

山东省限制开发区产业生态化时空分异特征与驱动因素

高思齐, 郭付友*

(曲阜师范大学地理与旅游学院, 山东日照 276800; 日照市国土空间规划与生态建设重点实验室, 山东日照 276800)

摘要:研究山东省限制开发区产业生态化时空演化格局及其作用机理对全面推动山东省新旧动能转换具有现实意义。基于产业生态化内涵,从产业系统与生态环境系统视角构建山东省限制开发区产业生态化综合评价指标体系,并利用耦合协调度、空间自相关分析、地理探测器等方法对产业生态化时空分异特征与驱动因素进行研究,结果表明:1)2006—2017年山东省限制开发区产业生态化水平呈“M”形演变趋势,产业系统和生态环境系统间的交互作用机制并不稳定,从阶段划分而言,产业生态化仍处于初级发展时期;2)限制开发区产业生态化空间分异特征显著,各县域之间存在较明显的空间集聚现象;3)经济发展水平、外商投资与政府调控是高作用驱动因子,因子交互作用解释力度远高于单一因子,反映山东省限制开发区产业生态化时空分异特征是多种影响因素交互作用的综合表现。

关键词:产业生态化;时空分异;驱动因素;耦合协调度;山东省限制开发区

中图分类号:F127 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-0504(2021)03-0128-07

0 引言

现阶段我国产业生产模式仍为投入要素线性消耗与资源环境掠夺式开采,伴随传统外延粗放式经济增长的同时也带来一系列生态环境问题^[1]。产业生态化从产业结构调整与功能优化层面打破了经济系统与生态环境系统之间的隔绝状态,通过源头资源利用削减、中间生产工艺改善、末端污染物治理降低经济活动对生态环境的扰动作用,最终实现经济效益、社会效益和环境效益的有机统一。目前国内学者对于产业生态化研究主要集中于以下方面:1)内涵解析。产业生态化概念最早来源于以“宇宙飞船经济”理论为代表的生态经济思想,后经过系统生态学^[2]、产业代谢理论、产业生态系统^[3]、产业系统演化发展三阶段理论^[4]不断丰富与完善。2)研究内容与研究方法。国外学者主要运用生态效率^[5]、物质流分析方法^[6]、产业园区生态效率评价模型^[7]以及生态产业共生网络^[8]分析区域内资源能量的循环再利用;国内学者主要运用脉冲响应分析^[9]、数据包络分析^[10]、耦合协调度^[11]、脱钩分析^[12]等方法对区域^[9]或具体行业^[13,14]的产业生态化水平进行评价,并预测其未来发展趋势。3)影响因素与驱动机

制。目前对于产业生态化影响因素的识别多从区域资源禀赋与地域分工^[15]、经济发展水平与产业结构^[16]、能源结构与产业间技术溢出^[17]、科学技术^[15]、区位路径依赖^[18]、环境规制强度^[19]等方面展开相关讨论。

既有研究所选研究区域多限定于传统的行政区划视角,而基于主体功能区划视角对地地矛盾问题突出的典型区域——限制开发区内的产业生态化“过程—格局—机理”研究尚显不足;同时,现有研究相对缺乏要素尺度视角下揭示不同影响因子与产业生态化时空格局分异性相互作用规律以及多因子驱动对产业生态化发展的综合作用机制。基于此,本文以山东省限制开发区为案例区,应用地理学中的典型分析范式,采用面板数据分析方法对案例区产业生态化时空演化分异规律进行评价,并从要素尺度视角,采用地理探测器模型识别产业生态化时空演变格局的驱动机制,以期为山东省区域绿色发展转型提供借鉴。

1 研究区与数据

山东省作为中国重要的经济大省和工业强省,第二产业对山东省国民经济增长具有引领地位。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

收稿日期:2020-04-23; 修回日期:2020-08-01

基金项目:国家自然科学基金项目(41801105);山东省自然科学基金项目(ZR2018BD002);山东省社会科学规划研究项目(18DJJJ14)

作者简介:高思齐(1996—),女,硕士研究生,主要从事产业生态化方面研究。*通讯作者 E-mail:guofuy945@nenu.edu.cn

随着山东省区域经济发展进入纵深阶段以及城镇化水平逐渐接近成熟阶段^[1],经济增长与重型化产业结构并存、产业运行与生态环境恶化矛盾持续显现。2018 年国务院批准《山东省新旧动能转换综合实验区建设总体方案》,为转变山东省粗放型经济产业发展模式、优化产业结构并调整升级方向带来新的发展机遇。限制开发区承载着生态保护和欠发达地区经济突破发展的自身需求与压力^[20],研究其产业生态化时空分异特征与驱动因素尤为重要。依据《山东省主体功能区规划》,限制开发区覆盖范围涉及全省 77 个县(市、区)和 40 个乡镇,考虑到数据的可获得性及地域对比的科学性,最终确定 77 个县(市、区)为本文实证样本。2017 年研究区 GDP 为 3.39 万亿元,总人口为 5 965 万人,分别占山东省的 47.25% 和 59.74%^[22]。为进一步揭示不同区域产业生态化的时空分异性特征,借鉴文献^[21],将研究区划分为鲁西北^①、鲁西南^②及东部沿海地区^③。

