

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2021.04.001

兰州—西宁城市群水生态—经济协同发展评价研究

柳海亮^{1,2}, 于坤霞^{1,2}, 李鹏^{1,2}, 李占斌^{1,2}, 刘睿³, 阎思宇^{1,2}

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 西安理工大学 旱区生态水文与灾害防治国家林业局重点实验室, 陕西 西安 710048;

3. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要:近年来,黄河流域高质量发展问题日益受到重视。为研究黄河流域目前的高质量发展水平,本文以黄河流域上游兰州—西宁城市群(以下简称“兰西城市群”)为例,对其水生态—经济协同发展水平进行了时空评价,研究结果可为兰西城市群高质量发展的科学决策与规划提供支撑。本研究选取了9个水生态—经济复合指标构建评价指标体系,并采用分段模糊隶属度数据归一化方法和熵技术支持下的层次分析法确定了各指标的权重,最后将所有指标集成为一个综合指标,即水生态—经济协同发展度。结果表明:兰西城市群整体上的水生态—经济协同发展水平呈轻度上升趋势,但始终处于一般协同发展水平;影响兰西城市群协同发展度的主要因素是地区水资源本底条件,次要因素依次是农业用水效率、工业用水效率和人均生活用水量。

关键词:兰西城市群;水生态—经济;协同发展;熵权法

中图分类号: F127;X24

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2021)04-0451-09

Study on the evaluation of the coordinated development of water ecology and economy in Lanzhou-Xining urban agglomeration

LIU Hailiang^{1,2}, YU Kunxia^{1,2}, LI Peng^{1,2}, LI Zhanbin^{1,2}, LIU Rui³, YAN Siyu^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Key Laboratory of National Forestry Administration on Ecological Hydrology and Disaster Prevention in Arid Regions, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3. Power China Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710065, China)

Abstract: In recent years, the problem of high-quality development in the Yellow River Basin has attracted increasing attention. In order to explore the current high-quality development level of the Yellow River Basin, taking Lanzhou-Xining urban agglomeration in the upper reaches of the Yellow River Basin (hereinafter referred to as “Lanxi urban agglomeration”) as an example, this paper makes a spatio-temporal evaluation of its water ecological and economic coordinated development level. The research results can provide support for scientific decision-making and planning for the high-quality development of the Lanxi urban agglomeration. The study selects 9 water ecology-economic composite indicators to construct an evaluation indicator system, and uses the method for the normalization of subsection fuzzy membership data and the analytic hierarchy process method supported by entropy technology to determine the weight of each indicator. Finally, all the indicators are integrated into a comprehensive index, that is, the degree of coordinated development of water ecology and economy. The results suggest that the overall water ecology-economic coordinated development level of the Lanxi urban agglomeration shows a slight upward trend, but it is always at the general coordinated development level. The main factor affecting the degree of coordinated development of the Lanxi urban agglomeration is the background conditions

收稿日期: 2021-06-08; 网络出版日期: 2021-08-23

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20210820.1742.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51879281)

第一作者: 柳海亮,男,硕士生,研究方向为水文学及水资源。E-mail:3288779700@qq.com

通信作者: 于坤霞,女,博士,副教授,硕导,研究方向为水文学及水资源。E-mail:yukunxia@126.com

of regional water resources, and the secondary influencing factors are agricultural water use efficiency, industrial water use efficiency and per capita domestic water consumption in order.

Key words: Lanxi urban agglomeration; water ecology-economy; coordinated development; entropy method

黄河,是中国人民的母亲河,也是孕育中华文明的摇篮。21世纪以来,黄河流域水资源供需矛盾愈演愈烈、水环境污染持续加剧^[1],这让本就脆弱的生态环境已经难以承载传统的经济发展模式,因此,向生态,尤其是水生态与经济协同发展的发展模式转型势在必行。2019年9月18日,习近平总书记在郑州主持召开了黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话。习近平总书记指出,坚持生态优先、绿色发展,以水定产,因地制宜,共同抓好大保护,协同推进大治理,促进全流域高质量发展,改善人民群众生活^[2]。这标志着黄河流域从此迈进以生态保护优先、量水而行为特点的高质量发展道路。

关于水生态与经济协同发展的研究目前尚处于起步阶段,更多的是关于生态与经济的协同效应研究。例如,张慧^[3]构建了三江源地区生态与经济协同发展的指标体系,并运用协同发展成熟度模型,对三江源地区生态和经济协同现状进行了评价;熊宇航^[4]深入分析了安康市生态环境与生态经济协同发展中存在的问题,并探讨了该地区生态环境与经济协同发展的对策;石涵予等^[5]基于耦合协调度模型分析了后疫情时代生态空间与经济系统协调发展面临的挑战;Lin^[6]关注了海洋生态与海洋经济之间的耦合协调关系;彭曼丽和彭福扬^[7]甚至从哲学的角度诠释了生态与经济协同发展的历史逻辑。但关于水生态与经济协同发展的研究目前还比较少,其中较为突出的是吴孝天和张英等人的研究。吴孝天^[8]对郑州市的“经济发展-水环境”系统耦合进行了实证分析;张英^[9]通过构建“水生态-社会经济发展”系统指标体系(涵盖浙江省18个指标),选用数据包络分析法对技术协同有效度、规模发展有效度和综合有效度进行了评价。

