

黄河流域 2008—2018 年可持续发展评价与系统协调发展分析

史习习, 杨力

(安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: [目的] 对黄河流域可持续发展与系统协调发展进行评价和分析, 为黄河流域的可持续发展提供理论参考。[方法] 基于资源、经济、社会、生态环境和科技 5 个系统选取 37 项指标构建黄河流域可持续发展指标体系, 以 2008—2018 年黄河流域 9 个省份为研究对象, 利用熵权法、灰色关联分析法综合确定指标权重, 并计算 5 个子系统的耦合度与耦合协调度, 最后, 对其耦合协调度使用灰色 GM(1,1) 模型进行预测。[结果] 黄河流域的可持续发展综合评价指数在 2008 年和 2018 年分别为 0.214 5 和 0.410 2, 整体上呈现上升趋势; 2008—2018 年 9 个省份的系统耦合度整体呈现上升趋势; 2008 年有 4 个省份的耦合度处于磨合阶段, 有 4 个省份的耦合度处于高水平磨合阶段, 只有甘肃省的耦合度处于拮抗阶段。2018 年耦合度发生改善, 9 个省份的耦合度都处于高水平磨合阶段, 但耦合度数值各省间存在差距。9 个省份的耦合协调度未来 7 a 的发展均为上升态势。[结论] 黄河流域的可持续发展水平总体上逐年改善, 但在空间分布上黄河流域各省的耦合协调度指数存在差距。

关键词: 可持续发展; 耦合协调; 灰色预测; 黄河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)04-0260-08

中图分类号: X22, X171.1

文献参数: 史习习, 杨力. 黄河流域 2008—2018 年可持续发展评价与系统协调发展分析[J]. 水土保持通报, 2021, 41(4): 260-267. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.04.035; Shi Xixi, Yang Li. Sustainable development evaluation and system coordination development analysis of Yellow River basin during 2008—2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(4): 260-267.

Sustainable Development Evaluation and System Coordination Development Analysis of Yellow River Basin During 2008—2018

Shi Xixi, Yang Li

(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

Abstract: [Objective] The sustainable development and the system coordinated development of the Yellow River basin was evaluated and analyzed, in order to provide theoretical reference for the sustainable development of the Yellow River basin. [Methods] According to 5 systems of resources, economy, society, ecological environment and science and technology, 37 indexes were selected to construct the sustainable development index system of the Yellow River basin. Nine provinces along the Yellow River basin from 2008 to 2018 were selected as the research objects. Entropy weight method and grey correlation analysis method were used to determine the index weight, and the coupling degree and coupling coordination degree of the five subsystems were calculated. Finally, the grey GM(1,1) model was used to predict the coupling coordination degree. [Results] The comprehensive evaluation index of sustainable development in the Yellow River basin was 0.214 5 and 0.410 2 in 2008 and 2018, respectively, showing an upward trend on the whole. From 2008 to 2018, the system coupling degree of the 9 provinces showed an upward trend. In 2008, the coupling degree of 4 provinces was in the running in stage, and the other 4 provinces was in the high running in stage, only the coupling degree of Gansu Province was in the antagonistic stage. In 2018, the coupling degree of all the 9 provinces was improved, and the coupling degree of the 9 provinces was at a high level of running in, but the

收稿日期: 2021-03-11

修回日期: 2021-04-08

资助项目: 国家自然科学基金项目“深部煤矿多灾种安全评价方法与应用研究”(71971003)

第一作者: 史习习(1995—), 女(汉族), 安徽省宿州市人, 硕士研究生, 研究方向为管理科学与工程、生态环境与安全管理。Email: 1609806325@qq.com。

通讯作者: 杨力(1972—), 男(汉族), 安徽省淮南市人, 教授, 博士生导师, 主要从事管理决策分析、能源经济、安全管理等方面的研究。Email: 1043340943@qq.com。

coupling degree between the provinces was different. The coupling coordination degree of the 9 provinces would be increased in the next 7 years. [Conclusion] The level of sustainable development in the Yellow River basin has been improved year by year, but there are differences in spatial coupling and coordination among provinces in the Yellow River basin.

Keywords: sustainable development; coupling coordination; grey prediction; Yellow River basin

黄河流域在中国的生态安全格局和社会经济运行体系当中占据着举足轻重的位置。黄河流域具有适合农业发展的自然环境和工业发展所需的各种资源,但受环境污染和长期高强度开发的影响,黄河流域的生态环境正在遭受严重威胁,经济的蓬勃发展与资源消耗、环境污染之间产生的问题日益严峻。在此情况下,可持续发展成为一条必由之路。黄河流域的可持续发展更是保障中国的国民经济长期平稳发展的重要组成部分,其核心是资源、经济、社会、环境、科技可持续发展以及 5 个系统的协调发展。为促进黄河流域的可持续发展,需立足于协同性,实现资源合理开发利用、生态环境保护、社会经济发展与科技创新的耦合协同,促进区域的均衡、绿色发展。基于黄河流域的重要地位以及当前发展所遭遇的困境,积极探索黄河流域可持续发展的变化态势及资源、经济、社会、生态环境和科技等系统的协调发展程度对促进黄河流域的可持续发展和实现国家的发展战略有着重要意义。

