

# 呼包鄂榆城市群产业生态化评价及影响因素分析

孟建伟<sup>1</sup>, 詹惠馨<sup>1</sup>, 林英华<sup>1,2</sup>

(1.聊城大学 地理与环境学院, 山东 聊城 252000; 2.聊城大学 黄河学研究院, 山东 聊城 252000)

**摘要:** [目的] 通过测度呼包鄂榆城市群产业生态化水平所处的阶段和区域差异, 了解产业生态化水平存在的短板, 为城市群发展制定更加科学的对策建议。[方法] 从产业经济系统和生态环境系统两个方面构建产业生态化评价指标体系, 运用熵值法对呼包鄂榆城市群各城市 2012—2021 年产业生态化水平进行测度, 运用耦合协调模型分析城市群产业经济系统和生态环境系统之间的耦合协调度, 最后运用固定效应模型对影响因素进行分析。[结果] ①2012—2021 年, 呼包鄂榆城市群各城市产业生态化水平整体呈现波动上升趋势, 从地市平均水平来看, 产业生态化水平区域之间发展不平衡。②2012—2021 年, 呼包鄂榆城市群各城市产业经济系统和生态环境系统耦合度处于动态变化的高水平耦合阶段。各地市协调度均有不同程度的提升, 但是仍然处于低度协调的阶段, 耦合协调的发展速率缓慢。③通过固定效应模型分析产业生态化的影响因素, 结果表明: 经济发展水平、对外开放水平、技术创新、废物综合利用水平和政府调控对产业生态化水平有着显著的正向促进作用, 而产业结构对产业生态化水平有着显著的抑制作用。[结论] 呼包鄂榆城市群产业生态化水平和耦合协调度均有较大的提升空间。因此, 应当优化产业结构, 培育多元产业体系; 推动循环发展, 提升废物利用水平; 加大创新投入, 提升社会创新能力。同时政府部门也应积极参与, 充分发挥监管作用。

**关键词:** 呼包鄂榆城市群; 产业生态化; 时空演变; 耦合协调; 固定效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)06-0328-11

中图分类号: F127, X321

**文献参数:** 孟建伟, 詹惠馨, 林英华. 呼包鄂榆城市群产业生态化评价及影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2024, 44(6): 328-338. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.06.034; Meng Jianwei, Zhan Huixin, Lin Yinghua. Evaluation of industrial ecology and analysis of influencing factors in Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(6): 328-338.

## Evaluation of Industrial Ecology and Analysis of Influencing Factors in Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin Urban Agglomeration

Meng Jianwei<sup>1</sup>, Zhan Huixin<sup>1</sup>, Lin Yinghua<sup>1,2</sup>

(1. School of Geography and Environment, Liaocheng University, Liaocheng,

Shandong 252000, China; 2. Institute of Huanghe Studies, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252000, China)

**Abstract:** [Objective] The stages and regional differences in the industrial ecological level of the Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration were measured to understand the shortcomings of the industrial ecological level and formulate more scientific countermeasures and suggestions for the development of the urban agglomeration. [Methods] The evaluation index of industrial ecology was constructed by considering the following two aspects: industrial economic system and ecological environment system. The entropy method was employed to measure the level of industrial ecology in each city of the Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration from 2012 to 2021. The coupling coordination model was then used to analyze the degree of coupling and coordination between the industrial economic system and the ecological environment system in urban agglomeration. Finally, the fixed-effect model was utilized to analyze the influencing factors. [Results] ① From 2012 to 2021, the overall level of industrial ecology in the cities affected by Hohhot-

收稿日期: 2024-05-08

修回日期: 2024-08-08

资助项目: 山东省社科规划项目“京杭运河聊城段旅游产业带构建及经济效应分析”(2016CLYJ02)

第一作者: 孟建伟(1995—), 男(汉族), 内蒙古自治区锡林郭勒盟人, 硕士研究生, 研究方向为区域经济与城乡规划。Email: 2110140212@lcu.stu.edu.com。

通信作者: 林英华(1976—), 女(汉族), 山东省临朐县人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事区域经济与城乡规划方面的研究。Email: linyinghua402@163.com。

Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration showed a fluctuating upward trend, and from the perspective of the average level for prefectures and cities, the development of industrial ecology level was unbalanced. ② From 2012 to 2021, the coupling degree of the industrial economic system and the ecological environment system of each city in the urban agglomerations was in the advanced coupling stage of dynamic change. The degree of coordination between cities had improved to varying degrees, but it was still poorly coordinated. In addition, the rate of development of coupling coordination was slow. ③ By analyzing the influencing factors of industrial ecology using the fixed-effect model, the results showed that the levels of economic development, opening to the outside world, technological innovation, comprehensive utilization of waste, and government regulation and control had a significant positive effect on the level of industrial ecology, whereas the industrial structure had a significant inhibitory effect on the level of industrial ecology. [Conclusion] The level of industrial ecology and coupling coordination degree of Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration requires significant enhancement. It is necessary to optimize the industrial structure and cultivate a diversified industrial system; promote circular development and improve the level of waste utilization; increase investment in innovation and enhance social innovation capabilities. Meanwhile, government departments should actively participate, and give full play to the role of supervision.

**Keywords: Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration; industrial ecology; spatial-temporal evolution; coupling coordination; fixed effect**

产业发展对于带动经济发展上有着重要的作用,经济发展以产业发展为基础,产业发展以经济发展为目标,二者密不可分。生态环境与经济发展之间的关系,演化了“绿水青山”和“金山银山”,“新动能”与“旧动能”的辩证统一关系,中国目前处在生态文明建设关键期,也面临着多重压力,对于经济与生态环境之间和谐发展提出了更高的要求。产业生态化作为农业化转型工业化之后的又一次经济形态的重大升级,主要表现为工业经济向生态经济的转变,如何通过产业生态化推动经济高质量发展变得更为必然。

产业生态化一词最初形态溯源至1969年Odumo E.P.<sup>[1]</sup>提出的“生态平衡”理论,对生态演替的理解为处理人类与自然的关系提供了基础。Forsch R.<sup>[2]</sup>于1989年《可持续产业发展战略》中“产业生态学”为理论基础,提出了工业生活方式能否在不消耗资源、产生无法管理的废物和污染环境的情况下保持下去的假想,讨论了一个行业的废物如何作为另一个行业的原材料,从而提供一个以去物质化、封闭的独立循环系统为特征的工业生态系统。Hardin T.<sup>[3]</sup>,Graedel T.E.等<sup>[4]</sup>,Allenby B.R.<sup>[5]</sup>进一步推动了理论和学科交叉的发展,伴随着丹麦卡伦堡成为世界上首个建立工业园区的国家,实现了从产业生态理论研究向社会实践应用转变,将产业生态化的理念运用到生产活动中。国内对于产业生态化主要包括产业生态化内涵<sup>[6-9]</sup>、产业生态化评估<sup>[10-13]</sup>以及产业生态化的时空分异特征<sup>[14-18]</sup>与影响因素<sup>[19-21]</sup>三个方面。研究尺度涉国内各省<sup>[18-20]</sup>及城市群<sup>[17]</sup>、地级

