



开放科学  
(资源服务)  
标识码  
(OSID)

# 科技 - 生态 - 经济耦合协调的时空演变、 障碍因子及前瞻预测研究 ——以山东省为例

姜明月 武秀杰 刘颖莹 赵林 冯文 刘进

山东省创新发展研究院 济南 252000

**摘要:** [目的/意义] 科技 - 生态 - 经济耦合协调是推动经济高质量发展的重要保障,也是实现人与自然和谐共生、社会长治久安的系统性基础。[方法/过程] 基于 2013—2022 年山东省 16 地市科技创新、生态环境、经济增长相关数据,因地制宜构建了三系统综合评价指标体系。运用熵权法、修正的耦合协调度模型以及 ARIMA 预测模型等方法,系统揭示了科技创新、生态环境、经济增长三者之间耦合协调度的时空演变特征和规律,深入剖析障碍因子。[结果/结论] 山东省科技创新、生态环境、经济增长演变趋势各有不同,涨幅大小依次为科技创新、经济增长、生态环境;三系统具有不同的空间分异特征,科技创新和经济增长发展较好的地区主要集中在鲁中和鲁东地区,生态环境发展较好的地区主要集中在鲁东沿海地区;2013—2027 年山东省整体耦合协调度稳步上升,但各地市增长态势和增长幅度有所不同,呈现出“中东部强、西南部弱”的空间分布格局;山东省障碍因子变化趋势明显,现阶段影响耦合协调发展的关键障碍因子在经济增长和生态环境方面,同时各地市主要障碍因子种类和占比有所差异。

**关键词:** 科技 - 生态 - 经济; 耦合协调; 时空演变; 障碍因子; 前瞻预测

**中图分类号:** F124; F224; G35

## Research on the Spatiotemporal Evolution, Obstacle Factors, and Prospective Prediction of Technology Ecology Economy Coupling Coordination: A Case Study of Shandong Province

JIANG Mingyue WU Xiujie LIU Yingying ZHAO Lin FENG Wen LIU Jin

Shandong Academy of Innovation and Development Research, Jinan 252000, China

**基金项目** 山东省人文社科青年重点项目“山东教育科技人才一体化研究”;山东省重点研发计划软科学项目“科技奖励激励科技创新实施路径研究”(2025RZB0111);山东省社会科学规划项目“颠覆性技术驱动山东未来空间产业发展战略研究”(25CCXJ19)。

**作者简介** 姜明月(1992-), 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为科技战略、科技政策、科技统计分析;武秀杰(1983-), 硕士, 主任, 主要研究方向为科技战略、科技政策分析;刘颖莹(1990-), 通信作者, 硕士, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向为区域科技创新、科技政策, E-mail: 781145934@qq.com;赵林(1980-), 学士, 副研究员, 主要研究方向为科技统计调查、科技人才政策;冯文(1994-), 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为科技统计调查、科技政策;刘进(1991-), 博士, 助理研究员, 主要研究方向为科技创新、科技政策与战略管理。

**引用格式** 姜明月,武秀杰,刘颖莹,等. 科技 - 生态 - 经济耦合协调的时空演变、障碍因子及前瞻预测研究——以山东省为例[J]. 情报工程, 2026, 12(1): 97-109.

**Abstract:** [Purpose/Significance] The coupling and coordination of technology-ecology-economy is an important guarantee for promoting high-quality economic development, as well as a systematic foundation for achieving harmonious coexistence between humans and nature and long-term social stability. [Method/Processes] Based on data related to scientific and technological innovation, ecological environment, and economic growth in 16 cities in Shandong Province from 2013 to 2022, a three-system comprehensive evaluation index system was constructed according to local conditions. By using entropy weight method, modified coupling coordination model, and ARIMA prediction model, the spatiotemporal evolution characteristics and laws of coupling coordination between technological innovation, ecological environment, and economic growth were systematically revealed, and the obstacle factors were deeply analyzed. [Results/Conclusions] The evolution trends of scientific and technological innovation, ecological environment and economic growth in Shandong Province are different. Their growth rates are in the order of scientific and technological innovation, economic growth and ecological environment. The three systems have different spatial differentiation characteristics. The areas with good technological innovation and economic growth are mainly concentrated in the central and eastern regions of Shandong, while the areas with good ecological environment development are mainly concentrated in the coastal areas of eastern Shandong; From 2013 to 2027, the overall coupling and coordination degree of Shandong Province steadily increased, but the growth trend and magnitude varied among different cities, showing a spatial distribution pattern of “strong in the central and eastern regions and weak in the southwest”; The trend of obstacle factors in Shandong Province is obvious. At present, the key obstacle factors affecting coupled and coordinated development are economic growth and ecological environment. At the same time, the types and proportions of main obstacle factors vary among different cities.