近年来,众位学者对黄河流域的可持续发展的研究兴趣颇厚,尤其是对可持续发展的评价,例如,刘家旗^[1]在生态足迹理论的基础上,对 2010—2017 年黄河流域的可持续发展状态进行评价;王慧亮^[2]构建了黄河流域水资源生态经济可持续发展评价指标体系,从系统能值流、经济发展、水资源和可持续发展能值等方面对其可持续力进行评价;还有许多学者从耦合协调的角度对黄河流域的可持续发展进行评价,如,崔盼盼^[3]构建了黄河流域的生态环境与高质量发展水平评价的指标体系,采用熵权法、弹性系数方法,对两者间的耦合进行评价;宁朝山^[4]利用改进的“纵横向”拉开档次法对黄河流域的生态保护和经济发展水平进行评价,同时,采用复杂系统耦合协同度模型来测度两者的协同度;赵建吉^[5]构建了新型城镇化与生态环境的耦合协调模型,对 2005—2016 年黄河流域两者间的耦合协调进行分析。刘琳轲^[6]把省份作为研究的单元,对黄河流域生态保护与高质量发展的耦合协调度进行评价。葛世帅^[7]构建了生态文明建设和城市化的指标体系,从时、空两个维度对 2008—2016 年黄河经济带的生态文明建设和城市化耦合协调发展状况进行分析评价。

当前关于黄河流域可持续发展的研究一般为定

性分析,定量分析的研究也很多,但通过对黄河流域的协同发展状况进行可持续发展研究的文献较为稀缺,深入分析资源、经济、社会、环境和科技等系统间的协调程度的研究也相对薄弱。因此,为全面分析中国黄河流域可持续发展状态,本研究采用熵值法和灰色关联分析法定量评价黄河流域 9 个省份 2008—2018 年的可持续发展状况,在此基础上,引入耦合协调度模型测算资源、经济、社会、环境和科技等 5 个系统的协调发展程度,并从时间、空间两个不同的维度进行对比分析,并对黄河流域未来 7 a 的耦合协调发展进行预测。望可以为黄河流域的可持续发展提供一些参照。

1 研究区概况

黄河的发源地为青藏高原,其奔流途中流经 9 个省份,包括青海、四川、宁夏、甘肃、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等省,黄河流域的地理位置是东经 96° — 119° ,北纬 32° — 42° ,东西长约为 1 900 km,南北宽约为 1 100 km。黄河流域的面积 $7.95 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。到 2018 年底,总人口大约为 4.2 亿,占全国 30.3% 左右;GDP 大约为 23.9 万亿元,占全国 26.5% 左右。流域内的生态系统种类复杂多样,包括森林、草原、荒漠、湿地等,但存在生态环境脆弱,森林覆盖率低、水土流失严重、草地退化等问题亟待解决。矿产资源丰富,无论是煤炭、石油,还是天然气和有色金属等储量都较大。目前,黄河流域的生态与社会经济不协调,黄河上游与中下游之间的发展存在差距,会阻碍黄河流域长远的发展。因此,积极探索黄河流域可持续发展动态及资源、经济、社会、生态环境和科技等系统的协调发展有着长远意义。

2 研究方法

2.1 指标体系设计和数据来源

资源、经济、社会、环境和科技 5 者间的耦合协调分析的前提是构建评价指标体系。本文参照已有的研究^[5-8,9-10],遵循科学、合理和可操作等准则,以资源、经济、社会、环境和科技为 5 大子系统,选取 37 个指标,构建黄河流域的可持续协调发展评价体系(表 1)。

表 1 黄河流域可持续协调发展评价指标及权重

目标层	子系统	指标层	权重
资源		人均水资源量(m ³ /人)	0.054 120
		人均土地面积(km ² /人)	0.048 456
		森林覆盖率/%	0.023 485
		人均耕地面积(hm ² /人)	0.033 735
		人均森林面积(hm ² /人)	0.040 204
经济		人均 GDP(元/人)	0.068 185
		人均一般公共预算收入(元/人)	0.010 413
		人均进出口总额(元/人)	0.007 896
		人均全社会固定资产投资额(元/人)	0.002 526
		第三产业比重/%	0.001 221
可持续发展		人均社会消费品零售总额(元/人)	0.001 383
		城镇居民可支配收入(元/人)	0.018 367
		城镇人口失业率/%	0.021 489
		城市人口密度/(人·km ⁻²)	0.021 911
		常住人口城镇化率/%	0.022 540
		每万人口中普通高等学校在校大学生数/人	0.029 225
		每万人病床数/张	0.026 928
		人均城市道路面积/m ²	0.036 922
		城镇人均住房面积/m ²	0.022 618
		生态环境	
建成区绿化覆盖率/%	0.012 848		
人均公园绿地面积/m ²	0.021 207		
人均工业二氧化硫排放量(t/人)	0.012 250		
人均工业烟粉尘排放量(t/人)	0.011 866		
人均工业废水排放量(t/人)	0.010 159		
人均工业化学需氧量排放量(t/人)	0.010 249		
人均工业固体废物产生量(t/人)	0.007 828		
节能环保支出占一般公共预算财政支出比例/%	0.019 984		
生活垃圾无害化处理率/%	0.012 007		
科技		工业固体废物综合利用率/%	0.018 530
		人均水土流失治理面积(hm ² /人)	0.026 255
		规模以上工业企业 R & D 经费内部支出/(万元)	0.056 462
		规模以上工业企业 R & D 人员全时当时量/(人年)	0.048 950
		每万人专利申请受理量/件	0.037 552
		每万人专利申请授权量/件	0.037 263
		教育经费支出占一般公共预算财政支出比例/%	0.019 773

