

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2020.05.004

黄河下游水资源利用与高质量发展关联评估

刘建华^{1,2}, 黄亮朝¹

(1. 郑州大学管理工程学院, 河南 郑州 450001;

2. 郑州大学黄河生态保护与区域协调发展研究院, 河南 郑州 450001)

摘要:在分析黄河下游高质量发展内涵的基础上,从经济发展、开放合作、创新驱动、社会民生、生态环境5个维度构建了高质量发展评价指标体系,测算出黄河下游2010—2017年高质量发展水平,并利用Copulas函数和灰色关联度分析法对黄河下游水资源利用量与高质量发展间的关联程度进行定量评估。结果表明:黄河下游高质量发展水平整体呈现稳定上升趋势,各城市高质量发展水平差异明显;黄河下游用水总量与高质量发展水平之间具有较强的相关关系,高质量发展水平越高的城市,关联程度越强;整体上,工业、生活环境用水量与高质量发展关联度略高于总用水量、农业用水量与高质量发展的关联度。

关键词:黄河下游;水资源利用;高质量发展;Copulas函数;灰色关联度

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2020)05-0024-07

Evaluation of correlation between water resources utilization and high-quality development in the lower reaches of the Yellow River// LIU Jianhua^{1,2}, HUANG Liangchao¹ (1. School of Management Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Yellow River Institute for Ecological Protection & Regional Coordinated Development, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Based on the analysis of the connotation of high-quality development in the lower reaches of the Yellow River, a high-quality development evaluation index system was constructed from five dimensions of economic development, open cooperation, innovation-driven development, social livelihood, and ecological environment to calculate the high-quality development level in the lower reaches of the Yellow River from 2010 to 2017. Copulas function and grey correlation degree analysis method were used to quantitatively evaluate the correlation between water resources utilization and high-quality development in the lower reaches of the Yellow River. The results show that the overall level of high-quality development in the lower reaches of the Yellow River shows a steady upward trend with obvious differences in the level of high-quality development among different cities. Besides, there is a strong correlation between total water consumption and high-quality development level in the lower reaches of the Yellow River and cities with a higher level of high-quality development have a stronger degree of correlation. Overall, the correlation between industrial and living water consumption and high-quality development is slightly higher than that between total water consumption and agricultural water consumption and high-quality development.

Key words: lower reaches of the Yellow River; water resources utilization; high-quality development; Copulas function; grey correlation degree

2019年9月18日,习近平总书记在河南考察期间主持召开了黄河流域生态保护和高质量发展座谈会,提出了黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略^[1]。2020年1月3日,习近平总书记召开中央财经委员会第六次会议再次强调黄河流域生态保护和高质量发展需量水而行、节水为重,以水定

地、以水定产,倒逼产业结构调整,建设现代产业体系^[2]。目前,黄河流域大多数地区处在干旱半干旱状态,而黄河下游地区水少沙多、人口密集,生活用水、农业用水主要依赖黄河,用水矛盾更是突出。截至2017年底,黄河下游沿线城市水资源总量仅有169.02亿m³,而滩区贫困人口达179.04万人。水

基金项目:中国工程院重大咨询项目(2020-ZD-18-5);郑州市科学技术局项目(2019RKXF0029)

作者简介:刘建华(1963—),男,教授,主要从事创新与区域发展战略研究。E-mail: ljh@zzu.edu.cn

资源为经济高质量发展提供支撑,但水资源短缺、人口密度大、脱贫任务艰巨又制约着黄河下游经济发展。因此,探究黄河下游水资源利用与经济高质量发展之间的关联程度,有助于实现黄河下游区域协调发展、巩固脱贫攻坚成果、实施乡村振兴、维护民族团结,继而实现中华民族伟大复兴。

国内外学者对水资源与经济高质量发展的协同作用进行了不同程度的研究。Li 等^[3-4]探究了水资源、人口承载力与经济发展之间的关系;马海良等^[5]评价了各省水资源利用公平性,协调经济发展与水资源利用之间的关系;张吉辉等^[6-8]对水资源与经济发展要素进行时空匹配分析;刘晶等^[9]分析中国 20 年来水资源变化状况,找出其制约经济发展的因素;吴业鹏等^[10-11]通过构建指标体系对水资源与经济协调性进行定量分析。对于黄河流域高质量发展与生态保护方面的研究,相对集中在经济学内涵^[12]、战略支撑体系^[13]、创新驱动^[14]、中心城市^[15]、统筹协调^[16]、综合治理^[17]、经济轴带建设^[18]等方面,而现有的黄河流域水资源如何促进经济高质量发展的研究,大都集中在水权的分配模式^[19-20]、水资源承载力^[21-22]、水资源管理制度^[23]、水资源再生^[24]、水资源调动、节约及泥沙治理^[25-28]、城市化水平测度^[29]、协调推进策略^[30]等方面,鲜有针对黄河流域水资源与高质量发展协调性、关联性的定量研究。

