

泛黄河三角洲区经济、生态与环境耦合协调 水平测度及障碍度诊断

程启先^{1,2}, 王子羽^{1,2}, 陈姣^{1,2}, 张一丹^{1,2}, 高昊腾¹, 李隆康¹, 王佳楠^{1,3}

(1. 信阳师范学院 地理科学学院, 河南 信阳 464000;

2. 信阳师范学院 河南省淮河流域遥感大数据与智能分析工程研究中心, 河南 信阳 464000;

3. 山东师范大学 地理与环境学院, 山东 济南 250358)

摘要: 泛三角洲区经济、生态与环境的协调演化是流域可持续发展的重要支撑。本研究以泛黄河三角洲区为研究区域, 对泛黄河三角洲区经济、生态与环境耦合协调水平测度及障碍度诊断进行实证研究。研究表明: ①研究时段内泛黄河三角洲区各地市经济发展水平呈现上升趋势、生态与环境水平呈现波动变化, 全域耦合协调度水平呈现稳步增长态势且各地市存在时空分异; ②时间序列预测结果表明预测时段内各地市的协调度是不断上升的, 障碍度诊断结果表明经济、生态和环境评价中的主要障碍因子分别是工业用电量、湿地面积和农药施用折纯量; ③泛黄河三角洲区中比较突出的问题为经济发展水平的不平衡不充分, 以及生态修复和环境治理等, 亟需重视产业结构调整与优化布局、加大生态环境建设统筹协调和科学管理, 协调河口三角洲区人地关系、推进流域生态保护工作。

关键词: 经济-生态-环境; 耦合协调度; 障碍度诊断; 泛黄河三角洲区

中图分类号: F127; F299.27; X22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4513(2023)-01-001-10

引言

2021年10月, 中共中央、国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》, 为有序开展黄河流域生态保护和高质量发展等工作指明了方向。“十四五”规划和2035年远景目标纲要中明确提出: “加强长江、黄河等大江大河和重要湖泊湿地生态保护治理, 加强重要生态廊道建设和保护”。上述文件表明流域生态保护工作已成为当前我国生态环境建设的工作重点。作为流域的重要组成部分, 河口三角洲区

土质肥沃、人口稠密, 常面临着由于过度开发所导致的生态环境恶化、人地矛盾突出等困境, 因此妥善协调好河口三角洲区的人地关系, 对开展流域生态保护工作具有充分的引领和示范作用。

既有研究主要集中在泛长江三角洲、泛珠江三角洲等, 多以经济发展、城镇化建设等内容为着眼点进行生态保护和高质量发展的有关讨论, 对于黄河三角洲的相关研究不多。自国务院批复《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》以来, “黄河三角洲高效生态经济区”(以

收稿日期: 2022年02月23日

作者简介: 程启先(1998-), 男, 河南信阳人, 硕士, 主要研究方向: 城市与区域规划。

王子羽(1999-), 女, 河南平顶山人, 硕士, 主要研究方向: 国土资源利用与管理。

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO.41771438; 4207071645); 河南省高校科技创新团队(NO.22IRTSTHN010); 河南省高等学校重点科研项目(NO.22A170018); 河南省科技计划项目(NO.212102310426); 河南省研究生教育改革与质量提升工程项目(NO.HNYJS2020JD14); 信阳师范学院研究生科研创新基金项目(NO.2022KYJJ018); 信阳师范学院大学生科研基金项目(NO.2022DXS118)。

下简称“黄三角经济区”)已成为国家战略的有机组成部分,经历了十余载的发展,以“黄三角经济区”为代表的泛黄河三角洲区的建设成果是怎样的,尤其是对于经济、生态与环境的协调水平测度如何、主要的障碍因子有哪些,上述内容值得进一步深入研究与讨论。

本研究以泛黄河三角洲区为研究区域,构建经济、生态与环境评价指标体系,综合运用极差变换法、均方差赋权法、耦合协调度法、ARIMA模型和障碍度模型,对泛黄河三角洲区经济、生态与环境协调水平测度及障碍度诊断进行实证研究,以期开展泛黄河三角洲区的经济发展、生态保护与环境治理等工作提供针对性的策略与建议,并为协调河口三角洲区人地关系、推进流域生态环境保护工作等内容提供一定的借鉴与参考。

一、评价指标体系

本研究遵循科学性、全面性和准确性等原则,考虑到评价指标的可比性、可靠性和可获取性等内容,结合研究区域的实际情况,在参考相关文献的基础上构建了泛黄河三角洲区经济、生态与环境评价指标体系(表1)。

(一) 经济准则层

考虑到区域内各地市的人口数量与辖区面积具有差异,选择人均GDP和经济密度指标来对经济水平进行比较;泛黄河三角洲区是山东省重要的工业基地,因此第二产业产值比重和工业用电量是衡量经济发展的基础,第三产业产值比重对于整体产业结构具有重要意义,上述指标能够较好反映产业结构;城镇居民可支配收入和城镇居民消费支出能够较好衡量居民生活。