市<sup>[14-16]</sup>、流域<sup>[21]</sup>及地理分区<sup>[15]</sup>,在国家重点森林生态功能区也有所涉及<sup>[22]</sup>,相对缺少对于资源型城市群中观尺度的研究。

呼包鄂榆城市群是中国西部地区重要的城市群之一,位于全国“两横三纵”城市化战略格局包昆通道纵轴的北端,在推进形成西部大开发新格局、推进新型城镇化和完善沿边开发开放布局中具有重要地位。呼包鄂榆城市群中包含的四个城市,其中包头、鄂尔多斯、榆林这三个城市是典型的资源型城市,资源型城市一直以来是能源供给和原材料的供应地,为国民经济发展作出了巨大的贡献,但是这些城市在发展过程中不同程度的问题与矛盾日益凸显。例如,资源枯竭,产业结构失衡,经济增长瓶颈,生态环境恶化,失业和贫困人口较多<sup>[23]</sup>,呼包鄂榆城市群需要加快推进产业结构的优化升级,挖掘产业经济新的增长点,通过对生产资源的高效利用,减少环境污染排放,完善产业系统内部循环,转变产业的发展方式实现产业生态化,促进资源型城市经济发展的转型,形成产业系统与生态系统之间的协调可持续发展。本文将位于黄河流域的几字湾处呼包鄂榆城市群作为研究对象,对其产业生态化水平所处阶段、产业经济系统与生态环境系统耦合协调特征进行测度,再运用固定效应模型分析产业生态化水平的影响因素,探索产业生态化对黄河流域生态保护和高质量发展的赋能具有重要意义。

## 1 研究方法 with 数据

### 1.1 指标体系的构建

通过构建指标体系(表1),选取准确、简洁的

指标和变量,可以客观合理地反映呼包鄂榆城市群产业生态化水平及过程,同时考虑产业经济系统和生态环境系统的维度特征,需要突出两个系统之间的协调发展,在产业经济系统需要考虑产业结构、经济体量和创新程度,生态环境系统则需要体现生产过程的污染排放、能耗控制以及环境保育水平。

为了进一步分析呼包鄂榆城市群产业生态化水平,从时间和空间两个视角分析产业生态化的时空演变规律。明确产业生态化所处的状态,同时运用耦合协调度模型测算产业经济系统和生态环境系统的协调度,为后文呼包鄂榆城市群产业生态化发展提出对策提供实证支撑。

表 1 产业生态化评价指标体系及相关含义

Table 1 Evaluation index system of industrial ecology and related meanings

维度层	要素层	指标层	指标含义	单位	指标属性	参考文献
产业经济系统	产业结构水平	第三产业占产值比重	产业结构状况	%	+	[12]
		二产业产值/三产业产值	产业工业化水平	%	+	[16]
	经济发展水平	人均 GDP	反映地区经济水平	元	+	[14]
		GDP 增长率	反映产业发展速度和规模	%	+	[19]
		城镇居民人均可支配收入	反映地区经济发达程度	美元/人	+	[24]
		人均实际利用外资	反映外贸依存度	美元/人	+	[19]
	创新驱动水平	科研支出占 GDP 比重	反映创新投入水平	%	+	[25]
		教育支出占 GDP 比重	反映教育投入水平	%	+	[25]
		人均专利申请数	反映创新实践水平	个/人	+	
生态环境系统	环境保育水平	建成区绿化率	反映生态保育水平	%	+	[24]
		空气质量优良天数占比	反映生态保育水平	%	+	
		固体废弃物综合利用率	反映资源循环利用能力	%	+	[26]
		环境治理占 GDP 比重	反映生态环境治理投入水平	%	+	[19]
	能源消耗水平	万元 GDP 能耗	反映煤炭资源利用效率	t(标准煤)/10 <sup>4</sup> 元	-	[15]
		万元 GDP 电耗	反映电力能源利用效率	10 <sup>4</sup> kWh/10 <sup>4</sup> 元	-	[15]
		万元 GDP 水耗	反映水资源利用效率	t/10 <sup>4</sup> 元	-	[27-28]
	污染控制水平	单位 GDP 工业二氧化硫排放量	反映废气污染压力	t/10 <sup>4</sup> 元	-	[19]
		单位 GDP 工业废水排放量	反映废水污染压力	t/10 <sup>4</sup> 元	-	[29]
		碳排放强度	反映碳排放压力	t/10 <sup>4</sup> 元	-	[29]

## 1.2 研究方法

1.2.1 熵值法 熵值法是指用来判断某个指标的离散程度的数学方法。在对产业生态化水平评价中能够克服权重确定的主观性,计算结果可信度高,在诸多定量分析中均有使用。具体步骤可以分为数据标准化、熵值计算、权重确定和得分计算<sup>[15]</sup>。

1.2.2 耦合协调模型 “耦合”是指两个及以上的系统之间的相互作用,本文中所指产业经济系统和生态环境系统两个维度层之间一个紧密耦合过程,产业经济系统是产业生态化的主体,能够支撑生态环境系统,而生态环境系统是产业经济系统的载体,为产业经济系统的发展提供必要的空间和场所,二者之间相互作用、相互约束,其耦合协调发展也是产业生态化的重要体现。通过构建耦合协调度模型<sup>[30]</sup>,计算呼包鄂榆城市群产业生态化评价指标体系产业经济系统和生态环境系统之间的作用度。借鉴已有的研究

成果,本文认为产业经济系统和生态环境系统二者同等重要,因此均赋值分别为 0.5,并参照张国俊相关文献<sup>[14]</sup>划分耦合协调度等级。

1.2.3 固定效应模型 本文运用固定效应模型对呼包鄂榆城市群影响因素进行分析,将产业生态化水平(IEL)作为被解释变量,经济发展水平(LED)、产业结构(IS)、技术创新(TI)、废物综合利用水平(RE)、对外开放水平(OL)和政府调控(EC)作为解释变量,构建该模型<sup>[28]</sup>:

$$IEL = \alpha + \beta_1 \ln LED + \beta_2 \ln IS + \beta_3 \ln TI + \beta_4 RE + \beta_5 OL + \beta_6 EC + \omega_1 + \omega \quad (1)$$

式中: $\alpha$  为常数项, $\omega_1$  为变量不随时间变化的因素个体固定效应, $\omega$  为误差项, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$  为待估系数。