注:R & D 为研究与试验发展。

依据指标数据的可得性、连续性原则,选择黄河流域的 9 个省份作为研究对象,具体为青海,四川,宁夏,甘肃,内蒙古,山西,陕西,河南,山东等 9 省。主要数据来源包括《中国统计年鉴(2008—2018 年)》,青海、四川、宁夏、甘肃、内蒙古、山西、陕西、河南、山东各省的统计年鉴和《中国环境统计年鉴》。其中缺失的部分数据,使用了插值或者线性趋势的方法进行填补缺漏。

2.2 确定评价指标权重

2.2.1 熵值法 熵值法可以对指标体系的权重进行

客观赋值,通过计算指标项的信息量获得指标的信息熵,确定各指标权重。熵值法的具体操作过程如下:

(1) 将原始数据整理成一个矩阵形式:

$$\mathbf{A} = (a_{ij})_{m \times n}$$

(2) 对矩阵 \mathbf{A} ,运用极差法进行标准化处理。采用如下公式:

$$\text{正向指标: } X_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_j)}{\max(a_j) - \min(a_j)} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } X_{ij} = \frac{\max(a_j) - a_{ij}}{\max(a_j) - \min(a_j)} \quad (2)$$

式中: X_{ij} 是代表标准化后的第 i 个评价单元下的第 j 个指标的数据; a_{ij} 是第 i 个评价单元下的第 j 个指标的原始数据。为避免 0 对数据的影响,本文参考其他相关文献后,用 0.000 01 替代标准化矩阵中的 0。

(3) 确定各指标的熵值。

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (3)$$

$$\text{其中, } p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$$

式中: e_j 是各指标的熵值; m 为研究单元的个数。

(4) 确定各指标权重。

$$w_{ij} = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n 1 - e_j} \quad (4)$$

2.2.2 灰色关联分析法和组合权重 假设由灰色关联分析法确定出的权重为 W_2 ,则权重的确定过程包括:

(1) 选取各个指标的最优集为 X_0 ,即 $X_0 = (X_{01}, X_{0j}, \dots, X_{0n})$ 其对应的实际数据为:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{t1} & x_{t2} & \cdots & x_{tn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中: X 表示第 i 个评价单元下的第 j 个指标对应的原始数据 x_{ij} , $i=1,2,3,\dots,t$; $j=1,2,3,\dots,n$ 。

(2) 将最优集和原始数据按公式 $M_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{0j}}$ 标准化得

$$\mathbf{M}_{ij} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & \cdots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \cdots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{t1} & m_{t2} & \cdots & m_{tn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

(3) 经过以上过程对数据进行处理之后,可通过如下公式进行关联系数的计算:

把规范化的序列 $M_0 \subseteq M_0 = (m_{01}, m_{02}, \dots, m_{0n})$

作为参考序列, M_{ij} 作为比较序列, 则其关联系数公式为:

$$\delta_{ij} = \frac{\min \min |M_{0i} - M_{ij}| + \rho \max \max |M_{0i} - M_{ij}|}{|M_{0i} - M_{ij}| + \rho \max \max |M_{0i} - M_{ij}|} \quad (7)$$

式中: λ_{ij} 为关联系数; ρ 为分辨系数, 取值介于 0~1, 一般取 0.5。

则其对应的关联度为:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{ij} \quad (8)$$

式中: δ 为关联度; n 为指标个数。

(4) 由关联度可知其权重为:

$$W_{2j} = \frac{\delta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \delta_{ij}} \quad (9)$$

式中: δ_{ij} 为各指标的关联度。

(5) 用拉格朗日乘数法确定熵权法和灰色关联分析法的组合权重 w_j 。

$$w_j = \frac{\sqrt{w_{1j} \cdot w_{2j}}}{\sum_{j=1}^m \sqrt{w_{1j} \cdot w_{2j}}} \quad (10)$$