在深入理解习近平总书记提出的“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水方针及在中央财经委员会第六次会议讲话的基础之上,本文选取黄河下游各地市为研究区域,结合黄河下游发展状况,构建了黄河下游高质量发展评价体系;通过熵值法-主成分分析法确定指标权重,计算黄河下游整体及各地市高质量发展水平,定量分析黄河下游高质量发展状况;依据 Copulas 函数测算黄河下游整体高质量发展水平与用水总量之间的关系,根据 Eviews 全样本回归测算黄河下游整体高质量发展水平和农业用水量、工业用水量、生活环境用水量之间的关联程度,通过灰色关联度模型测算黄河下游各地市高质量发展水平与用水总量及各类用水量之间的关联度;最后依据测算结果,从水资源管理利用的角度提出促进黄河下游高质量发展的建议。

1 研究区域选取与研究方法

1.1 研究区域选取与数据来源

从地域上来说,黄河下游从郑州市桃花峪开始划分,但考虑到促进河南省发展的需要,将黄河中游河南省区域的三门峡、洛阳、济源 3 市也列入研究范

围。因此,本文研究区域为黄河下游河南、山东两省共 17 个城市,分别为三门峡、济源、洛阳、焦作、新乡、郑州、开封、濮阳市、菏泽、济宁、聊城、泰安市、济南市、淄博市、滨州市、东营市,如图 1 所示。将黄河下游划分为 17 个分区,对其 2010—2017 年的水资源利用与高质量发展关联程度进行定量评估。各指标数据主要来源于 2011—2018 年《河南省统计年鉴》《河南省水资源公报》《山东省统计年鉴》《山东省水资源公报》《中国城市统计年鉴》、各城市统计年鉴和水资源公报、水资源规划及各城市统计局、环境保护局相关资料。部分缺失年份的数据采用相邻年份均值或插值法填充。

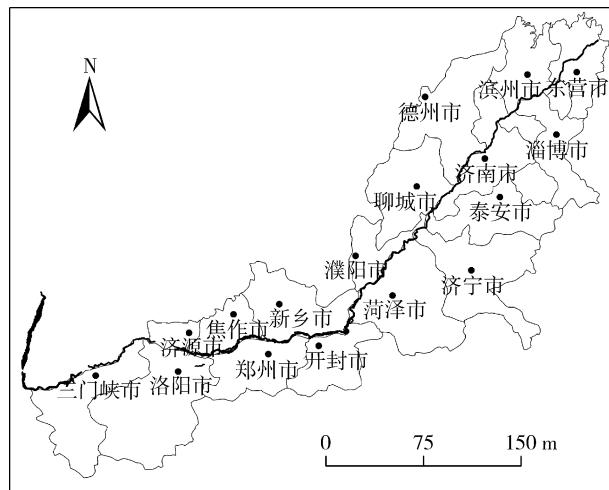


图 1 研究区域
Fig.1 Study area

1.2 研究方法

a. Copulas 函数。Copulas 函数目前被较多地应用于水文水资源领域的研究。在众多 Copulas 函数中阿基米德型 Copulas 函数应用最为广泛^[31],其中的 Frank-Copulas 函数结构简单,可以描述相关对称结构且对相关性的程度没有限制^[32]。因此本研究选择 Frank-Copulas 函数作为连接函数,以构建高质量发展与水资源利用的联合分布与概率分布,其联合分布函数及概率密度分布函数为

$$H(x, y) = C[F(x), G(y)] \quad x, y \in R \quad (1)$$

$$C_{Fr}(u, v; \theta) = -\frac{1}{\theta} \ln \left[1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)}{(e^{-\theta} - 1)} \right] \quad (\theta \in (-\infty, \infty) \setminus \{0\}) \quad (2)$$

$$c_{Fr}(u, v; \theta) = \frac{-\theta(e^{-\theta} - 1)e^{-\theta(u+v)}}{[(e^{-\theta} - 1) + (e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)]^2} \quad (\theta \in (-\infty, \infty) \setminus \{0\}) \quad (3)$$

式中: x, y 为构造 Copulas 函数的随机变量; $F(x)$ 、 $G(y)$ 分别为 x, y 的边缘分布函数; $H(x, y)$ 为 x 的边缘分布和 y 的边缘分布构造出的 Copulas 函数; θ 为二维 Copulas 函数的参数; u, v 为具体的变量,在本

文中分别代表高质量发展和用水总量; $C_{Fr}(u, v; \theta)$ 为该二维 Copulas 函数的联合分布函数; $c_{Fr}(u, v; \theta)$ 为该二维 Copulas 函数的密度函数。

b. 灰色关联度模型。灰色关联度模型利用变量之间的相似或相异程度, 衡量被解释变量与解释变量之间的关联程度^[33]。计算时, 首先确定参考数列, 本研究参考数列为黄河下游各地市高质量发展水平; 其次对变量进行标准化处理; 最后按照式(4)(5)计算各城市的关联度系数及其 2010—2017 年的平均值。

$$\zeta_{ik} = \frac{\min_i \min_k |x_{0k} - x_{ik}| + \rho \max_i \max_k |x_{0k} - x_{ik}|}{|x_{0k} - x_{ik}| + \rho \max_i \max_k |x_{0k} - x_{ik}|} \quad (4)$$

$$R_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \zeta_{ik} \quad (5)$$

式中: k 为时间; i 为城市; x_{0k} 为被解释变量; x_{ik} 为各解释变量; ζ_{ik} 为各年份各地区的关联度系数; ρ 为分辨系数, 本研究中取 0.5; N 为年份跨度, 本文取 8; R_i 为 2010—2017 年各地区关联度平均值。

