

## 甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调驱动因素研究

张恬姿, 王小军, 齐广平, 康燕霞, 银敏华, 马彦麟, 贾琼, 张向宁

### Driving factors of water resources-economic society-ecological environment coupling in Gansu Province

ZHANG Tianzi, WANG Xiaojun, QI Guangping, KANG Yanxia, YIN Minhua, MA Yanlin, JIA Qiong, ZHANG Xiangning

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20220719003>

#### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

##### 近20年中国水资源及用水量变化规律与成因分析

Change law and cause analysis of water resources and water consumption in China in past 20 years

水利水运工程学报. 2019(4): 31 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.04.005>

##### 变化环境下考虑物理机制的SD需水预测研究

System dynamics model-based water demand prediction under changing environment with consideration of physical mechanism

水利水运工程学报. 2021(3): 84 <https://doi.org/10.12170/20200416001>

##### 气候变化下黄河流域未来水资源趋势分析

The future water resources regime of the Yellow River basin in the context of climate change

水利水运工程学报. 2020(2): 1 <https://doi.org/10.12170/20200216001>

##### 城市水-能源-粮食耦合协调发展研究

Research on the coupling coordinative degree in urban water-energy-food system

水利水运工程学报. 2021(1): 9 <https://doi.org/10.12170/20200217001>

##### 黄河下游生态型引黄灌区水资源承载力研究

Study on water resources carrying capacity of ecological diversion irrigation district in the lower reaches of the Yellow River

水利水运工程学报. 2020(2): 22 <https://doi.org/10.12170/20200209001>

##### 我国新型城镇化进程中水问题及对策

Water problems and countermeasures during the process of new urbanization in China

水利水运工程学报. 2017(6): 104 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.06.015>



扫码进入官网，阅读更多精彩文章



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20220719003

张恬姿,王小军,齐广平,等. 甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调驱动因素研究 [J]. 水利水运工程学报, 2023(3): 38-46. (ZHANG Tianzi, WANG Xiaojun, QI Guangping, et al. Driving factors of water resources-economic society-ecological environment coupling in Gansu Province[J]. Hydro-Science and Engineering, 2023(3): 38-46. (in Chinese))

# 甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合 协调驱动因素研究

张恬姿<sup>1,2</sup>, 王小军<sup>2,3</sup>, 齐广平<sup>1</sup>, 康燕霞<sup>1</sup>, 银敏华<sup>1</sup>, 马彦麟<sup>1</sup>, 贾琼<sup>1</sup>, 张向宁<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃农业大学 水利水电工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 3. 水利部应对气候变化研究中心, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 揭示水资源-经济社会-生态环境耦合协调的主要影响因素, 对加强自然资源与经济社会系统宏观管理、推动区域可持续发展具有重要意义。基于内源动力和外向动力两个维度选取要素, 在区域水资源-经济社会-生态环境耦合协调演变分析的基础上, 引入固定效应模型测度 2010—2019 年甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调的驱动因素。结果表明: (1) 经济发展水平、科技水平对甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调水平的提升具有正向作用, 回归系数分别为 0.029 和 0.021, 且通过了 1% 的显著性检验; (2) 分区影响因素差异显著, 环境保护水平和经济发展水平的提高对各分区耦合协调度的提高具有促进作用。据此, 在加快甘肃省经济社会发展的背景下, 应协同相关政策及驱动因素的激励措施, 推动水资源-经济社会-生态环境系统耦合演进。

**关键词:** 水资源; 经济社会; 生态环境; 驱动因素; 耦合协调; 固定效应模型

中图分类号: TV213.9

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2023)03-0038-09

水是生命之源、生态之基、生产之要, 具有生态和经济双重价值属性<sup>[1]</sup>。目前, 我国正处于经济快速发展和工业化加速推进时期, 水资源是支撑区域经济发展的基础性资源。同时, 水资源、经济社会和生态环境间存在紧密的互动关系, 系统间相互作用、相互胁迫, 逐渐向高级协调演进发展<sup>[2]</sup>。区域水资源-经济社会-生态环境耦合协调涉及多个方面, 影响三大系统耦合协调的因素也复杂多样。因此, 科学探究水资源-经济社会-生态环境耦合协调的驱动因素, 是实现区域高级耦合协调的关键所在。

水资源-经济社会-生态环境耦合是指三大系统相互联系、相互作用实现协调发展的现象。在区域可持续发展进程中, 合理的水资源开发利用能够推动经济社会的平稳发展, 促进产业结构合理化, 减少资源损耗, 提高生态治理效率; 经济社会的快速发展需要资源的不断供给及良好生态环境的支撑, 同时经济的平稳发展能加大对水资源和生态环境保护的资金支持力度; 而良好的生态环境有助于水资源良性循环, 并吸引外来市场流入, 促进区域经济增长。