式中: w_{1j} 为熵值法确定的权重; w_{2j} 为灰色关联分析法确定的权重。

2.3 综合评价指数测算

(1) 建立资源指数(f_1)、经济指数(f_2)、社会指数

$$C_v = \left[\frac{(f_1 - F)^2 + (f_2 - F)^2 + (f_3 - F)^2 + (f_4 - F)^2 + (f_5 - F)^2}{5} \right]^{\frac{1}{2}} / F \quad (13)$$

式中: F 为可持续发展综合评价指数。

$$C_v = [3 - (8 \times \sum_{i=1, j=1, i \neq j}^{5,5} f_i f_j) / (\sum_{i=1}^5 f_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

$$\text{令 } C_1 = (8 \times \sum_{i=1, j=1, i \neq j}^{5,5} f_i f_j) / (\sum_{i=1}^5 f_i)^2$$

当 C_1 越大时, 变异系数 C_v 越小。正常情况下 $0 \leq C_v \leq 1, 2 \leq C_1 \leq 3$, 以此构建函数模型:

$$C_2 = (8 \times \sum_{i=1, j=1, i \neq j}^{5,5} f_i f_j) / (\sum_{i=1}^5 f_i)^2 - 2 \quad (15)$$

式中: $C_2 \in [0, 1]$, C_2 越大, 则不同系统间的离散程度越小, 表明系统的耦合度越高。为便于计算, 进一步简化为:

$$C_3 = 2 - \frac{5(f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 + f_5^2)}{(f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5)^2} \quad (16)$$

为了使函数值更具有层次性, 系统开发耦合度计算模型如下:

$$C = \sqrt{2 - \frac{5(f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 + f_5^2)}{(f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5)^2}} \quad (17)$$

式中: $C \in [0, 1]$ 。 C 的值越高, 5 个子系统间的离散程度就越小, 耦合度相应的越高, 能更好地表示 5 个

(f_3)、生态环境指数(f_4)、科技指数(f_5)等系统指数测度模型。

$$f_1 = \sum_{a=1}^m w_a x_a, \quad f_2 = \sum_{b=1}^n w_b y_b, \quad f_3 = \sum_{c=1}^s w_c z_c, \\ f_4 = \sum_{d=1}^p w_d u_d, \quad f_5 = \sum_{e=1}^q w_e v_e$$

式中: m, n, s, p, q 为系统内的指标数; w 为各指标对应的权重; x, y, z, u, v 为各指标对应的标准化值。

(2) 通过 5 个系统的指数可以确定可持续发展综合评价指数。

$$F = (f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5) / 5 \quad (11)$$

2.4 耦合度计算

在物理学中, 耦合度, 用来表示不同的系统间相互影响的程度。参考物理学中容量耦合系数理论建

立的多系统耦合度模型, 即 $C = \left[\frac{f_1, f_2, \dots, f_n}{\prod (f_i + f_j)} \right]^{\frac{1}{n}}$,

令 $n=5$, 构建系统耦合度计算模型:

$$C = \left[\frac{f_1 f_2 f_3 f_4 f_5}{(f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5)^5} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (12)$$

式中: f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 分别指得是资源指数、经济指数、社会指数、生态环境指数、科技指数。

为了避免某一系统的评价值为 0 或过小, 造成耦合度结果的误差过大, 参考周振等的研究^[11], 引入变异系数 C_v 。用以对原模型进行改进, 使 5 个系统间的变异系数越小越好:

子系统间的耦合程度。

2.5 耦合协调度计算

耦合度可以表示 5 个子系统间相互影响的大小, 并不能体现出不同系统间的协调程度。而协调度是对不同系统间的协调发展程度进行衡量的依据, 因此, 引入耦合协调度模型:

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (18)$$

$$T = \alpha f_1 + \beta f_2 + \lambda f_3 + \delta f_4 + \theta f_5 \quad (19)$$

式中: C 为耦合度^[12](表 2); T 为综合评价系数; D 为耦合协调度(表 2); f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 为指资源、经济、社会、生态环境与科技各子系统的综合评价价值。 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta$ 为待定系数, $\alpha = \beta = \gamma = \delta = \theta = 0.2$ 。

2.6 GM(1,1)灰色预测法

灰色预测是分析和预测系统不确定影响因素的方法。本文采用的是数列预测, 具体步骤如下:

(1) 设时间序列 $X_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(m)\}$ 有 m 个观测值, 通过累加生成新的序列 $X_1 = \{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(m)\}$, 则相应的微分方程是:

$$\frac{dX_1}{dt} + bX_1 = \epsilon \quad (20)$$

(2) 将 \hat{a} 设置为待估参数向量; $\hat{a} = (\frac{b}{\epsilon})$ 用最小二乘法求解, 得 $\hat{a} = (B^T B - 1) B^T Y_n$, 对微分方程求解, 即可得到预测模型:

$$x_1^T \hat{X}_1(k+1) = \left[x_0(1) - \frac{\epsilon}{b} \right] e^{-bk} + \frac{b}{\epsilon} \quad (21)$$

