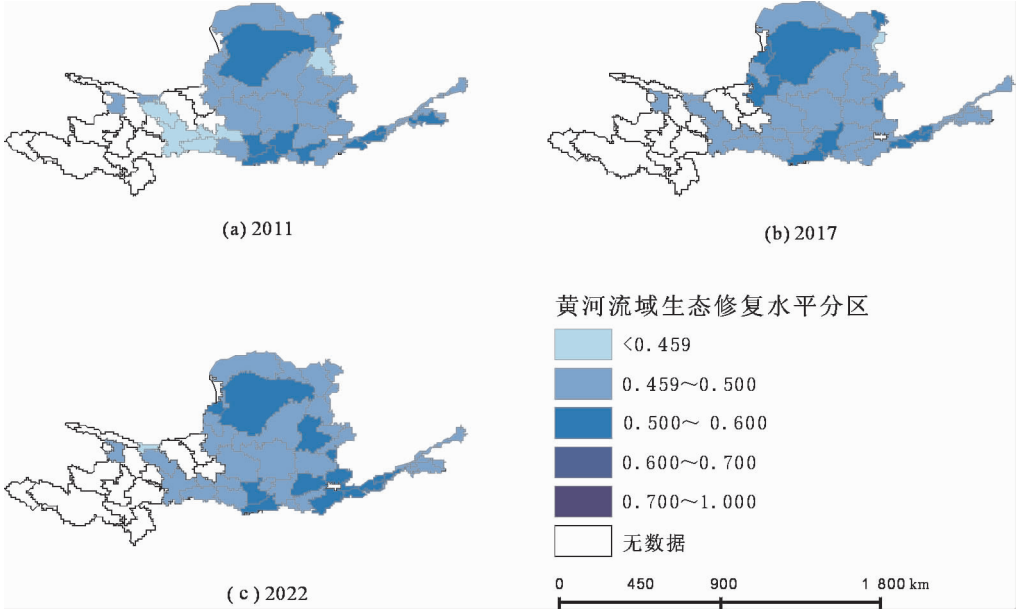
具体来看:黄河流域城市生态吸收能力指数呈现稳步增长趋势,尤其是在2016年实现较大幅度增长,其与政策导向、污染治理等生态技术的提升等密切相关;考察期内水资源利用能力指数呈现波动中逐步上升的趋势,近年来,水处理技术和检测技术不断发展,供水网络等基础设施不断建设与完善,城市水资源的利用能力有了明显提升;生态承载能力指数基本保持平稳不变的趋势,其原因在于黄河流域本身生态环境较为脆弱,同时作为传统农业发展区域,农业活动以及人口基数

较大,生态修复效果难以在短期内实现显著改善;生态保护能力指数呈现在波动中下降的态势,考察期内 2011—2018 年存在小幅波动,2019 年指数出现明显的下降趋势,2019 年以后,受新冠疫情影响,经济受到较大冲击,政府税收收入的实际增长率低于经济增长率,可能导致财政收入增长缓慢,进而影响财政支出的规模。在财政收入有限的情况下,政府可能需要权衡各项支出的优先级,节能环保支出可能因此受到压缩。

2.3 黄河流域生态修复水平空间分布特征

本文使用 ArcGIS 10.8 软件对黄河流域生态修复水平测度结果进行可视化展示,图例中区间划

分遵循左闭右开原则。图 5 展示了 2011、2017、2022 年黄河流域城市生态修复的空间分布特征。由图 5 可知,与 2011 年相比,黄河流域城市整体生态修复水平有所提升,黄河中下游城市的生态修复水平明显好于上游城市。2011 年,生态修复水平得分较高的主要集中在陕西、河南、山东的部分城市,得分较低的则聚集在兰州、定西、天水、平凉等西部城市。2017 年黄河流域生态修复水平有所改善,整体颜色较 2011 年有所加深,生态修复低值区域减少。2022 年黄河流域生态修复水平整体进一步提升,生态修复低值区域较少,高值区域增加,中高值区域主要集中在黄河流域下游。



审图号:GS(2024)0650 号。

图 5 黄河流域城市生态修复水平空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of urban ecological restoration level in the Yellow River Basin

