

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbddqk.2021.0052

郭佳航,田进宽,左其亭,等. 沙颍河流域水资源利用量与经济发展匹配特征分析[J]. 南水北调与水利科技(中英文),2021,19(3):487-495. GUO J H, TIAN J K, ZUO Q T, et al. The matching characteristics of the water resources utilization and economic development in the Shaying River basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(3): 487-495. (in Chinese)

# 沙颍河流域水资源利用量与经济发展匹配特征分析

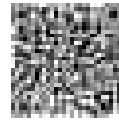
郭佳航<sup>1,2</sup>, 田进宽<sup>3</sup>, 左其亭<sup>1,2</sup>, 魏钰洁<sup>3</sup>

(1. 郑州大学水利科学与工程学院, 郑州 450001; 2. 郑州市水资源与水环境重点实验室, 郑州 450001;  
3. 河南省沙颍河流域管理局, 河南 漯河 462000)

**摘要:**根据沙颍河流域河南段情况确定各地市水资源可利用量,基于数列的匹配度计算方法,对流域内10个地市2014—2018年水资源利用量与经济发展关系进行研究,分析各地市用水量、水资源可利用量与GDP关联程度。结果表明:由于气候条件等因素差异,水资源可利用量差距较大,其中漯河市和周口市单位面积水资源可利用量较多;在研究年限内,各地市水资源可利用量与用水量匹配情况差异较大;在时间维度上,各地市用水量与GDP匹配程度较好,而在空间维度上,开封市匹配情况最差,漯河等城市较好;各地市水资源可利用量与GDP匹配情况存在明显的时空差异。

**关键词:**水资源;匹配度;水资源可利用量;时空匹配;沙颍河流域

中图分类号:TV213 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



我国水资源时空分配不均,人均水资源可利用量少,水资源短缺已成为约束城市发展的主要问题之一<sup>[1-2]</sup>。因此,研究水资源可利用量与用水量之间的关系,探讨水资源利用量与经济发展的匹配程度,对了解地区用水状况,提高水资源利用效率,推进城市可持续发展具有重要意义。

水资源可利用量是指一个地区在考虑生活、生产等方面用水的前提下一次获取的最大水量<sup>[3]</sup>。近些年来,水资源可利用量计算方法不断改进,应用领域较广,成为衡量水资源可持续发展程度的重要指标之一。但是目前关于水资源可利用量的研究多集中于研究水资源可利用量变化趋势及计算方法<sup>[4-6]</sup>,或将水资源可利用量作为评价指标对水资源承载力或水资源安全进行评价<sup>[7-9]</sup>。另一方面,关于经济发展与水资源关联关系的研究也多集中于用水量分析<sup>[10-12]</sup>;韩雁等<sup>[13]</sup>利用洛伦兹系数和不均衡指

数模型分析了张家口水资源与人口、耕地等社会发展要素的匹配关系;张国兴等<sup>[14]</sup>采用基尼系数法对我国省域水资源和GDP关系进行匹配研究;赵霞等<sup>[15]</sup>以我国六大地理分区为研究对象,对其水资源总量和经济要素的匹配程度进行测算;武萍等<sup>[16]</sup>定量研究了青海省水资源与各产业产值及人口等要素的匹配关系。虽然上述研究涉及水资源利用与社会经济要素匹配关系,但是对水资源可利用量关联研究较少。因此,本文从水资源利用量与GDP匹配关系方面着手,分析水资源利用状况。

沙颍河是河南省主要水源之一,承载着若干地市的农业灌溉和城镇生活用水,但是水资源污染严重,从而导致流域内部分地区存在水质型缺水<sup>[17]</sup>。本文以沙颍河流域河南段为例,计算流域内各地市水资源可利用量,并采用基于数列的匹配度计算方

收稿日期:2020-10-21 修回日期:2020-12-04 网络出版时间:2021-03-15

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20210315.1407.002.html

基金项目:国家自然科学基金(51709238)

作者简介:郭佳航(1997—),男,河北石家庄人,主要从事水文学及水资源研究。E-mail:guojiahanggjh@163.com

通信作者:左其亭(1967—),男,河南固始人,教授,博士,博士生导师,主要从事水文学及水资源研究。E-mail:zuoqt@zzu.edu.cn

法计算其与经济的匹配度,研究其时空变化趋势,以期为促进流域水资源可持续发展提供依据。

## 1 研究区域概况及数据来源

### 1.1 研究区域概况

沙颍河发源于河南省登封县嵩山,并于安徽省颍上县流入淮河(111°56'E~116°31'E; 32°29'N~34°57'N)<sup>[18]</sup>,主要支流包括沙河、颍河等,流域涉及

河南、安徽两省,其中 88.21% 的流域位于河南省境内<sup>[19]</sup>。沙颍河流域跨暖温带和亚热带两个气候带,冬季寒冷干旱,夏秋闷热多雨,年平均气温 14~16℃,年均降水量为 750 mm 左右。其中,沙颍河流域河南段范围包括郑州市、开封市等 9 个省辖市和河南省直管市汝州市的部分或全部(图 1)。该流域是河南重要的粮食生产基地,承担着河南省粮食安全、经济发展等重要任务。

