

陈佳佳,郑雅男,张伟兰,等.黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度时空演变[J].中国沙漠,2022,42(3):1-10.

# 黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化 耦合协调度时空演变

陈佳佳,郑雅男,张伟兰,张晓琴

(山西财经大学 统计学院,山西 太原 030006)

**摘要:**以黄河流域35个城市为研究对象,分别构建产业绿色化与生态环境绿色化指标体系,基于熵值法测度两系统综合指数,并通过耦合协调度模型和空间自相关法对2009—2018年两系统耦合协调度的时空特征及空间集聚性进行分析。结果表明:(1)黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化综合指数总体呈上升趋势且具有趋同性,上游地区生态环境绿色化水平高于产业绿色化水平,中下游地区相反;(2)时空维度上,黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化的耦合协调度总体呈上升趋势,上中下游地区呈现“凹”字型发展特征且稳定程度不同;(3)空间集聚上,黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度呈显著正相关性,存在明显集聚性,高-高聚集主要集中于上游地区,低-低聚集由中游地区向中下游地区扩展。

**关键词:**黄河流域;产业绿色化;生态环境绿色化;耦合协调度

**文章编号:** 1000-694X(2022)03-001-10

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00148

**中图分类号:** F127

**文献标志码:** A

## 0 引言

黄河流域作为中华民族的发源地,给人类文明带来深远影响。黄河发源于青海省的雅拉达泽峰,自西向东流经青海省、四川省、甘肃省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、陕西省、山西省、河南省、山东省,最终汇入渤海。2019年9月,习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会,将黄河流域生态保护和高质量发展提升为国家重大战略<sup>[1-2]</sup>。目前,学者们对相关问题进行了深入的研究。在黄河流域高质量发展方面,从不同角度构建高质量发展指标体系并测度<sup>[3-9]</sup>,如“创新、协调、绿色、开放、共享”的五大发展理念;在黄河流域生态保护方面,从生态系统服务<sup>[10]</sup>、水域生态系统服务<sup>[11]</sup>、生境质量<sup>[12]</sup>、植被覆盖<sup>[13]</sup>等方面分析了时空趋势;在黄河流域生态保护和高质量发展协同方面<sup>[14-15]</sup>,主要从生态环境与高质量发展<sup>[16]</sup>、生态环境与经济高质量发展<sup>[17-18]</sup>、经济-生态环境-产业<sup>[19-20]</sup>、旅游经济与生态环境<sup>[21-22]</sup>等方面分析了

耦合协调。

在2015年5月,中共中央、国务院印发《关于加快推进生态文明建设的意见》,提出“协同推进新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化和绿色化”,首次提出“绿色化”,把生态文明建设放在突出战略位置。关于绿色化的研究主要在绿色化水平测度、影响因素及时空演变等方面。熊曦等<sup>[23]</sup>、侯纯光<sup>[24]</sup>从绿色增长、绿色福利、绿色财富、绿色治理4个维度构建绿色化指标体系,并对绿色化水平进行测度;田时中等<sup>[25]</sup>对绿色化发展水平测度后,基于Tobit模型进行影响因素分析;孙才志等<sup>[26]</sup>采用信息熵模型、核密度估计和马尔科夫链等方法分析中国绿色化的演化规律。2021年2月22日发布的《国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》明确提出,到2025年显著提升绿色产业比重,加快实施多行业绿色化改造,使产业转型升级推动经济转型发展<sup>[27]</sup>。谷缙<sup>[28]</sup>对山东省的产业绿色化进行研究;张伟<sup>[29]</sup>、马丽<sup>[30]</sup>、邓祥征等<sup>[31]</sup>对产业体系绿色化及产业绿色转型进行研究。张旭等<sup>[32]</sup>

收稿日期:2021-09-01; 改回日期:2021-10-10

资助项目:山西省基础研究计划项目(201901D111320)

作者简介:陈佳佳(1991—),女,山西运城人,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为应用数理统计。E-mail: chenjjia0401@163.com

通信作者:张晓琴(E-mail: zhangxiaqin@sxufe.edu.cn)

提出高质量绿色发展的独特性,运用耦合协调度模型分析生态绿色化与经济高质量之间的耦合协调关系。

在黄河流域生态保护和高质量发展过程中,必须推动产业向绿色发展要求迈进,在区域经济和生态环境保护方面实现有效统筹<sup>[33]</sup>,也就要求实现产业绿色化与生态环境绿色化有效统筹。产业绿色化与生态环境绿色化的相互关系,不仅表现为前者对后者的拉动作用,也表现为后者对前者的推动作用。首先,产业绿色化是资源合理高效配置、废弃物的循环利用过程,实现由粗放型向节约型转变的增长方式<sup>[28]</sup>,从源头上注重生态环境质量,推动生态环境绿色化发展;产业结构优化升级可以为生态环境方面资源合理利用打下基础,实现生态环境绿色化;另外,生态环境绿色化的发展也需要产业转型带来的新设备、新能源以及新技术等<sup>[32]</sup>。其次,产业绿色化对产业结构、环境质量等方面提出了要求,而生态环境绿色化体现为一种满足产业绿色的环境优先、资源高效利用的发展模式,可以为产业绿色化提供动力;生态环境绿色化不仅对淘汰落后产业有筛选作用,而且可以为绿色产业结构向高级化、合理化方向发展助力。基于此,本文以2009—2018年黄河流域35个城市为研究对象,尝试构建产业绿色化与生态环境绿色化综合指标体系,在对两系统综合水平测度的基础上,对产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度的时空特征及空间集聚性进行分析,为黄河流域生态保护与高质量发展提供建议。