2.4 黄河流域城市生态修复水平核密度分析结果

结合时序特征,以 2011 年、2017 年和 2022 年为代表性年份,得出黄河流域城市生态修复水平的核密度估计曲线(见图 6)。图中横轴表示黄河流域城市生态修复水平,纵轴表示核密度。图 6 从整体上描绘了黄河流域城市生态修复水平在样本考察期内的总体演变情况。从曲线位置来看,核密度函数中心逐渐向右移动,尤其将 2022 年和 2011 年相对比,发现有明显右移趋势,表明在样本考察期内,城市生态修复事业发展速度不断加快。从波峰和波宽来看,考察期内波峰高度有了大幅度提高,波峰宽度不断变窄,表明黄河流域各个城市生态修复水平呈现较强的动态收敛性特征,各个城市之间的生态修复水平差异逐渐缩

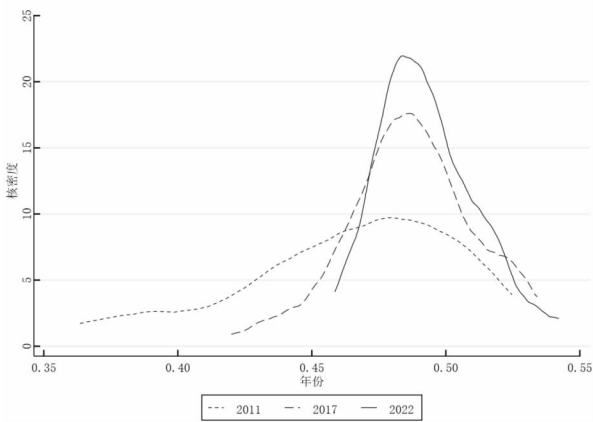


图 6 黄河流域城市生态修复水平的核密度分析结果

Fig. 6 Kernel Density analysis of urban ecological restoration level in the Yellow River Basin

小。从曲线形状来看,曲线峰值明显,曲线左拖尾明显变短,分布延展性在一定程度存在收敛趋势,同时曲线为单峰,不存在多级分化现象,进一步说明了各个城市生态修复发展水平差异在不断缩小。

3 黄河流域城市生态修复的影响因素实证结果分析

3.1 实证结果分析

本文全样本回归结果如表3所示。其中列(1)、(2)分别为使用固定效应 OLS 回归、混合 Tobit 模型回归结果。列(3)为使用随机效应 Tobit 模型回归结果,且 LR 检验通过,因此选择随机效应的 Tobit 模型进行回归。

表3 模型回归结果
Tab.3 Model regression result

变量	(1) OLS	(2) 混合 Tobit	(3) 随机效应 Tobit
ln G	0.027 8*** (0.009 7)	0.008 7 (0.007 9)	0.020 3*** (0.004 4)
O	-0.052 7*** (0.019 3)	-0.020 3 (0.014 3)	-0.045 2*** (0.012 4)
F	0.139 0*** (0.044 3)	-0.021 2 (0.031 2)	0.073 9*** (0.022 1)
I	0.150 0** (0.060 9)	-0.023 8 (0.055 3)	0.111 0*** (0.037 0)
ln P	-0.000 4 (0.002 8)	0.007 5*** (0.001 9)	0.003 2** (0.001 3)
ln C	0.009 8** (0.004 5)	0.009 6 (0.006 2)	0.009 4*** (0.002 0)
- cons	-0.014 1 (0.121 0)	0.344 *** (0.075 3)	0.099 7** (0.049 5)
N	616	616	616
R ²	0.307 0		

注:括号中为稳健标准误,*、**、*** 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

结果发现:经济发展水平和生态修复水平具有显著正相关关系。回归结果显示,经济发展水

平对黄河流域城市生态修复水平的影响系数为 0.020 3,且在 1% 的统计水平上显著为正,表明经济发展水平提升对于城市生态修复水平具有显著促进作用。

对外开放程度与生态修复水平呈现显著负相关关系。回归结果显示,对外开放程度对黄河流域城市生态修复程度的影响系数为 -0.045 2,且在 1% 的统计水平上显著,表明对外开放程度的不断扩大会抑制生态修复事业发展。在进出口贸易中,对于经济初期发展阶段城市而言,迫切需要资金与技术投入,存在“污染避难所”假说(Walter、Ugelow,1979)现象,承接部分国外高能耗产业,从而导致本地生态资源负担过重,影响黄河流域城市生态修复进程。党的十八届五中全会提出绿色发展理念以来,我国产业承接质量不断提升,更加注重产业发展与生态协调,各城市也深入贯彻新发展理念,不断推进产业绿色化转型发展。