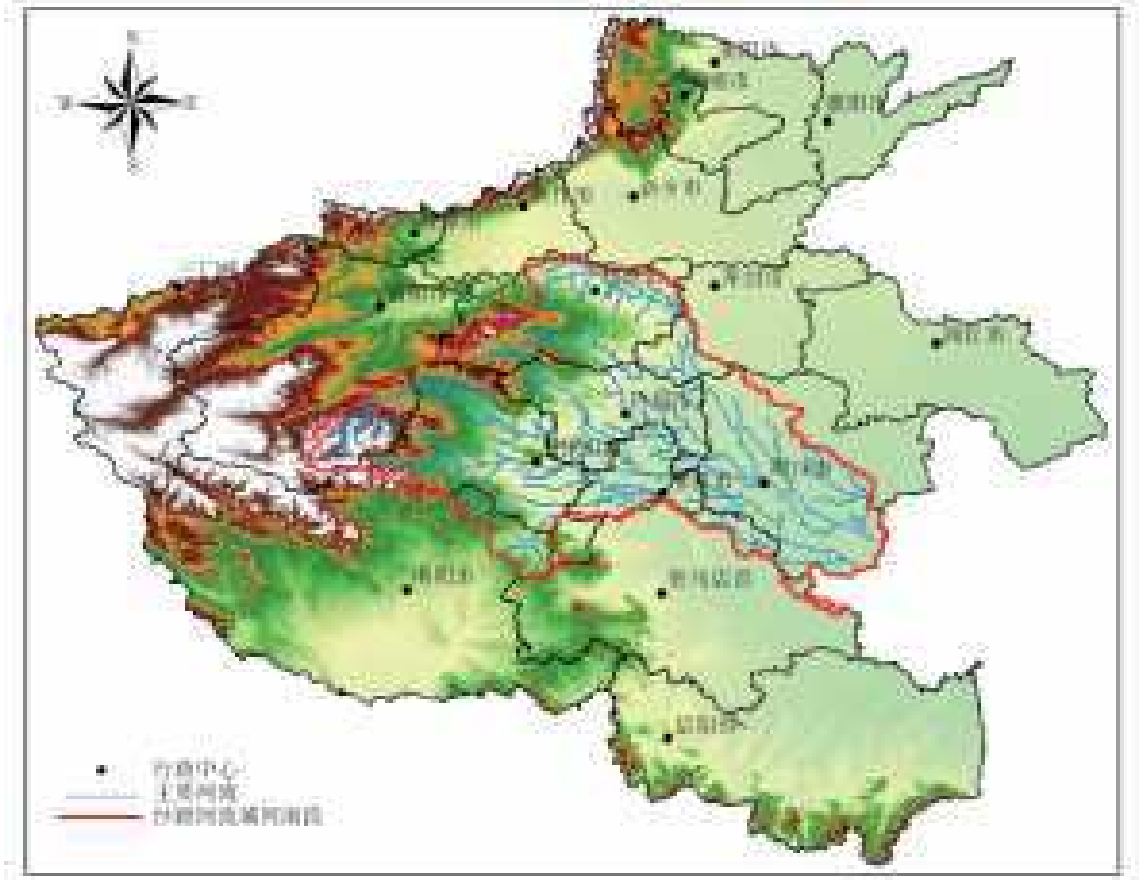


图 1 沙颍河流域河南段概况

Fig. 1 Overview map of the Henan section of the Shaying River basin

### 1.2 数据来源

选取 2014—2018 年的数据进行水资源利用量与经济匹配度计算,主要涉及沙颍河流域内各城市径流量、用水量、GDP 等数据。流域径流量等数据主要来自于《淮河水文年鉴》和沙颍河流域管理局资料,用水量数据来源于《河南省水资源公报》和《河南统计年鉴》,水资源可利用量由流域流量计算得到,由于部分城市行政边界与流域边界不一致,流域内各城市 GDP、用水量等数据按面积权重法进行折算<sup>[20]</sup>。

## 2 计算方法

### 2.1 地表水资源可利用量

沙颍河流域属于水资源紧缺地区,使用倒算法

对地表水可利用水资源量进行计算。基本思路为以地表水资源量为基础,扣除维护生态环境的最低生态环境用水量,以及在洪涝季节难以控制的洪水,剩余的水量即为地表水资源可利用量<sup>[21]</sup>。根据沙颍河流域实际情况,河道内最小生态环境用水量按多年平均天然年径流量的 15% 计算,计算公式为

$$W_{asw} = W_{sw} - W_{mew} - W_{fw} \quad (1)$$

式中:  $W_{asw}$ 、 $W_{sw}$ 、 $W_{mew}$ 、 $W_{fw}$  分别代表地表水资源可利用量、地表水资源量、最低生态环境用水量和洪弃水量,万  $m^3$ 。

### 2.2 地下水资源可利用量

根据水文条件和地质条件,确定各城市可开采系数,采用可开采系数法对地下水资源可利用量进行计算,计算公式为

$$W_{agw} = \rho W_{tsw} \quad (2)$$

式中:  $W_{agw}$  为浅层地下水可利用量, 万  $m^3$ ;  $\rho$  为浅层地下水可开采系数;  $W_{tsw}$  为浅层地下水总补给量, 万  $m^3$ 。其中, 可开采系数  $\rho$  值与水文地质条件、开发利用程度、地下水埋深等因素有关。

结合《河南省水资源研究》等分析资料, 确定流域内各地市可开采系数  $\rho$  值。由于流域内洛阳市和南阳市多为山地丘陵地带, 平原地带较少, 计算地下水资源可开采系数时, 数值较小, 认为流域内两地市平原地带地下水可开采量可以忽略不计, 取值为 0。