综合分析现有研究, 将水资源、经济社会和生态环境的影响因素归纳为以下层面: (1) 经济发展水平。经济发展水平检验经济社会系统作用程度, 经济社会系统作为水资源-经济社会-生态环境复合系统中一个不可或缺的系统, 主要承担着为其他子系统提供资金支持的任务。姚志春等<sup>[3-5]</sup>发现经济发展水平的提高会对水资源-经济社会-生态环境复合系统产生一定影响。(2) 科技发展水平。科技发展水平的提高能有效提升水资源利用效率<sup>[6-7]</sup>, 降低水资源在开发利用过程中不必要的损耗。童纪新等<sup>[8]</sup>认为科技创新是水资

收稿日期: 2022-07-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52121006, 41961124006); 国家“万人计划”青年拔尖人才支持计划; 自然资源部国土空间规划体系重大问题研究项目(20210103)

作者简介: 张恬姿(1998—), 女, 山西吕梁人, 硕士研究生, 主要从事水资源管理研究。E-mail: 1004825564@qq.com  
通信作者: 齐广平(E-mail: qigp@gsau.edu.cn)

源、经济社会和生态环境系统优化的重要途径,创新要素投入、创新产品产出及创新环境的支撑,生产模式和生产效率向集约型转变,均有利于提高水资源利用效率。(3)政府管理水平。政府发挥宏观调控职能,优化制度设计,缩小发展差距,提高各项资源利用效率。中国经济增长前沿课题组<sup>[9]</sup>认为政府通过扩张公共基础设施,推动区域经济增长。同时,政府在生态环境治理过程中也起到调控作用。(4)资源利用水平。资源利用水平表征区域水资源利用效率,资源的合理利用能减少区域内资源损耗,促进产业结构合理化,推动经济社会的平稳发展。(5)环境保护水平。环境保护水平的提高有助于水资源良性循环,推动水资源-经济社会-生态环境系统向高级协调方向演进。张梅<sup>[10]</sup>认为生态环境系统为人类提供生产资源,并吸收产生的废弃物,环境问题会阻碍经济社会的发展,但从本质上看,经济与环境是可以相互协调并实现可持续发展的。(6)资源影响因素。程国栋<sup>[11]</sup>认为水资源是西北地区限制生态环境和经济社会协调发展的主要原因,而降雨是水资源最重要的补给项,与水资源量呈显著的正相关关系。因此,降雨等资源影响因素也是水资源-经济社会-生态环境复合系统的影响因素之一。

上述内容从理论或实证方面说明了影响水资源-经济社会-生态环境耦合协调的因素复杂多样。但从研究内容看,已有的研究<sup>[12-15]</sup>多集中于水资源-经济社会-生态环境耦合协调时空分布特征的分析,对三大系统耦合协调驱动因素的研究还相对薄弱。鉴于此,本文以甘肃省为例,通过测算2010—2019年水资源-经济社会-生态环境耦合协调度,采用重心演化模型分析其演变特征<sup>[12]</sup>,在先前研究成果的基础上引入空间计量模型对甘肃省三大系统耦合协调影响因素进行评估,以期揭示影响甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调的关键因素。

## 1 研究方法

空间计量经济学是经济学转向关注空间特征的产物,采用的数据类型为面板数据。面板数据是指在一段时间内对个体进行连续观测得到的数据,与横向的截面数据和纵向的时间序列数据相比,面板数据具有对模型参数估计合理、准确和有效等优点。

面板数据模型主要包括混合回归模型、固定效应模型和随机效应模型。混合回归模型与最小二乘法估计原理相似,对个体进行了平均;固定效应模型假设个体存在不相同的截距项,且不随时间变化;随机效应模型假设截距项不固定,并随时间变化,同时认为该模型中截距项与因变量间不存在相关关系。基础模型如下:

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_n X_{nit} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中:  $Y_{it}$  为被解释变量;  $\alpha_{it}$  为截距项;  $\beta_i$  为系数;  $X_{it}$  为解释变量;  $\varepsilon_{it}$  为扰动项;  $i$  表示地区;  $t$  表示时间;  $n$  为变量个数。

在混合回归模型中,无论是从时间上还是从截面上看,个体间均不存在显著差异,即  $\alpha_{it}$  和  $\beta_i$  不随时间和个体差异而变化。在固定效应模型中,  $\beta_i$  不随时间和个体改变;  $\alpha_{it}$  不随时间变化,但随个体变化。在随机效应模型中,个体效应随时间既可以变化也可以不变化,这种不确定性在扰动项中体现。