本文研究时段为 2006—2017 年,研究数据源自 2007—2018 年《中国城市统计年鉴》^[23]《山东统计年鉴》^[22]及山东省 17 个地级市的统计年鉴与统计公报。

2 研究方法

2.1 指标选择与权重设置

产业生态化是将物质生产过程中的主体产业活动按照生态学原理置入生态环境系统物质循环代谢过程中,通过产业运行外部资源环境成本内部化实

现由外延线性粗放型向封闭循环集约型产业发展模式转变,具有产业系统与生态环境系统双重属性。因此,对产业生态化科学评价应以产业生态系统可持续发展为最终目标,以产业系统与生态环境系统相互作用机制为研究导向。借鉴文献^[11,24],遵循系统性、科学性、可比性及代表性等原则,从产业系统与生态环境系统两方面构建山东省限制开发区产业生态化水平综合评价指标体系(表 1)。限制开发区承载着自身经济发展和维护区域生态安全的双重任务,重点保护农产品主产区和生态功能保育区,通过优化农业发展方式、提高资源要素生产效率和控制资源环境开采力度等,保障农产品持续供给和提供各类生态服务功能。因此,对限制开发区产业系统的评价既要关注产业系统基础发展状态(农业产业结构合理性评价),还应当注重产业系统规模化发展水平(经济发展质量与效益评价及经济增长潜力评价),选取农业/林业经济占 GDP 比重(A_1)、二三产业增加值总额/GDP(A_2)、产业结构高级化指数(A_3)、人均实际利用外资额(A_4)、GDP 增长率(A_5)5 个指标对产业系统加以考量;对限制开发区生态环境系统的评价不仅要关注生态产品多样性和生态服务能力(生态保育水平评价及生态环境系统自我修复能力评价),还应注重来自产业运行过程中的资源消耗与生态环境污染压力(污染排放水平评价),选取化肥施用强度(B_1)、人均节水灌溉面积(B_2)、人均农田防护林面积(B_3)、单位 GDP 工业废水排放量(B_4)、环境污染治理投资占 GDP 比重(B_5)5 个指标评价生态环境系统。

表 1 山东省限制开发区产业生态化水平综合评价指标体系
Table 1 Comprehensive evaluation index system of industrial ecology in the restricted development zone of Shandong Province

目标层	准则层	指标层	指标含义及属性	权重
产业生态化水平	产业系统(A) (0.4194)	农业/林业经济占 GDP 比重(A_1)	反映农业/林业经济生产力(+)	0.0116
		二三产业增加值总额/GDP(A_2)	反映产业规模化发展水平(+)	0.0121
		产业结构高级化指数(A_3)	反映产业结构发展活力(+)	0.0476
		人均实际利用外资额(A_4)	反映产业外部依赖水平(+)	0.3154
		GDP 增长率(A_5)	反映产业发展速度与规模(+)	0.0327
	生态环境系统(B) (0.5871)	化肥施用强度(B_1)	反映生态环境污染压力(-)	0.0150
		人均节水灌溉面积(B_2)	反映生态环境治理响应(+)	0.1220
		人均农田防护林面积(B_3)	反映生态环境保育能力(+)	0.2148
		单位 GDP 工业废水排放量(B_4)	反映生态环境污染压力(-)	0.0857
		环境污染治理投资占 GDP 比重(B_5)	反映生态环境治理响应(+)	0.1496

运用熵值法确定山东省限制开发区产业生态化评价指标权重,为避免量纲和数量级差异的影响,采用极值处理法对原始数据进行标准化处理,由此计

算各项指标的信息熵 e_j ,从而确定 10 项基础指标的权重 w_j ,最后运用线性加权求和得到产业系统与生态环境系统得分,具体计算步骤参见文献^[25]。

① 鲁西北:长清区、茌平县、济阳县、商河县、博山区、高青县、沂源县、陵城区、市津县、庆云县、临邑县、平原县、夏津县、武城县、乐陵市、禹城市、临清市、阳谷县、莘县、东阿县、冠县、高唐县、沾化区、惠民县、阳信县、无棣县、博兴县、河口区、垦利区、利津县
② 鲁西南:薛城区、驿城区、台儿庄区、山亭区、微山县、鱼台县、金乡县、嘉祥县、汶上县、泗水县、梁山县、曲阜市、泰山区、肥城市、宁阳县、东平县、沂南县、郯城县、沂水县、兰陵县、费县、平邑县、蒙阴县、临沭县、定陶区、曹县、单县、成武县、鄄城县、鄄城县
③ 东部沿海:崂山区、平度市、莱西市、莱阳市、蓬莱市、栖霞市、海阳市、长岛县、青州市、安丘市、高密市、昌邑市、临朐县、昌乐县、乳山市、昌乐县、五莲县

