

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtk.20180016

肖洪敏,倪福全,邓玉,等.四川省水贫困时空分布格局研究[J].南水北调与水利科技,2018,16(1):100-107. XIAO H M, NI F Q, DENG Y, et al. Study on temporal spatial pattern of water poverty in Sichuan Province[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(1): 100-107. (in Chinese)

四川省水贫困时空分布格局研究

肖洪敏,倪福全,邓玉,闻豪,王珊

(四川农业大学 水利水电学院,四川雅安 625014)

摘要:为厘清水资源约束条件下四川省各市州产业可持续发展适宜模式,通过构建四川省水贫困评价指标体系,采用均衡法赋权,应用水贫困指数(Water Poverty Index, WPI)模型计算2006–2013年全省21个市州的水贫困指数,并基于地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术等,对全省及各市州水贫困时空格局等进行了研究。结果表明:(1)受2008年5·12汶川特大地震影响,2008–2011年全省水贫困全面、均衡改善的态势受阻;灾后水利重建、水利精准扶贫等工作的推进,使得全省各市州2006–2013年WPI平均值呈波动下降趋势,水资源管理能力的提升和水环境的改善对缓解水贫困起到了关键作用。(2)21个市州处理水贫困的能力差别较大,且差距逐渐拉大;成都市和雅安市为极微水贫困区,攀枝花市、广元市、阿坝州、甘孜州和凉山州为微水贫困区,泸州市、绵阳市、乐山市、眉山市和宜宾市为中度水贫困区,自贡市、德阳市、南充市、巴中市、资阳市为强水贫困区,遂宁市、内江市、广安市、达州市为极度水贫困区。(3)四川省水贫困问题的解决,应从强化水贫困意识、提升高效用水能力,科学优化配置水资源、提高保障率,严格水资源管理、调控产业结构及生产模式,系统管控水安全风险,提升水管理能力、加大政府财政投入、积极推进水权改革,增强水利扶贫力度、助推扶贫攻坚等方面加大工作力度。

关键词:水贫困;水贫困指数;时空分布格局;四川省

中图分类号:TV213 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-1683(2018)01-0100-08

Study on temporal-spatial pattern of water poverty in Sichuan Province

XIAO Hongmin, NI Fuquan, DENG Yu, WEN Hao, WANG Shan

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: In order to clarify the water poverty status of Sichuan province, in this study we established an evaluation index system of water poverty in Sichuan Province, calculated the water poverty index of the 21 cities from 2006 to 2013 by using balanced weighting and water poverty index model, and analyzed the temporal and spatial pattern of the province and each city based on the geographic information system (GIS). The results showed that from 2008 to 2011, the comprehensive and balanced water poverty improvement situation in Sichuan province was hindered by the Wenchuan earthquake on May 12th, 2008. As the government actively advanced water conservancy reconstruction and targeted poverty relief through water conservancy, the water poverty situation improved from 2006 to 2013. The enhancement of water management capacity and the improvement of water environment played a key role in advancing water security. Furthermore, the 21 cities varied greatly in their capacity to handle water poverty and the gap was gradually widening. Chengdu City and Ya'an City were infinitesimal water poverty areas; Panzhihua City, Guangyuan City, Aba Prefecture, Ganzi Prefecture, and Liangshan Prefecture were slight water poverty areas; Luzhou City, Mianyang City, Leshan City, Meishan City, and Yibin City were moderate water poverty areas; Zigong City, Deyang City, Nanchong City, Bazhong City, and Ziyang City were strong water poverty areas; Suining City, Neijiang City, Guang'an City, and

收稿日期: 2017-02-01 修回日期: 2017-07-22 网络出版时间: 2018-01-17

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180111.0948.004.html>

基金项目: 国际科技合作项目(2012DFG91520-3); 四川省教育厅“农村水安全”工程研究中心项目

Funds: International Scientific and Technological Cooperation Project of China (2012DFG91520-3); Project of Research Center of Rural Water Safety Engineering of Education Department of Sichuan Province

作者简介: 肖洪敏(1996), 女, 四川德阳人, 主要从事农业水土环境研究。E-mail: 531124459@qq.com

通讯作者: 倪福全(1965), 男, 四川崇州人, 教授, 主要从事水安全和农业水土环境研究。E-mail: nfq1965@163.com

Dazhou City were extreme water poverty areas. The government should make more efforts to enhance water poverty awareness, increase the efficiency of water use, optimize the allocation of water resources, improve the scientific guarantee rate, manage water resources strictly, adjust industrial structure and production mode, systematically control the water safety risk, improve its water management ability, increase fiscal investment, actively promote the reform of water right system, strengthen poverty relief through water conservancy, and boost poverty alleviation.