通过不同的检验方法选取面板数据模型。采用 F 检验判别混合回归模型和固定效应模型,当检验值小于 0.05 时,即在 5% 的显著性水平上拒绝了原假设,认为固定效应模型优于混合回归模型;通过 Hausman 检验来筛选固定效应模型和随机效应模型,当检验值小于 0.05 时,则在 5% 的显著性水平上拒绝了原假设,认为固定效应模型优于随机效应模型。

在对面板数据进行平稳性和协整性检验后,依据模型检验结果,选取固定效应模型对 2010—2019 年甘肃省面板数据进行回归分析,模型如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \beta_4 X_{4it} + \beta_5 \ln X_{5it} + \beta_6 \ln X_{6it} + \beta_7 \ln X_{7it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中:  $X_1$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$  为绝对变量, 取对数消除异方差影响, 其余变量为相对变量, 均为原值。

## 2 数据来源与分析

### 2.1 被解释变量来源

选取 2010—2019 年甘肃省 14 个市州水资源-经济社会-生态环境耦合协调度作为被解释变量(图 1, 为避免雷达图显示过于杂乱, 仅列出 2010 年、2015 年和 2019 年耦合协调度), 具体计算过程详见文献 [12]。甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调度值在 0~1 之间变化, 存在被切割的特点, 符合受限因变量回归模型的设定条件[16]。

### 2.2 解释变量来源

通过上述文献分析, 将经济发展水平  $X_1$ (元/人, 人均 GDP)、工业化水平  $X_2$ (%, 工业增加值占 GDP 比重)、科技发展水平  $X_3$ (个, 研究与试验发展的单位数)、政府管理水平  $X_4$ (%, 地区财政支出占 GDP 的比重)、资源利用水平  $X_5$ ( $\text{m}^3$ /万元, 万元 GDP 用水量)、环境保护水平  $X_6$ (个, 废水治理设施个数)和资源影响因素  $X_7$ (mm, 降雨)作为解释变量, 变量来源于《2011—2020 年甘肃发展年鉴》和《2010—2019 年甘肃省水资源公报》。

## 3 结果与分析

### 3.1 共线性检验

表 1 为 7 个解释变量间的相关系数矩阵及方差膨胀因子(VIF)检验结果。由表 1 可知, 人均 GDP( $X_1$ )与地区财政支出占 GDP 比重( $X_4$ )呈显著负相关, 相关系数为-0.656, 与工业增加值占 GDP 比重( $X_2$ )呈显著的正相关, 相关系数为 0.620; 工业增加值占 GDP 比重( $X_2$ )与地区财政支出占 GDP 比重( $X_4$ )呈显著的负相关关系, 相关系数为-0.616; 其余变量间相关系数均小于 0.600, 相关性较小。为了进一步检验解释变量是否存在着多重共线性, 采用 VIF 对变量进行共线性检验, 若  $f_{\text{VIF}} > 10$ , 表明变量间存在着严重的多重共线性。由表 1 可知, 降雨( $X_7$ )的  $f_{\text{VIF}}$  值最高, 平均  $f_{\text{VIF}}$  值为 3.18, 说明解释变量不存在多重共线性问题。

表 1 相关系数及 VIF 检验

Tab. 1 Correlation coefficient and VIF test

变量	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$X_1$	1						
$X_2$	0.620***	1					
$X_3$	0.368***	-0.092	1				
$X_4$	-0.656***	-0.616***	-0.451***	1			
$X_5$	-0.013	-0.032	0.193**	-0.198**	1		
$X_6$	-0.207**	-0.283***	0.456***	-0.184**	0.222***	1	
$X_7$	-0.607***	-0.470***	-0.230***	0.599***	-0.557***	0.201**	1
$f_{\text{VIF}}$	3.53	3.04	2.37	3.90	2.57	2.28	4.54

注: \*\*\*, \*\*, \*分别代表各变量在1%、5%和10%水平上显著, 下同。

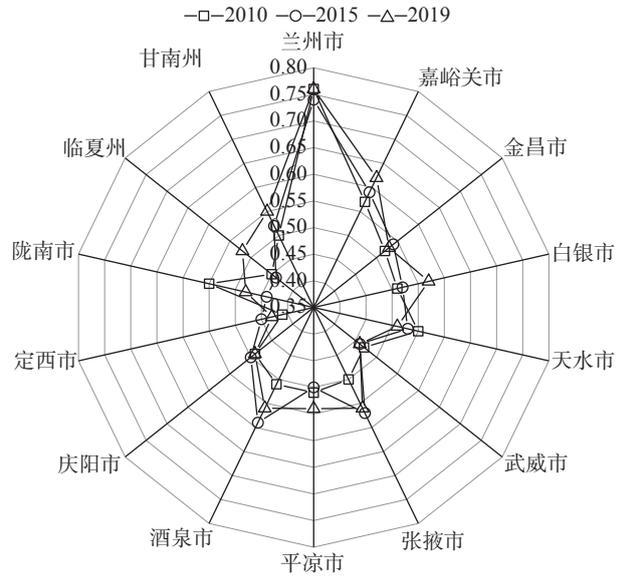


图 1 2010—2019 年甘肃省 14 个市(州)耦合协调度

Fig. 1 Degree of coupling coordination among 14 cities (states) in Gansu from 2010 to 2019

