

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2023. 02. 001

黄河流域水资源与社会经济协同评价及影响因素分析

陈 莉,张安安

(安徽建筑大学经济与管理学院,安徽 合肥 230022)

摘要:通过构建水资源与社会经济评价指标体系,计算了黄河流域的水资源与社会经济系统协同度,并运用固定效应模型分析其影响因素。结果表明:水资源与社会经济发展指数都呈显著上升趋势,社会经济增长速度高于水资源发展速度;黄河流域整体处于轻度协同状态,且水资源发展滞后于社会经济发展;山东、河南、四川、陕西的协同度较理想,内蒙古、甘肃、青海、宁夏、山西的协同度水平偏低;每 10 万人高等学校在校学生数、地表水资源量、水资源开发利用率、城市污水日处理能力以及技术市场成交额对协同发展存在正向影响,城镇化率对协同发展暂无显著影响。

关键词:水资源;社会经济;协同度;固定效应模型;黄河流域

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004 - 6933(2023)02 - 0001 - 08

Synergistic evaluation of water resources and social economy in the Yellow River Basin and analysis of influencing factors // CHEN Li, ZHANG An'an (School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China)

Abstract: By constructing the evaluation index system of water resources and social economy, the synergy degree of water resources and social economy system in the Yellow River Basin is calculated, and the influence factors are analyzed by using the fixed effect model. The results showed that both the water resources and socio-economic development index showed a significant upward trend, and the socio-economic growth rate was higher than the water resources development rate. The whole Yellow River basin is in a slightly coordinated state, and the development of water resources lags behind the development of social economy. The synergy degree of Shandong, Henan, Sichuan and Shaanxi is ideal, while the synergy degree of Inner Mongolia, Gansu, Qinghai, Ningxia and Shanxi is low. The number of students in colleges and universities per one hundred thousand people, the amount of surface water resources, the utilization rate of water resources, the daily treatment capacity of urban sewage and the transaction amount of technology market have a positive impact on the collaborative development, while the urbanization rate has no significant impact on the collaborative development.

Key words: water resources; social economy; synergy degree; fixed effect model; Yellow River Basin

随着经济社会的发展,水资源供应压力逐渐增加,社会经济系统与水资源系统开始失衡,这不仅严重威胁了水资源的可持续发展,也制约了社会经济水平的进一步提升^[1-2]。黄河流域人口高度聚集,水资源与社会经济关系一直是重要的研究课题,水量与水质问题也一直限制着水资源的发展^[3]。不少学者已经在水资源利用、水环境保护、水生态修复以及洪涝灾害预防等方面进行了有益的探索。耿思敏等^[4]认为人类的社会活动不断影响着水循环的过程,黄河中下游洪涝灾害也因此不断加重,“小水

大灾”的频发证实了水生态已经遭受严重破坏;刘海娇等^[5]从水资源利用和水资源保护角度,构建滨州市水生态文明评价指标体系,并基于熵权法测算出滨州市水生态文明指数;韩美等^[6]对黄河中下游三角洲地区的水资利用情况进行评价和预测,并指出虽然三角洲地区水资源利用率不高,但未来水资源利用潜力较大;于法稳等^[7]提出打造健康、可持续的水环境在黄河流域生态保护与经济高质量发展的过程中至关重要。以上成果多从单方面进行研究,指标体系的构建也只是基于水资源利用或水资

基金项目:国家社会科学基金后期资助项目(21FKSB048);国家社会科学基金重点项目(14AKS005);安徽省教育厅项目(皖教社科[2015]49号)

作者简介:陈莉(1966—),女,教授,博士,主要从事技术经济研究。E-mail:chinalichina@163.com

通信作者:张安安(1998—),女,硕士研究生,主要从事技术经济研究。E-mail:1240682140@qq.com

源保护系统,对水资源与社会经济复合系统间的相互作用研究不足,难以厘清水资源可持续利用与社会经济稳定发展之间的互馈关系。

随着水资源与社会经济发展的矛盾越来越突出,水资源与社会经济之间的协调关系分析与协同度研究逐渐成为热点^[8]。随着城镇化进程的加快,各行业用水需求不断上涨,而因降雨分布问题引发的季节性缺水和因水污染问题造成的水质性缺水都使黄河流域水环境面临严峻考验^[9]。为了实现“十四五”时期城镇化的高质量发展,维护黄河流域水生态系统,2021年10月国务院印发了《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》,指出促进水资源与社会经济的良性互动对黄河流域的可持续发展具有重要实践意义^[10]。本文基于协同理论构建水资源与社会经济复合系统协同度评价模型,从时间和空间两个维度分析黄河流域9个省区协同发展情况,并探究影响协同度的相关因素,以期为黄河流域的可持续发展提供参考。

1 研究区概况与数据来源

黄河全长约5464 km,横跨东、中、西三大区域,流域面积752443 km²^[11]。黄河流域年平均降水量约为466 mm,降水分布自东南向西北递减,且年际变化较大。2021年1月黄河水环境质量报告显示,黄河流域总体水质良好,I~Ⅲ类水质占比为76.9%。黄河流域是中华文明最主要的发源地,经济开发历史悠久,自然资源丰富^[12]。截至2021年,黄河流域总人口达到4.21亿人,约占全国总人口的2/7;地区生产总值达到28.68万亿元,约占全国总产值的1/4,对我国经济增长贡献巨大。