## 1.3 数据来源

据方创琳教授在《2016 中国城市群发展报告》

指出呼包鄂榆城市群规划范围,本文将呼包鄂榆城市群 7 个地级市作为研究对象,收集整理了 2012—2021 年相关数据,数据来源于《内蒙古统计年鉴》《城市统计年鉴》《内蒙古生态环境公报》、各地市统计年鉴和统计公报以及政府门户网站联系相关职能部门进行获取。部分城市的个别年份数据缺失,本文采用插值法分析进行补充。

## 2 结果分析

### 2.1 指标特征描述

根据以上计算过程,运用 SPSS AU 统计软件对 2012—2021 年呼包鄂榆城市群 7 个城市的产业生态化水平进行测度,通过熵值法计算出每一个评价指标的权重(如表 2 所示)。对于呼包鄂榆城市群产业生态化水平影响最大的是人均实际利用外资(0.151 0)、人均专利申请数(0.101 0)以及第二产业产值/第三产业产值(0.095 9),说明在当前发展阶段地方政府在推

进产业生态化过程中存在对于外部投资的依赖,外商在工业化发展的投资一定程度上促进了经济总量和速度,但对于产业结构的优化及经济发展的质量缺乏周密的考虑,通过第二产业产值/第三产业产值比重反映的工业化水平来看,呼包鄂榆城市群整体工业化水平高,经济发展中对于能源的消耗过多,循环利用程度不够等问题仍然存在。

从本文构建的 2 个系统层面的权重来看,产业经济系统权重为 0.726 1,生态环境系统的权重为 0.273 9,权重出现了 0.452 2 的差值,二者差距较大,反映出对于呼包鄂榆城市群产业生态化影响最大的是产业经济系统;另一方面也可以看出,呼包鄂榆城市群在发展过程对生态环境的重视程度不够,长期依靠工业发展的局面对环境的产生了严重的影响,致使生态环境的保育能力不足。因此,在产业结构的调整和升级上对如何保证和促进生态环境的健康发展提出了更高的要求。

表 2 产业生态化水平各指标权重及排名

Table 2 Weights and rankings of each index of industrial ecology level

指标	权重	排名	指标	权重	排名
第三产业占产值比重	0.080 6	6	空气质量优良天数占比	0.020 8	14
二产业产值/三产业产值	0.095 9	3	固体废弃物综合利用率	0.038 5	10
人均 GDP	0.079 7	7	环境治理占 GDP 比重	0.089 3	5
GDP 增长率	0.016 1	15	万元 GDP 能耗	0.021 9	13
城镇居民人均可支配收入	0.046 7	9	万元 GDP 电耗	0.014 8	16
人均实际利用外资	0.151 0	1	万元 GDP 水耗	0.024 7	11
科研支出占 GDP 比重	0.090 0	4	单位 GDP 工业二氧化硫排放量	0.013 0	19
教育支出占 GDP 比重	0.065 1	8	单位 GDP 工业废水排放量	0.013 7	17
人均专利申请数	0.101 0	2	碳排放强度	0.013 4	18
建成区绿化率	0.023 8	12			

### 2.2 呼包鄂榆产业生态化水平测度结果及时空演变特征分析

依据 2012—2021 年呼包鄂榆城市群产业生态化水平指数计算结果,运用自然断点法将 2012—2021 年产业生态化水平指数划分为 5 个等级,将综合得分和各系统得分导入 ArcGIS 10.8 进行可视化,进而探讨呼包鄂榆城市群产业生态化指数的时空变化特征。

通过图 1 可知,呼包鄂榆城市群整体产业生态化水平指数个别年份较上一年度出现小幅度下降,整体呈现出一个波动的上升的趋势,产业生态化水平指数由 2012 年 0.351 提升到 2021 年的 0.434,涨幅约 23.68%。产业生态化水平的提升更多的是依靠产业经济系统指数,特别是 2015 后多数城市经济体量有了较大的增长,从而弥补了这一时期生态环境指数增长缓慢或小幅衰退。

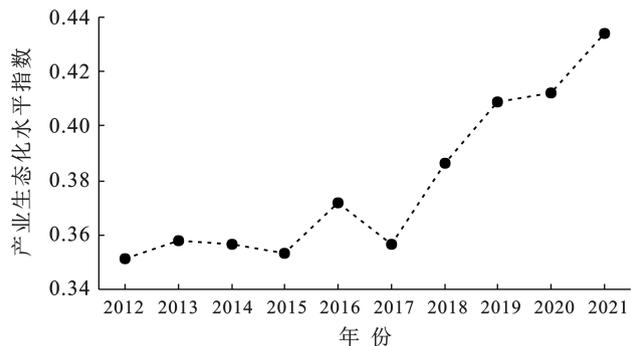


图 1 呼包鄂榆城市群整体产业生态化水平指数  
Fig.1 Overall industrial ecological level of Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration

通过表 3 可知,呼包鄂榆城市群产业生态化水平指数时空变化特征主要有以下几个方面。

呼包鄂榆城市群中产业生态化水平指数增长速度有明显差异,具体体现为 2012 年—2021 年期间榆

林市产业生态化水平基本保持在一个稳定低水平,其他各地市均呈现出不同程度的增长,乌兰察布市增长最为明显,涨幅约为 36.44%。

鄂尔多斯市整体产业生态化水平指数为 0.483 4,该地区 GDP 和人均 GDP 处于内蒙古乃至全国前列的现实情况相吻合,经济的迅速发展让鄂尔多斯市产业生态化中产业经济系统指数随之提升,也进一步改善了地区人民生活水平,但鄂尔多斯产业结构仍然是以第二产业为主,且工业产值所占比例大,在实现产业结构高级化上存在弱势,作为内蒙古地区依靠资源发展的城市之一,“一煤独大”是鄂尔多斯市发展的局面,制造业仍以初、粗加工且耗能较高的原材料行业为主,这也导致了该地区发展势必会造成与环境的矛盾,在研究期内可以看出鄂尔多斯市依靠高速增长的经济总量将单位 GDP 能耗、电耗、水耗以及污染物的排放仍然可以控制在相对稳定的范畴,使得该地区生态环境系统指数处在相对较高的水平。

包头市整体产业生态化水平指数为 0.414 1,经济发展水平仅次于鄂尔多斯市,尽管包头市工业产业对社会经济发展起到了很好的带动,但是第三产业的发展对于包头市经济有着很高的贡献,二产业产值占比与三产业产值占比相当,产业结构日渐趋佳,逐步由“二三一”格局向“三二一”格局进行转变。研究期内工业二氧化硫排放不断减少,空气质量良好天数逐渐增加,表明受到其他工业废气的排放影响不断减弱,能耗、水耗和污染物排放基本保持稳定,但是能源的利用效率未达到中等偏上水平,综合比较,生态环境系统指数相对较低。