2 黄河下游高质量发展测算

2.1 黄河下游高质量发展指标体系构建

高质量发展涉及发展速度和质量、生态环境保护、创新驱动、对外开放、改善民生等多方面因素, 因此需要构建一个全面、多元化、高信度的指标体系。本文在其他学者研究的基础上, 综合考虑黄河下游水资源缺乏、环境污染严重、创新水平低、脱贫攻坚任务重、开放程度低、发展质量有待提高等发展状况, 遵循客观性、科学性、全面性、可操作性、实际性、可比性等原则, 从经济发展、开放合作、创新驱动、社会民生、生态环境 5 个维度构建了黄河下游高质量发展评价指标体系: ①高质量发展不仅要体现发展速度, 更要体现发展质量。黄河下游是我国重要的经济地带及粮食能源产地, 大力发展第三产业, 尤其是高端服务业, 可以促进经济结构优化及经济结构稳定。以人均 GDP 反映经济发展程度、人均固定资产投资额反映经济发展动力、人均财政收入反映政府干预程度、第三产业贡献率反映经济结构、经济波动率反映经济稳定性。②黄河下游对外开放程度较低, 只有积极融入“一带一路”, 发挥郑欧班列和东部沿海港口优势, 提高对外开放水平, 才能激发市场活力, 促进黄河下游高质量发展。以对外贸易依存度反映当地对国际市场的依赖程度, 外商直接投资依存度反映国民经济依赖于外商直接投资的程度, 人均贸易差额则用来反映地区对外贸易收支情况。③创新是实现高质量发展的第一动力。创新驱

动包括创新投入和创新产出, 创新投入的增加有助于黄河下游各城市提升自主创新能力, 创新产出及成果转化反向促进经济的发展。以研发强度和万人从业人员中 R&D 人员数衡量创新投入水平; 创新产出水平则用万人发明专利授权量来衡量。④黄河下游贫困人口较多, 是打赢脱贫攻坚战的重要区域。积极促进社会公平, 对维护社会稳定和经济高质量发展有重要意义。城镇化率用于衡量社会人口结构; 每万人拥有在校大学生用于衡量社会人口素质; 恩格尔系数指食品消费支出占总支出的比例, 用来衡量一个国家或者一个地区的生活质量; 城镇居民登记失业率用于反映生活条件。⑤黄河下游是我国重要的生态屏障, 水资源缺乏和环境污染制约经济高质量发展。以万元 GDP 能耗、万元工业增加值二氧化硫排放量来衡量黄河下游环境污染情况; 城市建成区绿化覆盖率、城市污水处理率衡量生态环境治理状况。具体评价指标体系如表 1 所示。对于指标的方向性, 需同时考虑研究区域的实际情况及指标的特性。城镇化率、对外贸易依存度、外商直接投资依存度等指标理论上应为双向指标, 但考虑到河南、山东两省是人口大省, 出口能力较弱, 本文将其看作单向指标。

表 1 黄河下游高质量发展评价指标体系
Table 1 Evaluation index system for high-quality development in the lower reaches of Yellow River

一级指标	二级指标	单位	方向
经济发展	人均 GDP	元	正向
	人均固定资产投资额	元	正向
	人均财政收入	元	正向
	第三产业贡献率	%	正向
	经济波动率	%	逆向
开放合作	对外贸易依存度	%	正向
	外商直接投资依存度	%	正向
	人均贸易差额	元	逆向
创新驱动	研发强度	%	正向
	万人从业人员中 R&D 人员数	人	正向
	万人发明专利授权量	个	正向
	城镇化率	%	正向
社会民生	每万人拥有在校大学生	人	正向
	恩格尔系数	%	逆向
	城镇登记失业率	%	逆向
生态环境	万元 GDP 能耗	MJ	逆向
	万元工业增加值二氧化硫排放量	kg	逆向
	城市建成区绿化覆盖率	%	正向
	城市污水处理率	%	正向

2.2 数据处理

由于选取的指标单位不同, 需要对其进行标准化处理, 考虑到利用 SPSS 进行标准化处理之后的权重可能为负数, 本文采用极差法进行标准化处理。正向指标采用式(6)、负向指标采用式(7)进行标准

化处理。

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \tag{6}$$

$$X'_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \tag{7}$$

式中： X_{ij} 为第 i 个指标、第 j 个分区所对应的原始数据； $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为对应的每项指标里的最大值和最小值； X'_{ij} 为标准化之后第 i 个指标、第 j 个分区所对应的数据。

有关经济高质量发展评价权重的确定,在学术界已经有了很多研究。目前常见的有熵值法、层次分析法、模糊综合评价法、变异系数法、主成分分析法、专家打分法等多种评价方法,还有学者结合多种方法进行赋权。为了更好地减小误差,本文采用熵值法-主成分分析法来确定评价指标的权重。首先分别采用熵值法和主成分分析法来确定各个指标的权重,然后用两种方法得出权重的算数平均值来确定最终权重,结果见表 2。

表 2 黄河下游高质量发展指标权重

Table 2 Index weight for high-quality development in the lower reaches of Yellow River