## 1 指标体系构建与数据来源

### 1.1 指标体系构建

产业绿色化是整条产业链的绿色化,实现产业结构协调、资源合理高效配置、废弃物的循环利用的过程。本文从三次产业结构构建产业绿色化指标体系(表1)。第一、第二产业绿色化从资源利用效率、产业内部结构优化、环境影响方面选取指标,具体选取第一、第二产业劳动生产率、工业固体废物综合利用率、农林牧渔服务业占第一产业增加值比重、单位工业增加值主要污染物排放量等指标;由于第三产业以服务业为主,从资源利用效率和产业内部结构优化方面选取指标,具体选取第三产业劳动生产率和第三产业占第二产业增加值比

重指标。

生态环境绿色化是在生态环境系统的绿色化,体现为一种环境优先、资源高效利用的发展模式,实现生态效率最大化。本文从环境质量、自然资源、生态建设三方面构建生态环境绿色化指标体系(表1)。在环境质量方面选取空气质量优良天数比例、工业废水排放总量等指标;在自然资源方面选取人均水资源量、人均耕地面积等指标;在生态建设方面选取污水处理厂集中处理率、环境污染治理投资占GDP比重等指标。

### 1.2 数据来源

本文就黄河流域9个省区内的35个城市进行研究(海东市除外)。为了避免省内城市差异对结果的影响,采用杨开忠等<sup>[34]</sup>的划分方式,将陕西、山西以西的城市作为黄河流域上游,陕西、山西的城市作为黄河流域中游,山东、河南的城市作为黄河流域下游。本文所需数据主要来源于2010—2019年《中国城市统计年鉴》、各省市统计年鉴以及EPS数据库、各市国民经济和社会发展统计公报。无法直接获得的指标用间接法来计算,部分指标层间接法计算(表2)。对于某些年份数据的缺失值,通过线性插补法补齐。

## 2 研究方法

### 2.1 熵值法

对产业绿色化与生态环境绿色化综合指数的测度采用多指标综合法。为避免主观赋权的主观性,本文采用熵值法来客观赋权。用熵值法对产业绿色化与生态环境绿色化两系统综合指数进行测度的步骤如下:

数据标准化。由于不同指标量纲不同,会对结果造成影响,需要对各指标进行标准化处理。

$$\text{正向指标: } u_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } u_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2)$$

式中: $i=1,2,\dots,m$ ;  $j=1,2,\dots,n$ ;  $m$ 为城市个数;  $n$ 为指标个数;  $x_{ij}$ 为第 $i$ 地区第 $j$ 列指标的原始值;  $u_{ij}$ 为 $x_{ij}$ 标准化值;  $x_j^{\max}$ 和 $x_j^{\min}$ 分别为第 $j$ 列指标的最大值和最小值。

指标信息熵

表 1 产业绿色化系统与生态环境绿色化系统指标体系

Table 1 Index system of industrial greening system and ecological environment greening system				
系统层	一级指标	二级指标	单位	属性
产业绿色化	第一产业	第一产业劳动生产率	元·人 <sup>-1</sup>	正
		农作物复种指数	%	正
		农林牧渔服务业占第一产业增加值比重	%	正
		单位耕地面积化肥施用量	t·hm <sup>-2</sup>	负
	第二产业	第二产业劳动生产率	元·人 <sup>-1</sup>	正
		工业固体废弃物综合利用率	%	正
		单位工业增加值能耗	吨标准煤/万元	负
		单位工业增加值主要污染物排放量	t/万元	负
	第三产业	第三产业劳动生产率	元·人 <sup>-1</sup>	正
		第三产业占第二产业增加值比重	%	正
生态环境绿色化	环境质量	空气质量优良天数比例	%	正
		工业废水排放总量	t	负
		工业烟粉尘排放总量	t	负
		一般工业固体废物产生量	t	负
	自然资源	人工造林面积	hm <sup>2</sup>	正
		人均绿地面积	hm <sup>2</sup>	正
		人均水资源量	t	正
		人均耕地面积	hm <sup>2</sup>	正
	生态建设	环境污染治理投资占 GDP 比重	%	正
		建成区绿化覆盖率	%	正
		污水处理厂集中处理率	%	正
		生活垃圾无害化处理率	%	正