2.2 耦合协调度模型与地理探测器模型

产业生态化是产业系统与生态环境系统由低级协调耦合向高级优化成熟转变的过程,产业系统为生态环境可持续发展注入物质活力及提供技术支撑,生态环境系统为产业经济可持续发展构筑外界生存空间基础,同时区域资源环境承载力调节、约束社会经济活动的强度与规模^[26]。因此,本文运用耦合协调度模型对山东省限制开发区产业系统与生态环境系统作用机理与协调关系进行量化分析,其具体计算过程参考文献^[24];同时借鉴文献^[24,27],将耦合协调度 D 划分为 4 个阶段:失调发展期($0 \leq D < 0.4$)、磨合发展期($0.4 \leq D < 0.5$)、协调发展期($0.5 \leq D < 0.8$)、优化成熟期($0.8 \leq D \leq 1$)。值得注意的是,本文对产业生态化水平的测度首先通过熵值法测算出产业系统(A)与生态环境系统(B)得分,其次运用耦合协调度模型定量探索二者间的相互作用关系,产业系统与生态环境系统耦合协调度越高,表征产业生态系统越可能实现良性互动,即产业生态化综合水平越高。

地理探测器是探测地理现象空间分异性及揭示各类驱动因素对空间分异格局所发挥的外溢效应的一种空间统计学方法^[28]。该模型能够克服前期假设条件设置过多这一约束障碍,且可以探测多因子交互作用驱动机制,被广泛应用于自然科学、社会经济、人类健康等领域,其具体计算公式参见文献^[29]。

3 结果分析

3.1 产业生态化时空演变特征

2006—2017 年山东省限制开发区产业系统得分总体呈平稳发展态势,除 2007 年、2012 年、2016 年和 2017 年外,得分均值稳定在 0.10 左右,发展水平有待提升(图 1)。空间上,产业系统得分呈现东部沿海>鲁西北>鲁西南,同时研究期内鲁西北和鲁西南地区产业系统得分均低于限制开发区平均水平,说明鲁西北与鲁西南地区对促进产业生态化发展的驱动作用并不显著,未来需转变产业发展模式,发挥两地区域经济特色,因地制宜与因时制宜相结合,加快产业结构优化升级与高级化进程。

2006—2017 年山东省限制开发区生态环境系统得分总体呈波动递增趋势(图 2),由 2006 年的 0.1573 升至 2017 年的 0.1905,年均增长率为 1.76%。空间上,生态环境系统得分区域差异较明显,研究期内鲁西北地区增幅最大,东部沿海地区波动范围较小且维持在较高水平,而鲁西南地区生态环境系统得分

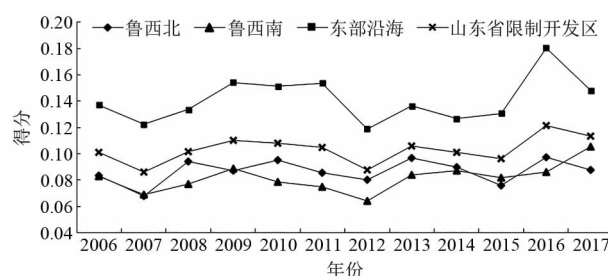


图 1 山东省限制开发区产业系统得分
Fig. 1 Score of industrial system in the restricted development zone of Shandong Province

始终低于限制开发区平均水平,说明近年鲁西北地区成为促进生态环境系统优化的关键驱动因子,同时鲁西南地区压缩型工业化驱动的规模扩张模式已逼近生态环境阈值,未来高效低耗的绿色发展模式推动生态环境质量优化提升将是该区产业生态化发展的关键所在。

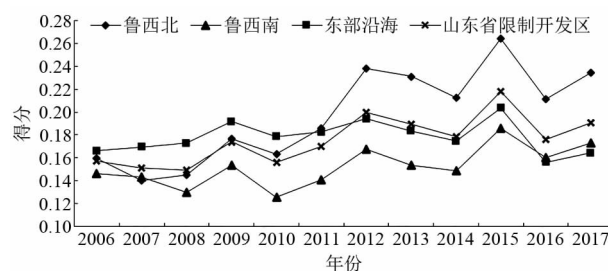


图 2 山东省限制开发区生态环境系统得分
Fig. 2 Score of ecological environment system in the restricted development zone of Shandong Province