**Keywords:** Technology-Ecology-Economy; Coupling Coordination; Spatiotemporal Evolution; Obstacle Factors; Predictive Analytics

## 引言

党的二十大以来,习近平总书记多次强调科技创新、绿色发展、经济发展的重要性,发表“加快实现高水平科技自立自强”“绿色发展是高质量发展的底色”“经济高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务”等重要论述,始终坚持把科技创新摆在国家发展全局的核心位置,坚持把绿色发展理念贯穿于经济社会发展全过程各方面,深入实施创新驱动发展战略和绿色发展战略,实现经济社会的高质量发展<sup>[1-3]</sup>。但目前我国正处在工业化发展加速时期,多数省市仍存在区域科技创新发展不协调、经济增长与环境保护矛盾突出等问题。因此有必要对科技创新、生态环境与经济增长三者之间的耦合协调情况开展深入分析,构建

多维度、多层次的综合评价指标体系,深入探究各系统的影响因素,明确三者相互关联的发展情况和演变趋势,畅通耦合环节堵点难点,推动三者高效协调发展。

## 1 文献综述

目前,关于科技创新、生态环境以及经济增长三者的研究多针对于两系统之间的作用关系,较少开展三者之间的耦合协调研究。在科技创新和经济增长方面, Park 等<sup>[4]</sup>认为科技创新是推动经济增长的关键。臧艳雨等<sup>[5]</sup>研究了科技创新对经济发展的作用机制和影响路径。许红丹等<sup>[6]</sup>运用合成指数法、半参数空间动态模型等方法研究科技创新对经济高质量增长驱动作用的演变特征。刘定慧等<sup>[7]</sup>研究了区域经

济、生态环境以及旅游之间的耦合协调关系。在科技创新和生态环境方面，郭爱君等<sup>[8]</sup>基于全国视角对科技创新和生态环境的耦合度进行分析，结果显示各地区耦合协调度差距不断增大。田立涛等<sup>[9]</sup>研究了珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调度的演变特征。在生态环境与经济增长方面，Grossman 等<sup>[10]</sup>揭示了生态环境变化与经济增长之间的关系。李思雅等<sup>[11]</sup>运用熵值 -TOPSIS 综合评价法、Tapio 脱钩模型等方法研究了生态环境压力与经济脱钩关系。洪蕾等<sup>[12]</sup>采用多种权重评价法和耦合协调度模型对生态环境和社会经济的耦合度进行分析。胡东滨等<sup>[13]</sup>构建了我国生态环境仿真模型，探究了社会经济对生态环境的影响。吴玉鸣等<sup>[14]</sup>对我国 31 个省级区域经济增长与环境耦合协调发展的时空分布进行了实证分析。在三个系统的研究中，伍文生等<sup>[15]</sup>对长江经济带的科技创新、经济发展和生态环境的耦合协调情况进行细致分析。蒋文莉等<sup>[16]</sup>剖析了珠三角生态 - 经济 - 科技创新耦合协调情况和空间分布情况。上官绪明等<sup>[17]</sup>和蒋长流等<sup>[18]</sup>基于全国数据，研究了科技创新和环境规制对经济增长的影响机制。综上所述，当前对于科技创新、生态环境和经济增长的研究多是立足于国家、长三角等层面开展其中的两者之间的分析，未能针对省域发展特点因地制宜进行设计，而且缺少对耦合协调度未来趋势的预测分析。因此，本文因地制宜构建了三系统综合评价指标体系，深入探究三系统之间耦合协调机制，系统揭示山东省三系统协调度的时空演变特征和规律，深入剖析障碍因子，以期促进三系统耦合协调发展，助力现代化强省建设。

## 2 数据来源与指标体系构建

### 2.1 数据来源说明

本文选取山东省 16 地市为研究对象，时间跨度区间为 2013—2022 年，分析科技创新、生态环境与经济增长之间的耦合协调演变特征。研究数据来源于《山东统计年鉴》和《山东科技统计年鉴》，对于个别缺失数据，采用线性插值法进行处理补充。此外，考虑莱芜市于 2019 年正式并入济南，因此将 2013—2019 年莱芜市的数据也并入济南。

### 2.2 指标体系构建

当前，科技创新体系已较为成熟，借鉴已有研究<sup>[19-21]</sup>，以创新投入 - 创新产出 - 创新环境为研究视角，运用 R&D 经费投入强度、科学技术支出占财政支出比重、R&D 人员全时当量表示创新投入，运用人均专利授权量、人均论文数量、技术市场成交合同额代表创新产出，在创新环境中考虑到山东省工业大省特点，运用规模以上工业企业 R&D 人员数占就业人员比重和职业学校师生比进行表示；在生态环境部分，基于可持续发展理论和环境经济学理论，在经济社会发展过程中充分考虑环境保护、环境污染和环境的承载能力，同时基于山东省工业大省特点，本研究从环境保护 - 环境污染 - 环境韧性 3 个维度全方位衡量指标体系<sup>[8, 20, 22]</sup>，运用一般工业固体废物综合利用率、环保支出占财政支出比重表示环境保护，运用单位 GDP 废水排放量、单位 GDP 二氧化硫排放量、单位 GDP 工业废物产生量表示环境污染，运用建成区绿化覆盖率、人均公园绿地面积表示环境韧性；

在经济增长部分，通过梳理相关文献明确经济增长是一个复杂的系统，指标体系应涵盖经济系统的多个维度，经济增长的好坏不仅依赖于经济发展的规模和经济结构，还需要兼顾发展质量<sup>[3, 23-24]</sup>。因此本文从经济规模 - 经济结构 -

经济质量 3 个维度进行指标构建，以全省生产总值、固定资产投资增长速度等细节指标反映经济规模，以第三产业占比反映经济结构发展情况，以人均生产总值、农村和城镇居民人均可支配收入反映经济质量。