政府财政支持与生态修复水平呈现显著正相关关系。回归结果显示,财政支持程度对黄河流域城市生态修复水平的影响系数为 0.073 9,且在 1% 的统计水平上显著为正,表明财政支持力度不断增大能够显著促进黄河流域生态修复。这种促进作用表现在:一方面,政府财政支出增加,有利于生态质量监测、修复技术应用以及人员配置,从而促进基础设施建设不断完善,对生态修复起直接促进作用;另一方面,政府财政支出流向生态修复将引导社会资本向节能环保、生态友好型产业流动,从而间接促进生态修复事业。

产业结构与生态修复水平呈现显著正相关关系。回归结果显示,产业结构升级对黄河流域城市生态修复水平的影响系数为 0.111 0,且在 1% 的统计水平上显著为正,表明产业重心向第三产业转移,对生态修复发展有利。农业生产中不合理的农业开垦、放牧以及农业生产活动中化肥与农药过度施用可能会造成土壤污染等;工业生产过程中产生的废气、废水、固体废物等对生态系统造成压力,同时工业生产依赖大量不可再生资源消耗。产业结构的演变推动生产要素再配置,例如环境承载能力高的产业降低了环境成本外部性,获得更高的生产效率。需要警惕的是,产业结构转型升级过程中,要以实体经济为重,避免产业“脱实向虚”。

绿色创新水平与生态修复水平呈现显著正相

关关系。回归结果显示,绿色创新水平对黄河流域城市生态修复水平的影响系数为 0.003 2,且在 5% 的统计水平上显著为正,表明绿色创新技术水平的提升对生态修复发展存在显著的促进作用。主要体现在:①政府可以直接应用绿色创新技术加强生态修复治理,缓解生态压力;②产业和企业发展可以通过规模经济、干中学等渠道,使绿色专利技术外溢到其他生产部门,形成正外部性,实现环境友好型生产;③绿色专利技术的认证与保护这一激励机制能推动技术的进一步创新。

政府关注程度与生态修复水平呈现显著正相关关系。回归结果显示,政府关注程度对黄河流域城市生态修复水平的影响系数为 0.009 4,且在 1% 的统计水平上显著为正,表明政府对于环境保护的重视程度越高,越有利于生态修复的发展。在生态治理方面,政府关注度的高低直接关系到环境保护工作的成效和可持续发展目标的实现。一方面,政府的高度关注有利于生态修复相关政策的出台及实施,提升政策执行力度与标准,增加生态修复方面的人力、技术与资金投入。另一方面,政府关注与宣传教育能增强公众环保意识。

3.2 稳健性检验

为了验证回归结果的稳健性,本文采用替换变量的方法加以检验。具体来看,采用绿色专利授权数量来近似替代绿色专利申请数量,其他变量不变,面板随机 Tobit 回归结果见表 4。

表 4 稳健性检验
Tab. 4 Robustness test

变量	随机 Tobit
ln G	0.017 9*** (0.004 38)
O	-0.046 2*** (0.012 4)
F	0.073 5*** (0.021 0)
I	0.120*** (0.036 7)
ln A	0.003 90*** (0.001 19)
ln C	0.008 97*** (0.002 04)
_ cons	0.117** (0.047 9)
N	616

注:括号中为稳健标准误,*、**、*** 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

从回归结果来看,经济发展水平、对外开放程度、财政支持水平、产业结构转变、绿色创新水平、政府关注程度均通过 1% 水平上的显著性检验,影响系数关系未发生变化,影响系数大小稍有变动,与基准结果一致,验证了本文基准回归结果的稳健性。

4 结论与政策建议

本文依据学者们的相关研究基础,构建黄河流域生态修复水平评价指标体系,利用熵值 TOPSIS 法确定权重,在此基础上分析黄河流域城市生态修复水平的时序和演变特征,利用面板 Tobit 模型,实证检验黄河流域城市生态修复的影响因素,主要结论如下。