### 3.2 单位根及协整性检验

为避免伪回归,对面板数据的平稳性进行单位根检验。为避免单一检验存在检验误差,同时采用 Harris and Tzavalis 检验(HT 检验)、Im, Pesaran and Shin 检验(IPS 检验)和 Fisher-Auamented Dickey Fuller 检验(Fisher-ADF 检验)提高单位根检验的有效性(表2),并通过  $P$  值来判断各变量显著性( $P$  值是当给定样本观测时,原假设可被拒绝的最小显著性水平,使用  $P$  值进行假设检验时比一般的临界值检验更具信息量)。3 种检验结果均表明:变量耦合协调度( $Y$ )、工业化水平( $X_2$ )、科技发展水平( $X_3$ )、资源利用水平( $X_5$ )存在单位根,因此对被解释变量和解释变量的一阶差分进行检验,各变量均拒绝了面板数据存在单位根的检验,这表明差分后的变量是平稳的。

表2 面板数据单位根检验结果  
Tab. 2 Results of unit root tests for panel data

变量	HT检验		IPS检验		ADF检验		结论
	统计值	$P$ 值	统计值	$P$ 值	统计值	$P$ 值	
$Y$	0.216**	0.048	-2.155**	0.016	22.830	0.742	非平稳
$\Delta Y$	-0.286***	0	-5.063***	0	50.205***	0.006	平稳
$X_1$	-0.110***	0	-2.155**	0.016	109.715***	0	平稳
$\Delta X_1$	-0.461***	0	-4.223***	0	52.590***	0.003	平稳
$X_2$	0.635	0.997	2.417	0.992	8.894***	0	非平稳
$\Delta X_2$	0.090**	0.013	-1.029***	0.002	34.472***	0.007	平稳
$X_3$	0.372	0.489	-1.173	0.120	24.209	0.671	非平稳
$\Delta X_3$	-0.055***	0	-4.255***	0	67.125***	0	平稳
$X_4$	-0.096***	0	-3.721***	0	48.362*	0.061	平稳
$\Delta X_4$	-0.462***	0	-4.409***	0	97.731***	0	平稳
$X_5$	0.460	0.814	0.209	0.583	20.754	0.836	非平稳
$\Delta X_5$	0.032***	0.003	-4.080***	0	73.273***	0	平稳
$X_6$	0.069***	0.001	-3.611***	0	117.860***	0	平稳
$\Delta X_6$	-0.280***	0	-4.004***	0	226.342***	0	平稳
$X_7$	-0.343***	0	-5.288***	0	41.022*	0.054	平稳
$\Delta X_7$	-0.579***	0	-5.518***	0	47.910**	0.011	平稳

注:  $\Delta$ 表示一阶差分。

采用 KAO 和 Pedroni 两种检验方法对 7 个变量进行协整检验。协整结果(表3)表明, Pedroni 检验和 KAO 检验中各变量均在 1% 的显著性水平下拒绝了原假设,即认为变量间存着长期协整关系,可以进行回归模型分析。

### 3.3 回归模型检验

选取 F 检验和 Hausman 检验对 2010—2019 年甘肃省面板数据进行回归模型选取。F 检验统计值为 3.04,  $P$  值为 0.001,即在 1% 的水平下拒绝了原假设,说明固定效应模型优于混合回归模型; Hausman 检验统计值为 57.62,  $P$  值为 0,同样在 1% 的水平下拒绝了原假设,即固定效应模型优于随机效应模型。因此,选取固定效应模型对甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调度影响因素进行回归分析。

### 3.4 固定效应模型回归分析

3.4.1 全样本回归分析 表4 为全样本及分地区回归结果。由表4 可知,甘肃省全样本回归模型  $R^2$  接近

表3 协整检验结果

Tab. 3 Results of cointegration tests				
方法	统计量名	统计值	$P$ 值	结论
Pedroni检验	Panel ADF	-10.382***	0	拒绝
	Panel PP	-9.765***	0	拒绝
KAO检验	ADF	-4.071***	0	拒绝