### 2.3 水资源可利用总量

水资源可利用总量约为地表水资源可利用量与浅层地下水资源可利用量之和再减去两者之间重复计算量。两者之间的重复计算量主要是平原区浅层地下水渠道渗漏的再利用部分和田间入渗补给的再利用水量。计算公式为

$$W_{aw} = W_{asw} + W_{agw} - W_{rw} \quad (3)$$

$$W_{rw} = \rho(W_{ciw} + W_{fiw}) \quad (4)$$

式中:  $W_{aw}$  为水资源可利用总量, 万  $m^3$ ;  $W_{rw}$  为重复计算水量, 万  $m^3$ ;  $W_{ciw}$  为地下水资源量中渠系水渗

漏补给量, 万  $m^3$ ;  $W_{fiw}$  为地表水中田间入渗补给水量, 万  $m^3$ 。

### 2.4 基于数列的匹配度计算方法

基于数列的匹配度计算方法可以定量分析两种变量之间的匹配关系, 得到单个地区或时段的计算结果<sup>[22]</sup>。假定研究区分为  $K$  个地区, 分析变量  $X$  和  $Y$  之间的匹配度, 则空间上的匹配度计算公式为

$$a_i = 1 - \frac{|n_i - m_i|}{K-1} \quad (i=1, 2, \dots, K) \quad (5)$$

式中:  $n_i$  为对  $X$  值排序  $x_i$  的排名;  $m_i$  为对  $Y$  值排序  $y_i$  的排名;  $K$  为地区个数。

参考基尼系数划分方法, 制定相应的基于数列的匹配度  $a$  评价标准,  $a=0.6$  为分界线,  $a=0.8$  为较好匹配标准: 当  $0 \leq a < 0.5$  时为极不匹配; 当  $0.5 \leq a < 0.6$  为不匹配; 当  $0.6 \leq a < 0.7$  为较匹配; 当  $0.7 \leq a < 0.8$  为相对匹配; 当  $0.8 \leq a \leq 1$  为高度匹配。

通过计算水资源可利用量、GDP、用水量两两之间匹配关系, 分析沙颍河流域各地市用水及水资源可利用量状况, 三者间匹配关系及其意义见图 2。

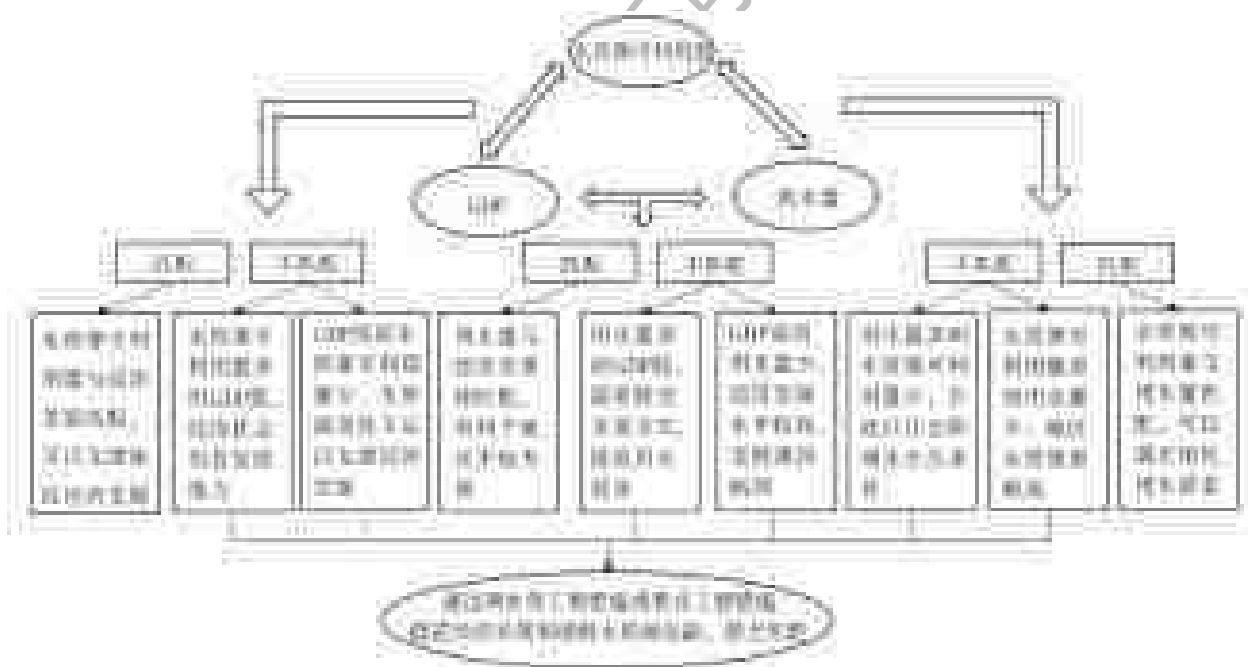


图2 水资源可利用量、GDP、用水量匹配关系

Fig. 2 Matching relationship diagram of water resource availability, GDP, and water consumption

## 3 结果分析

### 3.1 沙颍河流域各地市水资源可利用量

采用前述方法计算沙颍河流域各地市多年平均地表水可利用量、多年平均地下水可利用量及多年平均水资源可利用量, 结果见表 1。由表 1 可知, 流域各地市地表水资源可利用量相差较大, 平顶山市

地表水可利用量最多, 开封市最少, 且可利用率均在 45% 左右波动, 其中开封市地表水可利用率最低, 南阳市最高。

确定计算区可开采系数值后, 计算得出地下水可利用量与水资源可利用总量。地下水可利用量周口市最高, 驻马店市最低, 两者相差十几倍。总体来看, 水资源可利用量周口市最高, 驻马店市最低, 单

位面积水资源可利用量漯河市和周口市较高,达到 17 万  $\text{m}^3/\text{km}^2$  以上,而汝州市最低,仅为 7.44 万  $\text{m}^3/\text{km}^2$ 。其原因主要与降水量和当地河湖水系有关,汝州市