整体来看,黄河流域城市生态修复水平基本表现为稳步上升的时序特征,城市生态修复事业发展速度不断加快。从城市截面来看,黄河流域各城市之间生态修复指数差异较为明显。分流域来看,在样本考察期内,黄河流域 56 个城市生态修复发展情况呈现向好态势。中下游城市的生态修复平均发展水平长期好于上游城市。同时,黄河流域各个城市生态修复水平呈现较强的动态收敛性特征,各个城市之间的生态修复水平差异逐渐缩小。

从子系统指数来看,黄河流域城市生态修复水平整体呈现良好态势。4 个子系统生态修复指数增长幅度大小排序依次为:生态吸收能力>水资源利用能力>生态承载能力>生态保护能力。其变化轨迹表现为:生态吸收能力得分增长趋势明显,水资源利用能力得分次之,生态承载能力无明显波动基本呈现稳定状态,生态保护能力得分在波动中呈现下降态势。

从影响因素来看,经济发展水平、财政支持水平、产业结构转变、绿色创新水平、政府关注程度提高都显著促进了黄河流域城市生态修复水平提升。对外开放中的进出口贸易是主要抑制力,显著抑制了黄河流域生态修复发展。

基于上述结论,为更好推进黄河流域城市生态修复工作,提出如下建议。

1)持续推进环保事业投入。整体上黄河流域城市生态修复水平表现为稳步上升,但整体水平不高,生态治理修复事业仍需要持续推进。政府层面要加强对于节能环保生态方面的监管与财

政支持,同时引导社会资本流向低碳节能、环境友好的生产部门。培育典型范式企业、城市,加强邻近城市联系与合作,共同应对生态问题。企业层面要积极承担社会责任,优化生产流程,生产排污严格遵守相关法规。公众层面要广泛开展对于生态修复治理等方面的宣传教育,加强环境治理相关信息公示,提升公众意识。

2)鼓励贸易绿色化。进出口贸易中高耗能、高污染的产品贸易给城市生态修复带来了负面影响,因此,要持续关注进出口贸易种类,严格控制高污染、高耗能产品进出口,贯彻新发展理念,鼓励绿色贸易,实现可持续发展。一方面,要加大政策支持,通过政策引导相关产业绿色转型升级,推动外贸发展由要素驱动向创新驱动转变;另一方面,要加强绿色贸易产业链、供应链的构建,积极利用绿色创新技术推进进出口贸易降碳减排,探索绿色贸易的实现路径。

3)鼓励绿色技术创新。创新是引领发展的第一动力,绿色科技创新能显著促进生态修复水平提升,鼓励绿色专利创新是推动绿色技术发展和实现可持续发展的重要途径。①政府要健全对创新专利的分类与扶持行为。对于具有重大绿色创新、具有较高经济与社会价值的专利技术予以大力扶持和保护;对于价值相对较小、创新性有限的技术进行合理引导与扶持,确保专项资金精准投放,发挥效益。②要优化市场竞争和合作机制。持续推进产学研一体化,整合各类创新资源,加强产业链上下游合作,加快绿色创新技术成果转化,从而推动产业向高端、绿色、智能方向迈进。