于 0.99, 表明该模型模拟效果较好。各变量的回归结果显示, 经济发展水平和科技发展水平对甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调度的提升具有显著的正向作用, 其余因素影响不显著。具体分析如下:

经济发展水平( $X_1$ )与耦合协调度( $Y$ )呈正相关关系, 回归系数为 0.029, 且在 1% 的水平下显著, 即人均 GDP 每增加 1%, 甘肃省三大系统耦合协调水平将提高 0.029%。截至 2019 年, 甘肃省 GDP 达到 8 718.30 亿元, 增速比 2018 年提高了 0.1%, 实现了增长 6% 的预期目标。经济的不断发展将倒逼各市州加大对生态环境的治理, 有助于甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调水平的提升。

科技发展水平( $X_3$ )与耦合协调度( $Y$ )呈正相关关系, 回归系数为 0.021, 且在 1% 的水平下显著, 即甘肃省研究与试验发展数每增加 1%, 耦合协调水平将提高 0.021%。科技发展水平的提高能显著促进甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调水平, 一方面, 高新技术的应用, 如污水回收利用技术、雨水集蓄利用等技术的应用将增加水资源的可供水量; 另一方面, 新科技应用能促进新能源的开发, 加大清洁能源的利用占比, 降低石油、煤等的用量, 有利于提高环境治理能力。因此, 科技发展水平的提高是甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调水平向高级方向演进的重要推力。

工业化水平( $X_2$ )与耦合协调度( $Y$ )呈正相关关系, 虽回归系数达到 0.029, 但其影响不显著。政府管理水平( $X_4$ )、资源利用水平( $X_5$ )与甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调度( $Y$ )呈负相关关系, 回归系数分别为-0.011 和-0.004。环境保护水平( $X_6$ )、资源影响因素( $X_7$ )与耦合协调度( $Y$ )呈正相关关系, 回归系数分别为 0.004 和 0.006, 上述因素影响均不显著。

表 4 全样本及分地区回归结果  
Tab. 4 Whole sample and sub-regional regression results

变量	甘肃省	河西内陆区	陇东陇中黄土高原区	甘南高原区	南部秦巴山区	中部沿黄河区
$X_1$	0.029***(5.14)	0.094***(6.44)	0.014(1.48)	-0.066(-1.42)	0.037(0.72)	-0.009(-0.11)
$X_2$	0.029(0.92)	-0.000 3(-0.01)	0.028(0.37)	-0.356***(-1.65)	0.290***(-1.33)	0.071(0.58)
$X_3$	0.021***(4.24)	-0.002(-0.22)	0.001(0.09)	0.021**(2.03)	-0.026(-1.33)	0.094***(-8.84)
$X_4$	-0.011(-0.61)	-0.017(-0.78)	-0.178(-2.44)	-0.112***(-2.99)	-0.104(-0.99)	-0.374***(-2.71)
$X_5$	-0.004(-0.60)	-0.055***(-2.85)	-0.017***(-1.58)	-0.080***(-3.07)	0.081*(1.71)	0.024(0.41)
$X_6$	0.004(1.15)	0.010(1.50)	0.061***(-4.55)	0.021***(-3.29)	0.040***(-1.55)	0.008(1.15)
$X_7$	0.006(0.98)	-0.009 5(-0.82)	0.023(1.02)	0.058**(2.18)	0.015(0.61)	0.077***(-4.21)
Constant	0.172*(1.90)	-0.689***(-2.69)	0.138(0.83)	1.289**(2.27)	-0.060(-0.08)	-0.120(-0.11)
观察值	140	50	30	20	20	20
区域数	14	5	3	2	2	2
$R^2$	0.988	0.987	0.989	0.976	0.976	0.999

注: 括号内的值为相应的标准误差。

**3.4.2 分地区回归分析** 根据《甘肃省加快转型发展建设国家生态安全屏障综合试验区总体方案》, 将甘肃省进一步划分为河西内陆区(酒泉市、嘉峪关市、张掖市、金昌市和武威市)、中部沿黄河区(兰州市和白银市)、陇东陇中黄土高原区(庆阳市、平凉市和定西市)、甘南高原区(甘南州和临夏州)和南部秦巴山区(陇南市和天水市)共 5 大区域。采用固定效应模型对分地区样本进行回归(表 4), 结果表明:

河西内陆区的主要影响因素为经济发展水平( $X_1$ )和资源利用水平( $X_5$ ), 回归系数分别为 0.094 和 -0.055, 均通过了 1% 的显著性检验。河西地区年降雨量少(40~400 mm), 蒸发量大(1 500~3 000 mm), 是气候变化敏感区, 也是生态脆弱区<sup>[17]</sup>, 经济发展水平的提高会反哺生态环境治理效果, 同时, 资源利用水平的