多年平均降水量为 607 mm,周口市多年平均降水量为 757 mm,汝州市降水量远低于周口市,同时周口市河网较多,水资源可利用量较为丰富。

表 1 2014—2018 年沙颍河流域各地市平均水资源可利用量结果

Tab. 1 Results table of available water resources of various cities in the Shaying River basin from 2014 to 2018

行政分区	流域面积/ $\text{km}^2$	地表水可利用量/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ )	地表水可 利用率/%	可开采 系数	地下水可利用量/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ )	水资源可利用总量/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ )	单位面积水资源可利用量/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ )
郑州市	5 466	26 784	46.7	0.701	20 654	46 222	8.46
开封市	915	3 020	43.2	0.759	7 445	9 967	10.89
洛阳市	2 096	22 634	44.6	0	0	22 634	10.80
平顶山市	5 753	63 187	47.3	0.756	17 603	80 059	13.92
汝州市	1 572	7 796	46.7	0.756	4 016	11 696	7.44
许昌市	4 978	18 294	43.8	0.801	36 852	54 340	10.92
漯河市	2 548	14 066	44.6	0.805	30 933	44 822	17.59
南阳市	1 377	17 404	47.5	0	0	17 404	12.64
周口市	9 113	46 034	45.1	0.810	116 784	160 021	17.56
驻马店市	662	3 876	44.5	0.729	4 932	8 808	13.31
流域合计	34 480	223 095	45.9		239 219	455 973	13.22

注:因商丘市占沙颍河流域面积较小,计算时将其合并到周口市。

## 3.2 沙颍河流域各地市匹配度分析

### 3.2.1 用水量与 GDP 匹配关系

以流域各地市为样本单元,采用基于数列的匹配度计算方法,得到沙颍河流域各地市用水量与 GDP 的匹配度,见图 3。从时间上看,总体上 2014 年用水量与 GDP 匹配度最差,2018 年匹配度最好,但各地市匹配度变化趋势存在差异,开封市匹配度呈下降趋

势,平顶山市和许昌市呈上升趋势,其余地市匹配度存在波动,但大致水平没有发生变化。其中,平顶山、许昌等地市因 2014 年用水量排名高而 GDP 排名低造成两者关系不匹配,之后几年用水量与 GDP 匹配度逐渐变好。原因是近年来其产业结构不断发生转变,农业用水量降低,工业发展水平不断提高,工业废水重复利用率提升,用水量减小<sup>[23]</sup>。

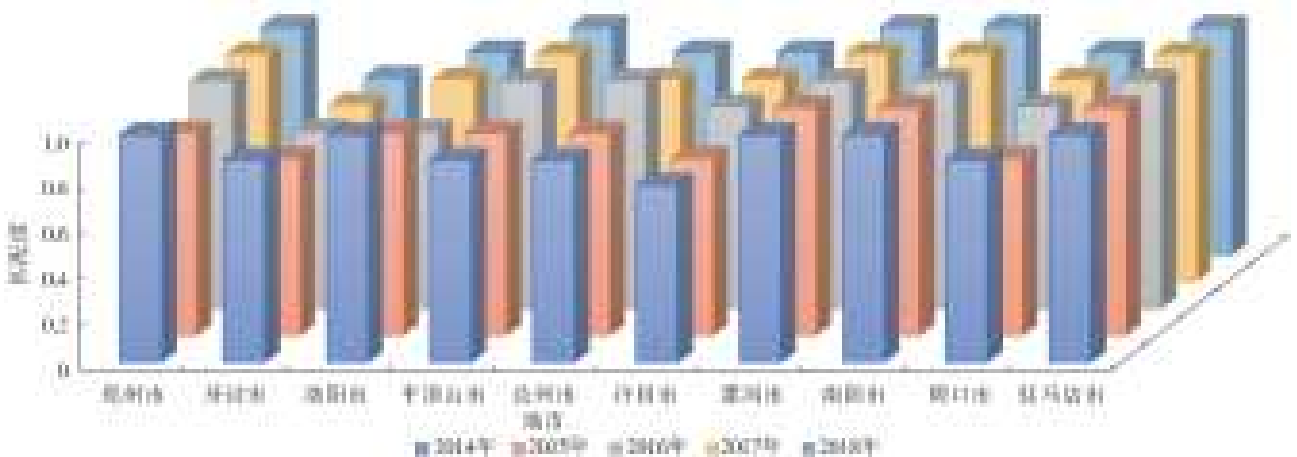


图 3 2014—2018 年各地市用水量与 GDP 匹配关系

Fig. 3 The matching relationship between water consumption and GDP in various cities from 2014 to 2018

从空间上看,沙颍河流域各地市用水量与 GDP 匹配关系较好,均是相对匹配和高度匹配的程度。其中,漯河市、南阳市和驻马店市用水量与 GDP 匹配度最好,在 2014—2016 年匹配度值均为 1。相对而言,开封市和周口市匹配度较差,开封市在

2015—2018 年均为相对匹配,开封市由于用水量排名高,但 GDP 排名较低造成匹配度较差,而周口市情况相反。虽然各地市用水量与 GDP 匹配情况存在差异,但匹配度均在 0.7 及以上,表明流域内各地市消耗的水资源能产生与之相对应的经济效益。结

合各地市水资源与经济社会发展要素匹配度的空间分异现状,未来应考虑在维持部分地市良好匹配状态的同时,进一步提升开封市、周口市的经济水平,提高用水效率,促使匹配度继续提高。