研究数据主要来源于2011—2020年的《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》、中国气象局网站、EPS数据库以及研究区内各省统计年鉴。

2 研究方法

2.1 指标体系构建

参考相关研究^[13-18],基于指标选取的科学性、可行性、动态性等原则,分别从水资源自然禀赋、开发利用、质量管理3方面构建水资源系统评价指标体系,从经济发展、民生福祉、科技创新3方面构建社会经济发展评价指标体系,得到水资源与社会经济评价指标体系如图1所示(括号中“+”表示正向指标,“-”表示负向指标;括号中数据为指标权重)。

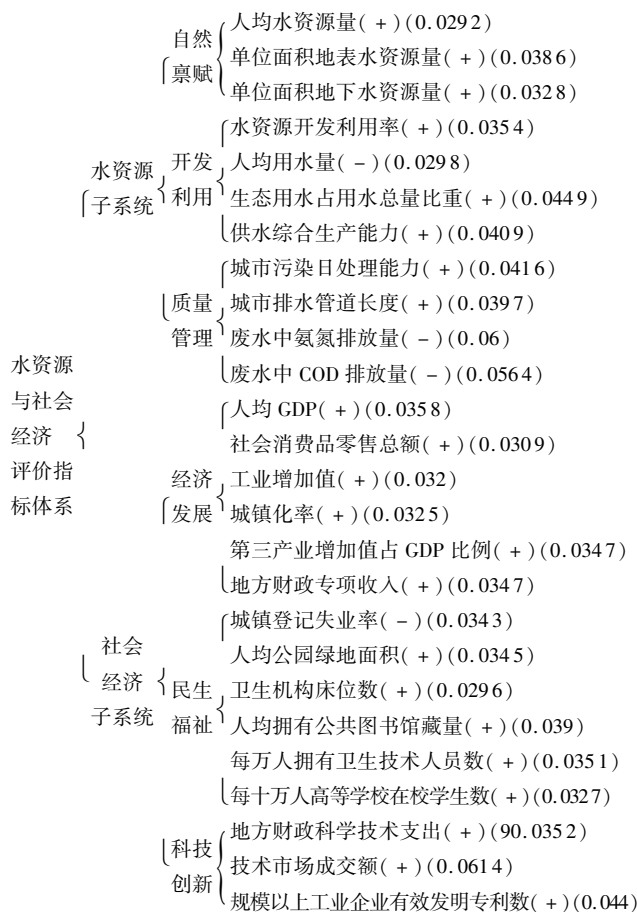


图1 水资源与社会经济评价指标体系

Fig.1 Water resources and socio-economic evaluation index system

2.2 数据标准化处理

为消除数据间不同量纲的影响,采用以下公式对数据进行标准化处理:

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_{imin}}{x_{imax} - x_{imin}} & (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \\ \frac{x_{imax} - x_{ij}}{x_{imax} - x_{imin}} \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为样本 j 的第 i 个指标值; x'_{ij} 为指标标准化值; x_{imin} 、 x_{imax} 分别为指标 i 的最小值和最大值。

2.3 权重和综合评价指数计算

在确定水资源和社会经济系统的相关指标后,需对各指标进行赋权,明确指标的重要程度。为提高模型在协同评价过程中的准确性,采用熵权法确定指标权重^[19]:

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^m d_i} \quad (2)$$

其中 $d_i = 1 - e_i$ $e_i = -k \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}$

$$k = \frac{1}{\ln n} \quad P_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{j=1}^n x'_{ij}}$$

式中: w_i 为权重; d_i 为信息熵冗余度; e_i 为指标熵值, $e_i \geq 0$; P_{ij} 为第 i 项指标在第 j 年的权重;

运用线性加权法计算水资源与社会经济的综合评价指数 U_j :

$$U_j = \sum_{i=1}^m w_i x'_{ij} \quad (3)$$

2.4 协同度

一个系统中子系统之间既有无规则的独立运动又有相互作用。基于协同学理论,水资源子系统与社会经济子系统内部各序参量之间相互作用,影响复合系统的协同演变过程。在外界因素作用下,子系统的相互作用程度大于独立运动能力,系统便会形成有一定功能的自组织结构,也就达到了新的有序状态;反之,子系统的相互作用程度小于独立运动能力,独立运动占据主导地位,子系统处于无序状态。协同度则是该复杂系统中大量子系统相互作用而产生的整体效应,是系统有序化过程产生的内驱力,使系统从无序变为有序。水资源与社会经济复合系统的协同度计算公式为

$$D_s = C_A (1 - D) \quad (4)$$

$$\text{其中 } C_A = \left(\prod_{j=1}^n U_j \right)^{\frac{1}{n}} \quad D = \sqrt{\frac{U - C_A}{n - 1}}$$

$$U = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j$$

式中: D_s 为系统协同度; C_A 为系统有序度。

D_s 的测算是一个动态评价的过程, $-1 \leq D_s \leq 1$, D_s 取值为正说明复合系统处于协同状态,反之则处于不协同状态,并且取值越大,协同度越高。目前尚未有统一的标准度量复合系统协同度,参考夏业领等^[20] 的研究,将复合系统协同度划分为 6 个等级: $-1 \leq D_s \leq -0.6$ 属于高度不协同、 $-0.6 < D_s \leq -0.2$ 属于中度不协同、 $-0.2 < D_s \leq 0$ 属于轻度不协同、 $0 < D_s \leq 0.2$ 属于轻度协同、 $0.2 < D_s \leq 0.6$ 属于中度协同、 $0.6 < D_s \leq 1$ 属于高度协同。