上述文献就研究手段而言已经比较完备,但其研究区域却仅限于某一个省或某一个城市,缺乏针对集中连片大尺度区域的研究,如流域尺度、城市群尺度,除Luo等^[10]的研究外,几乎再无人涉足。因此,本研究拟以黄河流域的兰西城市群为研究区域,通过合理选取评价指标并构建评价模型来揭示研究区域的水生态与经济协同发展水平,最后基于研究结果,提出了兰西城市群的具有实际可参考性的对策及建议。

1 研究区概况

兰西城市群位于黄河流域上游,是国务院规划的黄河流域城市群之一,因此,研究该城市群的高质量发展问题具有重要意义。兰西城市群以甘肃省和青海省的省会城市兰州市和西宁市为中心,囊括甘肃省定西市、青海省海东市、海北藏族自治州等22个地州市经济带,是我国西部重要的跨省区城市群。城市群国土面积9.75万km²,截至2018年,常住人口约为1500万人,GDP总量逾6000亿元,多年平均水资源总量180亿m³。

兰西城市群地处青藏高原与黄土高原过渡地带,北仗祁连余脉,中拥河湟谷地,南枕青藏高原,地势整体西高东低,海拔从1300m到5000m不等,多年平均降水量300~500mm。境内除黄河干流外,还有左岸一级支流湟水河、右岸一级支流洮河、左岸二级支流大通河等河流,以及一个国内最大的咸水湖泊青海湖。该区域是国家擘画的水源涵养和生物多样性保护重要生态功能区^[11]。兰西城市群范围及水系如图1所示。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

本研究的数据主要来源于《中国统计年鉴》、《中国水资源公报》以及兰西城市群的地级市统计年鉴、省自治区的水资源公报,个别缺失数据通过合理插补获得。数据时间长度为2008—2019年,以保证数据较高的时效性。数据种类包括行政区划数据、社会经济数据、水资源数据。

2.2 指标体系的具体构成

指标选取宜从数据的易获取性和反映问题的全面性两个角度考虑。水资源本底条件应该既能反映水资源的丰富程度,也能反映人均占有量,因此选用人均水资源量、水资源总量折合地表径流深(即均水资源量)来衡量,其与水生态-经济协同发展度呈正相关。水资源开发利用程度主要反映水资源存量的可持续利用程度,所以由水资源综合利用率(用水总量/水资源总量)、地表水资源开发率(地表水源供水/地表水资源量)和地下水资源开采率(地下水水源供水/地下水水资源量)共同组成,其与水生态-经济协同发展度呈负相关。

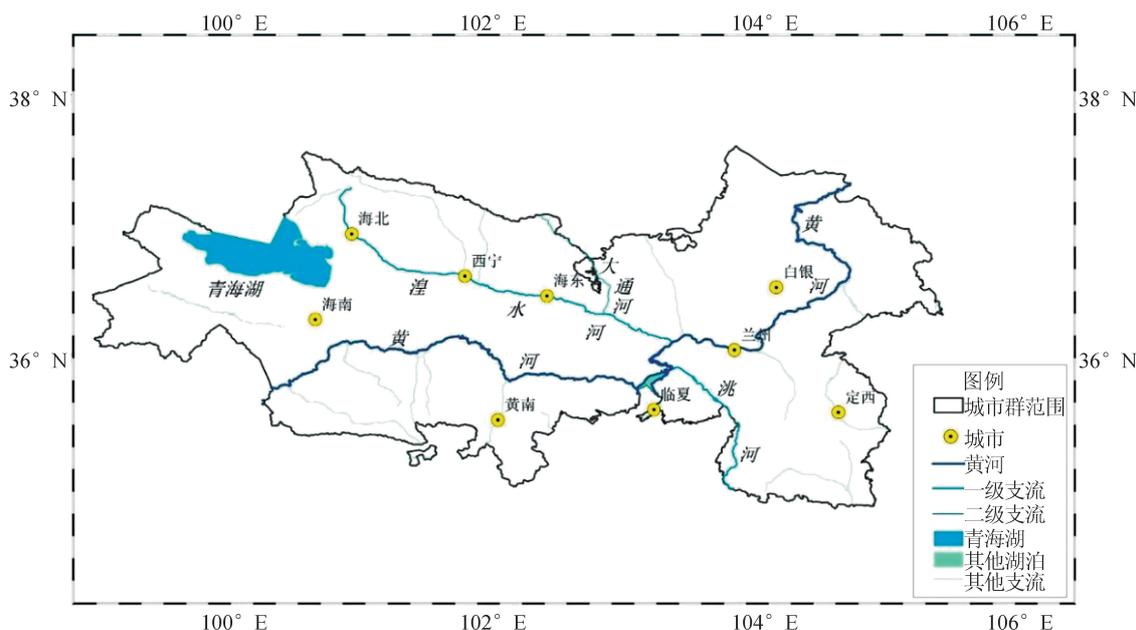


图1 兰西城市群范围及水系

Fig.1 Scope and water system of Lanxi urban agglomeration

水资源开发利用效率需综合考虑生产和生活用水效率,其中生产用水效率用万元 GDP 用水量(总用水量/GDP)、万元农业增加值用水量(农业用水量/第一产业增加值)和万元工业增加值用水量(工