表 2 间接指标说明

Table 2 Description of indirect indicators	
指标层	指标计算
第 <i>i</i> 产业劳动生产率	第 <i>i</i> 产业地区生产总值/第 <i>i</i> 产业从业人员
农作物复种指数	农作物总播种面积/耕地面积
单位耕地面积化肥施用量	农用化肥折纯量/有效灌溉面积
主要污染物排放量	工业废水、烟粉尘、二氧化硫排放总量之和
人均耕地面积	耕地面积/年平均人口

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \left( \sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln p_{ij} \right)$$

(3)

$$p_{ij} = u_{ij} / \sum_{i=1}^m u_{ij}$$

(4)

指标冗余度

$$\theta_j = 1 - e_j$$

(5)

指标权重

$$\omega_j = \theta_j / \sum_{j=1}^n \theta_j$$

(6)

系统综合指数

$$U_{ij} = \sum_{j=1}^n \omega_j \times u_{ij}$$

(7)

式中: $i=1,2,\cdots,m$ 。

2.2 耦合协调度模型

耦合度衡量某几个系统的相互关系,这里的耦合度表示产业绿色化与生态环境绿色化两系统间相互关系的影响程度,耦合度计算公式如下:

$$C = \frac{\overline{U_{Ge}}}{\bar{U}}$$

(8)

$$\bar{U} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

(9)

$$\overline{U_{Ge}} = \sqrt{U_1 \times U_2}$$

(10)

式中: $U_1$ 为产业绿色化系统综合指数; $U_2$ 为生态环境

绿色化系统综合指数;  $C$  为耦合度, 取值为 0 到 1。  $C$  越趋近于 0, 表明两系统的影响程度越小;  $C$  越趋近于 1, 表明两系统的影响程度越大。由于耦合度只能反映产业绿色化系统与生态环境绿色化系统的相互作用关系, 不能反映两者之间的协调程度。因此, 基于以下耦合协调度  $D$  来表示两系统间的整体协调:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (11)$$

$$T = aU_1 + bU_2 \quad (12)$$

式中:  $D$  表示两系统间的耦合协调度, 取值为 0 到 1;  $T$  表示黄河流域两系统的综合协调指数, 取值为 0 到 1;  $a$ 、 $b$  为待定系数, 本文取  $a=0.5$ 、 $b=0.5$ , 认为两系统有同等重要作用。耦合协调等级分类如表 3 所示。

表 3 耦合协调等级分类

Table 3 Coupling coordination level classification

取值范围	耦合协调等级
$0 \leq D < 0.3$	严重失调
$0.3 \leq D < 0.4$	轻度失调
$0.4 \leq D < 0.5$	低度协调
$0.5 \leq D < 0.6$	中度协调
$0.6 \leq D < 0.7$	中高度协调
$0.7 \leq D < 0.8$	高度协调
$0.8 \leq D < 0.9$	优质协调

### 2.3 空间自相关法

空间自相关分析主要指在空间区域内某一单元属性值与相邻单元属性值之间的相关程度, 分为全局空间自相关与局部空间自相关。全局空间自相关主要分析属性值在整个区域内是否具有集聚性, 局部空间自相关主要分析属性值在局部范围内的空间集聚性, 分别运用全局莫兰指数 ( $I$ ) 和局部莫兰指数 ( $I_i$ ) 进行检验。

全局莫兰指数计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (13)$$

局部莫兰指数计算公式为:

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (14)$$

式中:  $n$  表示城市个数;  $x$  为观测值;  $x_i$ 、 $x_j$  表示第  $i$  地区、第  $j$  地区的观测值,  $i \neq j$ ;  $\bar{x}$  为所有观测值的均值;

$W_{ij}$  为空间权重矩阵值。莫兰指数取值  $[-1, 1]$ , 莫兰指数大于 0 表示正相关, 小于 0 表示负相关, 等于 0 表示不相关。对黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度进行全局空间自相关分析, 利用 GeoDa 创建邻接矩阵, 若城市  $i$  与城市  $j$  相邻, 则空间权重矩阵中权重为 1, 否则权重为 0。

## 3 结果与分析

### 3.1 产业绿色化与生态环境绿色化综合指数

从图 1 可以看出, 黄河流域 2009—2018 年产业绿色化与生态环境绿色化综合指数发展趋势相近且呈上升趋势, 中游地区两系统综合指数趋势也相近, 两系统间初步协调。产业绿色化指数整体呈波动式上升趋势, 2009—2010 年平缓上升, 2010—2011 年呈下降趋势, 2011—2018 年波动上升; 而生态环境绿色化指数与产业绿色化指数发展趋势相近, 呈波动式上升趋势。