2.5 固定效应模型

将计算所得的 2011—2020 年水资源与社会经济协同度作为被解释变量。解释变量包括:①地表水资源量,其代表了研究区地表水资源的总和,主要由河流水与湖泊水组成,是衡量该地区水资源储备量和水资源禀赋的重要指标;②水资源开发利用,其是最能代表当地水资源开发利用水平的指标;③城市污水日处理能力,其反映了各地区水资源的质量管理情况,污水处理能力越强,代表管理与维护水资源的能力越强;④城镇化率,其可直接反映城镇化水平的高低,城镇化是未来经济增长的重要推动

力;⑤每 10 万人高等学校在校学生数,其体现了该地区总人口中接受高等教育的相对规模情况,在一定程度上反映该地区的文化素养与人才储备情况;⑥技术市场成交额,其代表了该地区的科技创新能力,正常情况下,技术市场成交额越多科技创新成果也就越突出。

在建立多元线性回归模型之前,需要先对面板数据进行检验,利用 Stata17 进行 F 检验和 Hausman 检验,选择合适的回归模型^[21-22]。得到 F 检验的统计量为 23.670, p 值为 0.000 0,原假设在 5% 的显著性水平下被拒绝,选择固定效应模型。Hausman 检验结果显示 p 值为 0.003 2,原假设在 5% 的显著性水平上被拒绝,选择固定效应模型。综合 2 种检验结果,固定效应模型拟合结果最优,构建模型如下:

$$D_{sit} = C + \beta_1 B_{it} + \beta_2 K_{it} + \beta_3 R_{it} + \beta_4 Z_{it} + \beta_5 S_{it} + \beta_6 J_{it} + \alpha_{it} \quad (i = 1, 2, \dots, 9; t = 1, 2, \dots, 10) \quad (5)$$

式中: D_{sit} 为 i 省区第 t 年的水资源与社会经济协同度; C 为常数项; α_{it} 为随机误差项; B_{it} 为 i 省区第 t 年的地表水资源量; K_{it} 为 i 省区第 t 年的水资源开发利用; R_{it} 为 i 省区第 t 年的城市污水日处理能力; Z_{it} 为 i 省区第 t 年的城镇化率; S_{it} 为 i 省区第 t 年的每 10 万人高等学校在校学生数; J_{it} 为 i 省区第 t 年的技术市场成交额; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ 为各变量的待估系数。

3 结果与分析

3.1 水资源与社会经济综合评价

3.1.1 水资源综合评价

表 1 为 2011—2020 年黄河流域各省区水资源综合评价指数,可见,各省区的水资源发展呈现出不断上升的趋势,但水资源的增长速度较缓。2011 年各省区之间的水资源综合评价指数差距较小,聚集于 0.13 左右,经过 10 年的演变,组间差距逐渐扩大,说明各省区水资源的开发与利用程度差异明显。2011—2015 年,内蒙古的水资源综合评价指数在黄河流域处于领先地位,2015 年之后,虽然也呈上升的态势,但增长速度远不如青海、山东、陕西等省。分析发现,内蒙古的科技滞后性影响了水资源的良性循环,一方面,工业增值引发的水污染缺乏科学的机械设备进行及时处理,水质性缺水严重;另一方面,水资源开发利用能力有限,限制了城市供水能力的提升,人均水资源量缩减,影响社会经济的进步。除此之外,黄河流域 2011—2020 年水资源综合评价指数整体变化趋势稳定,各省区水资源综合评价指

表 1 各省区水资源综合评价指数

Table 1 Comprehensive evaluation index of water resources in different provinces

年份	山西	内蒙古	山东	河南	四川	陕西	甘肃	青海	宁夏
2011	0.1159	0.1163	0.1382	0.1136	0.1307	0.1577	0.1422	0.1362	0.1547
2012	0.1606	0.1598	0.1465	0.1137	0.1401	0.1393	0.1494	0.1363	0.1622
2013	0.1348	0.1844	0.1500	0.1187	0.1630	0.1396	0.1576	0.1471	0.1815
2014	0.1943	0.1961	0.1903	0.1450	0.1816	0.1547	0.1651	0.1610	0.1745
2015	0.2136	0.2047	0.2077	0.1654	0.1530	0.1797	0.1899	0.1839	0.1849
2016	0.2017	0.2522	0.2188	0.1847	0.1779	0.2129	0.1853	0.2358	0.1779
2017	0.1911	0.2408	0.2657	0.1991	0.2022	0.2081	0.2227	0.2470	0.2333
2018	0.2199	0.2606	0.2626	0.2227	0.2292	0.2537	0.2616	0.2693	0.2411
2019	0.2572	0.2502	0.3097	0.2924	0.2616	0.3036	0.2796	0.3592	0.2567
2020	0.2769	0.2801	0.3527	0.3222	0.3602	0.3968	0.3810	0.3743	0.3315