业用水量/工业增加值)来衡量,生活用水效率用人均生活用水量(居民生活用水量/人口/365天)来衡量,其与水生态-经济协同发展度呈负相关。由此,建立了水生态-经济协同发展度评价指标体系,如表1所示。

表1 水生态-经济协同发展度评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system of water ecology-economy coordinated development degree

目标层	准则层	指标层	单位	指标性质
水生态-经济 协同发展度	水资源本底条件	人均水资源量	$\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$	正向
		水资源总量折合地表径流深	mm	正向
	水资源开发利用程度	水资源综合利用率	%	负向
		地表水资源开发率	%	负向
		地下水资源开采率	%	负向
	水资源开发利用效率	万元 GDP 用水量	$\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$	负向
		万元农业增加值用水量	$\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$	负向
		万元工业增加值用水量	$\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$	负向
		人均生活用水量	$\text{L} \cdot (\text{人} \cdot \text{d})^{-1}$	负向

2.3 指标体系的分级阈值

由于所选指标的量纲不尽相同,因此有必要对各指标数据进行标准化处理,故终极集成指标水生态-经济协同发展度的取值范围应在0~1之间。由于研究区域涉及的城市数量较多,为了对水生态-经济协同发展度进行更加合理的分级,本研究在耦合协调度的分级方法^[12-13]基础上,以0.2为间隔,将水生态-经济协同发展度分为低协同([0,0.2))、较低协同([0.2,0.4))、一般协同([0.4,0.6))、较高协同([0.6,0.8))、高协同([0.8,1])五个等级,分别对应

差、较差、中等、良好、优秀5个水平。各具体指标分级阈值如表2所示,阈值区间划分理由如下所述。

对于人均水资源量,考虑到我国是缺水国家,全国人均水资源量为 2000 m^3 ^[14],仅为世界平均水平的1/4^[15],黄河流域缺水更为严重,因此以全国人均水资源量 2000 m^3 作为一般协同下限,世界人均水资源量 8000 m^3 作为高协同下限。

对于水资源总量折合地表径流深,结合黄河流域水资源量的地区分布差异,考虑以地广人稀、水资源丰富的黄南州、海南州、海北州地均水资源量作为

高协同上限,黄河流域平均水平作为一般协同下限。

对于水资源综合利用率、地表水资源开发率、地下水资源开采率,参考国际标准^[16],以 40%作为较高协同下限,又考虑到中国北方流域的水资源开发利用现状,以 100%作为较低协同下限,150%以下皆为低协同水平。

对于万元 GDP 用水量、万元农业增加值用水量、万元工业增加值用水量,则以全国各省区近三年

的相应指标的百分比排名作为划分依据。

对于人均生活用水量,则参考《城市居民生活用水量标准》(GB/T 50331—2002)^[17],标准指出,甘肃省居民用水定额为 85~140 L/(人·d)、青海省为 75~125 L/(人·d),南方地区为 120~220 L/(人·d)。综合考虑之后,拟以 75 L/(人·d)作为高协同下限,100~130 L/(人·d)作为一般协同区间。

表 2 水生态-经济协同发展度各指标的分级体系

Tab. 2 Classification system of indicators of water ecology-economy coordinated development degree

指标层	低协同	较低协同	一般协同	较高协同	高协同
人均水资源量/(m ³ ·人 ⁻¹)	[0,500)	[500,2000)	[2000,5000)	[5000,8000)	[8000,10000]
水资源总量折合地表径流深/(mm)	[0,50)	[50,100)	[100,150)	[150,200)	[200,250]
水资源综合利用率/%	[150,100)	[100,70)	[70,40)	[40,20)	[20,0]
地表水资源开发率/%	[150,100)	[100,70)	[70,40)	[40,20)	[20,0]
地下水资源开采率/%	[150,100)	[100,70)	[70,40)	[40,20)	[20,0]
万元 GDP 用水量/(m ³ ·万元 ⁻¹)	[250,150)	[150,90)	[90,50)	[50,35)	[35,0]
万元农业增加值用水量/ (m ³ ·万元 ⁻¹)	[1500,900)	[900,600)	[600,400)	[400,300)	[300,0]
万元工业增加值用水量/ (m ³ ·万元 ⁻¹)	[100,80)	[80,50)	[50,30)	[30,15)	[15,0]
人均生活用水量/(L·(人·d) ⁻¹)	[160,140)	[140,130)	[130,100)	[100,75)	[75,0]
水生态-经济协同发展度	[0,0.2)	[0.2,0.4)	[0.4,0.6)	[0.6,0.8)	[0.8,1]

2.4 指标的综合评价方法

2.4.1 数据标准化处理

数据标准化对不同量纲指标的综合加权非常有效。常用的标准化方法有离差标准化、标准差标准化、比例标准化等,且各有优劣。在应用上述方法时,由于只考虑到样本数据,使得标准化后的数值仅在样本数据所在的时空范围内具有相对可比性;而且当样本数据中某项指标的差异较大时,标准化结果可能与定性认识相差较远。例如,若对兰西城市群历年各地级市人均水资源量进行离差标准化,则标准化值 0 和 1 仅能说明在兰西城市群内部,该时段范围内的人均水资源量相对最低和最高,而不能体现其人均水资源量与全国水平乃至世界水平的关系。为此,本研究构建了一种分段模糊隶属度函数标准化方法。