Key words: water poverty; water poverty index; temporal spatial pattern; Sichuan Province

用水结构不完善、水质恶化、工农业生产和人类生活挤占生态用水等引发水资源短缺(水贫困)^[1],被称为继经济贫困之后的第2大贫困问题,已引起社会各界的广泛关注。水贫困理论^[2-8],将基本水情及水资源的开发、利用、生态环境等因素有机耦合,实现了对区域水安全的全面剖析,为缓解水资源短缺提供了有效的辅助决策手段。Sullivan等将水贫困定义为一种水供应既不充足又不稳定的社会状态,这种状态下人们缺乏可供使用的水,或者缺少获得水的能力、权利,并在构建了融合水资源禀赋(Resources, R)、供水设施(Access, A)、水资源管理能力(Capacity, C)、利用水平(Use, U)、生态环境(Environment, E)等5个子系统及其若干评价分指标的水贫困评价指标体系的基础上,提出了WPI的计算方法及评价标准^[9]。通过算得的WPI值与其评价标准的对比分析,可以实现从水资源能否获得、用水是否安全、人类可否健康发展及与人类生活的关系等多重角度对水贫困程度加以厘清并判断水资源管控措施的科学性。国内对水贫困的研究大多基于WPI对不同尺度的水贫困进行实证研究^[10],主要涉及中国7大流域^[11-12]、内陆河流域^[3]、西北地区^[14-15]、东北地区^[16-17]以及农村水贫困^[18-19]、水贫困驱动因素分析^[20]、水贫困与经济贫困空间耦合关系^[21]、水贫困与城市化、工业化进程的协调关系^[22]的研究等。目前,水贫困研究中存在的主要问题包括:(1)水贫困形成机制及其理论基础有待进一步探究和深化;(2)水贫困定量化准确度有待进一步提高;(3)根据水贫困状况合理布局和优化产业结构有待进一步挖掘;(4)对国家尺度、县域尺度的水贫困研究较多,对于省级尺度研究的较少;(5)从单一年份数据出发分析单一地区水贫困程度的较多,基于多年资料和GIS研究省内各市州水贫困时空差异的较少。

四川省各市州经济发展水平差异较大,贫困人口众多,社会发展动力不足,政府调控能力较差,因此社会经济适应性不高,表现在水资源利用效率不高、水污染问题日益加剧、管理能力有待提高,体制机制有待完善。另一方面,四川省自然水资源条件较好,环境优越,但降水时空分布不均,区域性和季

节性缺水问题突出,且受2008年“5·12”汶川特大地震、2013年“4·20”芦山强烈地震等自然灾害的影响,大批供水设施受损致使水资源调蓄能力日益下降,缺水形势严重。水贫困已成为制约四川省社会经济发展的主要因素之一。因此,本文基于Sullivan提出的WPI模型,构建了四川省水贫困评价指标体系,通过计算2006-2013年四川省21个市州的水贫困指数,探究水贫困时空格局变化和驱动因素,为实现水资源可持续开发利用与保护提供科学依据和对策建议。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

四川省位于中国西南腹地,介于东经 $97^{\circ}21' - 108^{\circ}33'$ 和北纬 $26^{\circ}03' - 34^{\circ}19'$ 之间,总面积48.6万 km^2 ,下辖21个地州市。地处青藏高原和长江中下游平原过渡带,西高东低,以山地、丘陵、平原和高原4种地貌为主。全省境内流域面积100 km^2 及以上河流1368条^[23],水资源总量约3489.7亿 m^3 ,自然环境本底条件好。在社会发展方面,2014年底,全省户籍人口9132.6万人^[24],贫困人口共计380万人,贫困村11501个,贫困县88个,面临行路难、饮水难、用电难、上学难、就医难、就业难、增收难等问题。该省经济贫困在一定程度上制约了水资源的可持续发展,加剧了水贫困程度。全省水污染问题突出,147个河流监测断面中,劣Ⅴ类水质断面占11.6%,主要污染指标为总磷^[25];生态环境脆弱敏感,水土流失面积占全省辖区面积的25%,是长江上游水土流失最严重的省份之一。在水利设施方面,全省127座大中型水库蓄水能力仅占水资源总量的3%,水利工程蓄引提水能力仅占水资源总量的10.6%,农田灌溉水有效利用系数0.44。同时,在经受了“5·12”汶川特大地震、“4·20”芦山强烈地震后,大量供水工程受损严重,工程型缺水问题恶化。