乌兰察布市整体产业生态化水平指数为 0.374 6,产业经济系统指数排名靠后,在产业经济系统中人均实际利用外资额和城镇居民可支配收入逐年上涨,三产业产值所占比重也不断上升,但是相比于其他城市产业经济系统指数没有特别显著的优势,在创新驱动水平上逊色于呼和浩特、鄂尔多斯等经济发达地区,产业经济系统指数不高,而研究期前期生态环境系统指数有了小幅度下降,系统内工业二氧化硫排放逐年递减,在环境治理投入上也有了很大的提升,这也体现了政府及职能部门对于生态环境的重视。

乌海市整体产业生态化水平指数为 0.378 7,作为内蒙古地区基础雄厚的产业之城之一,矿产资源富集、工业基础厚实,是全国重要的煤焦化工、氯碱化工生产基地,也是发展经济的龙头产业,服务业所占比例小,产业结构倚重偏重,虽然经济总量不高,但是地区人口稀少,人均 GDP 略高于呼和浩特市和包头市,GDP 增长率除个别年份出现负增长外,一直能够保

持较高的增长水平,特别是在 2021 年 GDP 增长率突破 20%。系统内单位 GDP 能耗、水耗及二氧化硫排放得分水平与鄂尔多斯市不相上下,尽管乌海市总体得分比较乐观,但是重工业能源资源的消耗及污染排放对于生态环境造成的挑战仍然不能忽视。

呼和浩特市整体产业生态化水平指数为 0.370 7,作为内蒙古自治区首府,经济发展仅在全区中排在第三,产业结构以第三产业为主,相较于城市群内的其他地区拥有着最多的综合性大学和科研机构,在很多高端服务行业领域涉及面广,大型企业的研发经费占比较高,且工业企业为研发的主力军,在产业生态化中创新驱动水平处于一个比较领先的位置;除此之外,作为重要的交通枢纽集散中心,依靠自身的旅游资源发展旅游有了一定的提升。生态环境系统中建成区绿化覆盖率得分不高,加上工业固体废物综合利用率处在城市群内的较低水平,影响了该地区生态环境系统指数整体得分。

榆林市整体产业生态化水平指数为 0.353 5,该地区位于陕西省北部,煤炭探明储量达  $1.49 \times 10^{11}$  t,占全国煤炭储量的 1/12,依托资源优势,当地经济快速发展,生产总值位居陕西省第二,位于呼包鄂榆城市群内第一,依靠第二产业的经济发展速度有了很大的提升,也导致了第一、三产业发展的滞后性,在科技创新方面存在着严重的不足,科技活动人员占规模以上企业从业人员的比重很小,科研经费占 GDP 总量比值不高,万人专利申请数与城市群内经济总量低的呼和浩特、包头、鄂尔多斯相比持平或略低,经济发展与创新能力未能实现高度同频,进而导致创新能力无法对经济发展进行有效反哺,在推进经济高质量发展中缺乏有力的支撑,生态环境系统指数与呼和浩特市相差不大,能源经济一枝独秀,装备制造、精细化工等能源化工下游和配套产业发展不足,非能源化工产业被边缘化,粗放型经济典型特征明显,仍未摆脱资源依赖型发展模式,能耗及污染排放均处在一个比较非理想化的阶段,煤炭产业发展使得煤炭选洗业造成了大量的废水排放,加上系统内资源利用水平不高,造成了生态环境系统指数低。

巴彦淖尔市整体产业生态化水平指数为 0.276 7,产业经济系统指数和生态环境指数均不理想。产业经济系统方面,巴彦淖尔市经济总量小,增长方式粗放,一二三产业各自占有一定比重,且第三产业所占比重逐年上升,工业化水平不高,农业对经济增长起到了一定的作用,但也存在着持续性增收难度大等问题,导致了人均可支配收入弱于城市群其他城市,其次企业创新经费投入及人才培养存在短板导致创新

驱动能力不足。生态环境系统方面,单位 GDP 能耗及水耗高,这是因为该地区地处内蒙古西部,年降水量少,农田多数采用引水灌溉的方式来满足农业生产用水,因此在水耗和电耗上,农业用水和用电占有较大比重;在城区绿化建设上,建成区绿化覆盖率没有随着城区扩大建设而提升,建成区绿化率维持在 40% 以下,工业固体废物产生量与综合利用量不成正比,固废利用不充分问题也很严峻,整体影响了生态

环境指数,产业生态化水平不高。

如图 2 所示,2012—2021 年,呼包鄂榆城市群各城市产业生态化水平空间分异存在明显差异,产业生态化水平指数较高的城市由鄂尔多斯市沿东北方向城市延伸,其中乌兰察布产业生态化水平提升明显,呼和浩特市和乌海市产业生态化水平有所波动,巴彦淖尔市保持在一个稳定水平,而榆林市产业生态化水平出现小幅度下降。

表 3 呼包鄂榆城市群各城市产业生态化水平指数

Table 3 Measurement results of industrial ecological level index in each city of Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration

年份	产业生态化水平指数						
	呼和浩特	包头	榆林	鄂尔多斯	巴彦淖尔	乌兰察布	乌海
2012	0.325 9	0.404 3	0.364 2	0.455 8	0.234 4	0.321 3	0.351 0
2013	0.332 3	0.405 8	0.365 0	0.451 1	0.255 5	0.334 6	0.360 8
2014	0.340 0	0.413 0	0.363 0	0.434 8	0.254 0	0.331 3	0.359 4
2015	0.340 5	0.433 5	0.349 3	0.424 5	0.242 2	0.316 2	0.364 2
2016	0.382 1	0.429 9	0.360 9	0.470 0	0.266 2	0.318 3	0.374 5
2017	0.370 9	0.390 9	0.354 9	0.472 9	0.261 3	0.300 8	0.346 1
2018	0.389 1	0.399 6	0.324 2	0.538 0	0.275 0	0.405 7	0.371 3
2019	0.399 4	0.422 0	0.351 0	0.497 9	0.327 3	0.447 5	0.419 0
2020	0.396 2	0.399 6	0.339 6	0.544 8	0.322 6	0.464 6	0.416 4
2021	0.430 2	0.442 1	0.363 3	0.544 4	0.328 7	0.505 5	0.424 6
均值	0.370 7	0.414 1	0.353 5	0.483 4	0.276 7	0.374 6	0.378 7