3 结果与分析

3.1 黄河流域可持续发展评价

根据综合评价模型测算出 2008—2018 年中国黄河流域 9 个省份的可持续发展指数(表 3)。

表 3 2008—2018 年黄河流域 9 个省份可持续发展指数

年份	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	山西	陕西	河南	山东	黄河流域均值
2008	0.286 4	0.191 2	0.166 6	0.169 3	0.277 0	0.180 8	0.209 5	0.162 6	0.286 9	0.214 5
2009	0.304 4	0.214 6	0.179 3	0.194 8	0.300 7	0.192 4	0.228 2	0.184 4	0.310 9	0.234 4
2010	0.290 6	0.236 0	0.195 0	0.206 6	0.321 2	0.210 0	0.253 5	0.199 8	0.347 1	0.251 1
2011	0.306 1	0.252 8	0.213 3	0.213 6	0.333 9	0.224 9	0.282 1	0.223 0	0.414 9	0.273 8
2012	0.343 6	0.288 8	0.227 7	0.226 1	0.360 9	0.243 1	0.317 4	0.250 6	0.422 9	0.297 9
2013	0.338 2	0.299 6	0.249 8	0.246 3	0.386 0	0.255 9	0.337 0	0.265 3	0.456 1	0.314 9
2014	0.352 5	0.314 9	0.262 6	0.278 6	0.398 8	0.253 0	0.350 1	0.273 5	0.465 1	0.327 7
2015	0.356 1	0.341 0	0.275 3	0.292 4	0.417 9	0.262 8	0.384 2	0.304 9	0.493 8	0.347 6
2016	0.371 8	0.355 3	0.296 4	0.319 3	0.439 2	0.276 7	0.405 3	0.329 9	0.510 0	0.367 1
2017	0.398 7	0.382 2	0.312 8	0.348 3	0.445 1	0.290 9	0.414 6	0.360 4	0.525 6	0.386 5
2018	0.439 2	0.408 9	0.333 7	0.370 2	0.471 8	0.309 3	0.423 9	0.390 9	0.544 1	0.410 2

由表 3 可知, 从黄河流域 9 个省份的均值来看, 黄河流域的可持续发展指数整体上呈现稳步上升的趋势。从黄河流域的可持续发展指数的变异系数(图 1)来看, 2008—2011 年, 变异系数有较大波动, 其中 2010 年相对于 2009 年的变异系数有明显的下降, 说明 2010 年相对于 2009 年黄河流域 9 个省份的可持续发展趋势相对稳定, 差异化在减小, 促进了黄河流域可持续发展水平的整体性。从 2011—2018 年, 变异系数在持续下降, 说明黄河流域 9 个省份的可持续发展的差异化程度在不断缩小, 同时, 表明各系统间的协调性在增加, 这让黄河流域的可持续发展水平在整体上保持一致性成为可能。其中山东省的可持续发展综合指数在 2008—2018 年均居于首位, 变化趋势最为稳定, 逐年呈现稳定上升态势。内蒙古、四川、河南、陕西、甘肃和山西省综合指数在 2008—2018 年持年增长。青海综合指数在 2008—2018 年上下波动, 但波动幅度不大, 总体上也是呈现上升趋势。截止到 2018 年山东综合指数达到 0.544 1, 其余 8 个省份也都达到 0.3 以上, 说明中国黄河流域可持续发展状况在逐年不断

表 2 耦合度、耦合协调度等级划分及评价标准

耦合度区间	耦合等级	耦合协调度取值范围	评价等级
0~0.299	低水平耦合	[0.0,0.1)	极度失调
		[0.1,0.2)	严重失调
		[0.2,0.3)	中度失调
0.300~0.499	拮抗	[0.3,0.4)	轻度失调
		[0.4,0.5)	濒临失调
0.500~0.699	磨合	[0.5,0.6)	勉强协调
		[0.6,0.7)	初级协调
0.700~1.000	高水平耦合	[0.7,0.8)	中级协调
		[0.8,0.9)	良好协调
		[0.9,1.0)	优质协调

改善, 但仍有许多问题亟待解决, 如黄河流域的经济发展水平在东西方向上存在巨大差异。

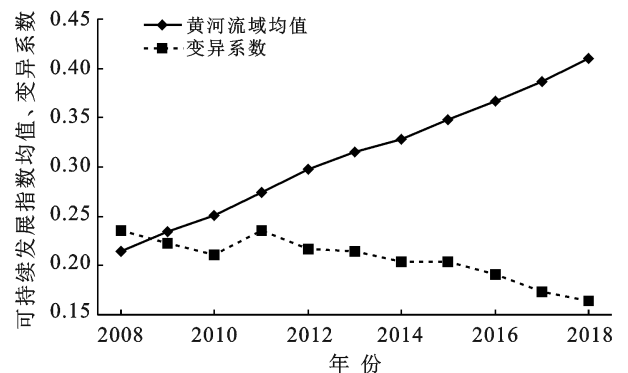


图 1 2008—2018 年黄河流域可持续发展指数及变异系数

由于黄河流域中上游地区的深度贫困人口比重较大, 青海黄河源区域、宁夏西海固地区、甘肃陇东地区等都是中国极其贫困的地区; 黄河流域的社会经济发展对生态环境的依赖性很强, 正面临着资源紧张、环境污染、生态系统退化、上中下游发展不平衡、区域协