数虽然都存在一定程度的波动,但波动幅度不大,说明黄河流域整体的水资源发展比较稳定。

3.1.2 社会经济综合评价

表2为2011—2020年黄河流域各省区的社会经济综合评价指数,可见黄河流域社会经济综合评价指数整体处于不断上升的态势,且增长效果显著。2011年,各省区经济水平普遍偏低,且地区间差距较小,综合评价指数集中于0.01左右,经过10年的发展,经济水平均得到显著提升,但各省区差距也进一步扩大,组间差异明显,这与水资源变化趋势具有一致性,印证了水资源与社会经济之间存在相互作用关系。2011—2015年,内蒙古的社会经济综合评价指数在黄河流域内处于领先地位,2016年开始,宁夏与四川步入高速发展阶段,社会经济综合评价指数也逐渐赶超其他省份。与此同时,内蒙古的社会经济水平虽然在不断上升,但增速下降,直至2020年,内蒙古的经济水平在黄河流域已经居于末位。研究发现,宁夏、四川一直将科技创新作为社会经济发展的重点项目,无论是地方财政科学技术支出、技术市场成交额还是规模以上工业企业有效发明专利数都在逐年上涨。科技创新是社会经济增长的重要源动力,能为区域经济发展提供新的增长点,而内蒙古在科技创新方面的投入与产出则稍逊一筹。社会经济综合评价指数波动幅度最大的是山西,该省经济发展并不稳定,2014—2016年社会经济发展进入低谷,直至2017年后才逐渐恢复。与山

西不同的是,在山东、河南等省,稳定的社会经济发展将为水资源与社会经济的协同演变积蓄力量。

结合表1和表2发现:①社会经济综合评价指数与水资源综合评价指数都呈现出显著增长的态势,两者发展趋势相同,但增长速度不同,社会经济增速高于水资源;②2011—2020年绝大多数省的水资源与社会经济指数都处于波动增长的过程中,但社会经济综合评价指数波动幅度大于水资源,说明水资源整体发展情况比较平稳;③水资源与社会经济的演进过程存在一致性,社会经济的提升会带动水资源综合评价指数的上涨,水资源发展受限也会间接影响社会经济水平的进步,内蒙古地区的综合评价指数变化情况很好地印证了这一点。

3.2 水资源与社会经济协同度

3.2.1 协同度时序分析

表3为黄河流域各省区2011—2020年水资源与社会经济协同度的时序变化,可见,无论是黄河流域还是各省区随着水资源与社会经济的发展,都由协同向更加协同的方向演变,整体发展态势良好,但目前都处于轻度协同或中度协同,上升速度较慢。山东、河南、四川始终交替领先,协同度在0.2左右。2011—2016年,只有山东在2011年进入中度协同范畴,协同度达到0.2094,远超其他省区;2017年之后,山东、河南、四川相继进入中度协同状态,直至2020年,3省协同度分别达到0.2236、0.2332和0.2161。其次,陕西在2011—2012年协同度出现

表 2 各省区社会经济综合评价指数

Table 2 Comprehensive evaluation index of social economy in different provinces

年份	山西	内蒙古	山东	河南	四川	陕西	甘肃	青海	宁夏
2011	0.0197	0.0236	0.0074	0.0001	0.0031	0.0005	0.0055	0.0098	0.0120
2012	0.0972	0.2027	0.0692	0.0529	0.0691	0.0969	0.0921	0.0583	0.0565
2013	0.1860	0.2186	0.1293	0.0802	0.0842	0.1357	0.1686	0.1019	0.1148
2014	0.1663	0.2735	0.1616	0.1222	0.1191	0.2055	0.2320	0.1678	0.1765
2015	0.1533	0.2512	0.1916	0.1593	0.2131	0.2434	0.2495	0.2238	0.2291
2016	0.1743	0.2664	0.2379	0.2045	0.2284	0.2746	0.2815	0.2728	0.2708
2017	0.2758	0.3410	0.2924	0.2818	0.3037	0.3478	0.3157	0.3208	0.3653
2018	0.3732	0.3523	0.3516	0.3607	0.4359	0.3867	0.3760	0.3799	0.4611
2019	0.4621	0.4009	0.4252	0.4486	0.5229	0.4315	0.4375	0.3852	0.5173
2020	0.4685	0.4326	0.5131	0.5577	0.5296	0.4627	0.4810	0.4469	0.5500

表 3 各省区协同度时序变化

Table 3 Timing changes of synergy degree in different provinces

年份	山西	内蒙古	山东	河南	四川	陕西	甘肃	青海	宁夏	黄河流域
2011	0.1168	0.1096	0.2094	0.1718	0.1742	0.1681	0.1168	0.1328	0.0798	0.1422
2012	0.1104	0.1030	0.1879	0.1674	0.1741	0.1339	0.1135	0.1290	0.0830	0.1336
2013	0.1120	0.1235	0.1859	0.1565	0.1637	0.1426	0.1254	0.1215	0.0843	0.1351
2014	0.1263	0.1206	0.1775	0.1623	0.1782	0.1410	0.1157	0.1227	0.0870	0.1368
2015	0.1166	0.1246	0.1790	0.1677	0.1883	0.1453	0.1231	0.1219	0.0860	0.1392
2016	0.1307	0.1176	0.1865	0.1728	0.1932	0.1484	0.1286	0.1258	0.0902	0.1438
2017	0.1235	0.1129	0.2090	0.1952	0.2013	0.1563	0.1373	0.1211	0.0963	0.1503
2018	0.1241	0.1167	0.1971	0.2155	0.2054	0.1586	0.1334	0.1231	0.0969	0.1523
2019	0.1264	0.1200	0.2173	0.2181	0.2138	0.1711	0.1157	0.1184	0.0987	0.1555
2020	0.1385	0.1316	0.2236	0.2332	0.2161	0.1664	0.1014	0.1337	0.0888	0.1593