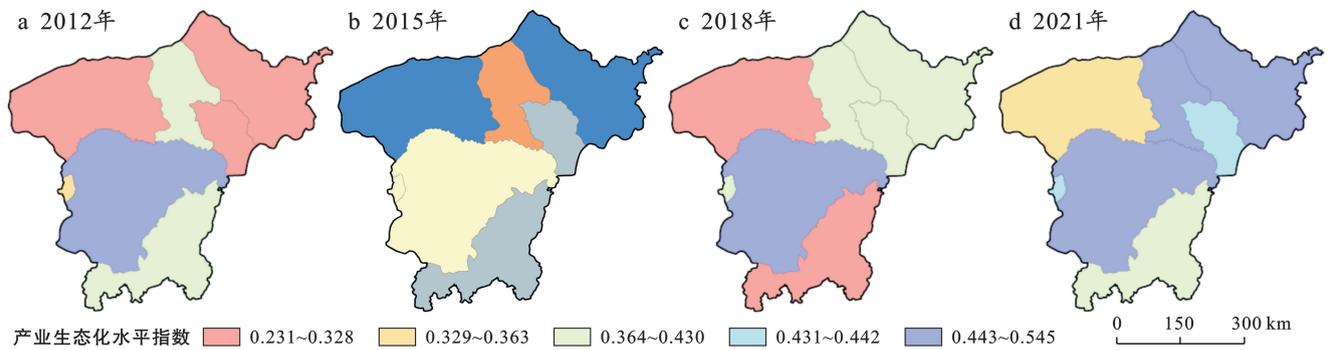


图 2 呼包鄂榆城市群各城市产业生态化水平指数空间演变特征

Fig.2 Spatial evolution characteristics of industrial ecology level index in each city of Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration

### 2.3 产业经济系统与生态环境系统耦合协调时空演变特征

2.3.1 耦合协调时间演化特征 从呼包鄂榆城市群各城市产业生态化耦合度演变情况来看,2012—2021 年间,呼包鄂榆城市群各城市产业经济系统和生态环境系统耦合度均在 0.9 以上,其变化趋势如图 3 所示。各城市耦合度一直处于动态变化的高水平耦合阶段,说明产业经济系统与生态环境系统之间耦合性紧密,二者相互影响,相互作用,进入到协调期。

如表 4 所示,尽管呼包鄂榆城市群各城市耦合度基本保持在同一水平,但各城市之间的协调度存在着较大差异。

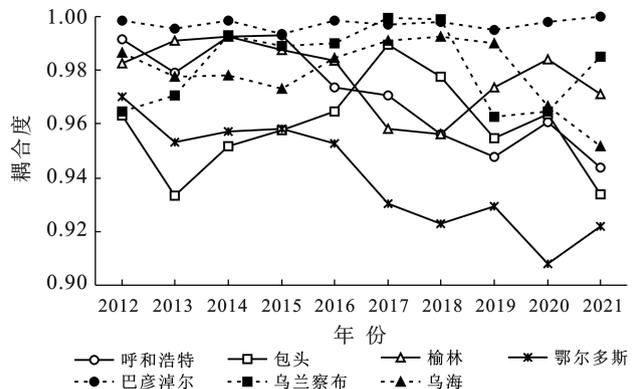


图 3 产业经济系统和生态环境系统耦合度时间变化  
Fig.3 Emporal change of coupling degree between industrial economic system and ecological environment system

2012 年—2021 年,榆林市个别年份出现轻度失调以外,基本处于濒临失调的水平,巴彦淖尔市和乌兰察布市从轻度失调水平过渡到濒临失调水平,其中乌兰察布市提升最快,有望在 2022 年实现由濒临失调到勉强协调的突破,其他城市耦合协调水平,鄂尔多斯

市率先实现了由濒临失调水平到勉强协调水平的转变,呼和浩特市、包头市和乌海市稳定地处在濒临失调水平。从整体来看,各地市协调度均有不同程度的提升,但是仍然处于低度协调的阶段,产业经济系统和生态环境系统发展协调性需要进一步的提升。

表 4 呼包鄂榆城市群各城市耦合协调度测度结果及等级

Table 4 Measurement results and grades of coupling coordination degree in each city of Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration

城市	耦合协调度测度结果										
	分类	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
呼和浩特	值	0.402	0.403 3	0.410 8	0.411 1	0.431 3	0.424 3	0.431 3	0.435 0	0.436 3	0.450 5
	分类	濒临失调									
包头	值	0.441 3	0.435 2	0.443 4	0.455 6	0.455 3	0.439 7	0.442	0.448 8	0.438 8	0.454 4
	分类	濒临失调									
榆林	值	0.423 0	0.425 2	0.424 4	0.415 3	0.421 2	0.412 3	0.393 7	0.413 4	0.408 8	0.420 0
	分类	濒临失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	轻度失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调
鄂尔多斯	值	0.470 2	0.463 7	0.456 1	0.451 0	0.473 1	0.469 1	0.498 2	0.481 0	0.497 3	0.501 0
	分类	濒临失调	勉强协调								
巴彦淖尔	值	0.342 0	0.356 6	0.356 1	0.346 8	0.364 6	0.360 9	0.370 4	0.403 5	0.401 3	0.405 3
	分类	轻度失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调						
乌兰察布	值	0.393 6	0.403 0	0.405 6	0.395 5	0.396 9	0.387 8	0.450 1	0.464 1	0.473 3	0.499 0
	分类	轻度失调	濒临失调	濒临失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调
乌海	值	0.416 0	0.420 0	0.419 2	0.421 0	0.429 4	0.414 1	0.429 3	0.455 5	0.448 6	0.449 4
	分类	濒临失调									

2.3.2 耦合协调空间演化特征 如图 4 所示,呼包鄂榆城市群产业生态化耦合协调度空间分布上存在显著变化,且城市之间差异较大,以鄂尔多斯市为代表的内蒙古自治区经济发达地区始终保持在领先位置,

耦合协调度水平较高的城市沿西北方向延伸,这与城市产业生态化水平延伸方向保持一致。榆林市耦合协调度的空间差异与鄂尔多斯市、包头市、呼和浩特市、乌兰察布市进一步扩大。

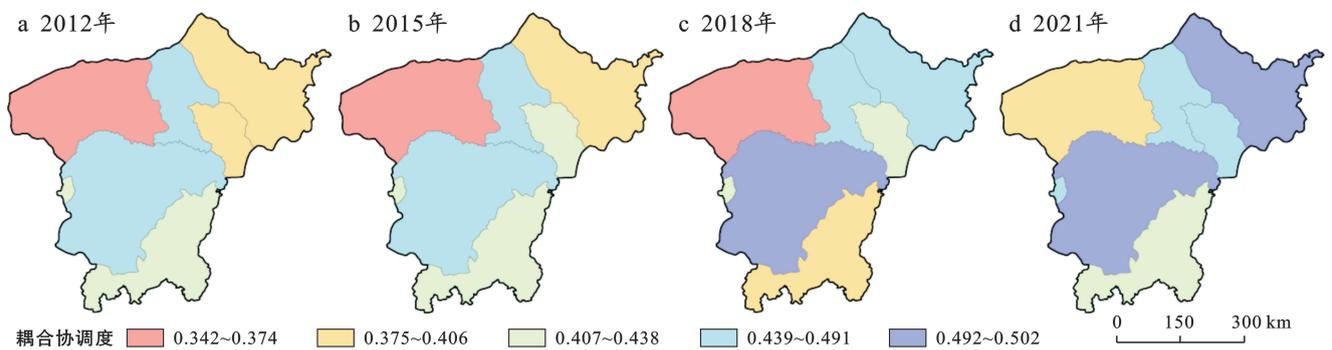


图 4 呼包鄂榆城市群各城市耦合协调度空间演变特征

Fig.4 Spatial evolution characteristics of coupling coordination degree in each city of Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration

通过对比各城市产业生态系统和生态环境系统可以发现:2012—2021 年期间,呼包鄂榆城市群中多数城市产业经济系统水平高于生态环境系统水平,说明影响呼包鄂榆城市群城市产业生态化水平上,产业经济系统占有较大优势,巴彦淖尔市和乌兰察布市部

分年份实现了生态环境系统发展水平对产业经济系统的反超,但在研究期后期并没有将此成效予以保持,说明期间生态环境发展水平不够稳定。

通过耦合协调结果分析发现,一方面呼包鄂榆城市群各城市在产业结构调整上均有发力,经济发展和

人民生活水平都有了提升,生态环境水平与经济发展之间的协调保持稳定或者小幅度提升。另一方面也暴露了以下问题:①呼包鄂榆城市群产业链生态化协调度不高,且没有达到高度协调的状态,部分城市经济与环境的协调度存在较大幅度的变动,需要对经济与环境系统的相互促进式发展进行较多的关注。②受限于资源型城市的发展方式,在发展经济过程中短期无法摆脱资源依赖,接续替代产业发展处在薄弱环节,创新转型发展缺少科技支撑,特别是依煤而生的城市也面临着土地塌陷、固体废弃物堆放、水资源破坏和空气污染等问题,生态环境治理任务繁重,自然资源的可再生功能面临着不同程度的阻碍,而且各城市的差异还十分明显,最终影响城市经济的高质量发展。因此在推进产业生态化水平上需要重视在环境上的着力。

#### 2.4 产业生态化水平影响因素分析

使用固定效应模型回归之前,需要对模型进行 Hausman 检验来确定最终选择的是随机效应模型还是固定效应模型, Hausman 最终结果为在 1% 显著水平拒绝随机效应的假设,因此本文选择固定效应模型,回归估计结果见表 5。

表 5 呼包鄂榆城市群各城市固定效应模型回归估计结果  
Table 5 Regression estimates with fixed-effect model in each city of Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration

变量	系数	标准差	Z 值	p 值
经济发展水平	0.006 74	0.001 77	3.81	0.00
产业结构	-0.001 76	0.005 94	-2.97	0.00
对外开放水平	0.002 64	0.001 11	1.36	0.00
技术创新	0.006 53	0.009 41	6.94	0.00
废物综合利用水平	0.010 24	0.001 85	5.52	0.00
政府调控	0.001 55	0.001 34	1.16	0.04

(1) 经济发展水平对呼包鄂榆城市群各城市产业生态化在 1% 的显著属性上产生正向影响,影响系数为 0.006,说明经济发展对呼包鄂榆城市群产业生态化有明显的正向促进作用。一方面,经济发展水平的提高使得地方财政有了更高的存量,具备了产业生产环节的不断优化和环境治理投入的能力,环节优化是让产业生产过程中重视清洁能源的使用,设备、技术和方法不断升级以适应清洁生产的要求,节能减耗、绿色减排成效显著提升,从而进一步提升产业生态化。另一方面,人均 GDP 反映了人民生活水平的提升,当人们物质生活得到满足后,对于提升生态环境质量的期盼更为殷切,人们的基本诉求也向 20 世纪 80 年代的“温饱”向现在“环保”转变,在生态环境上予以更多的关注,且更愿意对生态环境保护加以更

多的投入,以正向地促进地区的产业生态化水平。作为沿黄流域和西部地区经济较为落后的呼包鄂榆城市群来说,经济发展是第一要务,推动经济水平的同时应当重视生态保护和产业转型。

(2) 产业结构对呼包鄂榆城市群各城市产业生态化在 1% 的显著属性上产生负向影响,影响系数为 -0.001 76。本文运用第二产业产值比第三产业产值代表产业结构,第二产业所占比例越高,说明资源消耗和废弃物排放的机会更多。呼包鄂榆城市群是典型的资源型城市群,资源型的产业具有主导优势,长期以来,经济发展主要依靠第二产业拉动,依托煤炭等资源发展煤焦化、金属冶炼既为区域产业发展基础的快速形成创造了前提,也导致了区域产业发展短期内很难走出“资源驱动”的传统发展方式。除此之外,呼包鄂榆城市群内的部分相邻地区自然资源相似,基础环境雷同,各地区运用资源优势发展相关产业形成了能源电力、煤焦化工、金属冶炼等产业格局,导致了区域之间的产业同质化,发展战略趋同,地区之间产业竞争格局不明显,加上新兴产业的培育不足,产业结构调整速度缓慢,对生态环境污染短时期内无法有效地减少,抑制了产业生态化水平。

(3) 对外开放水平对于呼包鄂榆产业生态化在 1% 的显著水平上产生正向的促进作用,影响系数 0.002 64。外资进入国内市场会对国内经济秩序造成一定冲击,加剧了国内市场之间的竞争,而国内产业为了争取市场,尽可能利用外商投资带来的先进技术和经验为契机,通过示范效应促进地区的技术创新,带动产业生态化的提升。除此之外,作为依靠资源发展的城市群,自身发展带来的环境问题有着高度的警示,在招商引资时严格限制污染性行业的外资进入,加大对“清洁”外资的引进力度,避免了发达国家落后产能的梯度转移,提高产业生态化的有效途径。

(4) 技术创新对于呼包鄂榆产业生态化在 1% 的显著水平上产生正向的促进作用,影响系数为 0.006 53。技术创新是产业生态化的内生动力,在传统产业的转型升级上对技术创新有所依赖,在新能源技术的研发、污染控制技术的掌握以及清洁生产技术的应用都能够很大程度上改善生态环境,实现从源头到末端的防污、治污,从而很好地实现了环境的保护,不仅如此,科技创新也能够实现产业的智能管理,优化生产环节,提升资源配置效率的作用更为明显。在产业转型升级上,技术创新推动了产业结构向高级化、产业发展向绿色化、产业产出向高效化和产业负能循环化迈进。