二级指标	权重		
	熵值法	主成分分析法	综合
人均 GDP	0.054	0.067	0.061
人均固定资产投资额	0.051	0.060	0.056
人均财政收入	0.069	0.073	0.071
第三产业贡献率	0.031	0.050	0.041
经济波动率	0.007	0.016	0.012
对外贸易依存度	0.121	0.091	0.106
外商直接投资依存度	0.096	0.076	0.086
人均贸易差额	0.007	0.009	0.008
研发强度	0.033	0.035	0.034
万人从业人员中 R&D 人员数	0.058	0.068	0.063
万人发明专利授权量	0.205	0.135	0.170
城镇化率	0.012	0.040	0.026
每万人拥有在校大学生	0.188	0.125	0.157
恩格尔系数	0.003	0.035	0.019
城镇登记失业率	0.037	0.051	0.044
万元 GDP 能耗	0.012	0.038	0.025
万元工业增加值二氧化硫排放量	0.004	0.006	0.005
城市建成区绿化覆盖率	0.010	0.019	0.014
城市污水处理率	0.002	0.006	0.004

2.3 测算结果

基于上述方法,测算 2010—2017 年黄河下游 17 个城市高质量发展水平,得到黄河下游整体高质量发展水平 2010—2017 年各年平均值分别为 0.219、0.253、0.279、0.299、0.313、0.337、0.353、0.367。可以看出,2010—2017 年高质量发展水平整体呈现上升趋势,上升幅度稳定,从 2010 年的

0.219 增加到 2017 年的 0.367。但整体来说高质量发展水平不高,这与黄河下游滩区人口密度大、水资源缺乏、贫困和相对贫困人口多的实际情况是比较符合的。利用 2011 年、2013 年、2015 年、2017 年各城市高质量发展水平数据,按照 2017 年高质量发展水平降序排列,作雷达图展示黄河各个地级市的高质量发展水平状况,如图 2 所示。从图 2 可以看出,各城市高质量发展水平差异较为明显,郑州、济南高质量发展水平处在前三名,远远领先于其他城市。17 个城市 2010—2017 年高质量发展平均得分为 0.302,其中郑州、济南、东营、淄博、洛阳、济源、滨州 7 市的得分高于平均值,其余 10 市得分低于平均值。

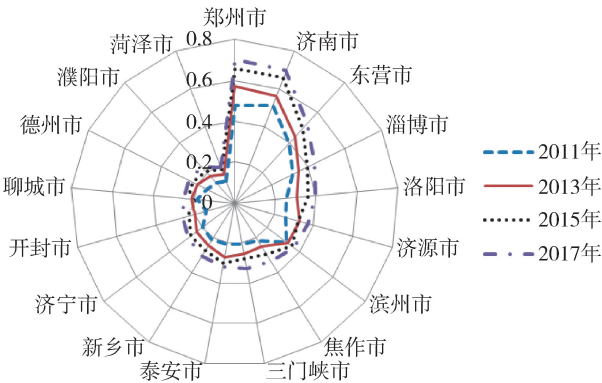


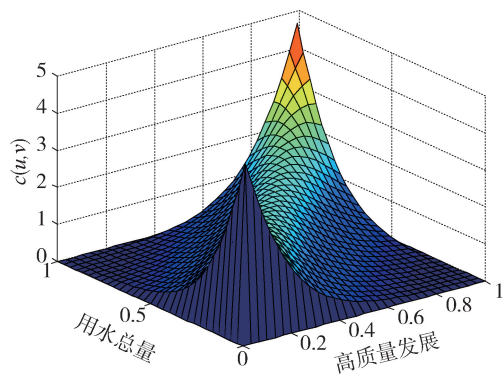
图 2 黄河下游各地区高质量发展雷达图

Fig. 2 High-quality development radar maps in cities along the lower reaches of Yellow River

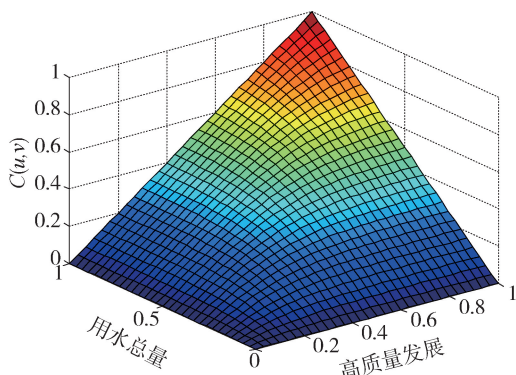
3 水资源利用与高质量发展关联评估

a. 黄河下游总体分析。采用 Copulas 函数,黄河下游 2010—2017 年的平均高质量发展水平和平均用水总量作为随机变量 x 和 y ,利用 Matlab 做出 Frank-Copulas 函数概率密度函数图及联合分布函数图,如图 3 所示。由图 3 可以看出,在所构造的联合分布中,经检验知 p 值为 0.052,二者具有显著的相关性;且其密度函数上下尾呈对称结构,表明该联合分布能够敏感地识别出高质量发展和用水总量的改变,并能对特征变量的改变迅速作出反应;运用高质量发展和用水总量的联合分布计算其 Kendall 秩相关系数为 0.56, Spearman 秩相关系数为 0.73,两种检验系数均大于 0.5,这表明高质量发展和用水总量之间存在相关性的结论是成立的。因此,黄河下游用水总量能对高质量发展的变化产生即刻反应,高质量的发展必然会引起用水总量的增加,二者具有较强的相关关系。