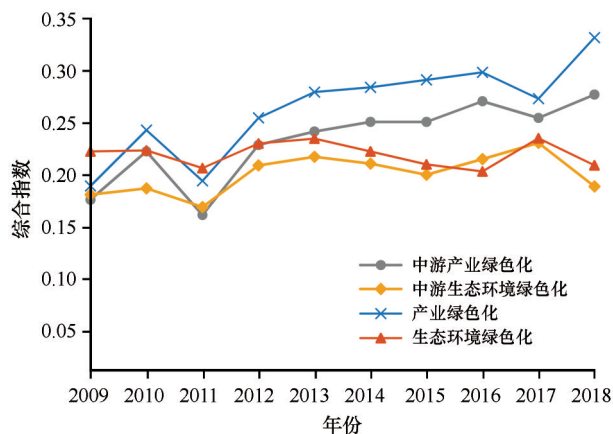


图 1 黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化综合指数

Fig.1 Comprehensive indexes of industrial greening and ecological environment greening in the Yellow River Basin

由表 4 可以看出各地区产业绿色化与生态环境绿色化发展情况不同, 黄河流域上游地区生态环境绿色化水平高于产业绿色化水平, 中下游地区生态环境绿色化水平低于产业绿色化水平。在排名方面, 上游地区生态环境绿色化发展水平较高, 产业绿色化发展水平较低; 下游地区产业绿色化发展水平较高, 生态环境绿色化发展水平较低; 中游地区两系统发展水平都相对较弱。

### 3.2 产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度时空特征

由表 5 和图 2 可以看出, 2009—2018 年黄河流



表 4 黄河流域各地区产业绿色化与生态环境绿色化综合指数及排名

Table 4 Comprehensive indexes and ranking of industrial greening and ecological environment greening in 35 cities of the Yellow River Basin

地区		产业绿色化		生态环境绿色化		地区		产业绿色化		生态环境绿色化	
		指数	排名	指数	排名			指数	排名	指数	排名
上游	西宁	0.255	22	0.287	7	中游	吕梁	0.217	32	0.206	18
	兰州	0.262	20	0.243	12	下游	郑州	0.276	17	0.204	19
	白银	0.219	30	0.234	13		开封	0.314	3	0.138	30
	银川	0.197	34	0.346	5		洛阳	0.278	16	0.162	23
	石嘴山	0.186	35	0.430	1		新乡	0.284	13	0.134	34
	吴忠	0.237	26	0.229	14		焦作	0.273	18	0.138	31
	中卫	0.289	10	0.224	16		濮阳	0.283	14	0.130	35
	呼和浩特	0.287	11	0.338	6		三门峡	0.228	28	0.154	26
	包头	0.271	19	0.356	4		济南	0.321	2	0.245	10
	乌海	0.216	33	0.358	3		淄博	0.281	15	0.250	9
	鄂尔多斯	0.307	5	0.389	2		东营	0.286	12	0.280	8
	巴彦淖尔	0.242	24	0.246	10		济宁	0.296	8	0.137	33
中游	渭南	0.256	21	0.152	27		泰安	0.305	6	0.162	23
	延安	0.221	29	0.212	17	下游	德州	0.325	1	0.156	25
	榆林	0.252	23	0.224	15		聊城	0.305	7	0.139	29
	运城	0.239	25	0.138	32		滨州	0.292	9	0.165	22
	忻州	0.237	26	0.198	20		菏泽	0.309	4	0.139	28
	临汾	0.217	31	0.177	21						

表 5 2009—2018 年黄河流域各区域耦合协调度均值及离散系数

Table 5 Mean and dispersion coefficient of coupling coordination degree in the Yellow River Basin from 2009 to 2018

年份	总体耦合协调度	上游耦合协调度		中游耦合协调度		下游耦合协调度	
		均值	离散系数	均值	离散系数	均值	离散系数
2009	0.454	0.464	0.11	0.413	0.05	0.450	0.05
2010	0.484	0.510	0.09	0.440	0.05	0.462	0.07
2011	0.448	0.484	0.14	0.395	0.07	0.418	0.07
2012	0.493	0.512	0.06	0.460	0.04	0.482	0.06
2013	0.507	0.536	0.08	0.469	0.05	0.486	0.06
2014	0.502	0.533	0.07	0.471	0.05	0.478	0.06
2015	0.498	0.531	0.07	0.463	0.05	0.469	0.07
2016	0.497	0.530	0.08	0.477	0.10	0.457	0.08
2017	0.504	0.532	0.07	0.476	0.09	0.469	0.07
2018	0.514	0.543	0.07	0.465	0.08	0.488	0.09

域产业绿色化与生态环境绿色化两系统的耦合协调度呈上升趋势,上中下游地区呈现高一低一高的趋势,即“凹”字型发展特征且稳定程度不同。上游地区耦合协调度均值良好,离散系数较大,说明发