2006—2017 年山东省限制开发区产业系统与生态环境系统耦合协调度呈“M”形变化趋势(表 2),说明两系统交互作用机制并不稳定,尚未实现由拮抗对立向良性共轭方向演进。从耦合协调度阶段划分而言,2006—2017 年产业系统与生态环境系统均处于失调发展期,侧面反映了现阶段山东省限制开发区产业生态化仍处于初级发展期,未来需加强产业系统与生态环境系统的协同联动效应,以推动产业生态化发展进程。空间上,研究期内产业生态化区域差异特征显著,东部沿海地区产业经济与生态环境相对融合协调发展,尤其是海洋科技创新战略驱动海洋产业转型升级,促进海洋产业生态化、高级化与轻型化;而鲁西北与鲁西南地区始终低于全省平均水平,说明两地产业系统与生态环境系统耦合协调程度发展缓慢,产业生态化稳定固化的俱乐部收敛特征较显著。

3.2 产业生态化空间分异特征

将 2006—2017 年山东省限制开发区 77 个评价单元的产业生态化综合得分导入 GeoDa 平台,利用欧氏空间距离作为评价权重,分别计算各年份 Global Moran's I 指数(表 3)。由表 3 可知,标准差 Z 得分均大于 1.65, P 值小于 0.10,计算结果通过 10%

表 2 山东省限制开发区产业系统与生态环境系统耦合协调度

Table 2 Coupling coordination degree of industrial system and ecological environment system in the restricted development zone of Shandong Province

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
鲁西北	0.2682	0.2329	0.3084	0.2669	0.2998	0.2558	0.1973	0.2554	0.2482	0.1651	0.2726	0.2237
鲁西南	0.2774	0.2339	0.2709	0.2892	0.2782	0.2558	0.1950	0.2754	0.2876	0.2429	0.2762	0.3198
东部沿海	0.3804	0.3575	0.3758	0.4037	0.3993	0.4025	0.3409	0.3786	0.3640	0.3618	0.4048	0.3925
山东省限制开发区	0.3087	0.2748	0.3184	0.3199	0.3258	0.3047	0.2444	0.3032	0.2999	0.2566	0.3179	0.3120

表 3 山东省限制开发区产业生态化 Global Moran's I 指数

Table 3 Global Moran's I statistics of industrial ecology in the restricted development zone of Shandong Province

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
I	0.2562	0.2671	0.2496	0.2178	0.2871	0.2674	0.2151	0.1041	0.2774	0.3754	0.2642	0.1968
$E(I)$	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139	-0.0139
$Z(I)$	3.8486	4.0105	3.5427	3.1048	4.2232	3.9644	3.2562	1.6998	3.9936	5.4140	3.8031	2.9741

注: $E(I)$ 为期望值, $Z(I)$ 为标准差得分,所有数据均通过 10%水平下的显著性检验。

水平下的显著性检验,表明限制开发区产业生态化整体存在较显著的空间关联特征 Global Moran's I 指数均大于 0,说明产业生态化空间分布趋同特征明显,即产业生态化水平相近地区空间集聚现象较显著。

为直观显示山东省限制开发区产业生态化空间集聚类型与区域差异,利用 ArcGIS 10.4 软件中的热点分析功能,计算 2006 年、2011 年和 2017 年 77 个研究单元的产业生态化 Getis-Ord G_i^* 指数,并用自然断点法将其划分为热点区、次热点区、次冷点区和冷点区(图 3)进行空间可视化分析。可以看出,研究期内限制开发区产业生态化时空格局存在区域异质性特征,东部沿海的崂山区、平度市、莱阳市、海阳市、乳山市等始终为热点区,鲁西南为产业生态化过渡地带,

而鲁西北的乐陵市、庆云县、沾化区、惠民县、阳信县、无棣县等地始终为冷点区。冷点区和次冷点区数量由 2006 年的 18 个降至 2011 年的 16 个,2017 年升至 17 个,二者占比长期稳定在 23%左右,反映出产业生态化稳定发展质量提升之路漫长而艰巨;热点区和次热点区数量由 2006 年的 59 个升至 2011 年的 61 个,2017 年降至 60 个,二者数量稍有增加,说明产业生态融合发展取得一定成效。空间演化态势上,产业生态化热点区呈现由 2006 年单核驱动模式演变为 2011 年和 2017 年双核驱动模式,东部沿海产业生态化优势逐渐向鲁西北、鲁西南方向转移,说明东部沿海地区市场机制管理与生产技术创新溢出效应显著,一定程度上促进了周围地区产业发展生态化水平的提高。