(二) 生态准则层

泛黄河三角洲区位于我国北方,较高的气温和较多的降水情况有利于当地区域生态良性发展,即为年均气温、年均降水;用水总量、造林面积和湿地面积指标能够体现自然生态保

护工作的建设情况;城市园林绿化设施的建设对于整体城市生态的影响较大,因此选择建成区绿化率和人均公园绿地面积作为评价指标。

表1 泛黄河三角洲区经济、生态与环境评价体系表

准则层	指标层(单位)	指标向	权重
经济	人均GDP(元)	正	0.1434
	经济密度(万元/km ²)	正	0.1505
	第二产业产值比重(%)	正	0.1421
	第三产业产值比重(%)	正	0.1359
	工业用电量(亿千瓦时)	正	0.1404
	城镇居民可支配收入(元/人)	正	0.1431
	城镇居民消费支出(元/人)	正	0.1446
生态	年均气温(℃)	正	0.1420
	年均降水(mm)	正	0.1102
	用水总量(亿立方米)	负	0.1758
	造林面积(千公顷)	正	0.1128
	湿地面积(千公顷)	正	0.1823
	建成区绿化率(%)	正	0.1409
	人均公园绿地面积(m ² /人)	正	0.1359
环境	农药施用折纯量(吨)	负	0.1545
	污水年排放量(万吨)	负	0.1389
	化学需氧量排放量(吨)	负	0.1550
	氨氮排放量(吨)	负	0.1375
	二氧化硫排放量(万吨)	负	0.1561
	烟/粉尘排放量(万吨)	负	0.1179
	工业固体废弃物产生量(万吨)	负	0.1401

注:2016年潍坊市、2020年淄博市和德州市的造林面积出现异常值,采用均值法进行替换;2017~2019年间的化学需氧量、氨氮、二氧化硫排放量和工业固体废弃物产生量以及部分年份的湿地面积的数据没有变化,采用时间序列平滑化处理。

(三) 环境准则层

在居民生活和工业生产中都会排放大量以废气、废水和废物为主的环境污染物,因此本研究中的环境准则层选取了较为常规的污染物指标,包括污水年排放量、化学需氧量排放量、氨氮排放量、二氧化硫排放量、烟/粉尘排放量以及工业固体废弃物产生量;考虑到农业生产中农药施用对整体环境的污染不容忽视,因此

将农药施用折纯量也纳入评价指标体系。

二、研究区域与方法

(一) 研究区域

黄河三角洲区的概念提出较早,但既有研究中对于其具体的范围与边界有待统一,主要有以下观点:①狭义的黄河三角洲主要指东营市境内黄河入海口的三角洲平原;②广义的黄河三角洲主要位于天津市和废黄河口之间、巩义市以东的黄河冲积泛滥地区;③“黄三角经济区”包括东营市和滨州市全境,潍坊市、德州市、淄博市和烟台市的部分区域。由于“黄三角经济区”的区域范围和边界更为清晰且与本研究较为接近,考虑以该区划为基础、剔除偏离黄河干流的烟台市、增加黄河下游城市群中心城市济南市,确定了本研究的研究范围包括济南市(含莱芜市)、淄博市、东营市、潍坊市、德州市和滨州市。

(二) 数据来源

本研究中的数据来源主要为《山东省统计年鉴(2011~2021)》《山东省政府工作报告(2010~2020)》和《山东省国民经济和社会发展统计公报(2010~2020)》,部分数据是经计算后得到的。其中莱芜市于2019年作为莱芜区被整体并入济南市,因此莱芜市的各项统计指标在经过相应的折算后以计入对应年份的济南市。

(三) 研究方法

1. 极差变换法。数据标准化能够避免由于数据量纲和单位不同,对系统的评价结果产生不利影响。常用的数据标准化方法主要有向量规范化法、极差变换法、线性比例变换法等,本研究中采用极差变换法对数据进行标准化处理,受篇幅限制极差变换法的计算结果省略,步骤见公式(1~2):

$$y_{ij}^+ = (x_{ij} - \min x_i) / (\max x_i - \min x_i) \quad (1)$$

$$y_{ij}^- = (\max x_i - x_{ij}) / (\max x_i - \min x_i) \quad (2)$$

式中, y_{ij} 是 i 指标在 j 年份的标准化数据(正负

号分别为正负指标向所采用的处理公式), x_{ij} 是 i 指标在 j 年份的原始数据, $\min x_i$ 和 $\max x_i$ 分别是原始数据 x_{ij} 在行列式中研究时段内的最小和最大值。

2. 均方差赋权法。权重赋值方法简称为赋权法,常见的有主观赋权法、客观赋权法和主客观赋权法。其中客观赋权法具有科学、准确、高效等特点,应用较为广泛。常见的客观赋权法主要有熵权法、变异系数法、均方差赋权法等,本研究中采用均方差赋权法对数据进行权重的运算,均方差赋权法所获得的权重值见表1,步骤见公式(3~5):

$$\delta_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_{ij} - \bar{y}_i)^2} \quad (3)$$

$$\omega_i = \delta_i / \sum \delta_i \quad (4)$$

$$z_{ij} = y_{ij} \times \omega_i \quad (5)$$

式中, δ_i 是 y_{ij} 在研究时段内数据的均方差值, \bar{y}_i 是 y_{ij} 在研究时段内数据的平均值, ω_i 是 i 指标经由均方差赋权的权重值, z_{ij} 是 i 指标在 j 年份的赋权评价价值, n 是项数。