提高,即万元 GDP 用水量的下降也会促进河西内陆区的耦合协调水平提高。

陇东陇中黄土高原区的主要影响因素为资源利用水平( $X_5$ )和环境保护水平( $X_6$ )。其中,资源利用水平与陇东陇中黄土高原区耦合协调度呈负相关关系,回归系数为 $-0.017$ ,且通过了1%的显著性检验,即万元 GDP 用水量每降低1%,该地区耦合系统水平将提高0.017%;而环境保护水平对耦合协调度呈正相关关系,回归系数为0.061,通过了1%的显著性检验,环境保护水平的提高是该区域耦合协调水平提高的重要推动力。

甘南高原区的主要影响因素包括工业化水平( $X_2$ )、科技发展水平( $X_3$ )、政府管理水平( $X_4$ )、资源利用水平( $X_5$ )、环境保护水平( $X_6$ )及资源影响因素( $X_7$ )。其中,工业化水平对甘南高原区耦合协调度呈负相关关系,回归系数为 $-0.356$ ,且通过了1%的显著性检验,结合甘南高原区地域特征及农业生产特征,工业化水平的提高会导致产业结构的改变。科技发展水平与甘南高原区耦合协调度呈正相关关系,回归系数为0.021,且通过了5%的显著性检验。政府管理水平与甘南高原区耦合协调度呈负相关关系,回归系数为 $-0.112$ ,且通过了1%的显著性检验。资源利用水平与甘南区耦合协调度呈负相关关系,回归系数为 $-0.080$ ,通过了1%的显著性检验,即认为万元 GDP 用水量每降低1%,该地区耦合协调水平将提高0.080%。同时,资源影响因素与该地区耦合协调度呈正相关关系,回归系数为0.058,通过了5%的显著性检验。环境保护水平的提高对甘南区耦合协调度的增大具有一定的正向作用,回归系数为0.021,且通过了1%的显著性检验,长期以来甘南地区畜牧业的不断发展,使原有的草地生态系统受到破坏,草地退化、沙化等现象频出,环境保护水平的提高有利于该区域生态环境的进一步修复,促进甘南高原区耦合协调水平的提升。

南部秦巴山区的主要影响因素为工业化水平( $X_2$ )、环境保护水平( $X_6$ )及资源利用水平( $X_5$ )。其中,工业化水平对该地区耦合协调度的提高具有一定的正向作用,回归系数为0.290,且通过了1%的显著性检验,即认为工业化水平每提高1%,南部秦巴山地区的耦合协调度将提高0.290%。南部秦巴山区部分市(州)经济发展较慢,工业化进程的持续推进有助于促进南部秦巴山区耦合协调水平的提高。环境保护水平与耦合协调度呈正相关关系,回归系数为0.040,通过了1%的显著性检验,环境保护水平的提高是南部秦巴山区耦合协调水平提升的外部推动力。资源利用水平与该区耦合协调水平的回归系数为0.081,且通过了10%的显著性检验,南部秦巴山地区万元 GDP 用水量与其他分区相比较低,资源利用水平较高,应根据区域发展需要,合理配置资源,提升资源利用效率,从而推动南部秦巴山区向高级耦合协调方向演进。

中部沿黄河区主要影响因素为科技发展水平( $X_3$ )、政府管理水平( $X_4$ )和资源影响因素( $X_7$ )。其中,科技发展水平与中部沿黄河区耦合协调度呈正相关关系,回归系数为0.094,且通过了1%的显著性检验,高新技术的应用对于该区域内耦合协调水平的提升具有一定的促进作用,中部沿黄河区经济发展较好,产业结构合理,且境内有黄河贯穿,通过技术投入,更有利于其耦合协调水平的提高。政府管理水平与中部地区耦合协调度呈负相关关系,回归系数为 $-0.374$ ,且通过了1%的显著性检验,表明政府的宏观调控作用未得到有效发挥,对中部地区耦合协调水平的提升作用仍未充分展现。降雨与中部地区耦合协调度呈正相关关系,回归系数为0.077,且通过了1%的显著性检验,即认为降雨量每增加1%,中部沿黄河区耦合协调度将提高0.077%,合理利用雨水将有助于中部沿黄河区耦合协调水平的提升。

## 4 结 语

(1)经济发展水平、科技发展水平对甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调水平的提升具有显著的正向作用;工业化水平和环境保护水平对耦合协调水平具有不显著的促进作用;资源利用水平提高,即万元 GDP 用水量降低有助于甘肃省耦合协调水平的提升。