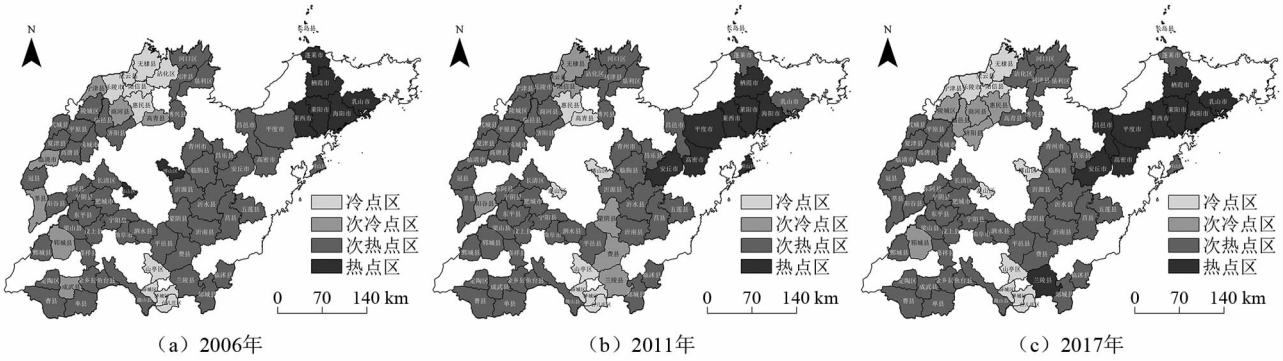


图 3 山东省限制开发区产业生态化水平空间格局演化

Fig. 3 Spatial pattern evolution of industrial ecology in the restricted development zone of Shandong Province

上述分析仅基于产业生态化空间格局静态研究,为了更好地预测未来限制开发区产业生态化水平的区域布局与空间变动情况,利用 ArcGIS 10.4 热点分析功能计算 2006—2011 年、2011—2017 年产业生态化增长率 Getis-Ord G_i^* 指数,采用自然断点法将其分为 4 类(图 4),进而分析山东省限制开发区产业生态化空间演变动态过程。产业生态化冷点区和热点区的空间跃迁现象较显著,从热点区和冷点区的空间演化进程看,东部沿海和鲁西南始终是增长冷点地区,同时黄河三角洲高效生态经济区和济南省会都市圈

先后出现产业生态化增长热点与次热点区域。随着《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》和《济南省会城市群经济圈发展规划》批复通过,济南都市圈在转变城市职能的同时加快产业结构转型升级,东营、滨州两市加速生态环境保护与修复工作,发展高效生态产业,使鲁西北地区成为产业生态化发展新区域增长极,打破了传统东部沿海单核驱动路径依赖锁定效应,促进山东省限制开发区产业生态化向多核联动协同发展模式转变,有利于加强区际技术交流与分工合作,并促进产业生态化发展空间不断优化。

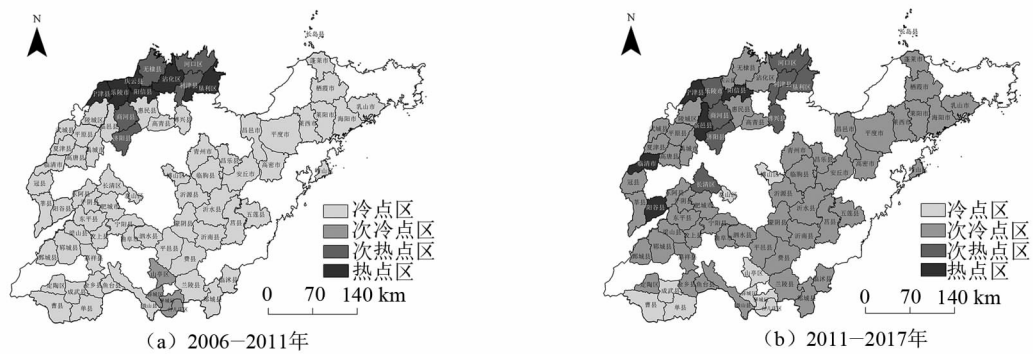


图 4 山东省限制开发区产业生态化增长率空间格局演化
Fig. 4 Spatial pattern evolution of industrial ecology growth rate in the restricted development zone of Shandong Province