为进一步探究黄河下游高质量发展水平与水资源利用间的关联程度,采用 Eviews 全样本回归方法,



(a) 概率密度函数



(b) 联合分布函数

图3 用水总量与高质量发展概率密度函数与联合分布函数

Fig. 3 Total water usage and high-quality development density function graph and distribution function graph

依据式(8)~(11)分别对黄河下游高质量发展水平与农业用水量、工业用水量、生活环境用水量进行空间计量多元回归分析,全样本回归结果见式(12)~(15)。

$$\ln H_{it1} = \varepsilon_{it} + \beta_1 \ln A_{it} + \beta_2 \ln I_{it} + \beta_3 \ln D_{it} \quad (8)$$

$$\ln H_{it2} = \varepsilon_{it} + \beta_1 \ln A_{it}^2 + \beta_2 \ln I_{it} + \beta_3 \ln D_{it} \quad (9)$$

$$\ln H_{it3} = \varepsilon_{it} + \beta_1 \ln A_{it} + \beta_2 \ln I_{it}^2 + \beta_3 \ln D_{it} \quad (10)$$

$$\ln H_{it4} = \varepsilon_{it} + \beta_1 \ln A_{it} + \beta_2 \ln I_{it} + \beta_3 \ln D_{it}^2 \quad (11)$$

$$\ln H_{it5} = 0.33 - 0.23 \ln A_{it} - 0.19 \ln I_{it} + 0.58 \ln D_{it} \quad (12)$$

$$\ln H_{it6} = 0.30 - 0.24 \ln A_{it}^2 - 0.20 \ln I_{it} + 0.56 \ln D_{it} \quad (13)$$

$$\ln H_{it7} = 0.31 - 0.23 \ln A_{it} - 0.19 \ln I_{it}^2 + 0.56 \ln D_{it} \quad (14)$$

$$\ln H_{it8} = 0.37 - 0.30 \ln A_{it} - 0.23 \ln I_{it} + 0.65 \ln D_{it}^2 \quad (15)$$

式中: H_{ij} 为被解释变量 j 高质量发展水平; i 为城市; t 为年份; A_{it} 、 I_{it} 、 D_{it} 分别为农业用水量、工业用水量、生活环境用水量; ε_{it} 为常数项。

由式(12)可以看出,黄河下游总体农业用水量、工业用水量对高质量发展水平具有负向影响,生活环境用水量对高质量发展水平具有相对较高的正

向影响。由式(13)~(15)可以证实,随着农业用水量或工业用水量增加,会降低生活环境用水量对高质量发展的影响程度,其自身影响程度并未好转;而生活环境用水量的增加会显著地增大其自身对高质量发展水平的正向影响程度,但同时也会使农业用水量、工业用水量的负向影响程度略有提高。分析具体数据可知,2010—2017年,黄河下游地区用水总量下降了3.7亿 m^3 ,其中农业用水量下降了17.4亿 m^3 ,工业用水量下降了2.5亿 m^3 ,生活环境用水量上升了16.3亿 m^3 。近年来虽然黄河下游农业用水量、工业用水量减少,但是粮食产量增加了1855.9万t、工业产值增加了8867.87亿元,说明农业灌溉用水效率、工业生产用水效率均得到提高。但2010—2017年城镇化率提升了17.06%,平均人口自然增长率增加了2.04%,常住人口增加了312.2万人,同时降水量减少175亿 m^3 ,导致生活环境用水的持续增加。

b. 黄河下游各城市分析。由于年份跨度较短,大部分城市利用Eviews变系数模型回归结果不显著,因此本文利用灰色关联度模型对各地市农业、工业、生活环境的用水量与高质量发展水平的关联度进行测算。依然按照2017年高质量发展水平降序排列,结果见表3。灰色关联度越大,两者相关关系越强,本文将大于0.65的数值定义为强关联。从表3可以看出,各地市用水总量与高质量发展之间的关联程度大小与该城市高质量发展水平趋势基本一致,充分说明了城市高质量发展水平越高,与用水量之间的关系越密切。

表3 黄河下游各城市高质量发展与各用水量的关联度

Table 3 Correlation between high-quality development and water consumption in cities along the lower reaches of Yellow River

城市	农业用水量	工业用水量	生活环境用水量	用水总量
郑州	0.44	0.71	0.67	0.79
济南	0.68	0.45	0.67	0.80
东营	0.77	0.56	0.57	0.78
淄博	0.63	0.86	0.40	0.80
洛阳	0.77	0.44	0.96	0.63
济源	0.74	0.73	0.74	0.73
滨州	0.61	0.68	0.82	0.65
焦作	0.78	0.61	0.67	0.52
三门峡	0.45	0.77	0.51	0.57
泰安	0.74	0.42	0.82	0.46
新乡	0.43	0.80	0.89	0.37
济宁	0.38	0.94	0.95	0.37
开封	0.48	0.84	0.82	0.39
聊城	0.38	0.92	0.83	0.38
德州	0.39	0.88	0.88	0.41
濮阳	0.52	0.68	0.87	0.44
菏泽	0.37	0.94	0.85	0.37