1.2 研究方法

1.2.1 指标体系和权重的确定

为科学把握水质水量、供需矛盾等问题,实现四

川省水资源可持续开发利用与保护、科学管理以及水安全等目标, 借鉴 Sullivan 水贫困指标体系, 依据 SMART 原则^[26], 并综合考虑四川省各市州地理环境、气候特征、水资源情势特点等, 辨识了 5 大子系统及 25 个核心评价分指标(表 1)。

表 1 四川省水贫困评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of water poverty in Sichuan Province

系 统	权 重	评价指标	正负性	权 重
R	0.20	R ₁ : 人均水资源量/(m ³ ·a ⁻¹)	-	0.20
		R ₂ : 降水密度(降水量/面积)/[mm·(667hm ²) ⁻¹]	-	0.20
		R ₃ : 年降水量与多年平均比例(%)	-	0.20
		R ₄ : 年降水量/mm	-	0.20
		R ₅ : 农业水资源匮乏度指标(%)	+	0.20
A	0.20	A ₁ : 城市用水普及率(%)	-	0.17
		A ₂ : 有效灌溉面积比重(%)	-	0.17
		A ₃ : 农业机械总动力/万 k W	-	0.17
		A ₄ : 农林水事务支出/万元	-	0.17
		A ₅ : 节能环保支出/万元	-	0.17
		A ₆ : 城市人均日供水量/m ³	-	0.17
C	0.20	C ₁ : 人均 GDP/元	-	0.20
		C ₂ : 中学生比例(%)	-	0.20
		C ₃ : 城镇基本医疗保险人口比例(%)	-	0.20
		C ₄ : 城镇化率(%)	-	0.20
		C ₅ : 农产品生产用水量/万 m ³	+	0.20
U	0.20	U ₁ : 万元农业产值生产用水量/m ³	+	0.25
		U ₂ : 万元工业产值生产用水量/m ³	+	0.25
		U ₃ : 城市人均日生活用水量/L	-	0.25
		U ₄ : 农村人均日生活用水量/L	-	0.25
E	0.20	E ₁ : 城市人均生活污水排放量/m ³	+	0.20
		E ₂ : 土壤平均侵蚀模数/(t·km ² ·a ⁻¹)	+	0.20
		E ₃ : 亩均化肥施用量/kg	+	0.20
		E ₄ : 单位地区生产总值能耗/(t 标准煤·万元 ⁻¹)	+	0.20
		E ₅ : 生猪出栏头数/万头	+	0.20

与其它权重赋值法(如层次分析法、熵值法等)相比, 均衡法既克服了主、客观意向偏向不均衡的争议, 又可实现各地市州间的公平定量比较^[27]。因此, 本文采用均衡法对 5 个子系统及 25 项分指标进行等值赋权。

1.2.2 数据标准化处理

为使得 WPI 值越高对应的水贫困程度越严重, 在厘清各分指标正负性的基础上, 对其进行同趋势化处理。考虑到边界问题, 本文采用改进的子系统各分指标数据的标准化方法^[28]。同时为方便计算, 保证 WPI 值及各个系统得分在 0~100 之间, 所有指标标准化后的值均乘以 100。

正向指标(数值越大, 对系统的正贡献越大, WPI 值越大, 水贫困越严重, 反之亦然)标准化处理的计算公式为:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \left(\frac{x_{jmin}}{1.05}\right)}{(1.05x_{jmax}) - \left(\frac{x_{jmin}}{1.05}\right)} \times 100 \quad (1)$$

负向指标(数值越大, 对系统的正贡献越小, WPI 值越小, 水贫困越轻微, 反之亦然)标准化处理的计算公式为:

$$x_{ij} = \frac{(1.05x_{jmin}) - x_{ij}}{(1.05x_{jmax}) - \left(\frac{x_{jmin}}{1.05}\right)} \times 100 \quad (2)$$

式中: x_{ij} 为第 i 市州第 j 项指标的数据, x_{jmax} 、 x_{jmin} 分别为所有市州第 j 项指标中的最大值和最小值。

1.2.3 WPI 值的计算及其分级标准

将 R、A、C、U、E 各子系统及对应的 25 个评价指标权重及按式(1)、式(2)标准化处理数据代入式(3)计算 WPI 值。

$$WPI = 0.2 \times (R + A + C + U + E) = 0.2 \times (0.20 \times R_1 + 0.20 \times R_2 + 0.20 \times R_3 + 0.20 \times R_4 + 0.20 \times R_5) + 0.20 \times (0.17 \times A_1 + 0.17 \times A_2 + 0.17 \times A_3 + 0.17 \times A_4 + 0.17 \times A_5 + 0.17 \times A_6) + 0.20 \times (0.20 \times C_1 + 0.20 \times C_2 + 0.20 \times C_3 + 0.20 \times C_4 + 0.20 \times C_5) + 0.20 \times (0.25 \times U_1 + 0.25 \times U_2 + 0.25 \times U_3 + 0.25 \times U_4) + 0.20 \times (0.20 \times E_1 + 0.20 \times E_2 + 0.20 \times E_3 + 0.20 \times E_4 + 0.20 \times E_5) \quad (3)$$