### 3.2.2 水资源可利用量与 GDP 匹配关系

由图 4 可以看出,沙颍河流域整体水资源可利用量与 GDP 匹配情况较好,出现不匹配与极不匹配的情况较少。2016 年沙颍河流域匹配度情况最好,除郑州市、洛阳市和漯河市外,其余城市匹配度均达到较匹配及以上。但从时间维度看,各地市匹配度变化趋势存在差异:郑州市和南阳市呈现下降的趋势,开封市和许昌市则表现出波动下降的趋势,主要原因是自 2014 年以来产业不断发展,经济水平提高,而水资源可利用量由于随机性的影响,变化存在波动,造成两者匹配度波动下降;平顶山市、汝州市和驻马店市变化趋势与流域整体一致,其余地市匹配度则呈上升趋势。开封市、洛阳市等 8 个市在研究年份内匹配度均达到过 1;许昌市 2018 年匹配度下降为 0,其原因为 2018 年降水量减小,为近些年最小值,水资源可利用量骤减,而 GDP 维持在较高水平,造成两者不匹配。

从空间维度进行对比,平顶山市、汝州市、南阳市和驻马店市匹配情况最好,均是相对匹配和高度匹配的状态,说明这些地市水资源可利用量可以支

撑经济发展。郑州市匹配度情况最差,其中 2014—2016 年水资源可利用量排名高而 GDP 排名较低,而 2017—2018 年情况相反,原因是郑州市经济不断发展,但 2017 年降水量相较于 2016 年下降近 20%,致使水资源可利用量减少,出现高经济产出而水资源可利用量短缺的矛盾。

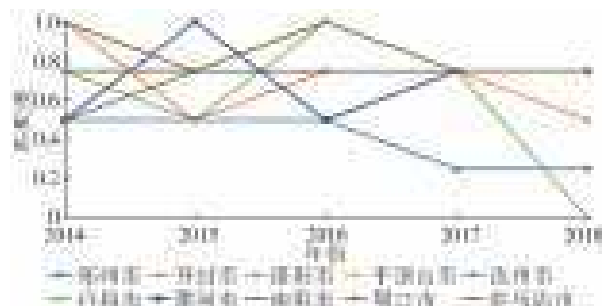


图 4 2014—2018 年各地市水资源可利用量与 GDP 匹配关系

Fig. 4 The relationship between the available water resources and GDP of each city from 2014 to 2018

### 3.2.3 用水量与水资源可利用量匹配关系

如图 5 所示,2014—2018 年流域整体用水量与水资源可利用量匹配度呈下降趋势,其中 2016 年匹配度最好,这主要与 2016 年降水较多有关,2016 年沙颍河流域降水量 860 mm,比往年偏多 14%。其中,由于人口增多和社会发展速度加快,郑州市用水量逐年增多,但由于过度开采和气候变化,近些年水资源可利用量减小,造成两者匹配度下降。

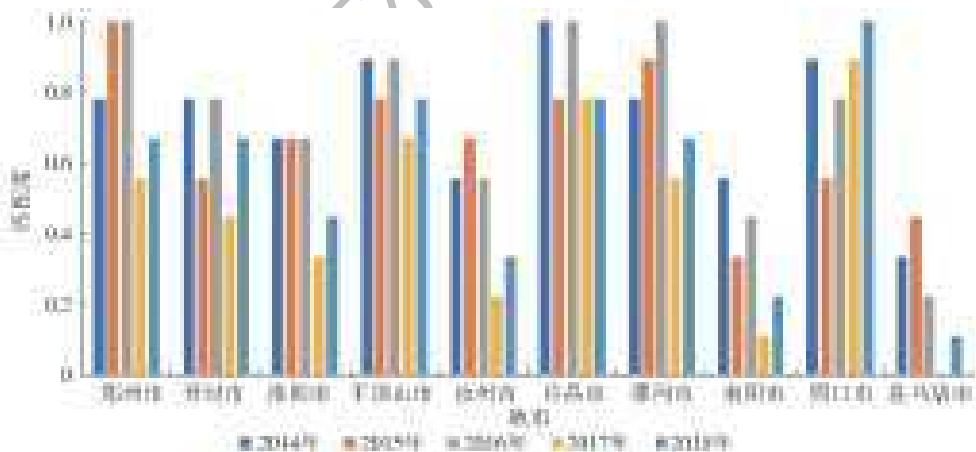


图 5 2014—2018 年各地市用水量和水资源可利用量匹配关系

Fig. 5 Matching relationship between water consumption and available water resources in various cities from 2014 to 2018

从空间维度进行对比,各地市用水量与水资源可利用量匹配度存在较大差异:平顶山、许昌等地市匹配度较好,说明这些地市水资源条件可以保障当地用水;驻马店市匹配度最差,其原因为驻马店市水资源丰富,境内河流较多,但用水量在各地市中排名较低,造成两者不匹配;南阳市作为南水北调中线工程的水源地,水资源可利用量丰富,但用水量在各地市中处于较低水平,因而出现两者不匹配的现象;汝

州市在 2017 年前用水量与水资源可利用量匹配关系较好,2017 年和 2018 年该市降水量与之前相比分别增长 4.2% 和 4.6%,水资源量增多,用水量变化不明显,造成两者匹配关系变差。