较大幅度下降,可以认为该时段水资源与社会经济处于磨合阶段,关联度并不高,相互作用程度也有限;2012年之后陕西的协同度缓慢上升并趋于平稳,水资源与社会经济由磨合阶段转向稳定协同阶段,只是相互作用程度依然有限,导致协同度增长较慢。山西、甘肃、内蒙古、青海4省区协同发展水平差异较小,协同度长期处于0.10~0.15,发现其水资源的供给难以满足社会经济增长的需求,如若不及时提升水资源利用率,保护水生态,协同度很难显著增长。宁夏的协同度始终低于0.1,主要原因是宁夏的社会经济增长速度与水资源发展速度不匹配,社会经济的飞速发展不断挑战着水资源的承载力,

一旦突破水资源承载力红线,水资源与社会经济关系将面临脱轨风险,由协同转变为不协同。观察协同度时序变化,发现黄河流域整体协同度低于山东、河南、四川、陕西,说明这4省的协同度水平目前比较理想,提升了黄河流域的整体协同水平;而内蒙古、甘肃、青海、宁夏,山西的协同度水平偏低,暂时制约了整个黄河流域的协同发展。

3.2.2 协同度空间分布

选取2011年、2014年、2017年、2020年各省区的协同度数据进行可视化处理,结果如图2所示。综合观察黄河流域4个典型年的协同度空间分布可知:①2011年大部分地区协同度较低,协同度最高