对于正向指标,其隶属度公式为:

$$S_{\lambda ij} = \begin{cases} k_1 & x_{\lambda ij} < u_1 \\ \frac{k_{n+1} - k_n}{u_{n+1} - u_n} \times (x_{\lambda ij} - u_n) + k_n & u_n \leq x_{\lambda ij} \leq u_{n+1} \\ k_6 & x_{\lambda ij} > u_6 \end{cases} \quad (1)$$

对于负向指标,其隶属度公式为:

$$S_{\lambda ij} = \begin{cases} k_1 & x_{\lambda ij} > u_1 \\ \frac{k_{n+1} - k_n}{u_n - u_{n+1}} \times (u_n - x_{\lambda ij}) + k_n & u_{n+1} \leq x_{\lambda ij} \leq u_n \\ k_6 & x_{\lambda ij} < u_6 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $S_{\lambda ij}$ 为第 λ 年 i 研究区域第 j 项指标的标准化值,即该指标的协同度; $x_{\lambda ij}$ 为第 λ 年 i 研究区域第 j 项指标的实际值, $1 \leq n \leq 5$; $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ 是协同发展度分级阈值,分别取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1; $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6$ 是各指标对应的分级阈值。

2.4.2 指标权重的确定

层次分析法,也叫 AHP 法 (Analytic hierarchy process),最早由 Saaty^[18] 提出,是一种常用的定性与定量相结合的确权指标权重的方法。其具体思路是将评价指标体系归类为若干层次,由专家或者决策者对同一层次各指标的重要程度进行两两比较并打分,依据打分结果构造判断矩阵,然后通过一系列矩阵计算确定出该层指标对上层指标的贡献度,最终得到基层指标对总目标的权重大小。其计算分为 8 个步骤。

1) 构造判断矩阵。利用 Saaty 提出的“1~9”标度法,根据同层次两两元素的相对重要性构造判断矩阵 $A = \{a_{ij}\}_{n \times n}$:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ 。

对于本研究而言,准则层对目标层的判断矩阵按照水资源本底条件、水资源开发利用程度、水资源开发利用效率的优先顺序表示为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

指标层对准则层的判断矩阵有 3 个。第一个是水资源本底条件下辖的三级指标对该二级指标的判断矩阵,第二个是水资源开发利用程度下辖的三级指标对该二级指标的判断矩阵,第三个是水资源开发利用效率下辖的三级指标对该二级指标的判断矩阵,这三个判断矩阵依次为:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 将 A 的每一列向量归一化得矩阵 $B = \{b_{ij}\}_{n \times n}$, 其中

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (5)$$

3) 对 B 按行求和得到 b_i :

$$b_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (6)$$

4) 基于 AHP 法计算得到 i 指标权重 p_i , 则向量 $P = [p_1, p_2, \dots, p_n]^T$ 即为矩阵 A 的近似特征向量:

$$p_i = b_i / \sum_{i=1}^n b_i \quad (7)$$

表 3 水生态-经济协同发展度评价指标体系中准则层对目标层的权重

Tab. 3 Weight of criterion layer to target layer in evaluation index system of water ecology-economy coordinated development degree

目标层	准则层	指标性质	AHP 权重	信息权重	熵化权重
水生态-经济协同发展度	水资源本底条件	正向	0.54	0.31	0.50
	水资源开发利用程度	负向	0.30	0.43	0.38
	水资源开发利用效率	负向	0.16	0.26	0.12

表 4 列出了水生态-经济协同发展度评价指标体系中指标层对准则层的权重。水资源本底条件由人均水资源量和地均水资源量(水资源总量折合地

当 $i=j$ 时,第 j 项指标的权重 $p_j = p_i$;

5) 计算 $AP=A \times P$

6) 计算最大特征根的近似值 λ_{\max} :

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AP)_i}{p_i} \quad (8)$$

7) 计算一致性指标 CI :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (9)$$

8) 计算随机一致性比例 CR :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

其中, RI 为平均一致性指标,其取值与判断矩阵的阶数有关, $n=1, 2$ 时, $RI=0$, $n=3$ 时, $RI=0.58$, $n=4$ 时, $RI=0.9$, $n=5$ 时, $RI=1.12, \dots$ 。一般认为,当 $CR \leq 0.1$ 时,判断矩阵的一致性可以接受;否则,必须重新做两两判断矩阵。

采用 AHP 法识别问题的系统性强,但采用专家咨询法时,容易产生逻辑矛盾而不满足传递性原理,导致部分信息丢失,因此采用学术界惯用的熵技术法对权重系数进行修正。具体方法在多篇文献中均有阐述^[19-21],此处不再赘述。