### 3.2.4 用水量和水资源可利用量与 GDP 匹配关系对比

利用多年平均水资源可利用量、多年平均用水量与各地市 GDP 计算匹配度,对比用水量和可用水



量与 GDP 匹配度,结果见图 6。各地市水资源可利用量与 GDP 匹配度和用水量与 GDP 匹配度均属于较匹配及以上,大部分地市用水量匹配度比可利用

水资源量较好。其中,漯河市和驻马店市水资源可利用量与 GDP 匹配度和用水量与 GDP 匹配度均为 1,郑州市、平顶山市两种匹配度差距较大。

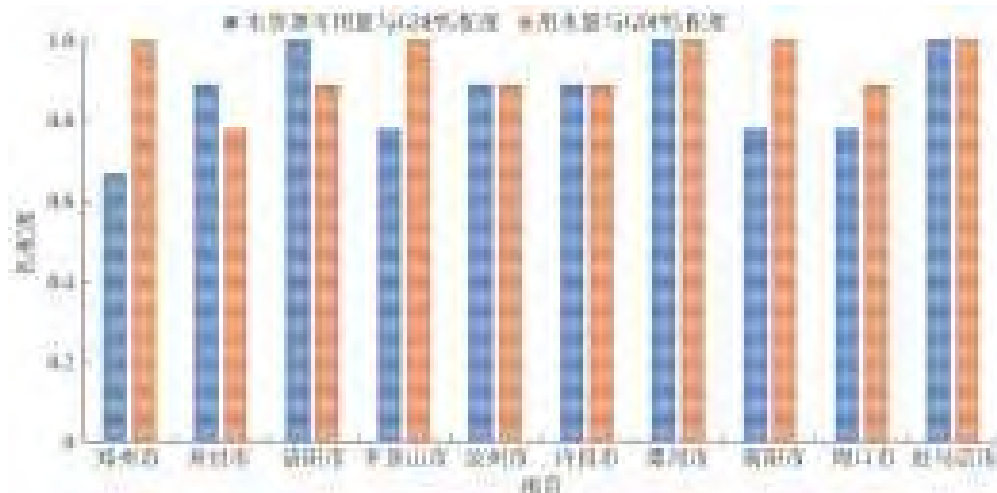


图 6 多年平均用水量和水资源可利用量与 GDP 匹配关系

Fig. 6 The relationship between average water consumption and available water resources and GDP

相对而言,水资源可利用量与 GDP 匹配度郑州市最差,洛阳市、漯河市和驻马店市最好。郑州市匹配度较差的原因是水资源可利用量小而经济不断发展,GDP 呈现上升趋势。可见,郑州、平顶山等地市经济发展水平较高,但用水量水平也位居前列,但是两地水资源可利用量与 GDP 匹配度低于用水量与 GDP 匹配度,说明这些地市经济发展遇到瓶颈,未来发展需要考虑外调水等方式增加当地水资源可利用量。相反,开封市、洛阳市等城市水资源可利用量与 GDP 匹配度高于用水量与 GDP 匹配度,说明这些地市水资源条件可以保障当地经济发展,经济发展具有很大潜力,但各产业用水效率有待提高。

### 3.3 建议

为了使沙颍河流域各地市实现可持续发展,达到经济发展与水资源可利用量、用水量相匹配,提出以下建议及措施:

(1)沙颍河在汛期经常发生强降雨导致洪涝灾害,防洪压力不断加大。因此,需改变目前的单一水资源利用方式,并通过合理的调度和管理结合现有的水利设施以减小汛期防洪压力,从全流域的角度出发,最大程度地进行洪水利用,加强流域水资源的综合管理,实现洪水资源化,缓解流域水资源供需矛盾。

(2)经济方面应转变产业结构,大力发展第三产业,同时进行产业升级,更新工业设备,发展高效节水农业,促进 GDP 高效发展,实现农业工业化、工业智能化和以服务业为驱动的经济增长模式。

(3)各地市之间加强合作,结合各地市的经济发

展和水资源状况进行水权交易、经济贸易等合作,缓解用水紧张现状,促进用水效率的提高,实现水资源与经济社会可持续发展。

## 4 结论

通过分析沙颍河流域各地市水资源可利用量空间分布特征及差异,并采用基于数列的匹配度对用水量、水资源可利用量与 GDP 的匹配程度进行了定量化分析,主要得到如下结论:

(1)流域内水资源可利用量呈现较大差异,平顶山市和周口市分别是地表水可利用量和地下水可利用量最多的城市,但是从单位面积水资源可利用量来看,漯河市和周口市水平较高。

(2)沙颍河流域水资源可利用量与 GDP 匹配度略低于用水量与 GDP 匹配度,需考虑外调水等方式改善当地水资源条件。

(3)沙颍河流域各地市用水量与 GDP 匹配度随时间变化差异较小,各地市匹配度相近,从时间变化来看,2018 年匹配度最好,但水资源可利用量与 GDP 匹配情况各地市间存在较大差异,其中,郑州市匹配情况最差,平顶山等地市情况较好。

### 参考文献(References):

- [1] 雷川华,吴运卿.我国水资源现状、问题与对策研究[J].节水灌溉,2007(4):41-43. (LEI C H, WU Y Q. Current situation, problems and countermeasures of water resources in China[J]. Water Saving Irrigation, 2007(4): 41-43. (in Chinese)) DOI: 1007-4929 (2007)