(5) 废物综合利用水平对呼包鄂榆城市群各城

市产业生态化在1%的显著属性上产生正向影响,影响系数为0.01 024。从改善环境质量上看,废物综合利用有效解决了废物长期堆存带来的环境污染和安全隐患。产业生产过程中尽可能让较少的废物进入环境,从而获得较大的经济效益和社会效益,减少后期环境治理的成本。从资源消耗上来看,废物循环利用使得资源利用效率不断提升,产业通过对废弃物的规模利用与高值利用,达到存量消纳与增量控制的良好局面,从而帮助企业进一步控制经营成本。因此废物综合利用同时具备资源供给和减排的双重属性,能够有效地推动产业生态化水平的提升。

(6) 政府调控对呼包鄂榆城市群各城市产业生态化在5%的显著属性上产生负向影响,影响系数为0.00 155。呼包鄂榆城市群地处中国西北地区的城市群之一,生态环境较为脆弱,在生态文明建设上愈发重视。固定资产的投资可以使资本不断积累,到达到一定节点时,政府会对在固定资产投资过程中产生的环境问题予以重视,利用自身在市场经济和资源配置中能够发挥宏观调控的优势,通过政策手段引导和帮助产业结构的调整和转型,淘汰落后产能,促使企业对生产方式进行调整以适应新的发展要求,从而为地区产业生态化指明发展方向。

### 3 结论

(1) 呼包鄂榆城市群产业生态化水平整体呈现波动上升趋势。从地市平均水平来看,产业生态化水平区域之间发展不平衡,榆林市经济总量为城市群最高,但是与产业生态化水平不成正比,产业生态化水平增长极为缓慢,研究周期内没有明显的增长,其他城市发展趋势向好。

(2) 呼包鄂榆城市群各城市产业经济系统和生态环境系统耦合度一直处于动态变化的高水平耦合阶段。但从耦合协调度发展来看,各地市协调度均有不同程度的提升,但是仍然处于低度协调的阶段,耦合协调的发展速率缓慢,产业经济系统和生态环境系统协调性需要进一步的提升,也表明现阶段城市群产业生态化发展之路拥有更大的提升空间。

(3) 对呼包鄂榆城市群影响因素的实证分析中,经济发展水平、外开放水平、技术创新、废物综合利用水平和政府调控对呼包鄂榆城市群各城市产业生态化水平产生了显著的正向影响;产业结构则对产业生态化水平产生显著的负向影响,是影响产业生态化的重要因素,因此通过调整产业结构上有助于生态环境的改善和经济水平的提升。

### 4 建议

推动呼包鄂榆城市群产业生态化是对接黄河流域生态保护和高质量发展产业生态化中生态与经济发展协调的理念与国家战略相呼应,提升呼包鄂榆产业生态化水平不仅要依靠企业自身对生产过程做出调整,同时政府调控也同样发挥着作用。因此本文结合上述研究对如何提升产业生态化水平提出以下建议:①优化产业结构,培育多元产业体系。要推动地区产业结构持续性优化,立足发展实际,对工业生态化进行改造升级,保证煤炭产业从源头到终端使用最大限度上的高效清洁利用;同时培育和植入新兴产业,在资源型产业之外发展既有市场前景又有本地比较优势的新兴产业。②推动循环发展,提升废物利用水平。产业结构的调整很大程度上能够减少废弃物产生,降低废弃物存量,减少了废弃物循环处理的压力。要构建完善的循环利用体系,实现废弃物优先园区内、园区间的循环使用,同时建立园区与社会之间的联络,回收社会废弃物资源利用到产业生产过程,控制企业经营成本,减少因排放而导致的后期治理成本,进一步提升社会效益。③加大创新投入,提升社会创新能力。科技创新应当在重点领域进行,着力解决科技创新与产业发展脱节的问题,按照边研究、边应用的机制,对接地方产业,服务地方决策。建立企业间的创新联络,地方龙头企业带动周边中小企业发展,发挥其技术示范和产品辐射等作用,打破创新产品共享壁垒,带动中小企业向着专业化、高端化发展。④政府积极参与,充分发挥监管作用。建立和完善“环保执法、生态补偿、环境税收”等相关制度,运用制度协调经济高质量发展和生态高水平保护二者的关系,先从法律规制企业行为,逐步推动企业资源转型,强化企业环保意识,推动地方产业生态化发展。

### 参考文献 (References)

- [1] Odum E P. The strategy of ecosystem development [J]. Science, 1969,164(3877):262-270.
- [2] Frosch R, Gallopoulos N E. Strategies for manufacturing [J]. Scientific American, 1989,261(3):144-152.
- [3] Hardin T. Industrial Ecology: An Environmental Agenda For Industry [M]. Cambridge, United States: Artur D Little, Inc., 1991.
- [4] Graedel T E, Allenby B R. Industrial Ecology [M]. 2nd ed. New York, USA: Prentice Hall, 2002.
- [5] Allenby B R. A design for environment methodology for evaluating materials [J]. Environmental Quality Management, 1996,5(4):69-84.