表 1 三系统综合评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标		
		名称	单位	指标属性
科技创新	创新投入	R&D经费投入强度 (T1)	%	正向
		科学技术支出占财政支出比重 (T2)	%	正向
		R&D人员全时当量 (T3)	人年/万人	正向
	创新产出	人均专利授权量 (T4)	件/万人	正向
		人均论文数量 (T5)	篇/万人	正向
		技术市场成交合同额 (T6)	亿元	正向
	创新环境	职业学校师生比 (T7)	%	正向
		规模以上工业企业R&D人员数占就业人员比重 (T8)	%	正向
生态环境	环境保护	一般工业固体废物综合利用率 (E1)	%	正向
		环保支出占财政支出比重 (E2)	%	正向
	环境污染	单位GDP废水排放量 (E3)	吨/万元	负向
		单位GDP二氧化硫排放量 (E4)	吨/万元	负向
		单位GDP工业废物产生量 (E5)	吨/万元	负向
	环境韧性	建成区绿化覆盖率 (E6)	%	正向
		人均公园绿地面积 (E7)	平方米/人	正向
经济增长	经济规模	全省生产总值 (G1)	万元	正向
		固定资产投资增长速度 (G2)	万元	正向
		社会消费品零售总额 (G3)	万元	正向
	经济结构	第三产业增加值占比 (G4)	%	正向
		GDP增速 (G5)	%	正向
	经济质量	人均生产总值 (G6)	元/人	正向
		农村居民人均可支配收入 (G7)	元/人	正向
		城镇居民人均可支配收入 (G8)	元/人	正向

### 3 研究方法

标权重进行计算各年份的区域创新能力<sup>[25]</sup>。

#### 3.1 熵权法

1. 标准化处理：

本文使用加入时间年份变量的熵权法对指

$$\text{正向指标: } Y_{jt} = \frac{x_{jt} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} + L \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } Y_{ijt} = \frac{\max x_j - x_{ijt}}{\max x_j - \min x_j} + L \quad (2)$$

式中,  $x_{ijt}$  为第  $t$  年  $i$  地市第  $j$  个指标值;  
 $Y_{ijt}$  为  $x_{ijt}$  标准化后的数据;  $\max x_j$ 、 $\min x_j$  分别表示第  $j$  项指标原始数据最大值和最小值,  
 $i=1,2,\dots,n$ ,  $j=1,2,\dots,m$ ,  $t=1,2,\dots,r$ ;  $L$  取值为  $10^{-5}$ 。

#### 2. 计算各指标贡献度

$$p_{ijt} = \frac{Y_{ijt}}{\sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^n Y_{ijt}} \quad (3)$$

#### 3. 计算指标熵值:

$$e_j = -k \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^n p_{ijt} \ln p_{ijt} \quad (4)$$

式中,  $k = \frac{1}{\ln(rn)}$ ,  $n$  为地市总数,  $r$  为年份总数。

#### 4. 计算权重系数:

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (5)$$

#### 5. 计算科技创新能力综合得分:

$$S_{it} = \sum_{j=1}^m W_j Y_{ijt} \quad (6)$$

### 3.2 修正的耦合协调度模型

传统的耦合协调度模型具有分布概率不均及主观定义权重的缺陷<sup>[26-28]</sup>。本文参考王淑佳等<sup>[26]</sup>和杨硕等<sup>[27]</sup>提出的耦合度修正模型,科学测算三系统之间的耦合度(公式7),参考吕铖等<sup>[28]</sup>提出的权重系数公式进行计算,避免主观权重赋值对评价结果造成的影响(公式8、公式9)。

$$C = \sqrt{\left[ 1 - \frac{\sqrt{u_3 - u_1^2 + u_2 - u_1^2 + u_3 - u_2^2}}{3} \right]} \times \sqrt{\frac{u_1 \times u_2}{u_3 \times u_3}} \quad (7)$$

其中,  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$  分别为科技创新、生态环境、经济增长的综合评价得分;  $C \in (0,1]$  是耦

合度; 当各子系统离散性越大,  $C$  取值越小, 反之  $C$  值越大; 当  $C=1$  时, 代表三者实现了最优耦合状态。

$$D = \sqrt{CT} \quad (8)$$

$$T = \omega_1 u_1 + \omega_2 u_2 + \omega_3 u_3 + \dots + \omega_n u_n, \omega_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_i - u_j}{(n-1) \sum_{i=1}^n u_i} \quad (9)$$

其中,  $C \in (0,1]$  是耦合度,  $\omega_j$  为系统  $j$  权重;  $u$  评价得分。参考已有研究<sup>[29-30]</sup>, 提出协调度划分标准。

表2 耦合协调度划分标准

耦合协调度	耦合协调度 D	耦合协调等级
失调类	$0 \leq D < 0.4$	严重失调衰退阶段
	$0.4 \leq D < 0.5$	轻度失调衰退阶段
过渡类	$0.5 \leq D < 0.6$	勉强协调过渡阶段
	$0.6 \leq D < 0.7$	中等耦合协调阶段
协调类	$0.7 \leq D < 0.8$	良好耦合协调阶段
	$0.8 \leq D < 1.0$	优质耦合协调阶段

### 3.3 ARIMA模型

ARIMA 模型为整合滑动平均自回归模型, 多用于非平稳时间序列的短期预测<sup>[31-32]</sup>, 表示形式通常为  $ARIMA(p, d, q)$ , 其中,  $p$  为自回归项数,  $q$  为滑动平均项数,  $d$  则为差分阶数, 如公式(10)所示。

$$Y_t = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \beta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (10)$$