3. 耦合协调度法。耦合协调度法能够运用两个及以上系统的评价结果,通过几何平均数与算数平均数之间的数理关系,来计算各系统间的协调状况,本研究采用耦合协调度法对经济、生态与环境的耦合协调情况进行计算,划分标准见表2,运算过程见公式(6~7):

$$D_j = \frac{\sqrt[3]{A_j \times B_j \times C_j}}{A_j + B_j + C_j} \quad (6)$$

$$E_j = \sqrt{D_j \times (\alpha A_j + \beta B_j + \gamma C_j)} \quad (7)$$

式中, D_j 和 E_j 分别是耦合度和耦合协调系数, A_j 、 B_j 和 C_j 分别是经由极差变换和均方差赋权法进行加权计算获得的经济、生态和环境的评价价值, α 、 β 和 γ 是待定系数(取决于重要程度,本研究认为同等重要,因此取 $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$)。

4. ARIMA 模型。ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) 模型是以鲍克斯-詹金斯 (Box-Jenkins) 法为基础的整合自回归移动平均模型,主要用于时间序列预测模型的构建与运用。该模型的数学原理和公式等内容均较

为复杂, 详细内容见文献, 限于篇幅此处不予赘述。

表 2 耦合协调水平测度评判表

耦合协调系数	等级	区间	类型
[0.00, 0.10]	极度失调	[0.00, 0.40]	失调类型
(0.10, 0.20]	高度失调		
(0.20, 0.30]	中度失调		
(0.30, 0.40]	轻度失调		
(0.40, 0.50]	临界失调	(0.40, 0.60]	过渡类型
(0.50, 0.60]	临界协调		
(0.60, 0.70]	轻度协调	(0.60, 1.00]	协调类型
(0.70, 0.80]	中度协调		
(0.80, 0.90]	高度协调		
(0.90, 1.00]	极度协调		

5. 障碍度模型。障碍度模型能够对评价系统内主要的障碍因子进行识别与分析, 有助于调整区域经济可持续发展战略, 本研究采用障碍度模型法对经济、生态与环境耦合协调模型进行障碍度诊断, 步骤见公式 (8~9):

$$\theta_i = \left[\frac{1}{m} \sqrt{(1 - y_{ij})} \right] \times \omega_i \quad (8)$$

$$\Theta_i = (\theta_i / \sum \theta_i) \times 100\% \quad (9)$$

式中, θ_i 是依据标准化值 y_{ij} 和权重值 ω_i 计算 i 指标的障碍度值, Θ_i 是经由障碍度值 θ_i 计算 i 指标的障碍度系数, m 是项数。

三、实证分析过程

(一) 经济、生态与环境评价

1. 经济评价。从经济评价结果来看, 研究时段 (2010~2020 年) 泛黄河三角洲区各地市的经济发展水平都呈现出上升趋势, 在区域内部具有较为明显的分异规律 (图 1)。①济南、淄博和东营市的经济发展水平较高, 且 3 地市在起止年份 (2010 年、2020 年) 的评价值都是区域内较高的。济南市是山东省省会城市、济南都市圈核心城市, 由国务院批复确定的环渤海地区南翼的中心城市, 也是山东省重要的政治、经济和文化中心, 济南市在经济密度、

第三产值产业比重、城镇居民人均可支配收入和居民年人均消费支出等多项指标都常年位居前列, 奠定了其在泛黄河三角洲区内核心城市的重要地位; 淄博市和东营市的经济发展水平仅次于济南市, 其中东营市在人均 GDP、第二产业产值比重、城镇居民人均可支配收入和居民年人均消费支出中表现较好, 而淄博市在经济密度等指标中表现较好。②滨州、潍坊和德州市的经济发展水平较低, 除了“电解铝”产业较为发达的滨州市在工业用电量指标评价较高外, 其余指标表现都比较一般。究其原因, 一是表明当前滨州市的产业结构不合理, 尤其是“电解铝”产业在高能耗、高污染的情况下未能充分带动经济发展, 明显的结果是滨州市在泛黄河三角洲区域的经济发展仍处于各地市中的较低水平, 亟需合理调整产业结构; 二是体现出泛黄河三角洲区各地市的经济发展水平确实具有一定的内部差异, 部分地市的经济发展水平不高、尤其是在城镇居民人均可支配收入和居民年人均消费支出等指标中的数值较低, 这也间接导致居民收入和消费的疲软, 在当前深化供给侧结构性改革的大背景下对消费结构优化和实体经济活力释放有着一定的不利影响。