通过上述方法即可计算水生态-经济协同发展度评价指标体系中各准则层、指标层的权重。表 3 列出了水生态-经济协同发展度评价指标体系中准则层对目标层的权重,计算结果显示,水资源本底条件是水生态-经济协同发展度的主要影响因素,其指标权重达到了 0.5,其次是水资源开发利用程度,而水资源开发利用效率的重要性相对最低。水资源本底条件越好、水资源开发利用程度越低、水资源开发利用效率越高,说明区域能够提供越多的水用于保障社会经济发展和生态建设,故水生态-经济协同发展度就越高;反之,水资源与社会经济发展、生态建设之间的矛盾就越突出,水生态-经济协同发展度就越低。

表径流深)两个具体指标反映。一般而言,水资源本底条件差的区域,水资源供给保障率低,容易出现缺水状况。水资源综合利用率是水资源开发利用程度

的主要影响因素,其次是地下水资源开采率和地表水资源开发率,水资源开发利用效率反映了区域水资源开发利用的程度以及存量的可持续开发潜力,水资源开发利用效率越高,可开发利用潜力就越小,缺水

风险就越大。而水资源开发利用效率的提高,则能减少社会经济用水量,增加生态用水保障程度,进而提高水生态-经济协同发展度。

表 4 水生态-经济协同发展度评价指标体系中指标层对准则层的权重

Tab. 4 Weight of index layer to criterion layer in evaluation index system of water ecology-economy coordinated development degree

准则层	指标层	指标性质	AHP 权重	信息权重	熵化权重
水资源本底条件	人均水资源量	正向	0.67	0.50	0.67
	水资源总量折合地表径流深	正向	0.33	0.50	0.33
水资源开发利用程度	水资源综合利用率	负向	0.59	0.31	0.53
	地表水资源开发率	负向	0.25	0.51	0.38
	地下水资源开采率	负向	0.16	0.18	0.09
水资源开发利用效率	万元 GDP 用水量	负向	0.47	0.22	0.40
	万元农业增加值用水量	负向	0.28	0.34	0.36
	万元工业增加值用水量	负向	0.16	0.28	0.18
	人均生活用水量	负向	0.09	0.16	0.06

2.4.3 水生态-经济协同发展度

根据各具体指标的熵化权重和标准化数值,利用加权求和法可分别计算准则层、目标层的综合指数。

指标层对准则层的综合指数为:

$$G_{\lambda ik} = \sum_{j=1}^m S_j^k \times S_{\lambda ij} \quad (11)$$

式中: $G_{\lambda ik}$ 是第 λ 年 i 区域指标层对第 k 个准则层的综合指数; S_j^k 是指标层对准则层的熵化权重; $S_{\lambda ij}$ 为第 λ 年 i 区域第 j 项指标的标准化值。

指标层对目标层的综合指数,即水生态-经济协同发展度为:

$$F_{\lambda i} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n S_j^k S_{\lambda ij}^l \times S_{\lambda ij} \quad (12)$$

式中: $F_{\lambda i}$ 为第 λ 年 i 研究区域的水生态-经济协同发展度; $S_{\lambda ij}^l$ 为准则层对目标层的熵化权重; m, n 分别为指标层和准则层的评价指标个数,显然 $m=9, n=3; l$ 则是各准则层下的指标个数。

3 结果与讨论

基于熵技术支持的 AHP 法,计算兰西城市群 2008—2019 年的逐年各城市及城市群总体的水生态-经济协同发展度,如图 2 所示。

对于兰西城市群整体而言,2008—2019 年间的水生态-经济协同发展度呈波动上升趋势,2008 年是 0.43,为一般偏低协同水平,2018 年、2019 年均突破 0.55,接近较高协同水平,但仍然属于一般协

同区间范围,这与赵锋^[22]、宁朝山^[23]等人的研究结论一致。因此,兰西城市群水生态与经济协同发展的协同水平尚有较大提升空间。

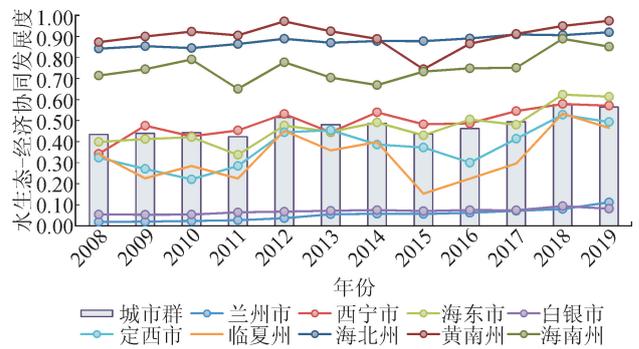


图 2 兰西城市群 2008—2019 年水生态-经济协同发展度时空变化

Fig. 2 Spatio-temporal change of water ecology-economy coordinated development degree in Lanxi urban agglomeration from 2008 to 2019

然而,兰西城市群内部的协同发展水平差异较大,故而整体并不能代表局部,宜从分地区的角度来深度探究协同发展水平在各市的情况及其各自的主要影响因素。为此,本研究又给出了通过分段模糊隶属度公式(见 2.4.1 节)计算出的 9 个指标的协同度在现状年(2019 年)的空间差异分布图,如图 3 所示。

分地级市来看,在图 2 当中,兰州市的协同发展度排名最后,虽然也在逐年上升,但始终保持在 0.2 以下,属于低协同发展水平。再结合图 3,不难发现,这主要取决于两方面因素。第一是兰州市的水资