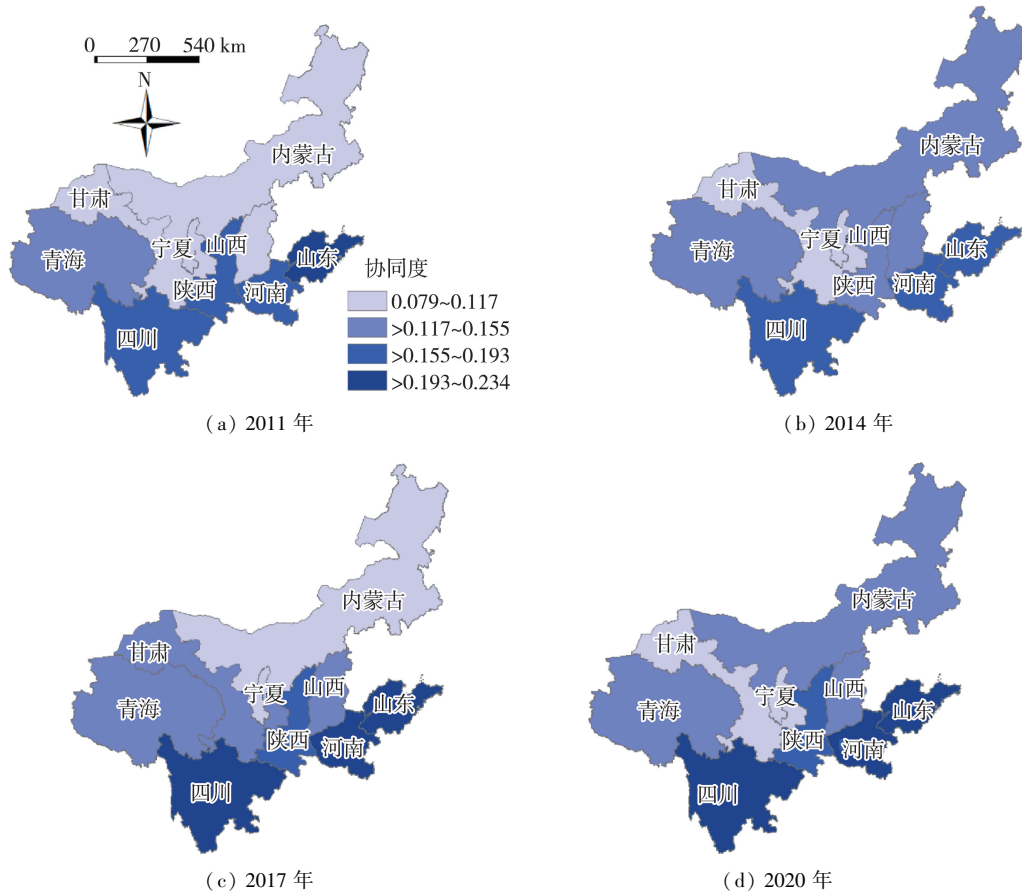


图 2 协同度空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of synergy degree

的省是山东,此时黄河流域各省区水资源与社会经济关系并不紧密,随着时间的推移,到 2020 年时黄河流域的协同发展水平整体提升,虽然过程中也有部分省的水资源与社会经济协同度出现波动,但仍可以说明经过 10 年的发展,水资源与社会经济关系逐渐和谐,相互作用能力也有所提升。②以四川、山东、河南以及陕西部分地区为代表的黄河以南地区的协同度高于黄河以北地区,协同度发展整体呈现出“南高北低”的现象;除此之外,黄河下游协同度也高于中上游。③甘肃和青海的协同度始终较低,2 省地处黄河上游,河水含泥沙量少,水质性缺水问题得到缓和,只是降水分布不均引发的季节性缺水问题比较严重。除此之外,地区的社会经济发展状况更加不容乐观,经济增长是该地区未来工作的重难点,提升经济发展速度,维护水资源与社会经济之间的协调关系,否则水资源对社会经济的补给作用无法得到充分发挥,社会经济对水资源的管理和调控能力也不足。④宁夏在 2011—2020 年协同发展水平几乎没有任何变化,与山东相似,该地区水资源发展水平限制了社会经济的提升,无法为经济增长提供充足的资源供给,宁夏长期滞后的协同水平也对整个黄河流域造成影响。

3.3 协同度影响因素

表 4 为各变量对协同度的影响效应,面板数据方差对总体方差的贡献为 0.989,大于 0.9,说明解释变量对被解释变量的解释能力较强。观察各变量的 p 值,每 10 万人高等学校在校学生数、地表水资源量、水资源开发利用率以及城市污水日处理能力在 1% 的显著性水平上显著,技术市场成交额在 5% 的显著性水平上显著,而城镇化率的影响并不显著。

表 4 各变量对协同度的影响效应
Table 4 Effects of variables on synergy degree

变量	回归系数	t 检验值	p 值
地表水资源量	0.074 2	4.69	0.000
水资源开发利用率	0.072 4	3.99	0.000
城市污水日处理能力	0.028 2	3.00	0.004
城镇化率	-0.058 6	-1.51	0.134
每 10 万人高等学校在校学生数	0.062 7	3.36	0.001
技术市场成交额	0.004 7	2.31	0.024
常数项	-0.054 7	-0.60	0.549

a. 在协同发展过程中地表水资源量呈现显著的正向影响,地表水资源量每增加 1%,水资源与社会经济协同度就会增加 0.074 2%。地表水资源量越高代表该地区水资源储备量越丰富,水质也相对较好,这为水资源的发展赢得优势。良好的水资源状况可以满足更多的生产、生活用水需求,无论是用于工农业生产还是航道运输,都能为社会经济发展

创造价值,同时也节约了用于水资源开发利用与治理的资金,间接为社会经济增长做出贡献。

b. 协同度与水资源开发利用率存在显著的正相关关系。对社会经济发展来说,水资源开发利用率越高,供水量越多,社会生产、生活的各行各业都能得到保障,有利于社会经济的良好运行。基于可持续发展的角度考虑,提升水资源开发利用率,可以有效丰富水资源的循环利用过程,减少水资源浪费现象的发生,符合可持续发展要求。因此,水资源开发利用率与协同度之间呈正相关关系,水资源开发利用率每增加 1%,协同度就会上升 0.072 4%。

c. 协同发展过程中城市污水日处理能力同样产生正向影响。城市污水日处理能力每增加 1%,协同度就会增加 0.028 2%。提升城市污水日处理能力,保护水资源质量,这是水生态管理的重要内容,系统、科学、健康的水资源质量监测对水资源可持续发展具有支撑作用。作为缺水国家之一,一方面要让有限的水资源满足所有人口的生活需求,除了高效开发、有效利用之外,对污水的处理也十分必要。处理后的污水一方面可以降低对环境的污染,维护水生态系统;另一方面,也可以回收再利用,缓解水资源的供应压力。地表水资源量、水资源开发利用率以及城市污水日处理能力 3 个变量与协同度都表现出正相关关系,这是对水资源在协同发展过程中重要作用的认可,也说明要提升黄河流域水资源与社会经济的协同水平,促进二者之间的相互作用关系,解决水资源可持续利用问题将是重要一步。

d. 在协同发展过程中城镇化率并未产生明显作用,与协同度之间的相互作用关系并不显著。一般来说,城镇化率指标反映了地区城镇化水平的高低,也是未来经济增长的重要推动力,对协同度应该存在正向影响,并且城镇化率上升对经济增长的推动作用不仅给科学技术的研发提供保障与动力,创造更多的社会福祉,也为水资源开发与管理提供资金技术支持。但本研究结果并未呈现显著的相关性,主要因为城镇化率是度量一个地区城镇化水平的重要指标,但城镇化水平与经济发展之间其实并没有明确的因果关系,尤其是黄河流域 9 省区的城镇化率都不算突出,理论上对社会经济的贡献程度十分有限,未必会带来理想的经济增长。再加上大量农村人口涌入城市,使城市有限的就业资源与基础设施供不应求,城镇化是无就业支撑的城镇化,因此,城镇化率对协同度的影响并不显著。