2. 生态评价。生态评价结果表明, 近年来泛黄河三角洲区各地市的生态建设水平都呈现出波动趋势, 区域内部生态建设水平不高且差异不太显著 (图 2)。①研究时段前中期 (2010~2016 年) 各地市生态建设水平是总体上涨



图 1 泛黄河三角洲区各地市经济评价图

的。尤其是各地市在 2016 年的评价价值都超过了 0.35，其中东营市的建设水平较高（始终大于 0.45）、而济南市的建设水平较低（始终低于 0.40），其余地市的发展水平一般。究其原因主要是东营市的用水总量较少、湿地面积较大且在其他指标方面表现尚可，而济南市的用水总量较高且在湿地面积和人均公园绿地面积等指标中表现较弱；其他 4 个地市总体发展尚可，仅有德州市在个别年份（2010 年）表现较弱，但随后其生态建设水平迅速增长至适中范围。②研究时段后期（2017~2020 年）除东营外各地市生态建设水平逐渐趋同。该时段内东营市评价结果较高且在 0.6019~0.7346 之间波动变化，事实上东营市的生态建设评价价值长期位于区域内较高水平、且 2013 年起一直远远领先于其他 5 个地市，主要原因是除用水总量和湿地面积表现较好之外，人均公园绿地面积为全域最高（2018 年达到 $28.60\text{m}^2/\text{人}$ ），因此东营市的生态建设水平是区域内最高的；除东营市外的 5 个地市的评价结果较为接近，但也呈现出一定的波动变化趋势，主要原因是各地市前中期总体上涨的势头逐渐放缓并呈现出波动变化的态势，表明亟需加大力度继续狠抓生态建设工作。

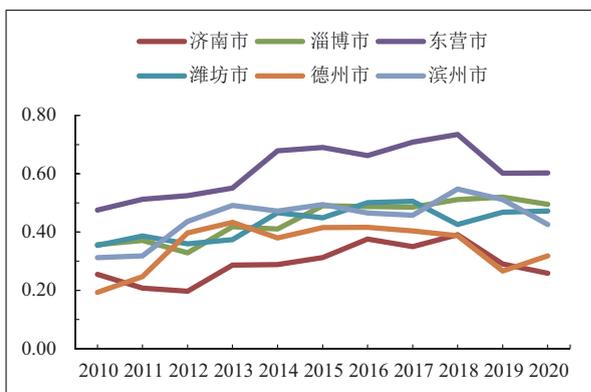


图 2 泛黄河三角洲区各地市生态评价图

3. 环境评价。近年来各地市环境评价结果整体演化呈现出“稳中向好”的总体上升趋势，区域内部环境保护水平较高且表现出较强的趋同态势（图 3）。①2010~2016 年间各地市环境保护水平具有一定差异。东营市的评价价值始终是最高的、而济南市和潍坊市的评价价值较低，

其余地市评价结果接近。其中东营市在农药施用折纯量、污水与氨氮排放量以及工业固体废弃物产生量方面表现较好，因此成为区域内环境保护发展较好的地市；而济南市和潍坊市分别在二氧化硫排放量和农药施用折纯量指标上表现极为薄弱，因而影响到整体环境质量；考虑到生态环境工作是综合性和系统性工程，兼顾生态环境工作全部方面的难度较大，因此其余表现尚可的地市在部分方面仍存在一些不足，如化学需氧量排放量（德州市何滨州市）、二氧化硫排放量（淄博市）等指标仍具有一定的提升空间。②2017 年后除东营市环境保护评价价值始终较高外、其余地市的评价结果总体上升且趋同演化。事实上东营市的环境保护评价价值长期位于区域内较高水平且长期远远领先于其他 5 个地市，主要原因是除造林和湿地面积以外、东营市在“三废”排放等方面的表现“可圈可点”，因此东营市的环境保护水平是区域内最高的；除东营市外的 5 个地市的评价结果差距不断缩小，评价价值由 2016 年的介于 0.5542~0.6950 间逐渐减小到 2020 年的介于 0.7278~0.8531 间，主要原因是“十九大”以来各地市将环境保护工作作为推进生态文明建设的重要抓手、加大产业结构调整与节能减排力度，促使区域内环境保护的整体水平与质量获得稳步提升。