式中, 各符号意义同前。

由式(3)算得各市州的 WPI 值越大, 水贫困得分越高, 表明水贫困越严重, 反之亦然。将 WPI 计算数值按从大到小对各市州进行排序, 得分越高则排名越靠前, 水贫困越严重; 得分越低则排名越靠后, 水贫困越轻微。运用动态聚类分析法^[29]和 5 级打分法^[30], 水贫困等级依次划分为极微水贫困、微水贫困、中度水贫困、强水贫困、极度水贫困, 分级标准如下:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ 级: 极微水贫困, } WPI \leq 48 \\ 2 \text{ 级: 微水贫困, } 48 < WPI \leq 53 \\ 3 \text{ 级: 中度水贫困, } 53 < WPI \leq 56 \\ 4 \text{ 级: 强水贫困, } 56 < WPI \leq 59 \\ 5 \text{ 级: 极度水贫困, } WPI > 59 \end{array} \right. \quad (4)$$

1.3 数据来源

2007–2014 年《四川统计年鉴》《四川经济发展统计库》、2006–2013 年《四川水资源公报》《四川省“十一五”规划与发展》《四川省“十一五”农业和农村经济发展规划》《四川省十一五工作报告》《四川省

“十二五”水利发展规划》《四川省“十二五”农业和农村经济发展规划》以及四川省各市州相关资料。缺失的降水量、城镇化率等部分数据,采用多项式插值法计算获取。

2 结果与分析

2.1 测度结果

各市州 WPI 值计算结果见图 1。由图 1 可以看出如下结果。

(1) 2006–2013 年全省 WPI 平均值有升有降, 总体而言, 由 2006 年的 55.74 波动下降至 2013 年

的 54.51, 降低了 2.2%, 年均降低 0.31%, 说明全省水贫困状况总体逐渐趋于好转。

(2) A 和 C 这 2 大系统是水贫困的首要驱动要素; R 是驱动水贫困发生的重要条件; U 是次要驱动因素, 影响水贫困发展趋势。这 4 大因素是四川省水贫困发生的主要内因, 当这 4 个因素的系统得分较小, 贡献率相对平衡时, 水贫困才可能得到有效改善。

(3) 2006–2013 年各市州 WPI 值呈现显著的波动变化态势, WPI 最大值与最小值的差值呈现上升趋势。说明 21 个市州处理水贫困的能力差距逐渐加大。

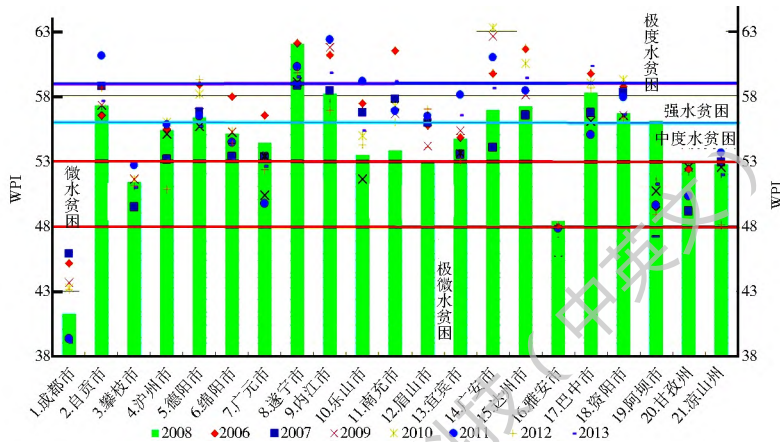


图 1 四川省各市州 2006–2013 年 WPI 对比

Fig. 1 2006–2013 WPI comparison of cities in Sichuan Province

2.2 空间格局分析

对各市州 2006–2013 年水贫困排名数值进行动态聚类分析, 可得: 成都市和雅安市等 2 个市归为一类, 属第 1 级, 为极微水贫困区(见图 2); 攀枝花市、广元市、阿坝州、甘孜州和凉山州等 5 个市州属于第 2 级微水贫困区; 泸州市、绵阳市、乐山市、眉山市和宜宾市等 5 个市划为中度水贫困区; 强水贫困区包括自贡市、德阳市、南充市、巴中市、资阳市; 遂

宁市、内江市、广安市、达州市等 4 个市则为极度水贫困区。总体而言, 四川省水贫困分布格局大致与人均水资源量的分布状况相吻合, 呈现出由西向东逐渐加重的趋势, 中部成都市和雅安市为极微水贫困区。