参考文献

- [1] MCDONALD T, GANN G D, JONSON J. et al. International standards for the practice of ecological restoration-including principles and key concepts[R]. Washington DC: Society for Ecological Restoration, 2016: 3-4.
- [2] JORDAN W R. Sunflower Forest: Ecological restoration as the basis for a new environmental paradigm[C] // Beyond reservation: Restoring and inventing landscapes. Minnesota Press: University of Minnesota Press, 1994: 17-34.
- [3] 张绍良,张黎明,侯湖平,等.生态自然修复及其研究综述[J].干旱区资源与环境,2017,31(1):160-166.
- ZHANG S L, ZHANG L M, HOU H P, et al. Research overview on natural restoration of ecosystem [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(1): 160-166.
- [4] 王治国.关于生态修复若干概念与问题的讨论[J].中国水土保持,2003(10):4-5, 39.
- WANG Z G. Discussion on some concepts and issues of ecological restoration[J]. Soil and Water Conservation in China, 2003(10): 4-5, 39.
- [5] 董哲仁.河流生态修复的尺度格局和模型[J].水利学报,2006,37(12):1476-1481.
- DONG Z R. Scale and pattern for ecological restoration of river[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(12): 1476-1481.
- [6] 夏自强,郭文献.河流健康研究进展与前瞻[J].长江流域资源与环境,2008,17(2):252-256.
- XIA Z Q, GUO W X. Research advance in river health[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(2): 252-256.
- [7] 梅烨,何菊莲.我国自然生态环境治理质量测度及其高质量发展的政策启示[J].财经理论与实践,2023,44(2):96-104.
- MEI Y, HE J L. Measuring the quality of China's natural ecosystem governance and its policy inspiration for high quality development[J]. The Theory and Practice of Finance and Economics, 2023, 44(2): 96-104.
- [8] 崔盼盼,赵媛,夏四友,等.黄河流域生态环境与高质量发展测度及时空耦合特征[J].经济地理,2020,40(5):49-57,80.
- CUI P P, ZHAO Y, XIA S Y, et al. Level measures and temporal and spatial coupling analysis of ecological environment and high quality development in the Yellow River Basin[J]. Economic Geography, 2020, 40(5): 49-57, 80.
- [9] 叶文丽,杨新军,吴孔森,等.黄土高原社会-生态系统恢复力时空变化特征与影响因素分析[J].干旱区地理,2022,45(3):912-924.
- YE W L, YANG X J, WU K S, et al. Spatio-temporal characteristics and influencing factors of social-ecological system resilience in the Loess Plateau[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(3): 912-924.
- [10] 岳立,薛丹.黄河流域沿线城市绿色发展效率时空演变及其影响因素[J].资源科学,2020,42(12):2274-2284.
- YUE L, XUE D. Spatiotemporal change of urban green development efficiency in the Yellow River Basin and influencing factors[J]. Resources Science, 2020, 42(12): 2274-2284.

- [11] 蒋应刚, 欧阳进一, 张继飞. 资源型城市社会-生态系统恢复力演变及其主导障碍因素: 以攀枝花市为例[J]. 资源科学, 2024, 46(10): 2064-2077.
JIANG Y G, OUYANG J Y, ZHANG J F. Evolution of social-ecological system resilience and its main obstacle factors in resource-based cities: A case study of Panzhihua[J]. Resources Science, 2024, 46(10): 2064-2077.
- [12] 张秋丰, 白洁, 马玉艳, 等. 天津海岸带生态修复效果评估方法研究[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(5): 782-789, 795.
ZHANG Q F, BAI J, MA Y Y, et al. Research on the method for evaluating ecological restoration[J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(5): 782-789, 795.
- [13] 向珈瑶, 彭文甫, 陶帅, 等. 2000—2019年四川省植被恢复成效与影响因素[J]. 生态学报, 2023, 43(4): 1596-1609.
XIANG J Y, PENG W F, TAO S, et al. Analyzing the effect and influencing factors of vegetation restoration in Sichuan Province from 2000 to 2019[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(4): 1596-1609.
- [14] 李雪红, 张学斌, 姚礼堂, 等. 河西地区社会-生态系统恢复力时空演变特征及影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(7): 38-47.
LI X H, ZHANG X B, YAO L T, et al. Spatial-temporal evolution characteristics of social-ecological system resilience in Hexi region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, 37(7): 38-47.
- [15] 王艳, 张雪芳, 雷淑珍. 黄河流域数字经济、产业发展与生态环境耦合协调度的实证检验[J]. 统计与决策, 2024, 40(4): 108-113.
WANG Y, ZHANG X F, L S Z. Empirical examination of the coupling coordination degree between the digital economy, industrial development and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. Statistics & Decision, 2024, 40(4): 108-113.
- [16] 肖沁霖, 肖黎明. 居民福祉视角下城市生态治理效率的溢出效应: 基于长三角城市群的检验[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(5): 149-155.
XIAO Q L, XIAO L M. Spillover effect of urban ecological governance efficiency from the perspective of human well-being: Based on the test of the Yangtze River Delta urban agglomerations[J]. Areal Research and Development, 2021, 40(5): 149-155.
- [17] 赵建吉, 刘岩, 朱亚坤, 等. 黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 159-171.
ZHAO J J, LIU Y, ZHU Y K, et al. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 159-171.
- [18] 李婷, 吕一河, 任艳姣, 等. 黄土高原植被恢复成效及影响因素[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 8593-8605.
LI T, LYU Y H, REN Y J, et al. Gauging the effectiveness of vegetation restoration and the influence factors in the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(23): 8593-8605.
- [19] 温煜华. 2011—2021年甘肃省生态环境质量综合评价及时空演变特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(6): 110-119.
WEN Y H. Assessment and spatial-temporal evolution of ecological environment in Gansu Province from 2011 to 2021[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2024, 38(6): 110-119.
- [20] 田时中, 丁雨洁. 长三角城市群绿色化测量及影响因素分析: 基于26城市面板数据熵值——Tobit模型实证[J]. 经济地理, 2019, 39(9): 94-103.
TIAN S Z, DING Y J. Greenization measurement of urban agglomeration in Yangtze River Delta and its influence factors: An empirical study based on the entropy-tobit model of 26 Cities' panel data[J]. Economic Geography, 2019, 39(9): 94-103.
- [21] 杨少林, 孟菁玲. 浅谈生态修复的含义及其实施配套措施[J]. 中国水土保持, 2004(10): 7-9.
YANG S L, MENG J L. A talk on meanings of ecological rehabilitation and its supporting measures[J]. Soil and Water Conservation in China, 2004(10): 7-9.
- [22] 翁异静, 杨月, 许菲. 长江经济带城市群绿色转型能力时空演变及短板分析[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(3): 487-497.
WENG Y J, YANG Y, XU F. Space-time evolution and shortcomings on the green transformation capabilities of urban clusters in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(3): 487-497.
- [23] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究, 2018, 53(2): 20-34.
CHEN S Y, CHEN D K. Air Pollution, government regulations and high-quality economic development[J]. Economic Research Journal, 2018, 53(2): 20-34.
- [24] 邓慧慧, 杨露鑫. 雾霾治理、地方竞争与工业绿色转型[J]. 中国工业经济, 2019(10): 118-136.
DENG H H, YANG L X. Haze governance, local