4 山东省限制开发区产业生态化驱动因素分析

由前文分析可知,限制开发区整体及不同区域内部均存在不同程度的产业生态化水平空间集聚现象。参考相关研究成果^[1,24]并结合研究区实际情况,从经济发展水平、产业结构、外商投资、科学技术、政府调控、环境规制角度,借助理探测器,量化分析现有产业生态化空间分异格局的影响因素及其作用机理,并预测未来主导限制开发区产业生态化时空演变过程的关键驱动因素。1)经济发展水平,选取人均 GDP(X_1)衡量,其既可为产业生态转型提供原始资本积累,同时当经济发展水平达到一定程度后也可倒逼区域资源环境条件改善;2)产业结构,选取第二产业/第三产业增加值(X_2)衡量,最优产业结构在资源要素循环流动、经济效益产出最大化、污染物排放与治理程度等方面发挥重要作用;3)外商

投资,对于区域环境质量影响目前存在“污染光环”和“污染避难所”假说,本文选用人均实际利用外资额(X_3)探究外商投资对山东省限制开发区产业生态化发展是否存在正向促进或负向排斥作用;4)科学技术,用(科技+教育支出)/GDP(X_4)反映,技术进步对促进周围地区改进原有生产工艺与催生新型节能产业具有空间扩散—涓滴效应;5)政府调控,用人均固定资产投资额(X_5)表征,财政分权使地方政府在要素自由流动和资源最优配置方面发挥绝对优势,推动地区优势产业集聚从而促进经济增长;6)环境规制,用污水处理厂集中处理率(X_6)表征,严格的环境规制政策为生产工艺技术进步创新与污染治理水平改善提供强大动力,从而发挥外生驱动效应并推动产业生态化进程。运用地理探测器中的因子探测模型与因子交互作用模型探测限制开发区产业生态化发展的主要影响因子以及多因子交互作用对产业生态化水平的综合解释力度,结果见表 4。

表 4 山东省限制开发区产业生态化因子探测值
Table 4 Detection results of industrial ecology factors in the restricted development zone of Shandong Province

探测因子	2006 年				2012 年				2017 年			
	鲁西北	鲁西南	东部沿海	限制开发区	鲁西北	鲁西南	东部沿海	限制开发区	鲁西北	鲁西南	东部沿海	限制开发区
X_1	0.3611	0.3076	0.5801	0.3548	0.5610	0.4094	0.8706	0.4341	0.3404	0.1736	0.2738	0.2093
X_2	0.4631	0.1579	0.1601	0.1017	0.1922	0.0851	0.0768	0.1464	0.4759	0.2212	0.7401	0.1541
X_3	0.3873	0.5959	0.8512	0.5506	0.8820	0.7142	0.9245	0.8273	0.8412	0.8000	0.9341	0.7670
X_4	0.2945	0.0803	0.5345	0.1116	0.1499	0.3824	0.1454	0.1893	0.3808	0.1019	0.2627	0.0654
X_5	0.1456	0.3531	0.6980	0.2235	0.4742	0.2734	0.7380	0.4317	0.3665	0.2937	0.5184	0.3364
X_6	0.0814	0.6172	0.4462	0.2535	0.1323	0.1491	0.3007	0.0378	0.1851	0.0670	0.0481	0.2151

交互作用探测结果表明,因子交互作用类型表现为双因子增强与非线性增强,说明任意两类影响因素交互作用要远高于单一变量的独自作用,即山东省限制开发区产业生态化时空分异复杂性是由多种要素综合作用驱动形成的。

综合看,对于限制开发区整体而言,3 个研究时段内经济发展水平(X_1)、外商投资(X_3)与政府调控(X_5)是高作用力影响因素。经济发展水平一定程度上可以衡量地区产业结构类型与规模效益,通过引导经济增长由粗放型向集约型转变,促进区域产业

结构调整与功能优化,推动产业系统生态化转型。研究期内山东省限制开发区外商投资增长率为 11.31%,而产业生态化增长率为-0.11%,说明目前外商投资对于区域生态环境质量存在“污染避难所”效应。因此,在加快发展外向型经济的同时要加强对外资的甄别,注重因地制宜引进外资的发展战略,将外商投资污染转移转变为经验技术转移效应。山东省是工业强省,资源密集型产业较发育,规模扩张与总量增长收益递增机制使产业结构转型升级难以自动发生,需要引入外部干预,政府可从宏

观战略层面打破传统生产模式路径依赖锁定效应,为产业生态化发展提供外生驱动效应。另外,探测因子作用强度时序演变分析表明,经济发展水平(X_1)、外商投资(X_3)、科学技术(X_4)、政府调控(X_5)作用强度呈现先升后降态势,产业结构(X_2)作用强度持续上升,环境规制(X_6)作用强度则表现为先降后升。此外,研究期末外商投资、政府调控和环境规制的解释力度占比之和达到75.46%,说明其对山东省限制开发区产业生态化发展的控制支配效应不断增强。