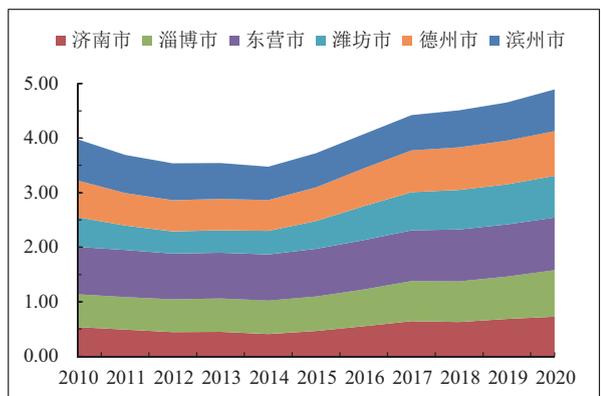


图 3 泛黄河三角洲区各地市环境评价图

（二）耦合协调度时空分异

1. 全域协调度评价结果。泛黄河三角洲区全域经济、生态与环境的耦合协调度结果表明，

研究时段内全域经济发展水平的增长速度较快、而全域生态与环境水平处于波动变化状态, 三者的耦合协调度水平呈现出稳步增长的态势(图4)。^①从全域经济、生态与环境的评价结果来看, 一是经济发展长期滞后于生态与环境水平, 且三者差距逐渐缩小, 表明泛黄河三角洲区作为环渤海经济区经济发展相对弱勢的地区, 仍需在调整产业结构、优化产业布局的同时, 大力发展地区生产力、促进区域经济健康有序发展; 二是经济评价价值的增长速度较快且幅度也较大, 生态与环境长期处于波动变化, 表明近年来所提出的由“高速增长”模式逐渐向“高质量发展”模式过渡转变的发展观念初见成效, 在全面协调可持续理念下泛黄河三角洲区循环经济的建设也初见成效。^②全域耦合协调度结果表明全域经济、生态与环境的协调关系正逐渐改善, 即由“临界协调”状态转变为“中度协调”状态。具体而言, 2010年(评价值为0.5887, 下同)协调度为“临界协调”状态, 随后协调度水平稳步增长并在2011年(0.6062)和2016年(0.7049)分别提升至“轻度协调”和“中度协调”状态, 后续的2018年(0.7379)达到最高值后经历了轻微下降过程并在2020年(0.7299)迅速回升; 上述结果表明全域经济、生态与环境整体的协调关系有所改善, 历年增幅的均值达到2.19%, 但在研究时段的后期增长逐渐放缓、甚至在个别年份(2019年)出现了负增长(-0.0202%), 仍需在保持耦合协调度增长势头的同时, 促进其增长速度和幅度的双重稳步提升。

2. 各地市协调度评价结果。从2010~2020年泛黄河三角洲区各地市经济发展与生态环境耦合协调度结果与时空分异来看, 除部分年份存在微波波动或轻微下降外、各地市的协调度在总体上是稳步上升(表3和图5)。^①从协调度的评价结果来看, 各地市协调度水平呈现稳步上升的趋势, 但区域内部仍然存在一定的差异, 研究时段内东营市和德州市分别是区域内协调度水平最高和最低的地市, 其余4个地市

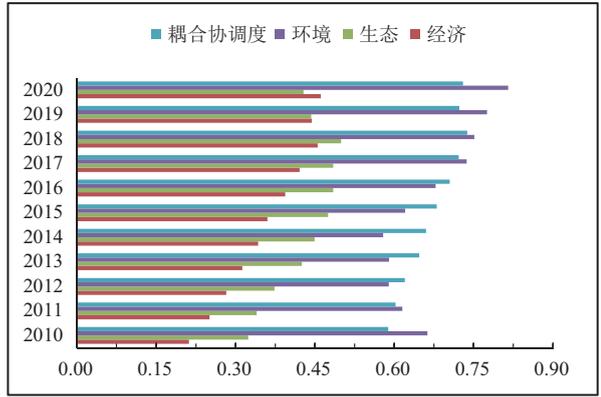


图4 泛黄河三角洲区全域耦合协调度结果图

的评价值是比较接近的。近年来协调度稳步上升的主要原因是受到了经济发展的驱动, 而个别年份的微波波动或轻微下降的情况主要是受到生态与环境波动变化的影响, 但不影响经济、生态与环境的协调度总体上仍呈现出稳步上升的趋势; 受惠于东营市长期较高的生态环境水平, 其经济发展水平不是区域内最高的, 但三者协调度长期远超其他地市, 并在研究时段内稳居协调度第一的位置, 与之相应的是德州市在环境保护工作表现不差, 但是在经济与生态方面存在明显“短板”, 因而成为区域内经济与生态、环境协调度的“洼地”。^②从协调度的时空分异来看, 泛黄河三角洲区内部的时空分异规律是比较明显的。位于区域东北部的东营市协调度水平较高、中部的淄博市和滨州市紧随其

表3 泛黄河三角洲区各地市耦合协调度结果表

年份	济南市	淄博市	东营市	潍坊市	德州市	滨州市
2010	0.5843	0.6245	0.7016	0.5598	0.4899	0.5718
2011	0.5685	0.6441	0.7288	0.5670	0.5219	0.5853
2012	0.5633	0.6415	0.7411	0.5653	0.5805	0.6282
2013	0.6098	0.6792	0.7581	0.5825	0.6032	0.6506
2014	0.6113	0.6848	0.7973	0.6190	0.6016	0.6476
2015	0.6349	0.7140	0.8083	0.6374	0.5965	0.6909
2016	0.6839	0.7307	0.8147	0.6815	0.6215	0.6971
2017	0.7034	0.7496	0.8388	0.7059	0.6336	0.7023
2018	0.7237	0.7668	0.8582	0.6993	0.6447	0.7346
2019	0.7028	0.7608	0.8155	0.7154	0.6082	0.7350
2020	0.7019	0.7705	0.8204	0.7270	0.6331	0.7265