式中,  $c$  为常数;  $\alpha_i$  和  $\beta_i$  代表回归系数;  $\varepsilon_t$  为白噪声序列。

### 3.4 障碍度模型

本文引入障碍度模型深层次分析高等教育、科技创新、人才耦合协调关系的影响因子<sup>[33]</sup>。

$$H_{ij} = \alpha_j w_{ij} (1 - Y_{ij}) / \sum_{j=1}^m (\alpha_j w_{ij} (1 - Y_{ij})) \quad (11)$$

式中， $\alpha_j$ 为第j个子系统的权重； $w_{ij}$ 为第j个子系统中第i个指标的权重； $Y_{ij}$ 为经标准化后第j个子系统中第i个指标的值； $H_{ij}$ 为第j个子系统中第i个指标对三系统耦合协调发展的障碍度。

## 4 实证分析

### 4.1 三系统综合评价分析

#### (1) 省域层面分析

根据熵权法计算出2013—2022年山东省科技创新、生态环境和经济增长的综合评价均值变化趋势，如图1所示。从中可知，三个子系统演变趋势各有不同，其中，科技创新具有稳定的增长趋势，尤其是2019年以后科技创新水平大幅度提升；生态环境整体表现出上升趋势

，但增长趋势不明显，始终保持在0.4~0.5之间；经济增长则呈现出震荡上升趋势，2019年和2022年分别出现下跌迹象。说明山东省在注重科技创新和经济增长的同时，也要加强生态环境的保护和提升。

#### (2) 市域层面分析

各地市科技创新均呈现明显上升趋势，但具有明显差异。青岛和济南为科技创新最强的两个地区，2022年科技创新综合得分为0.86和0.80，枣庄和菏泽为最弱的两个地区，2022年得分别为0.13和0.10，差异较大。此外，科技创新综合得分排名前五的地区主要集中在济南、青岛、淄博、威海、烟台，多位于鲁中和鲁东地区，说明该地区科技创新进程稳定，并具有良好的科技创新资源和科技创新环境。排名后五的地区主要为枣庄、菏泽、聊城、日照、临沂，多位于鲁西南地区，这些地区教育资源匮乏，科技创新平台和龙头企业匮乏，出现内部科技人才大量外流、外部科技人才难以引进的困境，故科技创新较为落后。

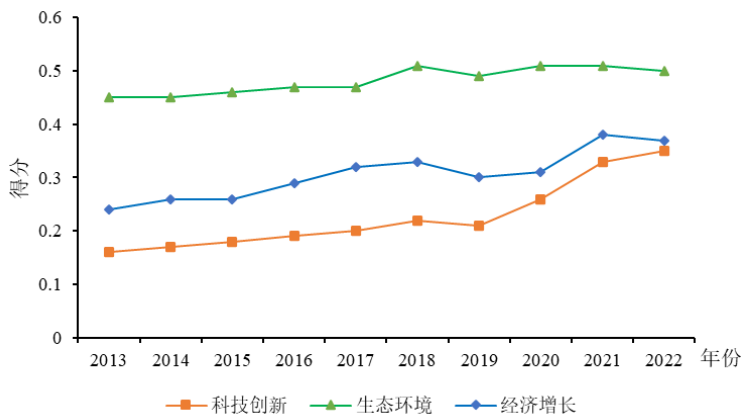


图1 三系统综合评价情况

各地市的生态环境发展水平呈上升趋势，且差距逐渐缩小，逐步趋于均衡化发展。2013年，

16地市的生态环境综合得分较为分散、相差较大，排名前五的为威海(0.67)、青岛(0.57)、

东营(0.56)、烟台(0.54)、日照(0.49),排名后五位的为济宁(0.3)、菏泽(0.3)、济南(0.35)、枣庄(0.36)、滨州(0.4),到2022年,山东省93.5%的地市的生态环境综合得分聚集在0.44~0.61之间,仅有聊城得分为0.39,生态环境较好的地区主要集中在沿海城市,环境较差的地区主要为化工、钢铁等工业产业占比较重的鲁中和鲁西地区。各地市生态环境变化幅度较为平稳,但变化趋势却有所不同,如,济南、济宁呈现逐步增加趋势,烟台、威海却呈现下降趋势。

各地市的经济增长均呈现明显上升趋势,但具有较大差异。2022年,经济增长均值居于首位的青岛(0.81)比居于末尾的聊城(0.2)高出0.61。经济增长排序较为稳定,排名前五的主要为青岛(0.81)、济南(0.68)、烟台(0.57)、潍坊(0.44)、淄博(0.35),这些地区多为经济实力强劲、地理位置优越、新兴产业和未来产业快速发展的省会和沿海城市。排名后五的为聊城(0.2)、枣庄(0.22)、日照(0.23)、滨州(0.26)、菏泽(0.26),这些地区主要位于鲁西南地区,经济基础、教育基础较差,资源较为匮乏,第三产业发展滞后,使得经济增长较为缓慢。

## 4.2 三系统耦合协调的时空格局演变分析

### (1) 耦合协调度时空演变分析

根据耦合协调度模型计算并绘制山东省各地市耦合协调度变化情况图,如图2所示。从整体来看,2013—2022年山东省科技创新、生态环境和经济增长耦合协调度均值呈现出稳步上升的趋势,2013年16地市耦合协调度均值为