源本底条件先天不足。兰州市目前人口繁多,而自产水资源量却很少,导致人均水资源量不足 100 m^3 ,为很低协同水平。第二,兰州市人口众多以及农业用水效率的低下导致用水量巨大。2019年,兰州市人口 332 万人,人均居民生活用水量超过 $100 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$,根据表 2 的划分标准属于一般协同水平;万元农业增加

值用水量为 $840 \text{ m}^3/\text{万元}$,为较低协同水平。此外,兰州市 2019 年总用水量 11.4 亿 m^3 ,远超当地水资源总量两倍以上,其中地表供水量为 10.6 亿 m^3 ,这导致水资源综合利用率和地表水资源开发率指标径直达到 200% 以上。

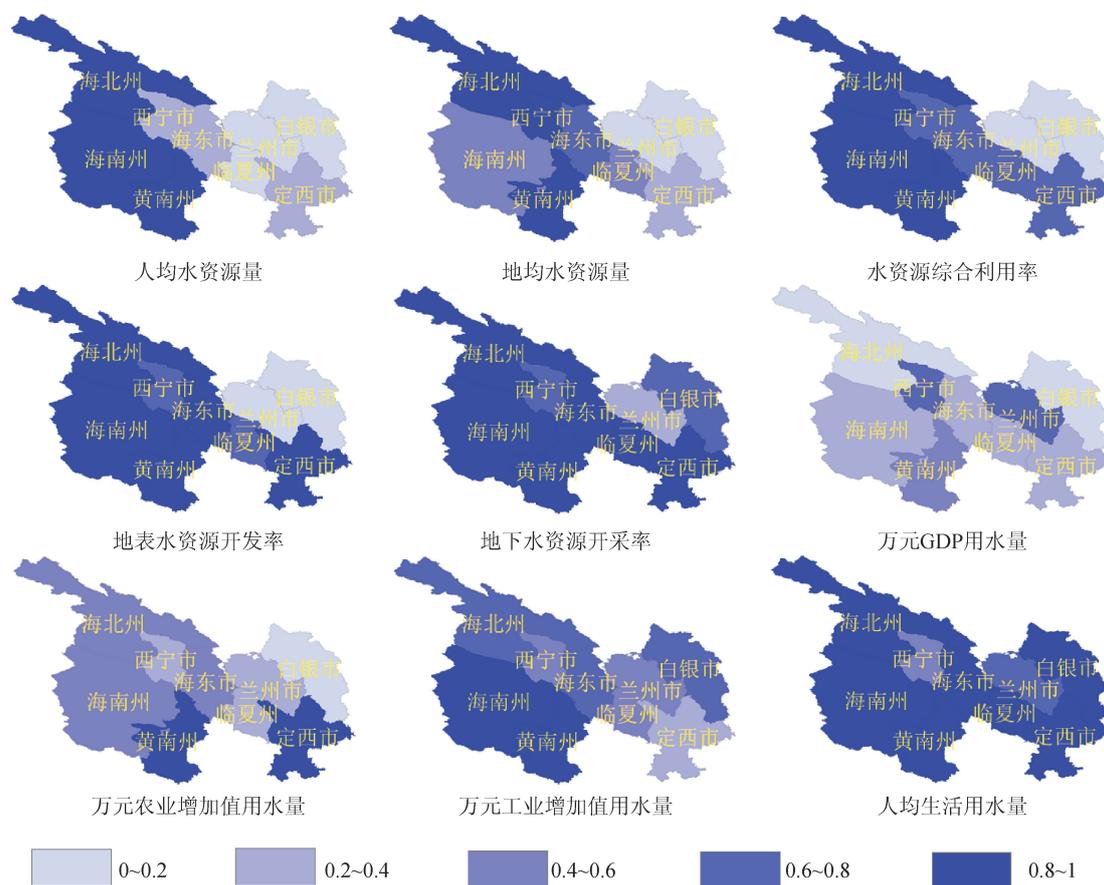


图3 兰西城市群9个指标的协同度空间差异图(2019年)

Fig. 3 Spatial difference of synergy degree of 9 indicators in Lanxi urban agglomeration (2019)

白银市排名倒数第二,与倒数第一兰州市相近,但与倒数第三有显著差距,总体有轻微上升趋势,但始终维持在低协同发展水平。由图 3 可得,白银市的协同发展度与兰州市类似,均系水资源本底条件较差、人口众多以及农业用水效率较低所致。2019年,白银市人口 181 万人,比兰州市少了近一半,但人均水资源量是 100 m^3 ,与兰州市相当;万元农业增加值用水量为 $968 \text{ m}^3/\text{万元}$,属于低协同发展水平;白银市水资源总量约 2 亿 m^3 ,但用水量总量却超 9 亿 m^3 ,其中地表水供水占比为 92% ,因此水资源开发利用率和地表水开发利用率也非常高,协同发展度几乎为零。