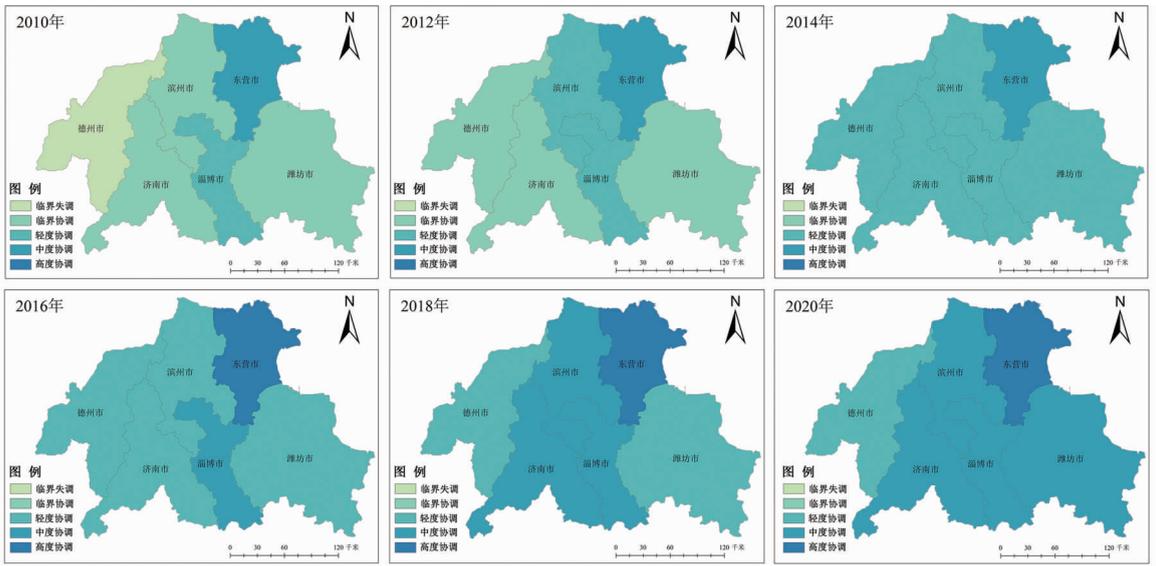


图5 泛黄河三角洲区各地市耦合协调度时空分异图

后、表现一般的济南和潍坊市位于西南部和东南部、而西部德州市协调度水平一直是最底的；区域内形成“中干强、两翼弱”的态势，即北部和中部的协调度水平比较高、而东西两侧的协调度水平比较低，这也不利于区域内的全面协调可持续发展，因此亟待发挥区域内中部地区的示范效应和带动作用。受篇幅限制，本文对区域统筹发展措施以东营市和德州市为例进行重点说明：东营市在经济发展方面仍有一定的提振空间，依托石油基地和外贸强市的基础，应当充分发挥内河航运与海运的双重优势，大力发展第三产业、积极进行产业结构优化升级，尤其是围绕出口导向工业的港口物联网、仓储物流信息化等新兴配套服务业；而针对德州市产业基础薄弱、工业化程度不高的现状，应当做到因地制宜、因势利导，在既有的工贸城市和新能源产业基地的基础上，积极完善基础设施并发挥好德州市劳动力薪资的比较优势，充分做好承接区域内部产业转移的必要准备。

(三) 耦合协调度预测与障碍度

1. ARIMA 模型结果。运用 ARIMA 模型对泛黄河三角洲区 2021 ~ 2026 年各地市的协调度进行时间序列预测，结果表明预测时段内各地市的协调度是不断上升的（图6）。①济南、潍

坊和滨州市的上升趋势是最显著的，均由原先的“中度协调”阶段上升到全新的“高度协调”阶段，这3个地市在2020年的耦合协调水平是低于东营市的，但从预测结果来看其后续发展势头较为迅猛，因此在后续发展中应当针对实际情况，在补足“短板”的同时仍需大力发挥比较优势，积极向区域协调可持续发展迈进。②东营、淄博也呈现出一定的上升趋势，东营和淄博市的协调水平全时段都领先于区域内其他地市，因此亟需保持自身的“先发优势”，且都临渤海或临省会济南市，应当积极发挥自身区位优势、促进经济发展与生态环境的全面协调可持续。③德州市在预测时段的协调度是较低的、但从发展潜力来说也是比较大的，

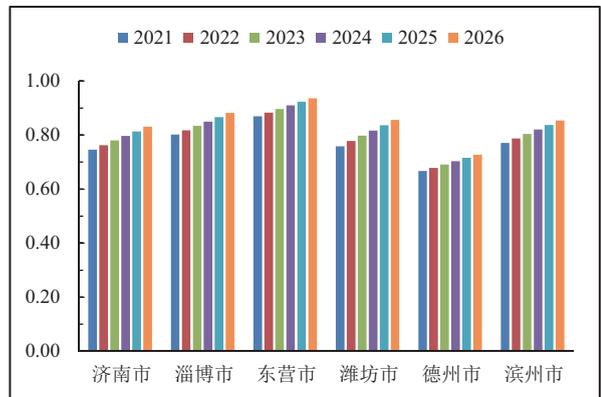


图6 泛黄河三角洲区各地市耦合协调度预测图

德州市本身的生态环境情况较好、当前面临的主要问题是经济发展情况缺乏动力,考虑到德州市是鲁西北的“门户”、位于京沪高铁北京至济南段的中间位置,且同时处在北京、天津、石家庄和济南等多个大城市 2.5 小时高铁圈中,未来也能够依托高铁时代的区位优势做好承接相应产业的必要准备。