competition and industrial green transformation [J]. China Industrial Economics, 2019(10): 118-136.

[25] 肖沁霖,肖黎明. 绿色创新效率与生态治理绩效耦合协调的时空分异及响应:以长江经济带108个城市为例[J]. 世界地理研究,2022,31(1):96-106.

XIAO Q L, XIAO L M. Spatio-temporal differentiation and response of coupling and coordination between green innovation efficiency and ecological governance performance: A case of 108 cities in the Yangtze River Economic Belt[J]. World Regional Studies, 2022, 31(1): 96-106.

[26] 马艳. 基于两阶段 Super-NSBM 模型的农业生态效率及影响因素研究:以长江经济带为例[J]. 长江流域资源与环境,2023,32(4):883-894.

MA Y. Study on agricultural ecological efficiency and its influencing factors based on two-stage super-efficiency network SBM model: A case study of the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(4): 883-894.

[27] 牛丽楠,邵全琴,宁佳,等. 黄土高原生态恢复程度及恢复潜力评估[J]. 自然资源学报,2023,38(3): 779-794.

NIU L N, SHAO Q Q, NING J, et al. Evaluation on the degree and potential of ecological restoration in Loess Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2023, 38(3): 779-794.

[28] 侯鹏,翟俊,高海峰,等. 黄河流域生态系统时空演变特征及保护修复策略研究[J]. 环境保护,2022, 50(14):26-28.

HOU P, ZHAI J, GAO H F, et al. Spatiotemporal evolution characteristics and protection and restoration Strategies of ecosystem in the Yellow River Basin[J]. Environmental Protection, 2022, 50(14): 26-28.

[29] 熊建新,王鑫滨,赵迪,等. 城镇化进程中生态承载力系统耦合时空格局及影响因素:以洞庭湖区为例[J]. 经济地理,2022,42(10):83-91.

XIONG J X, WANG X B, ZHAO D, et al. Spatiotemporal pattern and influencing factor of coupling of ecological carrying capacity in the process of urbanization: A case study of Dongting Lake Region[J]. Economic Geography, 2022, 42(10): 83-91.

[30] 徐辉,师诺,武玲玲,等. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变[J]. 资源科学,2020,42(1): 115-126.

XU H, SHI N, WU L L, et al. High-quality development level and its spatiotemporal changes in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 115-126.

(编辑 亢小玉)