0.45,2017年为0.5,2022年为0.55。从个体来看,各地市之间的增长态势和增长幅度有所不同,87.5%的地市的增长趋势呈现出波浪式上升,如济南耦合协调度得分2018年比2013年增长了0.12,2019年下降0.06,2020年以后又开始持续增长,仅有青岛、烟台保持逐年稳步增长态势。2022年较2013年增长幅度较大的地区为菏泽、青岛、烟台等,涨幅分别为38.24%、34.43%、30.19%,涨幅较小的地区为泰安、东营、日照,涨幅分别为14.29%、14.58%、15.79%,济南虽在耦合协调度处于领先地位,但在增长幅度方面表现不佳。山东省高耦合协调度上具有明显的空间分异特征,低耦合协调度地区主要为聊城、枣庄、菏泽、滨州、德州等鲁西南地区,这些地区重工业发达、第三产业发展滞后,存在教育落后、产业结构失调、人才外流等多重困境,使得该地区三系统相互耦合的效用并不明显。高耦合协调度地区主要为青岛、济南、烟台、潍坊等鲁中和鲁东地区,多为沿海和省会城市,2022年耦合协调度得分分别为0.82、0.75、0.69、0.61,具有较强的经济实力、科技实力以及环境治理能力。

### (2) 耦合协调等级时空演变分析

由表2可知,16地市耦合协调度等级逐步提升,其中青岛、济南、烟台等鲁中和鲁东地区耦合协调度等级始终位列前茅,枣庄、日照、菏泽等鲁西南地区则多是居于后位。2013年,16地市耦合协调度等级主要分布在严重失调衰退(31.25%)和轻度失调衰退(50%),2017年,除聊城、菏泽、济宁、泰安、临沂、德州等6市等级未发生变动,其他地市等级得到提升,济南、青岛进入良好耦合协调阶段。

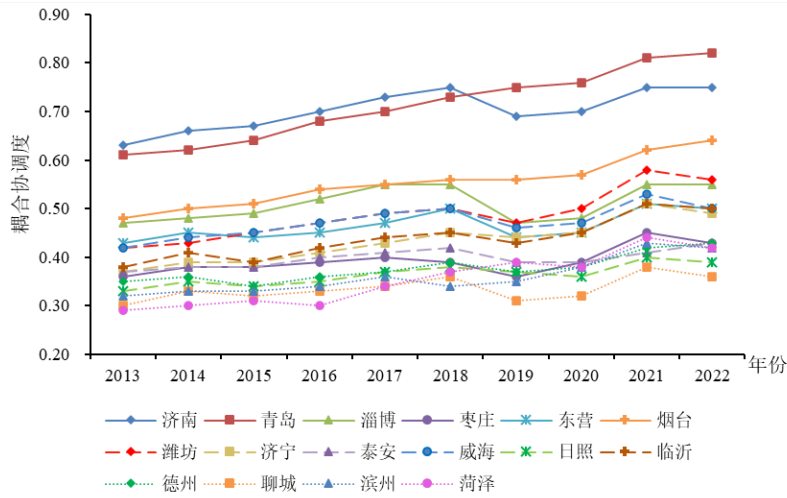


图 2 各地市耦合协调度变化情况

2022 年，山东省全面退出严重失调衰退阶段，主要分布在轻度失调衰退阶段（43.37%）和勉强协调过渡阶段（31.25%），仅有青岛处于优质协调阶段。整体而言，山东省科技创新、生态环境和经济增长耦合协调度呈现出“中东部强、西南部弱”的空间分布格局。

### 4.3 ARIMA 预测分析

根据公式（10）预测山东省 16 地市 2023—2027 年耦合协调度，如图 3 所示，并对 2027 年的耦合协调度进行等级划分，如表 2 所示。

由图 3 可知各地市耦合协调度均为平稳上升趋势，2027 年较 2023 年的提升范围为 0.04~0.1 之间。根据预测，山东省在 2027 年仍未脱离失调情况，枣庄、日照仍处于轻度失调衰退阶段。泰安、聊城、滨州、菏泽、德州等地市处于勉强协调过渡阶段；潍坊、威海、淄博、东营、临沂、济宁处于中等耦合协调阶段；济南、烟台处于良好协调阶段；仅有青岛处于优质耦合阶段的。综上所述，2023—2027 年之间，山东省耦合协调度仍然保持“鲁中和鲁东地区强、鲁西南地区相对较弱”的格局。

表 2 耦合协调度等级划分结果

等级	2013 年	2017 年	2022 年	2027 年
严重失调衰退阶段	枣庄、日照、聊城、滨州、菏泽	聊城、菏泽		
轻度失调衰退阶段	淄博、东营、潍坊、济宁、泰安、威海、临沂、德州	枣庄、济宁、泰安、日照、临沂、德州、滨州	枣庄、泰安、日照、德州、聊城、滨州、菏泽	枣庄、日照
勉强协调过渡阶段	烟台	淄博、东营、潍坊、威海	淄博、东营、济宁、威海、泰安、聊城、滨州、临沂	淄博、威海、烟台、东营、临沂、济宁
中等耦合协调阶段	青岛、济南	烟台	烟台、潍坊	潍坊、威海、淄博、东营、临沂、济宁
良好耦合协调阶段		青岛、济南	济南	济南、烟台
优质耦合协调阶段			青岛	青岛