2. 障碍度模型结果。运用障碍度模型对泛黄河三角洲区 2010 ~ 2020 年各地市的协调度进行障碍度诊断,本文中仅列出了经济、生态和环境三系统中各障碍因子的平均障碍度值,结果表明经济、生态和环境的主要障碍因子分别是工业用电量、湿地面积和农药施用折纯量(表 4)。^①经济发展中主要的障碍因子是工业用电量,主要障碍因子还有经济密度、人均 GDP、城镇居民消费支出和城镇居民可支配收入,而第二、第三产业产值比重是障碍度最小的障碍因子,因此泛黄河三角洲区内部的经济发展障碍主要还是经济发展水平不平衡和不充分的问题,一是表现在滨州市过度依赖于动力指向型的特色有色金属行业,致使工业用电量成为区域内经济发展的首要障碍因子,二是经济密度和人均 GDP 这两项体现经济发展水平的指标均位列前茅,对于区域内后续产业结构

调整与优化布局也将会成为泛黄河三角洲区未来经济社会发展的重要议题。^②在生态方面的主要障碍因子是湿地面积、用水总量、人均公园绿地面积和造林面积,而年均降水、年均气温和建成区绿化率指标的障碍度值较小,所以区域内主要的生态建设问题同湿地、森林和公园绿地建设以及水资源节约利用相关,一是作为黄河下游重要区域的泛黄河三角洲区应当注重加强生态涵养与绿色发展功能,尤其是沿海、沿河滩涂的原生态植被保护,二是综合利用雨水收集和中水回用等措施加大水资源利用率,减少水资源消耗以及浪费,以更好助力生态建设。^③环境保护方面的主要障碍因子为农药施用折纯量以及化学需氧量、二氧化硫和氨氮排放量,体现出区域内主要的生态环境问题仍然是环境治理的问题,也反映出当前环境污染管控工作有所成效,如农药施用而非“三废”排放的指标成为首位主要障碍因子,考虑到环境具有综合性和系统性等特点,尤其是其自身的“短板效应”极为显著,因此一味进行“抓大放小”的管理模式在环境保护中是不可取的,仍需加大对环境相关工作的统筹协调和科学管理,力求在环境建设中能够争取化零为整、面面俱到,进而实现整体环境质量显著提升。

表 4 泛黄河三角洲区经济、生态与环境障碍度模型结果表

排序	经济指标	障碍度 /%	排序	生态指标	障碍度 /%	排序	环境指标	障碍度 /%
1	工业用电量	17.67	1	湿地面积	22.02	1	农药施用折纯量	18.64
2	经济密度	15.97	2	用水总量	14.99	2	化学需氧量排放量	18.57
3	人均 GDP	15.46	3	人均公园绿地面积	13.63	3	二氧化硫排放量	18.00
4	城镇居民消费支出	13.72	4	造林面积	12.86	4	氨氮排放量	15.08
5	城镇居民可支配收入	13.64	5	年均降水	12.58	5	工业固体废弃物产生量	11.83
6	第二产业产值比重	12.66	6	年均气温	12.53	6	污水年排放量	10.73
7	第三产业产值比重	10.87	7	建成区绿化率	11.38	7	烟/粉尘排放量	7.16

结语

本研究以泛黄河三角洲区为研究区域,构建经济、生态与环境评价指标体系并进行三维耦合协调水平测度评价。经济、生态与环境及

其协调度的结果表明,2010 ~ 2020 年泛黄河三角洲区各地市的经济发展水平呈现出上升趋势且区域内部分异较为明显,生态评价结果呈现出波动趋势、生态建设水平不高且区域差异不太显著,环境评价结果是总体上升趋势、区域

内部环境保护水平较高且整体趋同；全域耦合协调度水平则呈现出稳步增长的态势，各地市协调度存在着时空分异且都呈现一定的增长，其中东营市表现最好而德州市表现最差，并呈现出“中干强、两翼弱”的发展态势。

基于 ARIMA 模型和障碍度模型对泛黄河三角洲区 2021 ~ 2026 年各地市的协调度进行时间序列预测和障碍度诊断，结果表明预测时段内各地市的协调度是不断上升的，与当前协调度评价结果趋势相一致，德州市上升趋势最为显著、其他地市也呈现出不同程度的上升趋势；经济、生态和环境评价中的主要障碍因子分别是工业用电量、湿地面积和农药施用折纯量，经济发展水平不平衡和不充分以及生态保护和环境治理等内容是比较突出的问题，未来应当重视产业结构调整与优化布局以及加大对生态环境相关工作的统筹协调和科学管理，协调河口三角洲区人地关系、推进流域生态保护工作，最终为黄河流域的可持续发展提供重要支撑。

参考文献：

[1] 张荣天, 焦华富. 泛长江三角洲地区经济发展与生态环境耦合协调关系分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24 (5): 719 - 727.