- [6] 刘则渊,代锦.产业生态化与我国经济的可持续发展道路[J].自然辩证法研究,1994,10(12):38-42.  
Liu Zeyuan, Dai Jin. Industrial ecology and the sustainable development of China's economy [J]. Studies in Dialectics of Nature, 1994,10(12):38-42.
- [7] 李孔岳.对产业生态化理论的思考[J].生态经济,2001,17(9):67-69.  
Li Kongyue. Theory and consideration on the greening industry [J]. Ecological Economy, 2001,17(9):67-69.
- [8] 郭守前.产业生态化创新的理论与实践[J].生态经济,2002,18(4):34-37.  
Guo Shouqian. The theory and practice of ecological innovation of industry [J]. Ecological Economy, 2002,18(4):34-37.
- [9] 厉无畏,王慧敏.产业发展的趋势研判与理性思考[J].中国工业经济,2002(4):5-11.  
Li Wuwei, Wang Huimin. An analysis on industry development tendency and rational thinking [J]. China Industrial Economy, 2002(4):5-11.
- [10] 钱晓英,王莹.京津冀地区产业集聚与生态环境间的耦合关系[J].统计与决策,2016,32(3):103-106.  
Qian Xiaoying, Wang Ying. Coupling relationship between industrial agglomeration and ecological environment in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Statistics & Decision, 2016,32(3):103-106.
- [11] 王中亚.中国典型资源型城市产业生态化发展研究[J].中国国土资源经济,2013,26(2):54-58.  
Wang Zhongya. Research on the development of industrial ecology of typical resource-based cities of China [J]. Natural Resource Economics of China, 2013,26(2):54-58.
- [12] 马树才,秦海涛.东北三省产业生态化发展水平实证分析[J].沈阳师范大学学报(社会科学版),2017,41(1):1-6.  
Ma Shucai, Qin Haitao. An empirical study on ecological industry development of the three provinces in Northeast China [J]. Journal of Shenyang Normal University (Social Science Edition), 2017,41(1):1-6.
- [13] 秦曼,刘阳,程传周.中国海洋产业生态化水平综合评价[J].中国人口·资源与环境,2018,28(9):102-111.  
Qin Man, Liu Yang, Cheng Chuanzhou. Comprehensive evaluation of marine industrial ecologization in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2018,28(9):102-111.
- [14] 张国俊,王珏晗,庄大昌.广州市产业生态化时空演变特征及驱动因素[J].地理研究,2018,37(6):1070-1086.  
Zhang Guojun, Wang Juehan, Zhuang Dachang. The characteristics and driving forces of spatial and temporal evolution of industrial ecology in Guangzhou [J]. Geographical Research, 2018,37(6):1070-1086.
- [15] 程钰,李晓彤,孙艺璇,等.我国沿海地区产业生态化演变与影响因素[J].经济地理,2020,40(9):133-144.  
Cheng Yu, Li Xiaotong, Sun Yixuan, et al. Evolution characteristics and its influencing factors of industrial ecologization in the coastal areas of China [J]. Economic Geography, 2020,40(9):133-144.
- [16] 刘曙光,王璐,尹鹏,等.中国地级以上城市产业生态化时空特征及其驱动因素研究[J].资源开发与市场,2018,34(11):1488-1493.  
Liu Shuguang, Wang Lu, Yin Peng, et al. Spatial-temporal characteristics and its driving factors of industrial ecology of prefecture level and above cities in China [J]. Resource Development & Market, 2018,34(11):1488-1493,1519.
- [17] 曾鹏,韩晓涵.中国城市群产业生态化及其空间特征[J].统计与决策,2020,36(8):51-55.  
Zeng Peng, Han Xiaohan. Industrial of ecologization in China's urban agglomeration and its spatial characteristics [J]. Statistics & Decision, 2020,36(8):51-55.
- [18] 李坤,殷朝华.高质量发展对产业生态化水平及地区差异的影响:基于动态空间面板杜宾模型[J].生态经济,2021,37(11):40-45.  
Li Kun, Yin Chaohua. Influence of high quality development on ecological level of industry and regional difference: Based on the dynamic space panel durbin model [J]. Ecological Economy, 2021,37(11):40-45.
- [19] 高思齐,郭付友.山东省限制开发区产业生态化时空分异特征与驱动因素[J].地理与地理信息科学,2021,37(3):128-134.  
Gao Siqi, Guo Fuyou. Spatial-temporal differentiation characteristics and driving factors of industrial ecology in the restricted development zone of Shandong Province [J]. Geography and Geo-Information Science, 2021,37(3):128-134.
- [20] 张媛媛,袁奋强,刘东皇,等.产业生态化水平的测度及其影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(10):2331-2339.  
Zhang Yuanyuan, Yuan Fenqiang, Liu Donghuang, et al. Research on the measurement of industrial ecologization level and its influencing factors [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019,28(10):2331-2339.
- [21] 郭付友,佟连军,魏强,等.松花江流域(吉林省段)产业系统生态效率时空分异特征与影响因素[J].地理研究,2016,35(8):1483-1494.  
Guo Fuyou, Tong Lianjun, Wei Qiang, et al. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of industrial system eco-efficiency in the Songhua River

- basin of Jilin Province [J]. *Geographical Research*, 2016, 35(8):1483-1494.
- [22] 张漪琳, 吴相利, 王丽敏. 国家重点森林生态功能区产业生态化水平测度与产业—生态的协调发展[J]. *生态学报*, 2024, 44(14):5985-6002.
- Zhang Yilin, Wu Xiangli, Wang Limin. Measurement of industrial ecological level and industry-ecology coordinated development in national key forest ecological function zones [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(14):5985-6002.
- [23] 傅利平, 王中亚. “资源诅咒”与资源型城市[J]. *城市问题*, 2010(11):2-8.
- Fu Liping, Wang Zhongya. Curse of natural resource and resource-based cities [J]. *Urban Problems*, 2010(11):2-8.
- [24] 沈洁, 张永恒, 周冰. 黄河流域产业生态化评价及优化路径研究[J]. *人民黄河*, 2020, 42(10):6-10.
- Shen Jie, Zhang Yongheng, Zhou Bing. Study on the evaluation and optimization of industrial ecology in the Yellow River basin [J]. *Yellow River*, 2020, 42(10):6-10.
- [25] 周映伶, 罗胤晨, 文传浩. 城市产业生态化水平指标体系构建与综合评价[J]. *统计与决策*, 2021, 37(6):73-77.
- Zhou Yingling, Luo Yincheng, Wen Chuanhao. Construction and comprehensive evaluation of urban industrial ecological level index system [J]. *Statistics & Decision*, 2021, 37(6):73-77.
- [26] 郭付友, 佟连军, 刘志刚, 等. 山东省产业生态化时空分异特征与影响因素: 基于 17 地市时空面板数据[J]. *地理研究*, 2019, 38(9):2226-2238.
- Guo Fuyou, Tong Lianjun, Liu Zhigang, et al. Spatial-temporal pattern and influencing factors of industrial ecology in Shandong Province: Based on panel data of 17 cities [J]. *Geographical Research*, 2019, 38(9):2226-2238.
- [27] 斯丽娟. 西部地区产业生态化时空演进及其驱动机制[J]. *甘肃社会科学*, 2021(4):149-156.
- Si Lijuan. The spatio-temporal evolution and driving mechanism of industrial ecologicalization in Western China [J]. *Gansu Social Sciences*, 2021(4):149-156.
- [28] 史宝娟, 张立华. 我国产业生态化空间分异及驱动因素分析: 基于 2005—2019 年我国 30 省份经验数据[J]. *生态经济*, 2023, 39(11):67-75.
- Shi Baojuan, Zhang Lihua. Research on the spatial differentiation and driving factors of industrial ecology in China: Based on the empirical data of 30 provinces in China from 2005 to 2019 [J]. *Ecological Economy*, 2023, 39(11):67-75.
- [29] 逯承鹏, 刘志良, 刘祎平, 等. 黄河流域产业生态化时空格局及其影响因素[J]. *生态学杂志*, 2022, 41(7):1342-1350.
- Lu Chengpeng, Liu Zhiliang, Liu Yiping, et al. Spatial-temporal patterns and influencing factors of industrial ecologicalization in the Yellow River basin [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2022, 41(7):1342-1350.
- [30] 刘军胜, 马耀峰. 基于发生学与系统论的旅游流与目的地供需耦合成长演化与驱动机制研究: 以西安市为例[J]. *地理研究*, 2017, 36(8):1583-1600.
- Liu Junsheng, Ma Yaofeng. The evolution and driving mechanism of the supply and demand coupling about tourism flow and destination system based on the genesis and system theory: Taking Xi'an as an example [J]. *Geographical Research*, 2017, 36(8):1583-1600.