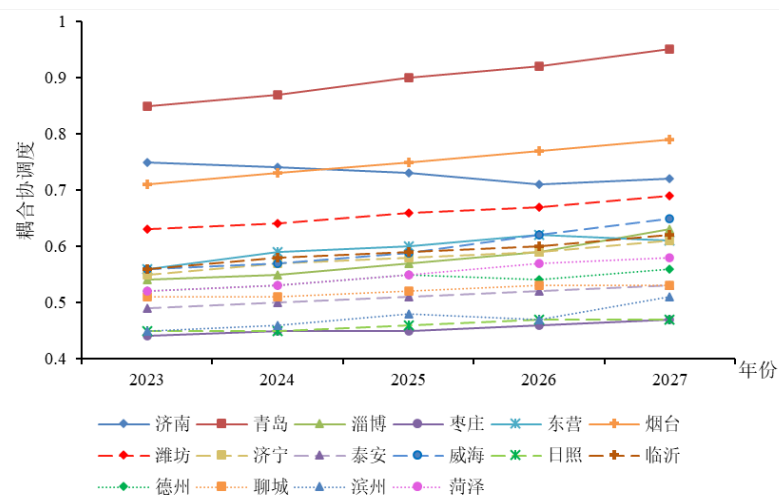


图3 各地市耦合协调度预测结果

## 5 耦合协调度障碍因子分析

### 5.1 省级层面分析

本文计算并绘制山东省整体障碍因素演变趋势以及各地市主要障碍因子占比情况，如图4和表3所示。山东省障碍因子变化趋势明显，各障碍因子变化趋势各不相同。从障碍因子占比情况来看，山东省近十年的五大障碍因子主要集中在环境韧性、创新产出、经济规

模、环境保护、经济质量五大方面，2013年五大障碍因子占比较为均衡，分别为18.52%、17.82%、16.78%、14.47%、12.79%，后期五大障碍因子占比差距逐渐拉开，2022年五大障碍因子占比分别为25.71%、7.23%、9.30%、22.58%、20.71%。从障碍因子变化趋势来看，呈现出整体下降趋势的障碍因子为创新投入、创新产出、创新环境、环境污染、经济规模、经济结构，整体上升趋势的障碍因子为环境保护、环境韧性、经济质量。由此说明，山东省

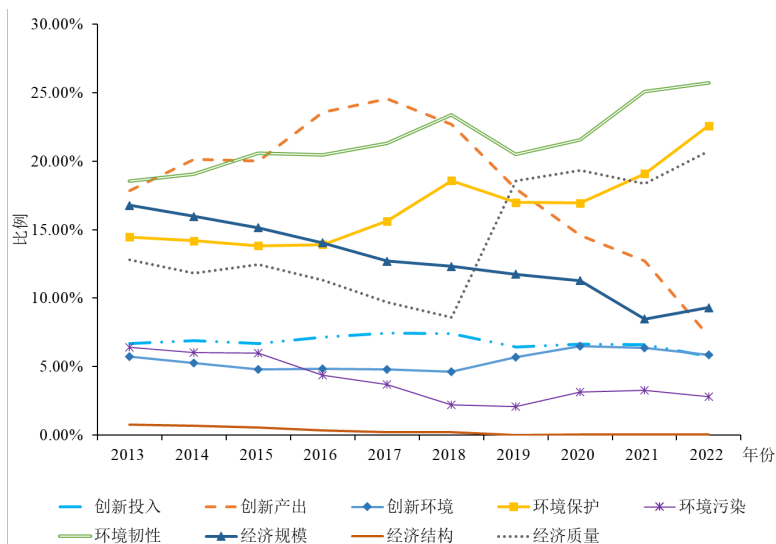


图4 各子系统障碍因子演变趋势

表3 山东省各地市主要障碍因子占比

地区	第一位		第二位		第三位		第四位		第五位	
济南	E7	21.88%	E2	18.87%	T5	5.74%	G5	5.42%	G8	5.25%
青岛	E2	27.40%	E7	21.69%	T6	9.26%	G5	6.94%	G8	6.56%
淄博	T5	17.72%	E2	10.72%	G3	10.50%	G1	9.49%	E7	8.62%
枣庄	T5	15.57%	E2	9.85%	G1	9.67%	E7	9.40%	G3	9.25%
东营	T5	19.12%	G3	12.21%	E2	11.21%	G1	10.67%	T6	8.95%
烟台	T5	16.68%	E2	14.26%	E7	10.63%	G3	7.42%	T6	6.75%
潍坊	T5	18.93%	E2	11.23%	E7	9.05%	G3	7.48%	G1	7.46%
济宁	T5	16.93%	E2	10.94%	E7	8.56%	G1	8.21%	G3	7.46%
泰安	T5	15.97%	E2	10.31%	G3	10.24%	G1	10.04%	T6	8.73%
威海	T5	18.72%	E2	12.90%	G3	11.56%	G1	11.43%	T6	8.55%
日照	T5	14.72%	G3	10.66%	E2	10.55%	G1	10.18%	T6	7.79%
临沂	T5	17.36%	E2	11.53%	G1	7.74%	T6	7.51%	E7	6.61%
德州	T5	17.76%	E2	10.44%	G3	10.09%	G1	9.76%	T6	8.83%
聊城	T5	15.55%	G3	9.37%	E7	9.16%	G1	9.05%	E2	8.21%
滨州	T5	16.38%	G3	10.62%	E2	10.07%	G1	9.91%	T6	7.60%
菏泽	T5	15.63%	E2	10.23%	E7	9.31%	G1	8.17%	G3	7.74%