临夏州排名居中偏下,其协同发展度呈波动上升,整体介于 $0.2 \sim 0.6$ 区间,属于一般较低协同水平。主要原因是人均水资源量和工农业用水效率偏

低。2019年,临夏州的人均水资源量为 440 m^3 ,万元农业增加值用水量为 $708 \text{ m}^3/\text{万元}$,万元工业增加值用水量为 $47 \text{ m}^3/\text{万元}$ 。此外,定西市的情况与临夏州类似,仅在 2015—2017 年间,其协同发展度稍高于临夏州。

海东市排名中等,协同发展度介于 $0.4 \sim 0.7$ 之间,属于一般较高协同水平,且有显著上升趋势。主要约束因素是人均水资源量和农业用水效率。2019年,海东市人均水资源量为 1463 m^3 ,低于全国平均水平,因此仍是较低协同水平;万元农业增加值用水量为 $524 \text{ m}^3/\text{万元}$,属于一般协同发展水平。

西宁市与海东市情况类似,整体协同水平比海东市略好,个别指标劣于海东市。2019年,西宁市人均水资源量是 809 m^3 ,为较低协同水平,万元农业增加值为 $600 \text{ m}^3/\text{万元}$,为一般协同水平。除此

之外,万元工业增加值用水量和人均生活用水量也表现一般。但由于水资源总量较高,因此总体上能达到一般协同水平。

海南州的协同发展度总体介于0.65~0.90之间,有轻度上升趋势,整体上从较高协同改善为高协同水平。海南州地广人稀,因此人类活动影响小,尽管水资源总量不算丰富,但人均水资源量却能高达10 000 m³,超过世界平均水平。此外,由图3可知,海南州协同发展度的唯一约束因素仍是农业用水效率,当前其万元工业增加值用水量为500 m³/万元,尚处于一般协同发展水平。

海北州的协同发展度有中度上升趋势,从2008年的0.84上升到2019年的0.92,一直处于高协同发展水平。同样,由于地广人稀,人均水资源量高达20 000 m³以上,尽管万元GDP用水量与万元工业增加值用水量分别为160 m³/万元和500 m³/万元,但几乎不影响海北州高协同水平的地位。

黄南州的协同发展度最高,2019年已高达0.97,除了水资源总量丰富以外,其余指标的表现也都很优秀,仅万元GDP用水量协同度不高,这可能是除工农业之外的其它产业模式落后导致的结果。

4 建议及对策

通过上一章的分析,本研究认为,兰西城市群的水资源本底条件非常堪忧,尤其是以兰州和西宁为中心的中东部地区水资源本底条件最不容乐观,好在城市群南部、西部、北部的黄南州、海南州、海北州都是水资源丰富区域,因此,兰西城市群未来的水资源规划还有很大的发挥空间。而通过对各市水生态-经济协同发展度的主要负向影响因素的梳理,不难看出,农业用水效率低下是兰西城市群各地市共同的短板,诸如兰州市、白银市之类的缺水城市,其水资源开发利用率已经足够高,这难以改变,提高水生态与经济发展协同水平的手段主要从提高水资源开发利用效率着手,提升农业用水效率应是重中之重,工业用水效率须由行政部门严格把控,而居民生活用水效率宜从长计议。

最后,本研究认为,受水资源本底条件所限,兰西城市群的经济发展模式不能向其他水资源丰富的国内大型城市群靠拢,比如中原城市群、成渝城市群、长三角城市群、珠三角城市群等,这些城市群的经济基础之所以深厚,主要是凭借丰富的水资源来支撑。兰西城市群未来的经济发展模式必须更为先进,必须在高质量发展模式上下硬功夫。与此同时,生态保护的力度也应大于其它城市群,最好是把“绿

水青山就是金山银山,宁要绿水青山,不要金山银山”这一重要理念始终贯穿于未来城市群的高质量发展当中。为此,本文给出了几点建议。

1) 坚持生态优先。兰西城市群生态本就脆弱,则更宜坚持生态优先原则,生态效益即是经济效益。建议贯彻落实河湖长制,使环保监督常态化;严格把关各市地下水水质以及河川径流出境水质;严控垃圾倾倒入、农药化肥等点面源污染;严守生态保护红线,兜底生态系统服务功能。

2) 优化产业结构。兰西城市群位于中国西部地区,经济发展素来落后,三次产业结构尚不合理,农业用水效率低下、二三产业中高耗水产业比重偏高等问题亟待改善。建议大力推行多元化节水型农业,发展低耗水、高效益的绿色产业;并因地制宜,打造地域主导产业,从而在城市群范围内构建完整的高质量产业链。

3) 舒缓人口压力。当前人口压力依然过大,尤其是省会城市和诸如白银市等人口较多的非省会地级市。因此,宜通过各种促进人口流动的政策,适当调整城市群内部乃至城市群之间的人口分布状况,缓解人口大市所面临的人口压力。最终,人口空间分布应尽量与水资源承载力空间差异相适应。

4) 深化“开源节流”。进一步挖掘地区供水保障能力,同时优化水资源在地区间的合理配置。严控各行业用水大户的用水额度。制定民众义务性节水法规,以提高民众节水意识,并将日常节水习惯纳入中小学教材之中等等。

参考文献:

- [1] 郭晗. 黄河流域高质量发展中的可持续发展与生态环境保护[J]. 人文杂志, 2020(1): 17-21.
- [2] 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]. 中国水利, 2019(20): 1-3.
- [3] 张慧. 三江源地区生态与经济协同发展研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2016.
ZHANG Hui. The research of synergetic development between ecology and economy in the source of three great river [D]. Xining: Qinghai Normal University, 2016.
- [4] 熊宇航. 经济欠发达地区生态环境与生态经济协同发展研究——以安康市为例[J]. 河北农机, 2021(1): 167-168.
- [5] 石涵予, 薛伟贤, 蒋楠. 后疫情时代生态空间与经济系统协调发展的挑战——基于耦合协调度模型的反事实分析[J]. 西安理工大学学报, 2020, 36(4): 447-455.
SHI Hanyu, XUE Weixian, JIANG Nan. Challenge of coordinated development of ecological space and economic system in post-epidemic era: a counterfactual analy-

- sis based on coupling degree model[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2020, 36(4): 447-455.
- [6] LIN Yaqiong. Coupling analysis of marine ecology and economy: case study of Shanghai, China[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2020, 195:105278.
- [7] 彭曼丽, 彭福扬. 生态与经济社会协同发展的唯物史观诠释[J]. *哲学研究*, 2014(4):35-38.
- [8] 吴孝天. 基于经济发展支撑能力的郑州市水资源耦合协调关系评价研究[D]. 徐州:江苏师范大学, 2016.
WU Xiaotian. Evaluation study of water resources coupling coordination in Zhengzhou City based on the economic development supporting capacity[D]. Xuzhou: Jiangsu Normal University, 2016.
- [9] 张英. “水生态—社会经济”协同发展效应研究[J]. *浙江水利水电学院学报*, 2019, 31(3):64-70.
ZHANG Ying. On synergy and development effectiveness of WES SEDS[J]. *Journal of Zhejiang University of Water Resources and Electric Power*, 2019, 31(3): 64-70.
- [10] LUO Zengliang, ZUO Qiting. Evaluating the coordinated development of social economy, water, and ecology in a heavily disturbed basin based on the distributed hydrology model and the harmony theory[J]. *Journal of Hydrology*, 2019, 574: 226-241.
- [11] 环境保护部. 全国生态功能区划[N]. *中国环境报*, 2015-12-01(6).
- [12] 陈俊. 新发展格局下深圳制造业与生产性服务业融合发展研究——基于空间耦合协调度模型的实证分析[J]. *特区实践与理论*, 2021(2):34-41.
- [13] 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. Spatio-temporal 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.
- [14] 李浩然, 郝滢洁, 路紫. 我国水资源特点及其对区域经济的影响[J]. *国土与自然资源研究*, 2007(4): 63-65.
LI Haoran, HAO Yingjie, LU Zi. The characteristic of water resources and its effect on economy of the region in China [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2007(4): 63-65.
- [15] 杨远东. 我国水资源的总体特点与评价[J]. *科学对社会的影响*, 1996(2):17-27.
- [16] 贾绍凤, 柳文华. 水资源开发利用率 40% 阈值溯源与思考[J]. *水资源保护*, 2021, 37(1):87-89.
JIA Shaofeng, LIU Wenhua. Tracing and thinking about 40% threshold value of water resources development and utilization ratio[J]. *Water Resources Protection*, 2021, 37(1): 87-89.
- [17] 中华人民共和国建设部. 城市居民生活用水量标准: GB/T 50331—2002[S]. 北京:国家质检总局, 2002.
- [18] SAATY T L, KEARNS K P. The analytic hierarchy process[M]. New York: Mc Grawhill, Inc., 1980.
- [19] 张先起, 梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. *水利学报*, 2005(9):1057-1061.
ZHANG Xianqi, LIANG Chuan. Application of fuzzy matter-element model based on coefficients of entropy in comprehensive evaluation of water quality[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2005(9): 1057-1061.
- [20] 林建潮. 熵权法确定评价指标权重在 Excel 中的实现[J]. *中国医院统计*, 2020, 27(4):362-364.
LIN Jianchao. Realization of entropy weight method to determine evaluation index weight in Excel[J]. *Chinese Journal of Hospital Statistics*, 2020, 27(4): 362-364.
- [21] 贾志超, 黄华州, 黄绍博, 等. 基于 AHP-熵权法的采动区煤层气开发潜力评价[J]. *煤田地质与勘探*, 2021, 49(2):117-124.
JIA Zhichao, HUANG Huazhou, HUANG Shaobo, et al. Evaluation of the development potential of the coalbed methane resources in mining area based on AHP-entropy method[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2021, 49(2): 117-124.
- [22] 赵锋, 杨涛. 黄河流域生态环境与经济协调发展的时空演化分析[J]. *石河子大学学报(哲学社会科学版)*, 2021, 35(1):63-70.
ZHAO Feng, YANG Tao. Analysis on the spatio-temporal evolution of the coordinated development of ecological environment and economy in the Yellow River Basin[J]. *Journal of Shihezi University (Philosophy and Social Sciences)*, 2021, 35(1): 63-70.
- [23] 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.
NING Chaoshan, LI Shaodong. Dynamic evaluation of synergy between ecological protection and economic development in the Yellow River Basin[J]. *Yellow River*, 2020, 42(12): 1-6.

(责任编辑 周 蓓)