对于山东省限制开发区不同分区而言,影响因子作用强度时序演变因产业生态化空间分异格局而呈现差异性特征,因此,不同区域的产业生态化提升关键路径也具有明显差异性。其中,经济发展水平与外商投资对于鲁西北地区作用效果较为突出,外商投资与环境规制成为鲁西南地区提升的关键因素,外商投资与政府调控则是东部沿海地区高作用力驱动因子,说明经济发展水平不断提升成为鲁西北地区产业生态化改善的重要保障,加大污染企业排污监管力度可倒逼鲁西南地区产业发展模式向绿色生态转型,而政府宏观干预则是推动东部沿海产业生态化发展的关键。

5 结论与建议

产业生态化作为保障经济社会可持续发展的重要途径,是实现经济增长与生态环境协调发展的关键环节。本文从主体功能区划视角对山东省人地矛盾问题突出的典型区域——限制开发区的产业生态化进行综合分析,并识别产业生态化空间异质性的驱动因素。结论如下:1)时间序列分析表明,产业系统与生态环境系统耦合协调度呈“M”形变化趋势,说明两系统交互作用机制并不稳定,尚未实现由拮抗对立向良性共轭方向演进,但从耦合协调度阶段划分而言,研究时段内二者均处于失调发展时期,说明现阶段产业生态化水平较低,未来质量提升之路漫长且艰巨;2)空间格局分析表明,总体上山东省限制开发区产业生态化空间分异特征显著,呈现由东部沿海单核引领逐渐向鲁西北、鲁西南方向演进态势,产业生态化空间格局向多核联动协同发展模式转变,有利于促进周围地区产业生态化发展空间优化;3)因子探测结果表明,影响因子作用强度随产业生态化空间分异格局呈现差异性特征,鲁西北、鲁西南和东部沿海地区的高作用驱动因子分别为经济发展水平与外商投资、外商投资与环境规制、外商投资

与政府调控;因子交互作用类型为双因子增强与非线性增强,说明限制开发区产业生态化绩效与影响因素之间交互作用复杂。

根据以上分析,为进一步促进山东省限制开发区产业生态化良性溢出,实现生态经济空间协同发展,主要建议如下:1)继续发挥东部沿海产业生态化引领优势,利用区位优势扩大对外开放,科学引导外资流向区域特色产业,并依据山东半岛高端产业集聚区战略功能优势有效扩大科学技术、资金要素的辐射扩散效应,为促进周围地区产业生态化发展提供资金和技术支撑。2)通过产业“清洁化”和“轻型化”对鲁西北地区资源依赖粗放型经济增长方式转型升级,提升经济发展质量与效益;同时增强技术引进的消化吸收能力,优先支持低碳节能、清洁生产和废物利用等领域的技术创新,培育如济南省会城市群经济圈和黄河三角洲高效生态经济区等带动区域产业生态化发展的新型增长极。3)鲁西南地区在保持区域经济规模化扩张与总量增长的同时,应加大环境治理监管力度,合理优化政府的经济调控职能,严格防范落后产能污染型产业转移,通过提高环境规制门槛效应倒逼企业改善生产和经营水平,加强鲁西南地区重点农产品耕地资源保护与修复工作;积极引入东部沿海地区先进的资源利用技术、企业生产技术和环境治理技术,以完善资源要素配置、培育发展高新技术产业为抓手提升产业结构层级。

参考文献:

- [1] 郭付友,吕晓,于伟,等.山东省绿色发展水平绩效评价与驱动机制——基于17地市面板数据[J].地理科学,2020,40(2):200—210.
- [2] ODUM E P. The strategy of ecosystem development[J]. Science, 1969, 164(3877): 262—270.
- [3] FROSCHE R A, GALLOPOULOS N E. Strategies for manufacturing[J]. Scientific American, 1989, 261(4): 601—602.
- [4] GRAEDEL T E, ALLENBY B R, LINHART P B. Implementing industrial ecology[J]. IEEE Technology & Society Magazine, 1993, 12(1): 18—26.
- [5] EGILMEZ G, PARK Y S. Transportation related carbon, energy and water footprint analysis of U. S. manufacturing: An eco-efficiency assessment [J]. Transportation Research Part D, 2014, 32(1): 143—159.
- [6] KOVANDA J, WEINZETTEL J. Economy-wide material flow indicators on a sectoral level and strategies for decreasing material flows of sectors[J]. Journal of Industrial Ecology, 2017, 21(1): 26—37.
- [7] SHAH I H, DONG L, PARK H S. Tracking urban sustainability transition: An eco-efficiency analysis on eco-industrial devel-