e. 协同发展中每 10 万人高等学校在校学生数存在显著的正向影响。每 10 万人高等学校在校学生数每增加 1%,水资源与社会经济协同度就会增

加0.0627%。每10万人高等学校在校学生数是体现当地高等教育普及程度的重要指标,在一定程度上反映了地区人口文化素质与人才储备量,代表了该地区未来社会经济发展潜力。高等教育培养的高素质科技人才是一个地区科技进步、经济发展的重要力量,随着人们受教育水平地提升,公民基本道德素养也会有所提升,激发节水意识、增强节水能力,可以有效控制水浪费、水污染等情况的发生。

f. 技术市场成交额对协同度的影响是正向的,回归系数是0.0047。科技是最重要的社会生产力,追求以最少的资源换取最大的效益,有助于提升经济增长速度。除此之外,科技也是提升水资源开发利用、完善水循环过程、改善水生态的重要手段。研究过程中发现,技术市场成交额虽然与协同度呈正相关关系,但回归系数较小,说明黄河流域协同发展过程中,技术市场成交额作用并不突出,科技带来的影响效应有限。虽然黄河流域的大部分省份正在不断增加科技创新投入,但成果并不显著,目前较低的科技水平限制了其在协同演变过程中的作用。

4 结 论

a. 社会经济综合评价指数与水资源综合评价指数整体上都呈现出显著增长的态势,二者的演变过程具有一致性,印证了水资源与社会经济之间的相互作用关系,但增长速度不同,社会经济增速高于水资源。

b. 水资源与社会经济协同度整体不高,大部分省都属于轻度协同,水资源发展的滞后性是协同过程中的短板。因此,要提升水资源与社会经济的协同度,需要在可持续利用理论的基础上提升水资源开发利用并科学管理水环境,解决水资源问题是协同进步的关键。

c. 2011—2020 年水资源与社会经济的协同进展较慢,协同演变的过程是波动向前的,并且黄河流域协同度发展整体呈现出“南高北低”的现象。其中,山东、河南、四川、陕西的协同度较高,内蒙古、甘肃、青海、宁夏,山西的协同度偏低。

d. 每10万人高等学校在校学生数、地表水资源量、水资源开发利用、城市污水日处理能力、技术市场成交额对协同发展存在正向影响,其中,技术市场成交额影响效果较弱,黄河流域仍需加强科技创新的投入与产出。另外,由于黄河流域城镇化发展并不突出,城镇化率对协同发展暂无显著影响。

参考文献:

[1] 刘世庆,巨栋. 困境与破局:我国流域经济与政区经济

协同发展的路径及对策研究[J]. 当代经济管理,2018, 40(4): 66-73. (LIU Shiqing, JU Dong. Dilemma and breakthrough:research on the path and countermeasures of coordinated development of river basin economy and political region economy in China [J]. Contemporary Economic Management, 2018, 40 (4): 66-73. (in Chinese))

[2] 张永凯,孙雪梅. 黄河流域水资源利用效率测度与评价[J]. 水资源保护, 2021, 37 (4): 37-43. (ZHANG Yongkai, SUN Xuemei. Measurement and evaluation of water resources utilization efficiency in the Yellow River Basin[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(4): 37-43. (in Chinese))

[3] 朱晓梅,魏加华,杨海娇,等. 黄河流域城市群水资源利用效率评估及驱动因子分析[J]. 水资源保护, 2022, 38 (1): 153-159. (ZHU Xiaomei, WEI Jiahua, YANG Haijiao, et al. Evaluation of water resources utilization efficiency and driving factor analysis of urban agglomeration in the Yellow River Basin[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(1): 153-159. (in Chinese))

[4] 耿思敏,严登华,罗先香,等. 变化环境下黄河中下游洪涝灾害发展新趋势[J]. 水土保持通报, 2012, 32 (3): 188-191. (GENG Simin, YAN Denghua, LUO Xianxiang, et al. New trends in the development of flood disasters in the middle and lower reaches of the Yellow River under changing environment [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(3): 188-191. (in Chinese))

[5] 刘海娇,黄继文,仕玉治,等. 黄河下游典型城市水生态文明评价[J]. 人民黄河, 2013, 35 (12): 64-67. (LIU Haijiao, HUANG Jiwen, SHI Yuzhi, et al. Evaluation of typical urban water ecological civilization in the lower reaches of the Yellow River[J]. Yellow River, 2013, 35 (12): 64-67. (in Chinese))

[6] 韩美,杜焕,张翠,等. 黄河三角洲水资源可持续利用评价与预测[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25 (7): 154-160. (HAN Mei, DU Huan, ZHANG Cui, et al. Evaluation and prediction of sustainable utilization of water resources in the Yellow River Delta[J]. Chinese People, Resources and Environment, 2015, 25 (7): 154-160. (in Chinese))

[7] 于法稳,方兰. 黄河流域生态保护和高质量发展的若干问题[J]. 中国软科学, 2020 (6): 85-95. (YU Fawen, FANG Lan. Some issues of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. China Soft Science, 2020(6): 85-95. (in Chinese))

[8] 田泽,潘晶晶,任芳容,等. 大保护背景下中国三大流域生态效率评价与影响因素研究[J]. 软科学, 2022, 36 (1): 91-97. (TIAN Ze, PAN Jingjing, REN Fangrong, et al. Evaluation and influencing factors of ecological efficiency in three major river basins in China under the background of conservation [J]. Soft Science, 2022, 36 (1): 91-97. (in Chinese))