- 04-0041-03.
- [2] 徐伟铭,鱼京善,王崴,等.基于神经网络模型的全国用水量“四维”模拟[J].南水北调与水利科技,2020,18(1):11-17.(XU W M, YU J S, WANG W, et al. Research on four-dimensional simulation of national water consumption based on neural network model [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(1): 11-17. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2020.0002.
- [3] ADAM B, MARTIN H, MAGDALENA N. Increasing water resources availability under climate change[J]. Procedia Engineering, 2016, 162: 448-454. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.087.
- [4] 顾佳卫,解建仓,赵津,等.四类非传统水资源开发工艺的可视化及可利用量计算[J].西安理工大学学报,2019,35(2):200-211.(GU J W, XIE J C, ZHAO J, et al. Visualization of four types of unconventional water resources exploitation processes and available amount calculation[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2019, 35(2): 200-211. (in Chinese)) DOI: 10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2019.02.010.
- [5] ZHANG H, WANG B, LIU D L, et al. Impacts of future climate change on water resource availability of eastern Australia: A case study of the Manning River basin[J]. Journal of Hydrology, 2019, 573: 49-59. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.03.067.
- [6] 魏佳,张守平,杨清伟,等.基于工程供水能力的地表水资源可利用量研究:以荣昌为例[J].节水灌溉,2018(10):37-41.(WEI J, ZHANG S P, YANG Q W, et al. A study on the availability of surface water resources based on engineering water supply capacity: A case study of Rongchang[J]. Water Saving Irrigation, 2018(10): 37-41. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1007-4929.2018.10.009.
- [7] 张萌雪,鲁春霞,吴燕红,等.基于水量供需平衡的河北省张家口市崇礼区水资源承载力分析[J].水土保持通报,2020,40(1):276-282.(ZHANG M X, LU C X, WU Y H, et al. Analysis of water resources carrying capacity in Chongli District, Zhangjiakou City, Hebei Province based on supply-demand balance of water resources[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 276-282. (in Chinese)) DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.040.
- [8] THAYSE A D H, FABIO V S, JOAQUIM E A S. Assessment of the recent land use change dynamics related to sugarcane expansion and the associated effects on water resources availability[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 197: 1328-1341. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.297.
- [9] DAR H, THENDIYATH R. Spatio-temporal variation of drought characteristics, water resource availability and the relation of drought with large scale climate indices: A case study of Jhelum basin, India[J]. Quaternary International, 2019, 525: 140-150. DOI: 10.1016/j.quaint.2019.07.018.
- [10] 彭虹,黄攀攀,张万顺,等.重庆市农业用水量与农业经济发展脱钩程度的时空变化[J].水资源保护,2020,36(2):13-20.(PENG H, HUANG P P, ZHANG W S, et al. Spatial-temporal change characteristics of decoupling between agricultural water consumption and agricultural economic development in Chongqing[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 13-20. (in Chinese)) DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2020.02.003.
- [11] 贾莉,刘彦花,沈怡静.水资源利用与经济发展脱钩分析:以广西北部湾经济区为例[J].人民长江,2018,49(2):40-45.(JIA L, LIU Y H, SHEN Y J. Decoupling analysis between economic development and water resources utilization: Case of Beibu Gulf economic zone of Guangxi[J]. Yangtze River, 2018, 49(2): 40-45. (in Chinese)) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2018.02.009.
- [12] 郝林钢,左其亭,韩春辉,等.“一带一路”沿线分区用水结构与产业结构的分析比较[J].干旱区研究,2019,36(1):44-51.(HAO L G, ZUO Q T, HAN C H, et al. Water consumption and industrial structure in different regions along the "Belt and Road"[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(1): 44-51. (in Chinese)) DOI: 10.13866/j.azr.2019.01.05.
- [13] 韩雁,贾绍凤,鲁春霞,等.水资源与社会经济发展要素时空匹配特征:以张家口为例[J].自然资源学报,2020,35(6):1392-1401.(HAN Y, JIA S F, LU C X, et al. Spatiotemporal matching between water resources and social economy: A case study in Zhangjiakou[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(6): 1392-1401. (in Chinese)) DOI: 10.31497/zrzyxb.20200612.10
- [14] 张国兴,徐龙.基于时空维度的水资源与经济匹配分析[J].水电能源科学,2020,38(3):54-57.(ZHANG G X, XU L. Analysis of water resources and economic matching based on spatio-temporal dimensions [J]. Water Resources and Power, 2020, 38(3): 54-57. (in Chinese)) DOI: 1000-7709(2020)03-0054-04.
- [15] 赵霞,杜军凯,牛存稳,等.中国水资源与经济社会发展匹配度的动态分析[J].人民长江,2018,49(23):68-73.(ZHAO X, DU J K, NIU C W, et al. Dynamic analysis on matching degree of water resources and economic and social development in China[J]. Yangtze

- River, 2018, 49(23): 68-73. (in Chinese)) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2018.23.012.
- [16] 武萍, 张慧, 邢衍. 青海省水资源利用的匹配性研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(7): 46-53. (WU P, ZHANG H, XING Y. Study on the matching of water resources utilization in Qinghai Province[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(7): 46-53. (in Chinese)) DOI: 10.12062/cpre.20180322.
- [17] 郭金萍, 郭薇. 沙颍河流域季节性干旱的时空分布特征[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(6): 1046-1050. (GUO J P, GUO W. Spatial and temporal distribution of seasonal drought in Shaying River basin[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2019, 60(6): 1046-1050. (in Chinese)) DOI: 10.16178/j.issn.0528-9017.20190660.
- [18] LUO Z L, ZUO Q T, SHAO Q, et al. A new framework for assessing river ecosystem health with consideration of human service demand[J]. Science of the Total Environment, 2018, 640: 442-453. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.361.
- [19] 左其亭, 罗增良, 石永强, 等. 沙颍河流域主要参数与自然地理特征[J]. 水利水电技术, 2016, 47(12): 66-72. (ZUO Q T, LUO Z L, SHI Y Q, et al. Main parameters and physiographic characteristics of Shayinghe River basin[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(12): 66-72. (in Chinese)) DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2016.12.015.
- [20] 高超, 张正涛, 刘青, 等. 承灾体脆弱性评估指标的最优格网化方法: 以淮河干流区暴雨洪涝灾害为例[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(3): 119-129. (GAO C, ZHANG Z T, LIU Q, et al. Study on the optimal grid method in assessment of vulnerability to floods disaster: A case study in the mainstream of Huaihe River basin[J]. Journal of Natural Disasters, 2018, 27(3): 119-129. (in Chinese)) DOI: 10.13577/j.jnd.2018.0314.
- [21] 钟华平, 王建生, 徐澎波, 等. 地表水资源可利用量计算原则[J]. 水利水电技术, 2004, 35(2): 9-11. (ZHONG H P, WANG J S, XU P B, et al. Calculation principles of available surface water resources[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 35(2): 9-11. (in Chinese)) DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2004.02.003.
- [22] 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 Q T, ZHAO H, MA J X, 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)) DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2014.06.001.
- [23] 安强, 魏传江, 贺华翔, 等. 基于模糊综合评价法的河南省中原城市群水资源承载力评价研究[J]. 节水灌溉, 2019, (12): 65-71. (AN Q, WEI C J, HE H X, et al. Evaluation of water resources carrying capacity of central plains urban agglomeration in Henan Province based on fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Water Saving Irrigation, 2019, (12): 65-71. (in Chinese)) DOI: 1007-4929(2019)12-0065-07.