同发展机制不完善等难题。黄河流域9个省份需积极转换以资源换发展的错误心态,鼓励大众创新,加快产业转型,形成生态与经济两手抓的良好形势。

3.2 可持续发展系统协调度评价

由耦合协调度模型得出2008—2018年中国黄河流域9个省份可持续发展系统协调指数(表4)。

由表4可知,2008—2018年黄河流域9个省份的系统耦合度整体呈现上升态势;黄河流域9个省份的

系统耦合协调度总体是向好的方向发展,并且存在耦合度大于耦合协调度的情况,说明在未来的协调发展上具有上升的潜力。虽然协调度值比耦合度值低,但是两者均呈现向上的态势。

各省的系统耦合协调度情况见表5。青海、四川、甘肃的耦合协调度的跨度最大(为4个等级),宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东6省(区)的耦合协调度跨度为3个等级。

表4 2008—2018年黄河流域9个省份可持续发展系统耦合度(C)和耦合协调度指数(D)

年份	青海		四川		甘肃		宁夏		内蒙古		山西		陕西		河南		山东	
	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
2008	0.523	0.387	0.664	0.356	0.403	0.259	0.613	0.322	0.771	0.462	0.726	0.362	0.789	0.407	0.620	0.318	0.824	0.486
2009	0.532	0.402	0.731	0.396	0.508	0.302	0.622	0.348	0.778	0.484	0.740	0.377	0.793	0.425	0.706	0.361	0.832	0.509
2010	0.595	0.416	0.812	0.438	0.572	0.334	0.677	0.374	0.823	0.514	0.757	0.399	0.856	0.466	0.780	0.395	0.847	0.542
2011	0.684	0.458	0.853	0.464	0.631	0.367	0.726	0.394	0.845	0.531	0.813	0.428	0.896	0.503	0.833	0.431	0.930	0.621
2012	0.710	0.494	0.902	0.510	0.734	0.409	0.735	0.408	0.858	0.557	0.838	0.451	0.910	0.537	0.846	0.461	0.845	0.598
2013	0.748	0.503	0.910	0.522	0.747	0.432	0.762	0.433	0.873	0.581	0.828	0.460	0.925	0.558	0.852	0.476	0.845	0.621
2014	0.779	0.524	0.921	0.539	0.745	0.442	0.727	0.450	0.871	0.589	0.818	0.455	0.928	0.570	0.870	0.488	0.845	0.627
2015	0.820	0.540	0.917	0.559	0.748	0.454	0.743	0.466	0.877	0.606	0.799	0.458	0.923	0.595	0.861	0.512	0.833	0.641
2016	0.844	0.560	0.925	0.573	0.754	0.473	0.759	0.492	0.877	0.621	0.789	0.467	0.922	0.611	0.859	0.532	0.833	0.652
2017	0.854	0.584	0.931	0.597	0.753	0.485	0.802	0.528	0.873	0.624	0.797	0.481	0.929	0.621	0.859	0.556	0.835	0.663
2018	0.872	0.619	0.935	0.618	0.767	0.506	0.827	0.553	0.882	0.645	0.815	0.502	0.924	0.626	0.860	0.580	0.839	0.676

表5 2008—2018年黄河流域9个省份的耦合协调度(D)及评价等级

省份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
青海	D	0.387	0.402	0.416	0.458	0.494	0.503	0.524	0.540	0.560	0.584	0.619
	评价等级	轻度失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	初级协调
四川	D	0.356	0.396	0.438	0.464	0.510	0.522	0.539	0.559	0.573	0.597	0.618
	评价等级	轻度失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	初级协调
甘肃	D	0.259	0.302	0.334	0.367	0.409	0.432	0.442	0.454	0.473	0.485	0.506
	评价等级	中度失调	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	濒临失调	勉强协调	勉强协调
宁夏	D	0.322	0.348	0.374	0.394	0.408	0.433	0.450	0.466	0.492	0.528	0.553
	评价等级	轻度失调	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	濒临失调	勉强协调	勉强协调
内蒙古	D	0.462	0.484	0.514	0.531	0.557	0.581	0.589	0.606	0.621	0.624	0.645
	评价等级	濒临失调	濒临失调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	初级协调	初级协调	初级协调
山西	D	0.362	0.377	0.399	0.428	0.451	0.460	0.455	0.458	0.467	0.481	0.502
	评价等级	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	濒临失调	濒临失调	勉强协调	勉强协调
陕西	D	0.407	0.425	0.466	0.503	0.537	0.558	0.570	0.595	0.611	0.621	0.626
	评价等级	濒临失调	濒临失调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调
河南	D	0.318	0.361	0.395	0.431	0.461	0.476	0.488	0.512	0.532	0.556	0.580
	评价等级	轻度失调	轻度失调	轻度失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调
山东	D	0.486	0.509	0.542	0.621	0.598	0.621	0.627	0.641	0.652	0.663	0.676
	评价等级	勉强协调	勉强协调	勉强协调	初级协调	初级协调	初级协调	初级协调	初级协调	初级协调	初级协调	初级协调