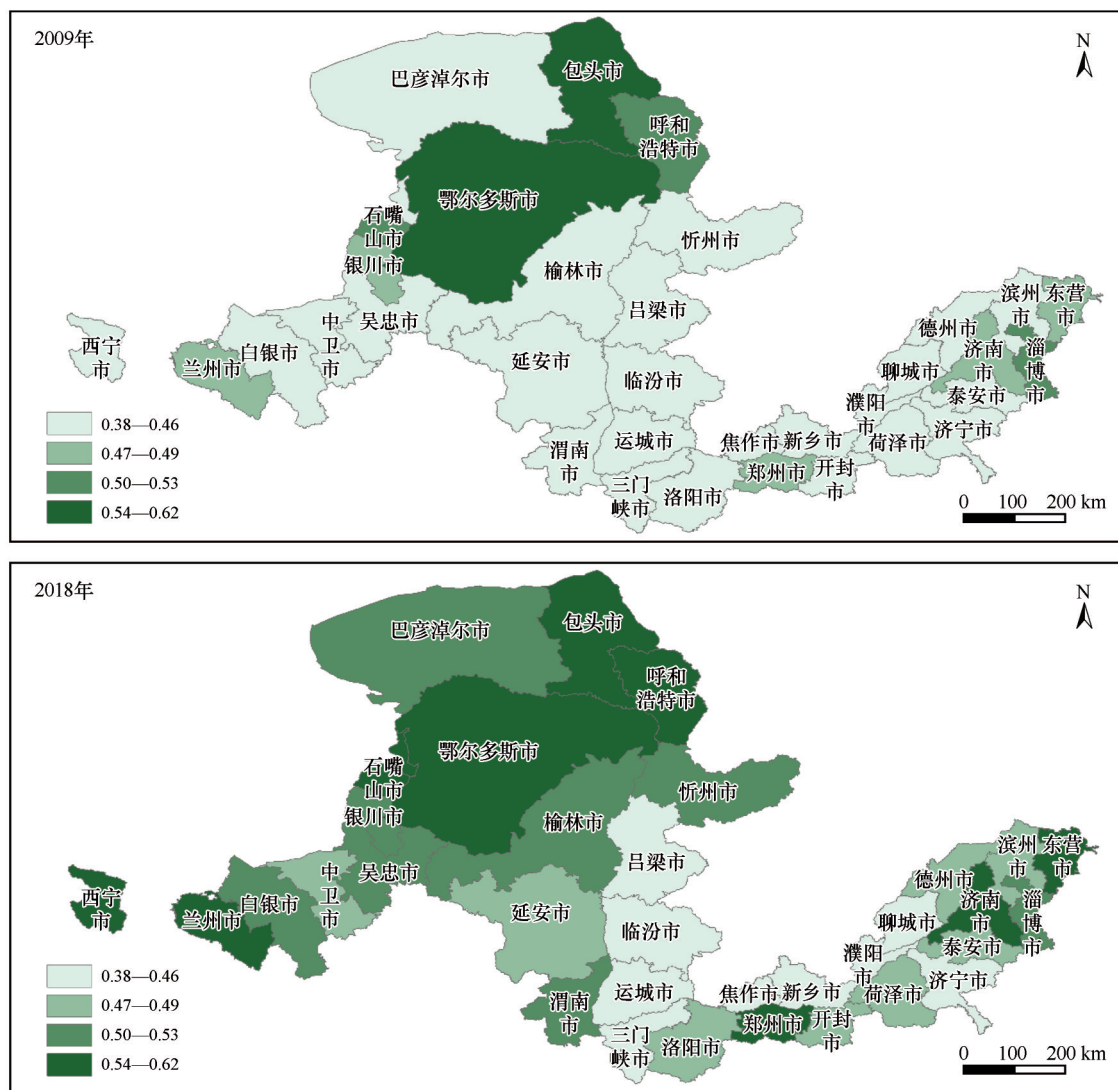


图2 2009年、2018年黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度

Fig.2 Coupling coordination degree of industrial greening and ecological environment greening in the Yellow River Basin in 2009 and 2018

展程度中等且不稳定;中游地区耦合协调度均值较低,离散系数较小,说明发展程度较低且稳定;下游地区均值中等,离散系数较大说明发展态势良好且不稳定。

上游地区发展程度良好且不稳定。从2009—2018年黄河流域上游地区平均水平来看,产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度整体呈上升发展态势,但发展不稳定,鄂尔多斯、呼和浩特等市的耦合协调值明显高于银川、吴忠等市。西宁市与兰州、白银发展趋势相近,由于这些城市初期伴随着科技进步及产业分布调整,耦合协调度有所波动,在2011年降到最低,而后期在西部大开发战略的推动下,耦合协调度上升。中卫市主要处于低度协

调,石嘴山、吴忠、银川市主要处于低度协调向中度协调演进且发展比较相近,在2011年达到高耦合点后略有下降,这是由这些城市产业结构调整与资源合理配置导致。呼和浩特、鄂尔多斯等市的产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调在初期发展很好,甚至达到中高度协调,而后期较前期发展较慢,甚至呈下降趋势,这是由于这些地区的经济增长主要依靠资源,而资源的过度利用会对环境造成影响危害,从而抑制生态环境绿色化发展。

中游地区发展程度较低且稳定。从2009—2018年黄河流域中游地区平均水平来看,产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调处于低度协调,发展水平低但总体呈上升趋势,耦合协调度0.37—0.57