2.2.1 极微水贫困区

该区包括成都市和雅安市, 参照四川省“十三五”发展规划的五大经济区(即: 川东北经济区、川南经济区、攀西经济区、成都平原经济区、川西北生态经济区), 均属成都平原经济区。(1) 成都市水资源时空分布不均, 平原区水量丰沛, 丘陵山区水量缺乏, 年降水 70% 集中在每年 6 月–8 月。在工程设施方面, 全市缺少大型蓄水工程, 难以调节径流蓄丰济枯。同时, 随着地区社会生产水平的快速提高, 经济总量居全省第一, 人口密度远远超过东京等国际一流都市, 水资源供需矛盾日益加剧。成都市水贫困主要驱动因素是 R、C、E, 存在压缩型极微水贫困风险, 应从降低万元工农业生产值生产用水量及单位地区生产总值能耗、强化水环境治理、提高水资源管理水平等方面加以解决。(2) 雅安素有“雨城”“天漏”之称, 水资源相对丰富, 但生态环境脆弱敏感, 受“5·12”汶川特大地震、“4·20”芦山强烈地震的影

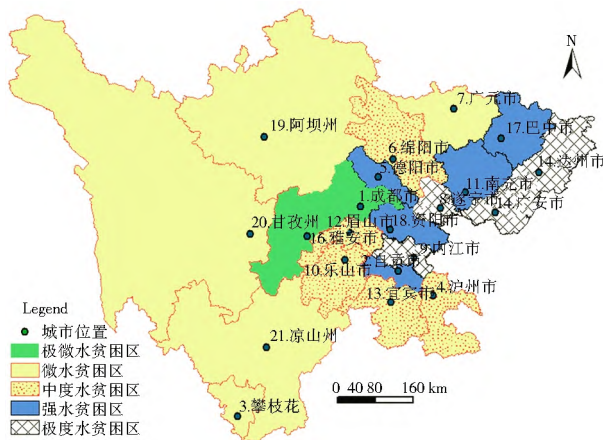


图 2 各市州水贫困测度空间格局

Fig. 2 Spatial pattern of water poverty measurement of cities in Sichuan Province

响,水土流失以及工程型缺水等问题突出。雅安市存在生态型极微水贫困风险,A、C、U 是该市水贫困的主要驱动因素,未来应加大农林水事务的投资,提高水资源使用效率和管理能力。

2.2.2 微水贫困区

攀枝花市、广元市、阿坝州、甘孜州和凉山州等5个市州属于微水贫困区,其中,攀枝花市和凉山州属攀西经济区,阿坝州和甘孜州属川西北生态经济区,广元市属川东北经济区。(1)攀枝花市属长江水系,境内水资源总量达1 144.21亿 m^3 ,是四川省水资源较为丰富的地区之一,但因地高水低、春旱夏涝,水资源开发利用难度较大。另一方面,社会经济的高速发展,特别是矿产资源的大力开发,造成严重的生态污染问题,致使该市E系统得分居全省首位。因此,攀枝花市存在一定程度的压缩型微水贫困风险,应从提高水资源使用效率、增加水利设施及农林水事务投资、降低单位地区生产总值能耗以保护水环境等方面缓解该市R、A、U、E水贫困主要驱动因素的消极作用。(2)广元市境内河流属长江水系,以嘉陵江为主干,水量丰富,但旱涝灾害频发、多发,水资源可靠性不高,对工农业生产威胁较大。因此,本市存在一定程度的复合型微水贫困风险,水贫困主要驱动因素是R、A、C、U,未来建设应加强设施建设,注重水利设施配套与维护,提高工农业用水效率和水资源管理能力。(3)阿坝州和甘孜州作为江河源区,流域水安全及生态环境保护意义重大,其水贫困主要驱动因素均为R、A、C,存在一定程度的生态型微水贫困风险。阿坝州境内有岷江、大渡河、嘉陵江、涪江等河流530条,水资源丰富,总量达446亿 m^3 ,是全国重要的水源涵养地带,但降水时空分布不均,干湿季分明,5月-10月雨季降水占全年的85%以上,3月-4月是全年中最干旱的季节。此外,该州水利基础设施建设滞后,A系统得分84.27,为全省最大。甘孜州地处长江、黄河的源头地段,水资源总量1 397.83亿 m^3 ,水资源丰富但不稳定,年际年内差异大,产业配置与水资源地区分布不相适应,引发了季节性、地域性的水资源短缺问题。未来阿坝州和甘孜州在水贫困改善方面,应强化生态环境保护、改善基础设施条件、发展生态经济。(4)凉山州境内地貌复杂多变,高山、深谷、平原、盆地、丘陵相互交错,拥有邛海、马湖、泸沽湖等23个内陆淡水湖泊,水资源较为丰富,但时空分布极不均:受季风气候影响,降雨量年内波动大,洪涝频发,并形成了河谷地区少雨、山区多雨的分布趋势。此外,凉山州经济发展缓慢,城镇化率、地区医