表5中只有山东省在2011年便率先达到初级协调阶段,是黄河流域9个省份中耦合协调最好的省份,资源、经济、社会、生态环境、科技之间的发展越来越

协调。截止到2018年,有5个省份已经进入初级协调阶段,山东更是其中的佼佼者,这意味着,资源的科学开发、经济的转型、科技的创新以及环保观念的

普及,可以在一定程度上修复生态环境,缓和环境压力。但是仍然有进步的空间。需加速产业转型,寻求更适合各省份独特的发展模式,鼓励创新型产业的出现,实现 5 系统内部协调发展。

耦合度空间分布来看,2008 年,只有甘肃的耦合度处于拮抗阶段,4 个省份的耦合度处于磨合阶段,4 个省份的耦合度处于高水平磨合阶段,但是相应的耦合度数值有差别。其中,耦合度值较高的地区为山东、山西、陕西、内 蒙古省(区)。这些地方的经济发展状况良好,资源禀赋丰裕,科技创新日新月异,同时,各种工业污染物排放相对而言较少,生态环境状况较好。因此,这些省份的耦合度较高。耦合度最低的地区为甘肃省。由此可以发现,低耦合度地区多是经济欠发达地区,对科技创新的重视程度不够,生态状况本就与其他省份有一定的差距,也没有对生态给予足

够的重视,更在生态环境遭到巨大破坏也没有及时修复。2018 年,耦合度发生改善,9 个省份的耦合度都处于高水平磨合阶段,但耦合度数值各省还是存在差距。各省间的经济发展水平与资源禀赋长期处于极其不平衡的状态。因此,必须慎重地对待用资源换经济的发展模式,否则,会继续破坏当地的生态环境,降低环境承载力。同时,工业技术需要进行革新,减少资源的浪费和工业污染对环境的破坏,修复当地已被破坏的环境,鼓励大众创业,万众创新,鼓励发展新兴行业,将科技转化为生产力,以促进经济、社会、资源、环境、科技的绿色、协调、可持续发展。

3.3 耦合协调发展预测

通过使用 Matlab 分析软件,以黄河流域 9 个省份 2008—2018 年 5 大系统耦合协调度为数据,得到 5 大子系统耦合协调未来 7 a 的预测结果(表 6)。

表 6 资源—经济—社会—环境—科技耦合协调发展预测

省 份	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
青 海	0.647 0	0.676 7	0.707 7	0.740 1	0.774 0	0.809 4	0.846 5
四 川	0.657 8	0.687 1	0.717 7	0.749 6	0.783 0	0.817 9	0.854 3
甘 肃	0.548 2	0.576 3	0.605 9	0.637 0	0.669 7	0.704 1	0.740 2
宁 夏	0.577 9	0.607 2	0.638 1	0.670 4	0.704 5	0.740 3	0.777 8
内 蒙 古	0.673 5	0.693 5	0.714 2	0.735 5	0.757 4	0.780 0	0.803 2
山 西	0.514 2	0.527 5	0.541 1	0.555 1	0.569 5	0.584 2	0.599 3
陕 西	0.678 0	0.704 7	0.732 6	0.761 5	0.791 5	0.822 7	0.855 2
河 南	0.615 4	0.645 2	0.676 3	0.709 0	0.743 2	0.779 1	0.816 7
山 东	0.705 6	0.723 8	0.742 5	0.761 6	0.781 3	0.801 5	0.822 1

9 个省份的耦合协调度未来 7 a 的发展均呈上升趋势,其中,青海省的耦合协调度从初级协调迈入良好协调;四川省从初级协调迈入良好协调;甘肃省从勉强协调迈入中级协调;宁夏地区从勉强协调迈入中级协调;内蒙古地区从初级协调迈入良好协调;山西省仍处于勉强协调,但数值有所增加;陕西省从初级协调迈入优质协调;河南省从勉强协调迈入良好协调;山东省从初级协调迈入优质协调。预测结果显示,9 个省份资源、经济、社会、生态环境、科技未来 7 a 内的协调发展情况虽总体上有所改善,但部分省份改善的速度有待进一步提高,达到各省 5 大系统互相促进、协调发展需要较长的时间,这就需要各省在未来,寻找突破限制自身发展因素的方法,实现社会、经济结构调整、生态环境保护、资源发展、科技创新这五者间的协调发展。