变动。2009—2018年渭南、延安、榆林等市的产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调发展趋势相近,总体趋势为先上升后略有下降。2009—2018年陕西抓住中国外向型经济发展的重要阶段,积极发展制造业、信息服务业等高端产业,使得初期产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调呈上升趋势,但陕西为发展经济,能源过度消耗,而高污染、高耗能对生态环境绿色化有抑制作用,使得后期产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调程度较低。2009—2018年临汾、吕梁等市总体趋势为轻度失调-低度协调。山西前期处于城镇化建设初期,产业结构向高级化方向发展,后期由于小城镇环境承载能力有限,环境污染等问题抑制绿色发展,使得山西产业绿色化与生态环境绿色化协调程度初期上升,后期略有下降。

下游地区发展态势良好且不稳定。从2009—2018年黄河流域下游地区平均水平来看,产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调较高且呈上升趋势,总趋势为低度协调-中度协调,其中2011年协调程度最低,三门峡市较其他东部城市程度较低。2009—2018年开封、洛阳、焦作等河南省的城市产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调发展趋势相近,总体呈上升趋势,其中郑州耦合协调度较高;三门峡市耦合协调度较低且呈低度协调。这些城市承接了东部沿海地区转移的产业,并且伴随着产业结构调整、资源合理配置,为产业与生态环境协调提供了动力,导致产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调整体趋势上升。济南市的耦合协调程度最高,向中高度协调趋近;德州、聊城、滨州、菏泽发展趋势相近且协调程度较高,总体呈上升趋势但后期上升缓慢,菏泽、东营在2018年到达最高耦合点,由于2009—2018年山东省的这些城市初期凭借优越的地理位置,吸引许多高新技术产业和项目,加大创新力度后,资源利用效率提高。而中后期工业化推进造成了资源浪费与环境恶化,对生态环境系统造成一定影响,导致了产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调有所下降。

### 3.3 产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度空间自相关

2009—2018年黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度全局莫兰指数全部为正,通过1%

显著性检验,说明黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度呈显著正相关性,存在明显聚集性。2009—2018年10年时间全局莫兰指数变化趋势表明,聚集性大致呈“M”字型变化特征,全局莫兰指数从2009年0.199上升到2010年0.613,又降低到0.394,随后2015年升高到最高值0.719,后呈现下降趋势,表明集聚型并不稳定,且在2018年呈下降趋势(表6)。

表6 2009—2018年黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度的全局莫兰指数

Table 6 Moran's I of coupling coordination degree of industrial greening and ecological environment greening in the Yellow River Basin from 2009 to 2018

年份	全局莫兰指数	Z值	P值
2009	0.199	1.835	0.039
2010	0.613	4.918	0.001
2011	0.394	3.610	0.003
2012	0.490	4.224	0.001
2013	0.611	5.019	0.001
2014	0.645	5.571	0.001
2015	0.719	6.210	0.001
2016	0.592	4.805	0.001
2017	0.518	4.318	0.001
2018	0.406	3.381	0.001

总体来说,黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度空间集聚模式上游高而中下游低,高-高聚集主要集中于上游地区,低-低聚集由中游地区向中下游扩展(图3)。高-高聚集从2009年4个城市增加到2014年7个城市,主要处于上游地区,包头、鄂尔多斯、巴彦淖尔、呼和浩特等城市在地理位置、资源、生态保护等方面都有很好的优势,加上政府出台的相关政策推动新旧动能转换,带动产业与生态环境协调发展。低-低聚集从2009年4个城市增加为2017年7个城市,主要处于中游地区,后向中下游地区扩展,吕梁、延安、运城、渭南、菏泽等城市在工业化的进程中加重环境问题,没有将资源优势转换作为发展的内在驱动力,协调发展程度较低,导致该区域呈现低-低聚集。