疗水平落后于全省平均水平,且经济贫困限制了水利基础设施项目的开发,阻碍了全州水资源综合利用水平的提升。因此,凉山州存在一定程度的复合型微水贫困风险,水贫困主要驱动因素是R、A、C,注重经济发展并加强水利设施建设,对于本地区水资源的利用、管理有积极的推动作用。

2.2.3 中度水贫困区

该区包括泸州市、绵阳市、乐山市、眉山市和宜宾市等5个市,其中,泸州市和宜宾市属川南经济区,绵阳市、乐山市、眉山市属成都平原经济区。各市水贫困主要驱动因素是R、A、C、U、E,说明水资源不足及时空分布不均、水利基础设施薄弱、高效用水能力及水资源利用效率低下、水环境潜在压力较高等是其产生中度水贫困问题的根源。(1)泸州市年人均水资源量855 m^3 ,属于重度缺水地区,随着社会经济的发展以及人口的增长,该项数值还将不断下降,同时,受季风气候和四川盆地地形的影响,年内水量分布不均,季节性缺水 and 洪涝灾害并存,致使水资源供需问题尖锐,防洪抗旱压力大。因此,泸州市存在资源型中度水贫困问题。(2)绵阳市常年水资源总量为118.82亿 m^3 ,存在空间分布不均、年际变化大等特点,属中度缺水地区,且工农业用水效率较低。因此,绵阳市存在资源-管理复合型中度水贫困问题。(3)乐山市属轻度缺水,地处岷江、青衣江、大渡河中下游,境内水系发达,由于区域水利工程调蓄能力欠缺,水资源利用方式相对粗放,在万元工农业产值生产用水量等方面尚与发达地区有着较大差距。因此,乐山市存在工程性中度水贫困问题。(4)眉山市人均水资源量仅为全省平均值的19.6%,是全省10个缺水市之一,属中度缺水,加之水利基础设施薄弱,洪涝、干旱灾害频发,且处于新型工业化、信息化、城镇化和农业现代化快速发展阶段,水资源承载压力大。因此,眉山市存在压缩型水贫困问题。(5)宜宾市水资源总体呈“过境水量巨大,自产水量不足”的格局,全市过境水量约为2 000亿 m^3 ,自产水量仅为80亿 m^3 左右,而境内地下水总量仅为9.67亿 m^3 ,属于中度缺水。此外,该市工程性蓄水能力弱,水资源利用效率低。因此,宜宾市存在工程型中度水贫困问题。上述5个市应从科学优化配置水资源、增加农林水事务投资、提高水资源管理能力及水资源使用效率、降低单位地区生产总值能耗等方面加以解决水贫困问题。

2.2.4 强水贫困区

自贡市、德阳市、南充市、巴中市、资阳市等5个市被划为强水贫困区,其中,自贡市地处川南经济

区,德阳市、南充市、巴中市地处川东北经济区,资阳市地处成都平原经济区。各市水贫困主要驱动因素是 R、A、C、U、E,说明自然水资源条件差、地区城镇化步伐缓慢、经济水平较低,交通和水利重点基础设施落后,传统产业比重大对生态环境损害严重是其产生强水贫困问题的根源。(1)自贡市是一个资源型、工程型、水质型缺水较为典型的地区。人均水资源量仅 484 m^3 ,常年用水缺口约为 0.8 亿 m^3 ,是中国 50 个严重缺水城市之一;A 系统得分居全省第 3,供水设施不完善,水资源开发利用强度低;2013 年全市河流 14 个监测断面仅 5 个达标,达标率为 35.7%,水质污染严重。因此,自贡市存在较严重的资源性-工程性-水质性复合型强水贫困问题。(2)德阳市作为全省唯一主要利用地下水为生活及生产供水的城市,近年来,随着工农业需水量的急剧增加,地下水超采严重,导致大范围的地下水水质恶化。此外,全市缺乏具有调节功能的大中性骨干水利工程,水资源开发利用难度加大,致使该市压缩型强水贫困问题日趋严重。(3)南充市属于重度缺水城市,水资源已成为经济发展和人类健康的限制因素。该市 C、E 项得分排名分别为全省第 5、6 位,水资源使用能力有限以及水资源开发利用过程中对水环境的消极影响加剧了水资源短缺的形势。因此,南充市资源型强水贫困问题较为突出。(4)巴中市地处亚热带湿润季风气候区,年均降雨量 1032 mm ,雨水充沛,属轻度缺水,但夏早伏旱、秋霖雨及风、雹等灾害性天气的发生,增大了水资源开发利用难度,各类水利工程及设施开发利用率仅 7%,致使 A、U 指标得分全省排名靠前。在经济方面,该区人均 GDP 全省最低,经济发展落后,严重制约了强水贫困的缓解。因此,巴中市存在较严重的资源型强水贫困问题。(5)资阳市农业人口 89.2 万人,占总人口数的 82.4%,属典型的丘陵区农业大市。近年来环境监测结果表明,市境内沱江流域水体污染呈全流域逐年恶化趋势,且农村面源污染、生活污染等日趋严重,潜在水环境压力很大。因此,地处极度缺水地区的资阳市存在资源性-环境性复合型强水贫困风险。强水贫困区在未来建设中,应抓好扶贫开发和改善民生的工作,坚持基础设施先行,大力发展水利设施建设,整合优势资源,强化地区经济。