4 结 论

构建黄河流域资源、经济、社会、生态环境和科技等 5 个子系统的耦合协调发展评价体系,利用熵权法、灰色关联分析法综合确定各级指标权重,并计算

5 个子系统间的耦合度与耦合协调度,最后,对其未来的耦合协调度使用灰色 GM(1,1)模型进行预测。得到的结论如下。

(1) 黄河流域 9 个省份的可持续发展综合评价指数整体上呈现上升的趋势。其中,山东省的可持续发展综合指数在 2008—2018 年均居于首位,且逐年呈现稳定上升态势。综合看来,9 个省份当中可持续发展水平最高的是山东省,可持续发展水平改善幅度最慢的是山西省。

(2) 2008—2018 年 9 个省份的系统耦合度整体呈现上升趋势。2008 年,只有甘肃省的耦合度处于拮抗阶段,4 个省份的耦合度处于磨合阶段,另外 4 个省份的耦合度处于高水平磨合阶段,2018 年,耦合度发生改善,9 个省份的耦合度都处于高水平磨合阶段,但耦合度数值各省间还是存在差距。

(3) 9 个省份的资源、经济、社会、生态环境、科技耦合协调度未来 7 a 的发展均呈现上升的趋势。

基于上述研究结论,如今在处理黄河流域可持续发展当中的问题时可采用如下措施。

(1) 依托资源优势来发展区域特色产业,以绿色采选技术为支撑,对黄河上游矿产资源进行开发利用;以独特的民族文化和生态景观为侧重点,拓展全区的旅游业;发挥历史文化的优势,形成以文化旅游为核心的现代服务业体系;发展生态旅游和生态农牧业,实现人、工业经济、居住区和自然文化生态的融合。

(2) 要加大信息技术、大数据、人工智能、高科技人才的投入,加快传统产业更新升级和新兴产业的扩张,以新经济的快速增长优化产业结构和就业结构,坚持以生态为优先、绿色发展,且立足于城市的地域特色,重塑各产业新的竞争优势,实现经济的高质量发展,并且减轻黄河流域的生态环境承载压力。

[参 考 文 献]

- [1] 刘家旗,茹少峰.基于生态足迹理论的黄河流域可持续发展研究[J].改革,2020(9):139-148.
- [2] 王慧亮,申言霞,李卓成,等.基于能值理论的黄河流域水资源生态经济系统可持续性评价[J].水资源保护,2020,36(6):12-17.
- [3] 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):49-57,80.
- [4] 宁朝山,李绍东.黄河流域生态保护与经济发展协同度动态评价[J].人民黄河,2020,42(12):1-6.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 葛世帅,曾刚,杨阳,等.黄河经济带生态文明建设与城市化耦合关系及空间特征研究[J].自然资源学报,2021,36(1):87-102.
- [8] 金凤君.黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略[J].改革,2019(11):33-39.
- [9] 左其亭.黄河流域生态保护和高质量发展研究框架[J].人民黄河,2019,41(11):1-6,16.
- [10] 薛黎明,王豪杰,朱兵兵,等.煤炭资源可持续力评价与系统协调发展分析[J].经济地理,2020,40(1):114-124.
- [11] 周振,孔祥智.中国“四化”协调发展格局及其影响因素研究:基于农业现代化视角[J].中国软科学,2015(10):9-26.
- [12] 王雪芹,盛武.区域煤炭产业经济—资源—环境系统耦合协调发展分析[J].煤炭工程,2018,50(10):196-200.
- [13] 鲍学英,李海连,王起才.基于灰色关联分析和主成分分析组合权重的确定方法研究[J].数学的实践与认识,2016,46(9):129-134.
- [14] 钞小静.推进黄河流域高质量发展的机制创新研究[J].人文杂志,2020(01):9-13.
- [15] 关伟,许淑婷,郭岫垚.黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J].资源科学,2020,42(1):150-158.
- [16] Wang Shojian, Ma Haitao, Zhao Yabo. Exploring the relationship between urbanization and the eco-environment: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Ecological Indicators, 2014,45(5):171-183.
- [17] He Jinqing, Wang Shaojian, Liu Yanyan, et al. Examining the relationship between urbanization and the eco-environment using a coupling analysis: Case study of Shanghai, China [J]. Ecological Indicators, 2017,77(1):185-193.
- [18] Li Yangfan, Li Yi, Zhou Yan, et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment [J]. Journal of Environmental Management, 2012,98:127-133.
- [19] Truffer B, Coenen L. Environmental innovation and sustainability transitions in regional studies [J]. Regional Studies, 2012,46(1):1-21.
- [20] 王宾,于法稳.长江经济带城镇化与生态环境的耦合协调及时空格局研究[J].华东经济管理,2019,33(3):58-63.
- [21] 张红武.科学治黄方能保障流域生态保护和高质量发展[J].人民黄河,2020,42(3):148-155.
- [22] 方创琳,崔学刚,梁龙武.城镇化与生态环境耦合圈论及耦合器调控[J].地理学报,2019,74(12):2529-2546.