(2)不同分区影响因素差异显著,其中,河西内陆区主要影响因素有经济发展水平和资源利用水平;陇

东陇中黄土高原区的主要影响因素为资源利用水平和环境保护水平;甘南高原区的主要影响因素包括工业化水平、科技发展水平、政府管理水平、资源利用水平、环境保护水平及资源影响因素;南部秦巴山区的主要影响因素为工业化水平、环境保护水平及资源利用水平;中部沿黄河区主要影响因素为科技发展水平、政府管理水平和资源影响因素。

通过上述对甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调驱动因素的研究,建议因地制宜,分区施策,进而推动甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调水平的提高。对于水资源短缺的甘肃省来说,应立足于实际,提高水资源利用效率,加快产业结构转型升级,强化高新技术的应用,挖掘工业节水潜力,加强生态环境治理,实现水资源-经济社会-生态环境协调发展。对于各个分区而言,南部秦巴山区应提高资源利用效率,注重生态环境保护 and 重塑,降低生产和生活污染物排放量<sup>[18]</sup>;河西内陆区应增强经济发展动能,提高资源利用效率,禁止对资源大规模、无序化开发;中部黄河区作为甘肃省经济发展重心,应依靠技术进步提高三个系统的耦合协调水平,积极培育并做大做强新型产业;甘南高原区应减少畜牧活动,逐步提升环境保护水平,同时,该区域经济发展水平不高,应强化甘南州和临夏州旅游业发展,将其作为经济发展新动能;陇东陇中黄土高原应强化环境管理与保护水平,切实抓好环境治理,逐步解决制约该区域耦合协调的影响因素。最后,应发挥多要素叠加作用,提升水资源利用效率,充分发挥政府和科技在水资源配置中的作用,加强产业结构转型升级,逐步淘汰落后的工艺及技术,提倡低污染、低消耗的生产方式,实现产业绿色转型,进而稳步提升区域水资源-经济社会-生态环境耦合协调水平。

## 参 考 文 献:

- [1] 张杏梅,翟琴琴. 基于水资源生态足迹的陕西省水资源利用与经济增长的脱钩分析[J]. *中国农村水利水电*, 2021(10): 21-26. (ZHANG Xingmei, ZHAI Qinqin. Decoupling analysis of water resources utilization and economic growth in Shaanxi Province based on the ecological footprint of water resources[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2021(10): 21-26. (in Chinese))
- [2] 杜湘红,张涛. 水资源环境与社会经济系统耦合发展的仿真模拟——以洞庭湖生态经济区为例[J]. *地理科学*, 2015, 35(9): 1109-1115. (DU Xianghong, ZHANG Tao. The simulation to coupling development between water resource & environment and socio-economic system: Dongting Lake ecological economic zone as an example[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(9): 1109-1115. (in Chinese))
- [3] 姚志春,安琪. 区域水资源生态经济系统耦合关系分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2011, 22(5): 63-68. (YAO Zhichun, AN Qi. Coupling relative analysis of eco-economic system of regional water resources[J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2011, 22(5): 63-68. (in Chinese))
- [4] 申晓晶. 基于协同论的水资源配置模型及应用[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2018. (SHEN Xiaojing. Research on synergetics theory-based water resources allocation model and its application[D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2018. (in Chinese))
- [5] 李爱花,李原园,酆建强. 水资源与经济社会及生态环境系统协同发展初探[J]. *人民长江*, 2011, 42(18): 117-121. (LI Aihua, LI Yuanyuan, LI Jianqiang. Preliminary discussion on synergetic development between water resources and social economy and eco-environment[J]. *Yangtze River*, 2011, 42(18): 117-121. (in Chinese))
- [6] 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. (TIAN Shizhong, DING Yujie. Greenization measurement of urban agglomeration in Yangtze River Delta and its influence factors: an empirical study based on the entropy-Tobit model of 26 cities' panel data[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(9): 94-103. (in Chinese))
- [7] 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. (ZHAO Jianji, LIU Yan, ZHU Yakun, et al. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. *Resources Science*, 2020, 42(1): 159-171. (in Chinese))