2.2.5 极度水贫困区

极度水贫困区包括遂宁市、内江市、广安市、达州市,其中,遂宁市地处成都平原经济区,内江市地处川南经济区,广安市、达州市地处川东北经济区。各市水贫困主要驱动因素是 R、A、C、U、E,说明自

然水资源条件较差、基础设施建设薄弱、水资源综合利用能力低、生态环境破坏严重等是其产生极度水贫困问题的根源。(1)遂宁市缺乏大型调蓄骨干水利工程,进入市区的大量客水未经利用即流出境,且人均水资源量位列全省倒数第一,同时存在水质性缺水问题。因此,遂宁市属于资源型极度水贫困地区。(2)内江市作为全国 108 个严重缺水城市之一,资源型缺水、工程型缺水、水质型缺水问题交织。虽地处亚热带湿润季风气候区,且城区内有沱江穿城而过,但年人均水资源仅为 394 m^3 。全市已建成各类水利工程 54.44 万处,其中水库 349 座,中型水库仅 9 座,其余均为小型水库,无大型水源工程,抗旱保灾能力极弱。此外,作为重要的水产养殖基地和老工业基地,早期对水资源掠夺式的开发利用,导致水环境污染严重,水质富营养化日益加剧。因此,内江市存在严重的资源型极度水贫困问题。(3)广安市江河径流总量 437 亿 m^3 ,地下水总量 4 亿 m^3 ,属重度缺水地区。该市水利工程项目设计深度不够、管理力量薄弱、配套资金到位率低以及生产过程中耗能污染严重、农村养殖水污染等问题突出。因此,广安市存在资源型极度水贫困问题。(4)达州市受复杂的山区地形与气候影响,水资源时空分布不均,东北多,西南少,南北方向相差 2.1 倍。该市 C 系统得分居全省第 2,工程性缺水问题突出,境内主要大型水利工程少,致使工农业生产以及生活供水严重不足,阻碍了社会经济发展,限制了地区水管理能力的提升;U 系统得分居全省第 1,工业用水与农业用水效率低下,废污水处理回用率仅 30% 左右,且大量未经处理的污水直接排入河流,引起大面积水体污染。因此,广安市存在资源性-工程性-能力性-使用性复合型极度水贫困问题。上述 5 个城市在提升社会发展水平的同时,应贯彻经济与自然环境和谐发展的理念,禁止掠夺式开发、利用生态资源,改善水利基础设施条件,提升地区水管理能力。

综上,各市州水贫困产生的原因主要包括水资源总量不足和水资源时空分布不均等自然原因,以及水工程设施不足、高效用水能力有限、水环境压力较大等人为原因。从整体角度分析,全省同时存在工程型水贫困、季节性型水贫困、区域性型水贫困、水质型水贫困、压缩型水贫困和复合型水贫困等缺水类型。

3 结论与建议

(1) 本文建立了适合于四川省的水贫困评价指标体系,并对全省各市州水贫困程度进行了测度,极微水贫困区、微水贫困区、中度水贫困区、强水贫困

区、极度水贫困区分别占四川省州市总数的9.5%、23.8%、23.8%、23.8%、19.0%，并覆盖了资源型、工程型、复合型、区域型、压缩型等缺水类型。总体而言，四川省水贫困呈现出由西向东逐渐加重的趋势，中部成都市和雅安市为极微水贫困区。