黄河下游是我国重要的粮食生产区,除郑州、洛阳、三门峡3个城市外,其余城市的农业用水量都显著高于工业用水量和生活环境用水量。大多数城市农业用水量与高质量发展水平关联程度低,一方面说明了黄河下游大部分地区第一产业占比偏大,另一方面反映了这些城市随着高质量发展,农业灌溉节水效率在逐渐提高,致使农业用水量随着高质量发展水平的提高而逐渐降低。工业用水量与高质量发展水平之间仅有5座城市不具有强关联,生活环境用水量与高质量发展水平之间仅有3座城市不具有强关联,可以看出大多数城市的工业与生活环境的用水量和该城市的高质量发展水平的方向、大小、速度一致性相对较高,特别是高质量发展水平较为落后的几座城市,工业、生活环境的用水量与高质量发展的关联度极高,而农业用水量与高质量发展关联度极低。一方面说明了这些城市第一产业占比较高,在高质量发展过程中缺乏对工业及生活环境用水效率的关注及提升,另一方面也证实了工业和生活环境的发展与改善能促进城市高质量发展。因而加快工业化进程、促进产业转型升级,加强环境保护、提升城镇化率是发展方向。

4 结论与建议

4.1 结论

a. 黄河下游2010—2017年高质量发展水平整体呈现稳定上升趋势,但各个地市高质量发展水平差异较为明显。

b. 黄河下游用水总量与高质量发展水平之间具有较强的相关关系。用水总量能对高质量发展的变化产生即刻反应,高质量发展必然会引起用水总量的增加;黄河下游农业用水量、工业用水量若持续增大,会对整体高质量发展产生负面影响,城市生活用水与生态用水的增加有助于实现高质量发展;黄河下游整体上工业用水量、生活环境用水量与高质量发展的关联度略高于总用水量、农业用水量与高质量发展的关联度。

c. 黄河下游高质量发展水平越高的城市,用水总量与高质量发展之间的关联程度越强;各地市高质量发展与各类用水量的关联程度有明显分化,具体为高质量发展水平较低的城市注重农业发展,高质量发展水平较高的城市注重工业及生活环境的发展。

4.2 建议

a. 黄河下游农业用水量最大,应大力发展现代农业、节水农业,加快农田水利设施建设,促进农业结构调整,进行有效节水灌溉。工业用水和生活环

境用水对高质量发展促进作用明显,因此,应加快传统产业绿色智能化转型,逐步建立黄河下游现代产业体系。坚持以水定城、以水定地、以水定人、以水定产,把水资源作为最大的刚性约束,合理规划人口、城市和产业发展。

b. 以郑州、济南为中心城市打造节水型城市引领高地,以生态保护优先,推进节约用水,促进跨河发展。各市在加强水资源管理与利用、工农业发展、基础设施等方面合作的基础上,贯彻“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水方针,根据各自高质量发展与各类用水量关联程度,制定合适的调整方案,缩小各地发展差距。

c. 完善落实水资源管理及考核制度,全面实行河长制,保护黄河水的可持续利用。统筹规划,合理进行水资源供给,全面抑制不合理用水需求。同时,根据不同地区的水资源状况,因地制宜,制定合理的经济社会发展方案,减少水污染;促进水资源循环利用,强化节水意识,走生态优先、绿色发展之路。

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]. 求是, 2019(20): 4-11. (XI Jinping. Speech at the symposium on ecological protection and high quality development in the Yellow River Basin[J]. Qiushi, 2019(20): 4-11. (in Chinese))
- [2] 新华网. 习近平主持召开中央财经委员会第六次会议[EB/OL]. (2020-01-03) [2020-01-05]. http://www.xinhuanet.com/2020-01/03/c_1125420604.htm.
- [3] LI Huan, HUANG Xianjin, JIN Yuze, et al. Population carrying capacity of water resources in the Yangtze River Economic Belt[J]. Economic Geography, 2017, 37(1): 181-186.
- [4] 程超, 童绍玉, 彭海英, 等. 滇中城市群水资源生态承载力的平衡性研究[J]. 资源科学, 2016, 38(8): 1561-1571. (CHENG Chao, TONG Shaoyu, PENG Haiying, et al. Ecological carrying capacity of water resources in the central Yunnan urban agglomeration area[J]. Resources Science, 2016, 38(8): 1561-1571. (in Chinese))
- [5] 马海良, 王若梅, 訾永成. 中国省际水资源利用的公平性研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(12): 70-77. (MA Hailiang, WANG Ruomei, ZI Yongcheng. Fairness analysis of the difference of Chinese provincial water use [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(12): 70-77. (in Chinese))
- [6] 张吉辉, 李健, 唐燕. 中国水资源与经济发展要素的时空匹配分析[J]. 资源科学, 2012, 34(8): 1546-1555. (ZHANG Jihui, LI Jian, TANG Yan. Analysis of the spatio-temporal matching of water resource and economic