- [9] 左其亭,张志卓,吴滨滨. 基于组合权重 TOPSIS 模型的黄河流域九省区水资源承载力评价[J]. 水资源保护, 2020,36(2):1-7. (ZUO Qiting, ZHANG Zhizhuo, WU Binbin. Evaluation of water carrying capacity of nine provinces and regions in the Yellow River Basin based on combinatorial weight TOPSIS model[J]. Water Resources Protection, 2020,36(2):1-7. (in Chinese))
- [10] 高国力,贾若祥,王继源,等. 黄河流域生态保护和高质量发展的重要进展、综合评价及主要导向[J]. 兰州大学学报(社会科学版), 2022, 50(2): 35-46. (GAO Guoli, JIA Ruoxiang, WANG Jiyuan, et al. Important progress, comprehensive evaluation and main orientation of ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin[J]. Journal of Lanzhou University (Social Science Edition), 2022, 50(2): 35-46. (in Chinese))
- [11] 王慧亮,李卓成. 基于能值水生态足迹模型的黄河流域水资源利用评价[J]. 水资源保护, 2022,38(1):147-152. (WANG Huiliang, LI Zhuocheng. Evaluation of water resources utilization in the Yellow River Basin based on energy-valued water ecological footprint model[J]. Water Resources Protection, 2022,38(1):147-152. (in Chinese))
- [12] 吴艳霞,陈步宇,张磊. 黄河流域社会经济与生态环境耦合协调态势及动力因素[J]. 水土保持通报, 2021,41(2):240-249. (WU Yanxia, CHEN Buyu, ZHANG Lei. Coupling and coordination trend and dynamic factors of socio-economic and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(2):240-249. (in Chinese))
- [13] 杨胜苏,张利国,喻玲,等. 湖南省社会经济与水资源利用协调发展演化[J]. 经济地理, 2020,40(11):86-94. (YANG Shengsu, ZHANG Ligu, YU Ling, et al. Coordinated development and evolution of social economy and water resources utilization in Hunan Province[J]. Economic Geography, 2020, 40(11): 86-94. (in Chinese))
- [14] 吴盼,赵信文,顾涛,等. 粤港澳大湾区水资源现状及其与社会经济协同演化趋势:与国际湾区对比研究[J]. 中国地质, 2021,48(5):1357-1367. (WU Pan, ZHAO Xinwen, GU Tao, et al. The current situation of water resources in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and its co-evolution trend with social economy: a comparative study with the international bay area[J]. Geology of China, 2021, 48(5): 1357-1367. (in Chinese))
- [15] 王晓宇,袁汝华. 长江经济带水资源开发利用与社会经济综合发展协调演进分析[J]. 软科学, 2021,35(11):106-114. (WANG Xiaoyu, YUAN Ruhua. Analysis on the coordinated evolution of water resources development and utilization and comprehensive socio-economic development in the Yangtze River Economic Belt[J]. Soft Science, 2021,35(11):106-114. (in Chinese))
- [16] 陈晓雪,时大红. 我国 30 个省市社会经济高质量发展的综合评价及差异性研究[J]. 济南大学学报(社会科学版), 2019, 29(4): 100-113. (CHEN Xiaoxue, SHI Dahong. Comprehensive evaluation and difference study on the high-quality social and economic development of 30 provinces and cities in China[J]. Journal of University of Jinan (Social Science Edition), 2019, 29(4): 100-113. (in Chinese))
- [17] 阳斌成,张家其,罗伟聪,等. 基于 TOPSIS 及耦合协调度的湖南省 2009—2018 年水资源承载力综合评价[J]. 水土保持通报, 2021,41(5):357-364. (YANG Bincheng, ZHANG Jiaqi, LUO Weicong, et al. Comprehensive evaluation of water resource carrying capacity of Hunan Province from 2009 to 2018 based on TOPSIS and coupling coordination[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(5): 357-364. (in Chinese))
- [18] 秦腾,佟金萍. 长江经济带水-能源-粮食耦合效率的时空演化及影响因素[J]. 资源科学, 2021,43(10):2068-2080. (QIN Teng, TONG Jinping. Spatio-temporal evolution and influencing factors of water-energy-food coupling efficiency in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2021, 43(10): 2068-2080. (in Chinese))
- [19] 冯欣,姜文来,刘洋,等. 水资源价值模糊数学模型研究进展[J]. 资源科学, 2021,43(9):1834-1848. (FENG Xin, JIANG Wenlai, LIU Yang, et al. Research progress on fuzzy mathematical model of water resources value[J]. Resources Science, 2021, 43(9): 1834-1848. (in Chinese))
- [20] 夏业领,何刚. 中国科技创新-产业升级协同度综合测度[J]. 科技管理研究, 2018, 38(8): 27-33. (XIA Yeling, HE Gang. Comprehensive measurement of synergy degree of China's scientific and technological innovation-industrial upgrading[J]. Science and Technology Management Research, 2018, 38(8): 27-33. (in Chinese))
- [21] 葛娟娟. 基于耦合的艾比湖流域社会经济-生态环境协调研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学, 2020.
- [22] 陈奕孜. 我国普惠金融发展水平测度及影响因素分析[D]. 保定:河北大学, 2019.

(收稿日期:2022-04-10 编辑:王芳)