现阶段影响科技创新、生态环境与经济增长耦合协调发展的关键障碍因子在经济增长和生态环境两方面，山东省在推进科技创新发展的同时也应该注重经济高质量发展以及生态环境的保护。

### 5.2 市级层面分析

据表3可知，各地市主要障碍因子种类和占比有所差异，其中，济南、青岛两市障碍因子主要集中在生态环境方面，而其他地市的五大障碍因子在科技创新、生态环境和经济增长均有所涉及，且指标占比相对比较均衡。济南和青岛障碍因子主要人均公园绿地面积、环保支出占财政支出比重、人均论文数量、GDP增速、技术市场成交合同额、城镇居民人均可支配收入等六方面。其中，济南市的人均公园绿

地面积、环保支出占财政支出比重占比分别为21.88%和18.87%，青岛市的人均公园绿地面积、环保支出占财政支出比重占比分别为27.40%和21.69%，两市其他障碍因子比例不超过10%，说明两市应该着重注意生态环境保护，提升环保支出比例，扩大绿地面积建设和环境突出问题整改，推进传统产业转型升级，提升环境韧性和环境质量。而其他地市的主要障碍因子主要集中在人均论文数量、环保支出占财政支出比重、社会消费品零售总额、GDP、技术市场成交合同额、人均公园绿地面积五方面，其中，淄博在这五方面的占比分别为17.72%、10.72%、10.50%、9.49%、8.62%，这也就说明应该继续加大科技成果产出和转化，加大环境保护力度，增加人均绿地面积以及经济高质量发展。

## 6 结论与建议

### 6.1 研究结论

(1) 从三系统综合评价来看, 山东省整体科技创新、生态环境、经济增长演变趋势各有不同, 且科技创新涨幅 > 经济增长涨幅 > 生态环境涨幅; 科技创新、经济增长地区差异逐渐显著, 生态环境地区差距逐渐缩小; 三系统具有不同的空间分异特征, 科技创新和经济增长发展较好的地区主要集中在鲁中和鲁东地区, 生态环境发展较好的地区主要集中在鲁东沿海地区。

(2) 从耦合协调度情况发展现状来看, 2013—2022 年山东省耦合协调度均值呈现出稳步上升的趋势, 但各地市间增长态势和增长幅度有所不同; 济南、青岛、烟台等地处于领先地位, 但济南增长幅度方面表现不佳; 山东省耦合协调度具有明显的空间分异特征, 呈现出“中东部强、西南部弱”的空间分布格局。

(3) 从耦合协调度未来走势来看, 2023—2027 年山东省各地市三系统耦合协调度均处于平稳上升趋势, 但山东省在 2027 年仍未脱离失调情况, 其中枣庄、日照仍处于轻度失调衰退阶段, 泰安、聊城、滨州、菏泽、德州处于勉强协调过渡阶段, 潍坊、威海、淄博、东营、临沂、济宁位于中等耦合协调阶段, 济南、烟台位于良好协调阶段, 位于优质耦合阶段的仅为青岛。

(4) 从障碍因子分析结果来看, 山东省障碍因子变化趋势变化明显, 现阶段影响耦合协调发展的关键障碍因子在经济增长和生态环境;

各地市主要障碍因子种类和占比有所差异, 其中, 济南、青岛两市障碍因子主要集中在生态环境方面, 而其他地市的五大障碍因子在科技创新、生态环境和经济增长均有所涉及。

### 6.2 政策启示

(1) 充分发挥头部地区的辐射带动作用, 推进山东省科技创新、经济增长和生态环境的均衡性发展。在科技创新和经济增长方面, 充分发挥鲁中、鲁东核心区辐射效能, 依托济南、青岛等创新和经济高地, 构建跨区域科创走廊, 通过技术转移、产业链协同、区域协作等方式向鲁南、鲁西地区扩散发展资源。在生态环境方面, 山东省要建立鲁东向鲁西的横向补偿机制, 同时强化政策保障、创新环境监管工具、因地制宜探索绿色产业梯度布局, 比如青岛、烟台等沿海城市重点培育氢能、海上风电等清洁能源产业集群, 济南等内陆地区加快传统产业升级, 降低环境污染。

(2) 构建科技创新、经济增长和生态环境一体化推进机制, 增强三者耦合协调水平。建议完善科技创新、经济增长和生态环境政策体系的关联性和约束性, 迫使企业、科研院所、高校等主体, 在进行科研活动或者生产制造等活动中, 综合考虑对三系统的影响以及自身的限制, 逐步实现创新动能培育、经济质量提升与生态功能改善的良性互动, 全面提升全省各地市耦合协调度水平。

(3) 根据障碍因子分析结果, 济南、青岛两市应大力实施生态环境韧性提升工程, 构建绿色产业升级体系, 发展环境友好型产业, 重点关注人均公园绿地面积、增加环保支出占财

政支出比重,通过城市闲置地块生态化改造、工业园区立体绿化等方式提升建成区绿化覆盖率。其他地市应该加快科技创新水平,推进科技成果转移转化,同时也要通过产业升级改造、提高环保支出占比等方式推进经济增长和生态保护。