- development factors in China [J]. Resources Science, 2012, 34(8): 1546-1555. (in Chinese))
- [7] 郝林钢,左其亭,刘建华,等. “一带一路”中亚区水资源利用与经济社会发展匹配度分析[J]. 水资源保护, 2018, 34(4): 42-48. (HAO Lingang, ZUO Qiting, LIU Jianhua, et al. Analysis of matching degree between water resource utilization and economic-social development in Central Asia area[J]. Water Resources Protection, 2018, 34(4): 42-48. (in Chinese))
- [8] 左其亭,赵衡,马军霞,等. 水资源利用与经济社会发展匹配度计算方法及应用[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(6): 1-6. (ZUO Qiting, ZHAO Heng, MA Junxia, et al. A calculation method and its application on the matching degree of the water resources utilization and socioeconomic development[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(6): 1-6. (in Chinese))
- [9] 刘晶,鲍振鑫,刘翠善,等. 近 20 年中国水资源及用水量变化规律与成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(4): 31-41. (LIU Jing, BAO Zhenxin, LIU Cuishan, et al. Change law and cause analysis of water resources and water consumption in China in past 20 years[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(4): 31-41. (in Chinese))
- [10] 吴业鹏,袁汝华. 丝绸之路经济带背景下新疆水资源与经济社会协调性评价[J]. 水资源保护, 2016, 32(4): 60-66. (WU Yepeng, YUAN Ruhua. Evaluation of coordination between water resources and economic and social development in Xinjiang in context of Silk Road Economic Belt[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(4): 60-66. (in Chinese))
- [11] JUN M A, ZHENG C Y. Application of SEDEA to evaluation of degree of harmony, between water resources and economic development [J]. Water Science and Engineering, 2011, 4(1): 110-120.
- [12] 金碚. 关于“高质量发展”的经济学研究[J]. 中国工业经济, 2018(4): 5-18. (JIN Bei. Study on the “High-Quality Development” economics [J]. China Industrial Economy, 2018(4): 5-18. (in Chinese))
- [13] 任保平,张倩. 黄河流域高质量发展的战略设计及其支撑体系构建[J]. 改革, 2019(10): 26-34. (REN Baoping, ZHANG Qian. The strategic design and supporting system construction of high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2019(10): 26-34. (in Chinese))
- [14] 刘建华,窦明,李金铠,等. 生态保护与协同创新 助推黄河流域高质量发展[N]. 河南日报, 2019-10-29(6).
- [15] 王海江,苗长虹,乔旭宁. 黄河经济带中心城市服务能力的空间格局[J]. 经济地理, 2017, 37(7): 33-39. (WANG Haijiang, MIAO Changhong, QIAO Xuning. Central cities external service capabilities spatial distribution of Yellow River Economic Belt[J]. Economic Geography, 2017, 37(7): 33-39. (in Chinese))
- [16] 陈晓东,金碚. 黄河流域高质量发展的着力点[J]. 改革, 2019(11): 25-32. (CHEN Xiaodong, JIN Bei. Coordinated promotion strategy of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2019(11): 25-32. (in Chinese))
- [17] 陆大道,孙东琪. 黄河流域的综合治理与可持续发展[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2431-2436. (LU Dadao, SUN Dongqi. Development and management tasks of the Yellow River Basin: a preliminary understanding and suggestion[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(12): 2431-2436. (in Chinese))
- [18] 刘战国,陈中武,刘建华. 构建黄河生态经济轴带 放大国家战略叠加效应[N]. 河南日报, 2019-11-15(14).
- [19] 胡继连,葛颜祥. 黄河水资源的分配模式与协调机制: 兼论黄河水权市场的建设与管理[J]. 管理世界, 2004(8): 43-52. (HU Jilian, GE Yanxiang. Water resources allocation model and coordination mechanism of the Yellow River: concurrently discussing the construction and management of the Yellow River water right market[J]. Management World, 2004(8): 43-52. (in Chinese))
- [20] 王军权. 黄河流域水权配置问题的政治经济学分析[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
- [21] 张丽洁,康艳,栗晓玲. 基于正态云模型的黄河流域水资源承载力评价[J]. 节水灌溉, 2019(1): 76-83. (ZHANG Lijie, KANG Yan, SU Xiaoling. Water resources carrying capacity evaluation of Yellow River Basin based on normal cloud model[J]. Water Saving Irrigation, 2019(1): 76-83. (in Chinese))
- [22] 张宁宁,栗晓玲,周云哲,等. 黄河流域水资源承载力评价[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1759-1770. (ZHANG Ningning, SU Xiaoling, ZHOU Yunzhe, et al. Water resources carrying capacity evaluation of the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(8): 1759-1770. (in Chinese))
- [23] 苏茂林. 黄河水资源管理制度建设与流域经济社会的可持续发展[J]. 人民黄河, 2015, 37(11): 1-3. (SU Maolin. Water resources management system construction and sustainable socioeconomic development of the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2015, 37(11): 1-3. (in Chinese))
- [24] 余灏哲,韩美. 黄河三角洲水资源可再生性综合评价研究[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(2): 162-168. (YU Haozhe, HAN Mei. Comprehensive evaluation for water resources renewability of Yellow River Delta[J]. Areal Research and Development, 2017, 36(2): 162-168. (in Chinese))
- [25] CAI X, ROSEGRANT M W. Optional water development strategies for the Yellow River Basin: balancing agricultural and ecological water demands [J]. Water Resources Research, 2004, 40(8): 42-51.