- opment in Ulsan, Korea [J]. Journal of Cleaner Production, DOI:10.1016/j.jclepro.2020.121286.
- [8] GENC O, VAN CAPELLEVEEN G, ERDIS E, et al. A socio-ecological approach to improve industrial zones towards eco-industrial parks [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 250 (22):1-14.
- [9] 颜建军,徐雷,李扬. 资源、环境双重约束下的湖南省产业生态化发展路径[J]. 经济地理, 2017, 37(6):183-189.
- [10] 尹倩倩,仇方道. 再生性资源型城市生态效率异质性及工业结构解析[J]. 地理与地理信息科学, 2019, 35(6):119-125.
- [11] 张国俊,王珏珩,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.
- [12] 李健,王尧,王颖. 京津冀区域经济发展与资源环境的脱钩状态及驱动因素[J]. 经济地理, 2019, 39(4):43-49.
- [13] 袁荷,仇方道,朱传耿,等. 江苏省工业环境效率时空格局及影响因素[J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(5):112-118.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 秦曼,杜元伟. 海洋产业生态化关键因素识别[J]. 应用生态学报, 2017, 28(12):4092-4100.
- [17] 王信敏,丁浩. 产业间技术溢出、能源结构调整与产业生态化——基于我国工业部门的经验研究[J]. 软科学, 2017, 31(6):10-14.
- [18] 苗长虹,胡志强,耿凤娟,等. 中国资源型城市经济演化特征与影响因素——路径依赖、脆弱性和路径创造的作用[J]. 地理研究, 2018, 37(7):1268-1281.
- [19] 郭炳南,刘堂发,唐利,等. 环境规制对长江经济带生态福利绩效的门槛效应研究[J]. 生态经济, 2020, 36(3):155-161.
- [20] 郭付友,侯爱玲,佟连军,等. 振兴以来东北限制开发区绿色发展水平时空分异与影响因素[J]. 经济地理, 2018, 38(8):58-66.
- [21] 刘凯,任建兰. 新常态背景下山东省县域经济脆弱性空间格局研究[J]. 山东师范大学学报(人文社会科学版), 2019, 64(1):59-67.
- [22] 山东省统计局. 山东统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2007-2018.
- [23] 国家统计局. 中国城市统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2007-2018.
- [24] 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.
- [25] 陈明星,陆大道,张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报, 2009, 64(4):387-398.
- [26] 荀露峰,王海龙,汪艳涛. 山东省海洋产业结构演变与生态环境系统耦合研究[J]. 华东经济管理, 2015, 29(4):29-33.
- [27] 杨新刚,张守文,夏永久,等. 安徽省县域“人口—经济—空间—环境”城镇化耦合协调性分析[J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(2):81-86.
- [28] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1):116-134.
- [29] 马海涛,卢硕,张文忠. 京津冀城市群城镇化与创新的耦合过程与机理[J]. 地理研究, 2020, 39(2):303-318.

Spatial-Temporal Differentiation Characteristics and Driving Factors of Industrial Ecology in the Restricted Development Zone of Shandong Province

GAO Si-qi, GUO Fu-you

(School of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276800;

Rizhao Key Laboratory of Land Spatial Planning and Ecological Construction, Rizhao 276800, China)

Abstract: Based on the scientific connotation of industrial ecology, this paper comprehensively constructs the evaluation index system and evaluation model of industrial ecology in the restricted development zone of Shandong Province from the perspective of industrial system and ecological environment system. The spatial-temporal differentiation characteristics and driving factors of industrial ecology in the restricted development zone of Shandong Province are analyzed by using coupling coordination degree model, spatial autocorrelation analysis, and the geographical detector method. The results are shown as followed. 1) From 2006 to 2017, the industrial ecology level of the restricted development zone in Shandong Province as a whole shows an evolution trend of "M" shape, indicating that the interaction mechanism between the industrial system and the ecological environment system is unstable, and it is still in the primary development period in terms of stage division assessment. 2) The spatial distribution characteristics of industrial ecology in the restricted development zone of Shandong Province have significant differences through the Global Moran's I calculation, presenting an obvious spatial agglomeration among the counties. 3) The factor-detector results show that economic development level, foreign investment and government regulations are the main driving factors that highly affect the spatial distribution pattern of industrial ecology. At the same time, the interaction-detector finds that the explanatory power of interaction factors is far more powerful than a single factor's, reflecting the complex spatial-temporal pattern of industrial ecology is a comprehensive embodiment driven by the interaction mechanism of multiple driving factors.

Key words: industrial ecology; spatial-temporal differentiation; driving factors; coupling coordination degree; the restricted development zone of Shandong Province