- [8] 童纪新,任丁维. 浙江省科技创新与水资源环境耦合协调度分析与预测[J]. 资源与产业, 2022, 24(1): 37-45. (TONG Jixin, REN Dingwei. Analysis and forecast on coupling coordination between technical innovation and water resources environment in Zhejiang Province[J]. Resources & Industries, 2022, 24(1): 37-45. (in Chinese))
- [9] 中国经济增长前沿课题组. 城市化、财政扩张与经济增长[J]. 经济研究, 2011, 46(11): 4-20. (Research Group on China's Economic Growth (CASS). Urbanization, fiscal expansion and economic growth[J]. Economic Research Journal, 2011, 46(11): 4-20. (in Chinese))
- [10] 张梅. 长三角城市群区域经济—资源—环境耦合协调研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018. (ZHANG Mei. Coupling and coordination of the economy-resources-environment system in Yangtze Delta Megalopolis[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018. (in Chinese))
- [11] 程国栋. 承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架[J]. 冰川冻土, 2002, 24(4): 361-367. (CHENG Guodong. Evolution of the concept of carrying capacity and the analysis framework of water resources carrying capacity in northwest of China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(4): 361-367. (in Chinese))
- [12] 张恬姿,王小军,齐广平,等. 甘肃省水资源-经济社会-生态环境耦合协调演变分析[J]. 水利水电工程学报, 2023(2):53-63. (ZHANG Tianzi, WANG Xiaojun, QI Guangping, et al. Analysis of the spatial-temporal evolution characteristics of water resources-economic society-ecological environment coupling and coordination in Gansu Province[J]. Hydro-Science and Engineering, 2023(2): 53-63. (in Chinese))
- [13] 王富强,应卓晖,吕素冰,等. 京津冀地区水-经济-生态耦合协调发展特征评价[J]. 水资源保护, 2022, 38(5): 80-86. (WANG Fuqiang, YING Zhuohui, LÜ Subing, et al. Evaluation of the characteristics of coupling coordinated development of water-economy-ecology system in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(5): 80-86. (in Chinese))
- [14] 汪顺生,杨金月,王爱丽,等. 河南省黄河流域水资源—经济—生态系统耦合协调评价及预测[J]. 湖泊科学, 2022, 34(3): 919-934. (WANG Shunsheng, YANG Jinyue, WANG Aili, et al. Evaluation and forecast of coupling coordination of water resources, economy and ecosystem in the Yellow River Basin of Henan Province[J]. Journal of Lake Sciences, 2022, 34(3): 919-934. (in Chinese))
- [15] 闻豪,文凤. “一带一路”重点省份水资源-经济-生态环境耦合协调分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2019, 52(10): 870-877. (WEN Hao, WEN Feng. Coupling and coordination analysis of water resources-economy-ecological environment in key provinces of “the Belt and Road” [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2019, 52(10): 870-877. (in Chinese))
- [16] 陈强. 高级计量经济学及Stata应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010. (CHEN Qiang. Advanced econometrics and Stata applications[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010. (in Chinese))
- [17] 雍国正,刘普幸,姚玉龙,等. 河西绿洲城市干旱脆弱性评价[J]. 土壤, 2014, 46(4): 749-755. (YONG Guozheng, LIU Puxing, YAO Yulong, et al. Evaluation of vulnerability to drought in Hexi oasis[J]. Soils, 2014, 46(4): 749-755. (in Chinese))
- [18] 敬博,李同昇,祁航,等. 基于供需匹配模型的秦巴山区人地关系均衡状态及空间管控研究[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(3): 654-667. (JING Bo, LI Tongsheng, QI Hang, et al. Research on equilibrium state and space control of man-land relationship in Qinba mountains on the base of supply and demand matching model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(3): 654-667. (in Chinese))

# Driving factors of water resources-economic society-ecological environment coupling in Gansu Province

ZHANG Tianzi<sup>1,2</sup>, WANG Xiaojun<sup>2,3</sup>, QI Guangping<sup>1</sup>, KANG Yanxia<sup>1</sup>, YIN Minhua<sup>1</sup>,  
MA Yanlin<sup>1</sup>, JIA Qiong<sup>1</sup>, ZHANG Xiangning<sup>1,2</sup>

(1. College of Water Resources and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Research Center for Climate Change, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Revealing the main influencing factors of coupled water resources-economic society-ecological environment coordination is important for strengthening the macro management of natural resources and economic society systems as well as promoting regional sustainable development. With the selection of indicators based on two dimensions of endogenous and outward dynamics, this study introduces a fixed-effects model to measure the coupled water resources-economic society-ecological environment coordination drivers in Gansu Province from 2010 to 2019 by analyzing the evolution of regional water resources-economic society-ecological environment coupling. The results show that: ① The level of economic development and technological development have a positive effect on the improvement of the level of coupled water resources-economic society-ecological environment coordination in Gansu Province, with regression coefficients of 0.029 and 0.021 respectively, and passing the 1% significance test. ② The factors influencing the zoning areas differ significantly, the improvement of the level of environmental protection and economic development has a catalytic effect on the improvement of the coupling coordination of the sub-regions. In the context of accelerating economic society development in Gansu Province, policies and incentives of relevant drivers should be coordinated to promote the coupled evolution of water resources-economic society-ecological environment system.

**Key words:** water resources; economic society; ecological environment; driving factors; coupled coordination; fixed effects models