[2] 孙黄平, 黄震方, 徐冬冬, 等. 泛长三角城市群城镇化与生态环境耦合的空间特征与驱动机制 [J]. 经济地理, 2017, 37 (2): 163 - 170 + 186.

[3] 吴立军, 李佛关. 泛珠三角经济圈区域内经济增长差异及收敛性探究 [J]. 广东财经大学学报, 2015, 30 (4): 35 - 43.

[4] 董锁成, 张佩佩, 李飞, 等. 山东半岛城市群人居环境质量综合评价 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27 (3): 155 - 162.

[5] 苟露峰, 杨思维. 城市群城镇化与生态环境的耦合与响应关系——以山东半岛城市群为例 [J]. 青岛科技大学学报: 社会科学版, 2018, 34 (1): 7 - 12.

[6] 盖美, 聂晨, 柯丽娜. 环渤海地区经济—资源—环境系统承载力及协调发展 [J]. 经济地理, 2018, 38 (7): 163 - 172.

[7] 杜霞, 孟彦如, 方创琳, 等. 山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调发展的时空格局 [J]. 生态学报, 2020, 40 (16): 5546 - 5559.

[8] 刘琳轲, 梁流涛, 高攀, 等. 黄河流域生态保护与高质量发展的耦合关系及交互响应 [J]. 自然资源学报, 2021, 36 (1): 176 - 195.

[9] 王佳楠. 山东省生态安全评价与时空演化规律研究 [D]. 山东师范大学, 2022: 15 - 17.

[10] 廖炎平, 刘莉, 邢超. TOPSIS 中不同规范化方法的研究 [J]. 北京理工大学学报, 2012, 32 (8): 871 - 875 + 880.

[11] 湛东升, 张文忠, 党云晓, 等. 中国城市化发展的人居环境支撑条件分析 [J]. 人文地理, 2015, 30 (1): 98 - 104.

[12] 李书覃, 张赞奎, 杨奕琳, 等. 信阳市房地产业——区域经济——生态环境耦合协调度实证研究 [J]. 湖南理工学院学报: 自然科学版, 2022, 35 (2): 51 - 57.

[13] 孙斌, 徐渭, 薛建春, 等. 黄河流域城市群城镇化与生态环境耦合协调预测 [J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43 (5): 887 - 896.

[14] 吴英玲, 尹鹏, 周丽君, 等. 中国省域旅游产业与人居环境耦合关系及其障碍因子研究 [J]. 生态经济, 2019, 35 (2): 155 - 159.

[15] 盖美, 张丽平, 田成诗. 环渤海经济区经济增长的区域差异及空间格局演变 [J]. 经济地理, 2013, 33 (4): 22 - 28.

Measurement and Obstacle Diagnosis of Coupling Coordination Level Between Economy, Ecology and Environment in Pan Yellow River Delta

CHENG Qixian^{1,2}, WANG Ziyu^{1,2}, CHEN Jiao^{1,2}, ZHANG Yidan^{1,2},
GAO Haoteng¹, LI Longkang¹, WANG Jianan^{1,3}

(1. School of Geographic Sciences, Xinyang Normal University, Xinyang, Henan 464000, China;

2. Xinyang Normal University, Henan Engineering Research Center for Big Data of Remote Sensing and Intelligent Analysis in Huaihe River Basin, Xinyang, Henan 464000, China;

3. School of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250358, China)

Abstract: The coordination of economy, ecology and environment in the pan delta region is a significant support for the sustainable development of the river basin. Taking the pan Yellow River Delta as the research area, this study makes an empirical study on the measurement of the coupling coordination level and obstacle degree diagnosis of economy, ecology and environment in the research area. The results show that: ① During the study period, the economic development level of cities in the pan Yellow River Delta region shows an upward trend, the ecology and environment level shows fluctuating changes, the whole region coupling coordination level shows a steady growth trend, and there are temporal and spatial differences among cities; ② The time series prediction results show that the coordination degree of cities in the prediction period is rising. The obstacle degree diagnosis results show that the main obstacle factors in economy, ecology and environment evaluation are industrial power consumption, wetland area respectively and amount converted from pesticide application; ③ The more prominent problems in the pan Yellow River Delta are the unbalanced and insufficient level of economic development, ecological repair and environmental governance. It is urgent to pay attention to the adjustment and optimization of industrial structure, increase the overall coordination and scientific management of ecological environment construction, coordinate the human land relationship in the estuary Delta and promote the ecological protection of the river basin.

Keywords: economy-ecology-environment; coupling coordination; obstacle diagnosis; pan Yellow River Delta

(责任编辑: 张卫华)