## 参考文献

- [1] 张文,黄鹿. 科技创新赋能产业链供应链现代化:理论机理与经验证据[J]. 统计与决策, 2024(23): 167-172.
- [2] 师翠英,陈俊宇,池显. 耦合机制下“双碳”目标与生态环境治理融合发展研究[J]. 统计与决策, 2024, 40(13): 74-79.
- [3] 闫树熙,余子莲,南士敬,等. 高等教育、科技创新与经济增长的耦合协调测度:以黄河流域九省区为例[J]. 统计与决策, 2024, 40(22): 81-86.
- [4] PARK S C, LEE S K. The innovation system and regional growth strategy in Denmark[J]. *AI & Society*, 2005, 19(3): 292-308.
- [5] 臧艳雨,罗楚钰. 科技创新对区域经济发展的影响机制——基于粤港澳大湾区面板数据的实证检验[J]. 科技管理研究, 2024, 44(20): 54-62.
- [6] 许红丹,刘云,杨武. 区域科技创新驱动经济高质量增长的时空效应研究[J]. 经济问题探索, 2024(6): 1-18.
- [7] 刘定惠,杨永春. 区域经济-旅游-生态环境耦合协调度研究——以安徽省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(7): 892-896.
- [8] 郭爱君,杨春林,钟方雷. 我国区域科技创新与生态环境优化耦合协调的时空格局及驱动因素分析[J]. 科技管理研究, 2020, 40(24): 91-102.
- [9] 田立涛,王少剑. 珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调发展研究[J]. 生态学报, 2022, 42(15): 6381-6394.
- [10] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic Growth and the Environment[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [11] 李思雅,梁伟,吕一河,等. 黄河流域经济发展与生态环境压力的脱钩关系及其驱动效应分析[J]. 生态学报, 2023, 43(13): 5417-5431.
- [12] 洪蕾,孙杰,刘冬,等. 长三角中心城市群生态环境与社会经济耦合协调发展及其影响因素研究[J]. 生态与农村环境学报, 2024, 40(9): 1155-1166.
- [13] 胡东滨,梁程浩. 我国生态环境与经济协调发展仿真研究——基于对湖南省数据的分析[J]. 价格理论与实践, 2022(11): 197-200.
- [14] 吴玉鸣,张燕. 中国区域经济增长与环境的耦合协调发展研究[J]. 资源科学, 2008(1): 25-30.
- [15] 伍文生,胡艳,朱晓莉. 长江经济带科技创新、经济发展与生态环境的耦合协调及时空演化[J]. 统计与决策, 2024(23): 132-137.
- [16] 蒋文莉,黄何,蔡盼心,等. 珠三角生态-经济-科技创新系统耦合协调特征及发展对策[J]. 科技管理研究, 2021, 41(11): 63-69.
- [17] 上官绪明,葛斌华. 科技创新、环境规制与经济高质量发展——来自中国 278 个地级及以上城市的经验证据[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(6): 95-104.
- [18] 蒋长流,司怀涛. 环境规制、科技创新与经济高质量发展——基于空间杜宾与中介效应模型的实证研究[J]. 上海市经济管理干部学院学报, 2023, 21(3): 2-13.
- [19] 徐艳红,张伟强,赵飞,等. 黄河流域河南段科技创新与绿色发展耦合协调研究[J]. 人民黄河, 2024, 46(10): 9-15.
- [20] 崔新蕾,刘欢. 国家创新型城市设立与区域创新能力[J]. 科研管理, 2022, 43(1): 32-40.
- [21] 王思薇,陈西坤. 中国区域科技创新网络的时空演化特征与邻近性机制[J]. 科技管理研究, 2023, 43(4): 86-93.
- [22] 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.
- [23] 潘士远,陈秀茂. 专利保护、创新与经济增长:基于上下游技术溢出模型的分析[J]. 经济研究,

- 2024, 59(11): 55-71.
- [24] 李强, 韦薇. 长江经济带经济增长质量与生态环境优化耦合协调度研究 [J]. 软科学, 2019, 33(5): 117-122.
- [25] 周筱扬, 左国存. 我国中部地区科技创新与经济高质量发展耦合协调度的时空演化 [J]. 科技管理研究, 2022, 42(22): 77-85.
- [26] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 等. 国内耦合协调度模型的误区及修正 [J]. 自然资源学报, 2021, 36(3): 793-810.
- [27] 杨硕, 陈劲, 张可人. 中国区域教育、科技、人才耦合协调发展及时空演变研究 [J]. 科学学与科学技术管理, 2025, 46(10): 26-38.
- [28] 吕铖, 吕素冰, 焦天一, 等. 河南省黄河流域水资源 - 经济社会 - 生态环境协调发展评价及驱动因素分析 [J]. 中国农村水利水电, 2024(12): 1-11.
- [29] 朱超平, 苏艺璇, 范如国. 长江经济带雾霾治理、绿色技术创新与低碳高质量发展协调性研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(6): 1298-1312.
- [30] 魏奇锋, 徐霞, 杨彩琳, 等. 成渝地区双城经济圈科技创新与经济高质量发展耦合协调度研究 [J]. 科技进步与对策, 2021, 38(14): 54-61.
- [31] 付秀梅, 齐俏俏, 林春宇, 等. 中国水产品贸易生态足迹时空演变与动态预测 [J]. 生态学报, 2024, 44(18): 8047-8061.
- [32] 陈明华, 李倩, 王哲, 谢琳霄. 中部地区城市经济高质量发展与生态可持续耦合研究 [J]. 城市问题, 2022(4): 77-86.
- [33] 王善高, 张岳. 数据要素发展水平的地区差异、分布动态及障碍因子诊断 [J]. 统计与决策, 2024, 40(21): 93-98.
- (责任编辑: 李孟秋)