## 4 结论

2009—2018年黄河流域上游、中游、下游地区产业绿色化与生态环境绿色化综合指数总体呈上升趋势,在2011年有所下降,并且两系统上升趋势

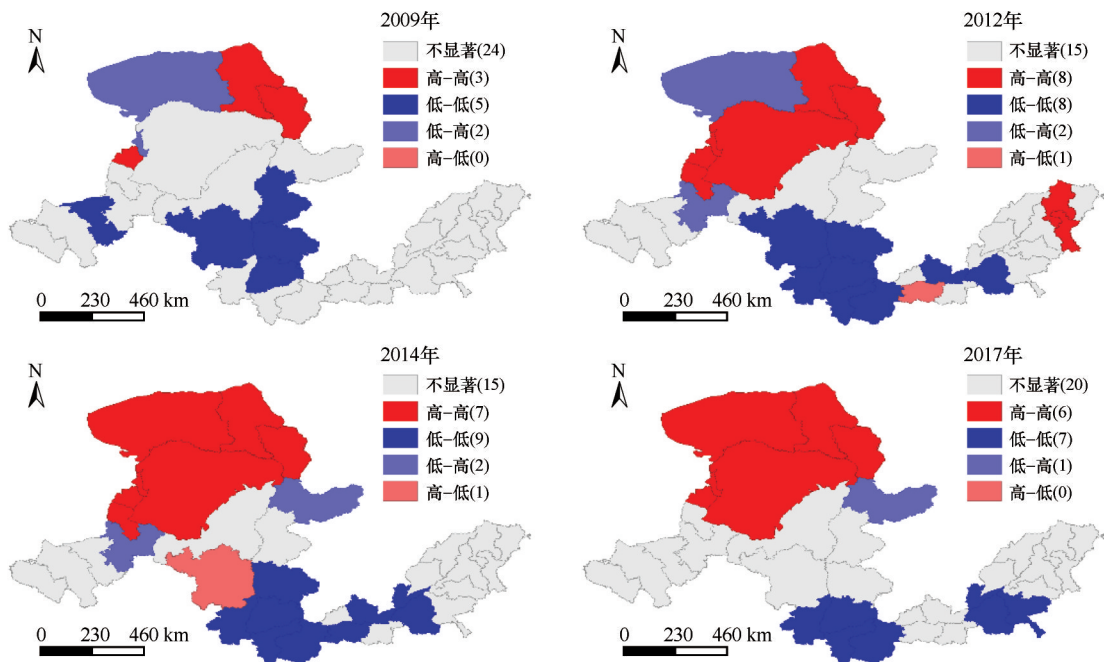


图3 黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度LISA分布图

Fig.3 LISA cluster diagram of coupling coordination degree of industrial greening and ecological environment greening in the Yellow River Basin

具有趋同性,产业绿色化与生态环境绿色化之间初步协调。各地区产业绿色化与生态环境绿色化发展情况不同,黄河流域上游地区生态环境绿色化水平高于产业绿色化水平,中下游地区生态环境绿色化水平低于产业绿色化水平。在时空特征上,2009—2018年黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化两系统的耦合协调总体上呈上升趋势,2011年有所下降,上中下游地区呈现高一低一高的趋势,即“凹”字型发展特征且稳定程度不同。上游地区耦合协调度逐渐上升,由低度协调向中度协调演进,但各地区发展程度良好且不稳定;随着时间推移下游地区耦合协调状态略有波动;中游地区耦合协调程度较低,总体发展较稳定,处于低度协调向中度协调演进,呈上升趋势。空间集聚上,2009—2018年黄河流域产业绿色化与生态环境绿色化耦合协调度呈显著正相关性,存在明显聚集性,但集聚型并不稳定。空间分布呈由分散到集中的态势,空间集聚性上游高而中下游低,高-高聚集主要集中于上游地区,低-低聚集由中游地区向中下游扩展。

黄河流域作为中国重要的经济带,不仅要注重环境保护,更要坚定不移地走绿色发展道路<sup>[35]</sup>。黄河流域要充分发挥各地区优势,上游城市拥有丰富的资源,可以大力推进传统优良产业发展,在保护环境的基础上发展旅游业;中游城市虽发展缓

慢,但制造业比较发达,可以发展高端制造业,发挥好中间城市的作用,更好地连接上下游城市;下游城市凭借自身资源优势,应注重新兴产业和高技术产业的发展,也可发挥沿海地区优势,积极引进外资。本文也存在不足之处,仅选择黄河流域沿线35个城市进行研究,由于数据可得性的限制,相关具体指标的选取有待进一步完善,且未对影响因素进行研究。后续研究应在城市选择及指标体系选取方面进一步挖掘,可对耦合协调影响因素进一步探讨。

#### 参考文献:

- [1] 习近平.在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J].中国水利,2019(20):1-3.
- [2] 薛澜,杨越,陈玲,等.黄河流域生态保护和高质量发展战略立法的策略[J].中国人口·资源与环境,2020,30(12):1-7.
- [3] 钞小静,周文慧.黄河流域高质量发展的现代化治理体系构建[J].经济问题,2020(11):1-7.
- [4] 马茹,罗晖,王宏伟,等.中国区域经济高质量发展评价指标体系及测度研究[J].中国软科学,2019(7):60-67.
- [5] Qi J. Fiscal expenditure incentives, spatial correlation and quality of economic growth: evidence from a Chinese province[J]. International Journal of Business and Management, 2016, 11(7):191-201.
- [6] 马海涛,徐植钫.黄河流域城市群高质量发展评估与空间格局分异[J].经济地理,2020,40(4):11-18.