## The matching characteristics of the water resources utilization and economic development in the Shaying River basin

GUO Jiahang<sup>1,2</sup>, TIAN Jinkuan<sup>3</sup>, ZUO Qiting<sup>1,2</sup>, WEI Yujie<sup>3</sup>

(1. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Zhengzhou Key Laboratory of Water Resource and Environment, Zhengzhou 450001, China;

3. Shaying River Basin in Henan Province Administration, Luohe 462000, China)

**Abstract:** In recent years, the spatial and temporal distribution of water resources in China does not match the scale of economic and social development, which seriously restricts the efficient utilization of water resources and the sustainable development of sociometric development. Therefore, it is of great significance to clarify the matching degree of regional water resources utilization and sociometric development. Shaying River is one of the main water sources in Henan Province that carries several cities' water utilization in agricultural irrigation and urban life, while significant differences existed in water resources endowments and economic development. Discussing the temporal and spatial evolution trend and influencing factors of the matching relationship between water resources utilization and sociometric development in the Shaying River basin is of great significance for promoting the high-quality development.

The representative matching elements from two aspects of water resources and economic society are selected, and the Henan section of Shaying River basin is selected as the research object to study the matching characteristics of water resources and sociometric development from the spatial and temporal dimensions. According to the actual situation of Henan section of Shaying River basin, inverted calculations and groundwater extraction coefficient methods are used to determine the available



water resources in each city. The matching relationship between the water resources utilization and the economic development of 10 cities in Henan section of the Shaying River basin from 2014 to 2018 is studied, based on the calculation method of data sequence. Finally, the matching degree among water consumption, the available water resources and the GDP of each city is analyzed.

Results show that there is a large gap in available water resources due to climatic conditions and other factors, among which Luohe and Zhoukou have more available water resources. During the study period, the matching relationship between available water resources and water consumption of various cities differed greatly. Although Zhumadian is rich in water resources and has many rivers in its territory, while its water consumption ranks low among the cities, so the matching degree of water resources availability and water consumption in Zhumadian is poor. In the time dimension, the matching degree between water consumption and GDP of various cities was good; while in the spatial dimension, the matching situation of Kaifeng was the worst, and other cities such as Luohe were better. Meanwhile, the matching degree was at a higher level or above, indicating that the water resources consumed by cities in the Henan section of the Shaying River basin can produce corresponding economic benefits. In terms of time and space, the matching relationship between the available water resources and GDP in various cities had significant differences. The matching degree of Shaying River basin was the best in 2016, and the matching degree in Pingdingshan, Ruzhou, Nanyang, and Zhumadian were relatively better.

In general, the matching degree of water consumption and GDP of different cities in Henan around Shaying River basin has little difference over time, and the matching degree of different cities is similar. However, the matching degree of available water resources and GDP varies greatly between different cities. Therefore, it is necessary to use water transfer or other ways to improve the local water resources endowment conditions. Results are helpful to reveal the temporal and spatial evolution law of water resources utilization and economic development in various cities of Shaying River basin, clarify its influencing factors, and provide decision supports for realizing the optimal allocation and efficient utilization of water resources, and coordinated socio-metric development among regions.

**Key words:** water resource; matching degree; available water resource; spatio-temporal matching; Shaying River basin

(上接第 486 页)

east and west of Guangdong. Meanwhile, an increasing trend was observed in correlation degree of WUE, among which the highest correlation degree was found in the PRD (with Shenzhen and Dongguan as the core), followed by the east of the province (with Shantou as the core) and the north and west of the province. For the driving factors, it is found that the research and experimental development funds (R&D), urbanization rate, the proportion of secondary and tertiary industry have positive effect on the potential correlation degree of WUE. Furthermore, R&D was found the major driving factor for the increase of the potential correlation degree of WUE over time, while per capita water resources, per capita GDP and the proportion of primary industry performed negative effect on the potential correlation degree of WUE.

The spatiotemporal distribution of WUE is uneven in the Guangdong Province. The correlation degree of WUE showed an increasing trend over time, yet spatial variation of the correlation degree of WUE was obvious. Multi-factor interactions are essential for the potential correlation degree of WUE, however, the R&D was found the dominant factor for the changes of the potential correlation degree of WUE.

**Key words:** gravity model; regional water use efficiency; spatial correlation degree; Guangdong Province; influencing factor