(下转第 42 页)

节水力度,推动用水方式从粗放向节约集约转变。

参考文献:

- [1] 倪晋仁,金玲,赵业安,等.黄河下游河流最小生态环境需水量初步研究[J].水利学报,2002,33(10):1-7. (NI Jinren, JIN Ling, ZHAO Yean, et al. Minimum water demand for ecosystem protection in the Lower Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 33(10):1-7. (in Chinese))
- [2] 王东升,袁树堂,杨祺.金沙江流域云南片水文极小值演变及生态基流保障分析[J].水资源保护,2019,35(4):35-41. (WANG Dongsheng, YUAN Shutang, YANG Qi. Analysis of hydrological minimum evolution and ecological base flow guarantee in Yunnan area of Jinshajiang River Basin, China[J]. Water Resources Protection, 2019, 35(4):35-41. (in Chinese))
- [3] 郝伏勤,连煜,黄锦辉,等.黄河干流污染自净稀释水量研究[J].人民黄河,2005,27(11):39-41. (HAO Fuqin, LIAN Yu, HUANG Jinhui, et al. Study on self-purification dilution water for contamination of the Main Yellow River[J]. Yellow River, 2005, 27(11):39-41. (in Chinese))
- [4] 黄锦辉,王瑞玲,葛雷,等.黄河干支流重要河段功能性不断流指标研究[M].郑州:黄河水利出版社,2016:218-252.
- [5] 张建军,马秀梅,黄锦辉,等.黄河自净需水量研究[J].水利学报,2010,41(8):977-983. (ZHANG Jianjun, MA Xiumei, HUANG Jinhui, et al. Study on self-purification water requirements for the Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(8):977-983. (in Chinese))

- [6] 韩艳利,姜广艳,葛雷,等.黄河流域与水有关生态补偿框架的探讨[J].水资源保护,2016,32(6):142-150. (HAN Yanli, LOU Guangyan, GE Lei, et al. Discussion of water-related ecological compensation framework for Yellow River Basin. Water Resources Protection [J], 2016, 32(6):142-150. (in Chinese))
- [7] 李勋贵,王晓磊,苏贤保.黄河上游河道一维河道水温模型和经验公式法对比[J].水资源保护,2019,35(4):24-29(48). (LI Xungui, WANG Xiaolei, SU Xianbao. Comparison of one-dimensional river water temperature model and empirical formula method in upper reaches of Yellow River[J]. Water Resources Protection, 2019, 35(4):24-29(48). (in Chinese))
- [8] 王卫光,陆文君,邢万秋,等.黄河流域 Budyko 方程参数 n 演变规律及其归因研究[J].水资源保护,2018,34(2):7-13. (WANG Weiguang, LU Wenjun, XING Wanqiu, et al. Analysis of change and attribution of Budyko equation parameter n in Yellow River[J]. Water Resources Protection, 2018, 34(2):7-13. (in Chinese))
- [9] 刘晓燕,连煜,黄锦辉,等.黄河环境流研究[J].科技导报,2008,26(17):24-30. (LIU Xiaoyan, LIAN Yu, HUANG Jinhui, et al. Environmental Flows of the Yellow River[J]. Review Science & Technology, 2008, 26(17):24-30. (in Chinese))
- [10] 黄河水资源保护科学研究院.伊洛河流域综合规划环境影响报告书[R].郑州:黄河水资源保护科学研究院,2014年.

(收稿日期:2019-10-29 编辑:彭桃英)

(上接第30页)

- [26] 金文婷,王义民,白涛,等.黄河上游梯级水库联合调水调沙及合理库容研究[J].水利水运工程学报,2018(6):19-29. (JIN Wenting, WANG Yimin, BAI Tao, et al. Analysis of joint regulation of water and sediment and reasonable storage of cascade reservoirs of upper Yellow River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(6):19-29. (in Chinese))
- [27] 黎铭,张会兰,孟铨铨.黄河皇甫川流域水沙关系特性及关键驱动因素[J].水利水电科技进展,2019,39(5):27-35. (LI Ming, ZHANG Huilan, MENG Chengcheng. Study on characteristics of water-sediment relationship and key influencing factors in Huangfuchuan Watershed of Yellow River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2019, 39(5):27-35. (in Chinese))
- [28] 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. (ZUO Qiting. Research framework for ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2019, 41(11):1-6. (in Chinese))
- [29] 徐祥功,任丽军,刘明,等.黄河三角洲地区城市化测度与水环境系统耦合关系[J].水资源保护,2015,31

- (3):33-39. (XU Xianggong, REN Lijun, LIU Ming, et al. Coupling relationship between urbanization and water environment in Yellow River Delta[J]. Water Resources Protection, 2015, 31(3):33-39. (in Chinese))
- [30] 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. (JIN Fengjun. Coordinated promotion strategy of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2019(11):33-39. (in Chinese))
- [31] 栗晓玲,梁箴.关中地区气象水文综合干旱指数及干旱时空特征[J].水资源保护,2019,35(4):17-23. (SU Xiaoling, LIANG Zheng. Meteorology-hydrology drought index and spatial and temporal characteristics of drought in Guanzhong area[J]. Water Resources Protection, 2019, 35(4):17-23. (in Chinese))
- [32] 陈璐. Copula 函数理论在多变量水文分析计算中的应用研究[M].武汉:武汉大学出版社,2013.
- [33] 罗党,刘思峰.灰色关联决策方法研究[J].中国管理科学,2005,13(1):101-106. (LUO Dang, LIU Sifeng. Study on the method for grey incidence decision-making[J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(1):101-106. (in Chinese))

(收稿日期:2020-01-13 编辑:王芳)