- [7] Mlachila M, Tapsoba R, Tapsoba S J A. A quality of growth index for developing countries: a proposal [J]. *Social Indicators Research*, 2017, 134(2): 675–710.
- [8] 刘传明, 马青山. 黄河流域高质量发展的空间关联网络及驱动因素[J]. *经济地理*, 2020, 40(10): 91–99.
- [9] 周成, 张旭红, 张倩, 等. 黄河流域“五位一体”综合评价体系建构与空间差异研究[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 1–11.
- [10] 方露露, 许德华, 王伦澈, 等. 长江、黄河流域生态系统服务变化及权衡协同关系研究[J]. *地理研究*, 2021, 40(3): 821–838.
- [11] 韩梦涛, 涂建军, 徐桂萍, 等. 黄河流域水域生态系统服务与经济发展时空协调性[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 167–176.
- [12] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 黄河流域生境质量时空演变及其影响因素[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 12–22.
- [13] 孙高鹏, 刘宪锋, 王小红, 等. 2001–2020年黄河流域植被覆盖变化及其影响因素[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 205–212.
- [14] 孙继琼. 黄河流域生态保护与高质量发展的耦合协调: 评价与趋势[J]. *财经科学*, 2021(3): 106–118.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 万媛媛, 苏海洋, 刘娟. 生态文明建设和经济高质量发展的区域协调评价[J]. *统计与决策*, 2020(22): 66–70.
- [18] 张建威, 黄茂兴. 黄河流域经济高质量发展与生态环境耦合协调发展研究[J]. *统计与决策*, 2021, 37(16): 142–145.
- [19] 周成, 冯学钢, 唐睿. 区域经济–生态环境–旅游产业耦合协调发展分析与预测: 以长江经济带沿线各省市为例[J]. *经济地理*, 2016, 36(3): 186–193.
- [20] 任保平, 杜翔翔. 黄河流域经济增长–产业发展–生态环境的耦合协同关系[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(2): 119–129.
- [21] 王胜鹏, 乔花芳, 冯娟, 等. 黄河流域旅游生态效率时空演化及其与旅游经济互动响应[J]. *经济地理*, 2020, 40(5): 81–89.
- [22] 宋小龙, 米文宝, 李陇堂, 等. 宁夏旅游经济与生态环境耦合协调过程与格局[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(5): 1–10.
- [23] 熊曦, 张陶, 段宜嘉, 等. 长江中游城市群绿色化发展水平测度及其差异[J]. *经济地理*, 2019, 39(12): 96–102.
- [24] 侯纯光. 中国绿色化进程与绿色度评价研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2017.
- [25] 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.
- [26] 孙才志, 童艳丽, 刘文新. 中国绿色化发展水平测度及动态演化规律[J]. *经济地理*, 2017, 37(2): 15–22.
- [27] 国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见[J]. *资源再生*, 2021(2): 52–55.
- [28] 谷缙. 山东省产业绿色化评估及优化研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2019.
- [29] 张伟. 现代产业体系绿色低碳化的实现途径及影响因素[J]. *科研管理*, 2016, 37(增刊1): 426–432.
- [30] 马丽. 基于产业环境耦合类型的沿海地区产业绿色转型路径研究[J]. *地理研究*, 2018, 37(8): 1587–1598.
- [31] 邓祥征, 杨开忠, 单菁菁, 等. 黄河流域城市群与产业转型发展[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(2): 273–289.
- [32] 张旭, 袁旭梅, 魏福丽. 生态绿色化与经济高质量耦合协调的时空演化[J]. *统计与决策*, 2021, 37(3): 112–116.
- [33] 李冬花, 张晓瑶, 陆林, 等. 黄河流域高级别旅游景区空间分布特征及影响因素[J]. *经济地理*, 2020, 40(5): 70–80.
- [34] 杨开忠, 苏悦, 顾芸. 新世纪以来黄河流域经济兴衰的原因初探: 基于偏离–份额分析法[J]. *经济地理*, 2021, 41(1): 10–20.
- [35] 李光勤, 方徐兵. 黄河流域绿色发展水平时空演变特征[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 129–139.

## Spatial-temporal evolution of coupling coordination degree between industrial greening and ecological environment greening in the Yellow River Basin

Chen Jiajia, Zheng Yanan, Zhang Weilan, Zhang Xiaoqin

(School of Statistics, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** Taking 35 cities in the Yellow River Basin as the research object, the index systems of industrial greening and ecological environment greening are constructed respectively. Entropy weight method is used to calculate the comprehensive indexes of the two systems. Furthermore, based on the coupling coordination degree model and spatial autocorrelation method, the spatio-temporal characteristics and spatial agglomeration of the coupling coordination degree of the two systems are analyzed from 2009 to 2018. The results show that: (1) In terms of comprehensive level, the comprehensive indexes of industrial greening and ecological environment greening in the upper, middle and lower reaches of the Yellow River Basin show an upward trend and are generally similar. The greening level of eco-environment is higher than that of industry in the upper reaches, but it is lower than the greening level of industry in the middle and lower reaches. (2) In terms of spatiotemporal dimension, there is an upward trend in the coupling coordination degree of the industrial greening and ecological environment greening in the Yellow River Basin. The upper, middle and lower reaches in the Yellow River Basin are characterized by "high-low-high" development, and their development stability is different. (3) In terms of spatial agglomeration, there is a significant positive correlation between industrial greening and ecological environment greening in the Yellow River Basin, indicating that there is obvious aggregation in space. High-high aggregation is mainly concentrated in the upper reaches, and low-low aggregation extends from the middle reaches to the middle and lower reaches.

**Key words:** Yellow River Basin; industrial greening; ecological environment greening; coupling coordination degree