(2) 受2008年“5·12”汶川特大地震影响，2008—2011年全省水贫困全面、均衡改善的态势受阻；灾后水利重建、水利精准扶贫等工作的推进，使得全省各州市2006—2013年WPI平均值呈波动下降趋势。其中，A、C是全省水贫困的首要驱动因素，2大系统对WPI的影响达到显著水平；R是驱动水贫困发生的重要因素，其随机性和时空差异性决定了水贫困状态波动性变化的特点；U与水贫困密切相关。

(3) 全省各州市水贫困与人均水资源量及其可变性和可靠性、经济发展水平、人口密度、有效使用水资源的能力、人类活动对生态环境可能造成的潜在压力等密切相关。同时，大多数州市存在水贫困与经济贫困交织的问题，水贫困已成为制约其社会经济生态良性互动的瓶颈制约因素。

(4) 四川省水贫困问题的解决，应从强化水贫困意识、提升高用水能力，科学优化配置水资源、提高保障率，严格水资源管理、调控产业结构及生产模式、系统管控管水安全风险，提升水管理能力、加大政府财政投入、积极推进水权改革，增强水利扶贫力度、助推扶贫攻坚等方面加大工作力度。本文对缓解四川省水贫困、提高水资源利用能力、提高产业升级、优化产业结构、确定产业可持续发展适宜模式等具有重大的理论价值和现实指导意义。

参考文献(References):

- [1] 杨倩,王梅,韩林芝,等.水贫困评价问题研究进展[J].生态经济,2016,32(1):169-175.(YANG Q,WANG M,HAN L Z,et al.Progress in the study of water poverty evaluation[J].Ecological Economy,2016,32(1):169-175.(in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1671-4407.2016.01.037.
- [2] KOMNENIC V,AHLERS R,VAN DER ZAAG P.Assessing the usefulness of the water poverty index by applying it to a special case:Can one be water poor with high levels of access?[J].Physics and Chemistry of the Earth,2008,34(4-5):219-224.
- [3] SALAMEH E.Redefining the water poverty index[J].Water International,2000,25(3):469-473.
- [4] FEITELSON E,CHENOWETH J.Water poverty:Towards a meaningful indicator[J].Water Policy,2002,4(3):263-281.
- [5] FITCH M,PRICE H.Water poverty in England and Wales[R].Centre for Utility Consumer Law and Chartered Institute of Environmental Health,2002:67-68.
- [6] LAWRENCE P,MEIGH J,SULLIVAN C A.The water poverty index:an international comparison[R].Centre for Economic Research,Keele University,2003:1-17.
- [7] SULLIVAN C A.Calculating a water poverty index[J].World Development,2002,30(2):1195-1211.
- [8] CULLIS J,O'REGAN D P.Targeting the water poor through water poverty mapping[J].Water Policy,2004,6(5):397-411.
- [9] CAROLINE S.The water poverty index:development and application at the community scale[J].Natural Resources Forum,2003,27(3):189-199.
- [10] 孙才志,王雪妮.基于WPFESDA模型的中国水贫困评价及空间关联格局分析[J].资源科学,2011,33(6):1072-1082.(SUN C Z,WANG X N.Research on the assessment and spatial correlation pattern of water poverty in China based on WPFESDA model[J].Resources Science,2011,33(6):1072-1082.(in Chinese))
- [11] 王晓妮,尹雄锐,张翔.WPI指数及其在松辽流域的应用研究[J].水利学报,2007,38(10):635-639.(WANG X N,YIN X R,ZHANG X.Water poverty index and its application in Songliao River Basin[J].Journal of Hydraulic Engineering,2007,38(10):635-639.(in Chinese))
- [12] 邵薇薇,杨大文.水贫乏指数的概念及其在中国主要流域的初步应用[J].水利学报,2007,38(7):866-872.(SHAO W W,YANG D W.Water poverty index and its application to main river basins in China[J].Journal of Hydraulic Engineering,2007,38(7):866-872.(in Chinese))
- [13] 陈莉,石培基,魏伟,等.干旱区内陆河流域水贫困时空分异研究以石羊河为例[J].资源科学,2013,35(7):1373-1379.(CHEN L,SHI P J,WEI W,et al.Water poverty temporal spatial differentiation in the Shiyang River Basin[J].Resources Science,2013,35(7):1373-1379.(in Chinese))
- [14] 刘理臣,靳素芳,付春燕,等.甘肃省水贫困时空分异及驱动因素研究[J].兰州大学学报(自然科学版),2016,52(1):205-210.(LIU L C,JIN S F,FU C Y,et al.Spatial temporal differentiation and driving factors of water poverty in Gansu Province[J].Journal of Lanzhou University(Natural Sciences),2016,52(1):205-210.(in Chinese))
- [15] 张雄.基于WPI的城市水安全评价体系研究-以2013年青海省为例[J].南方农机,2016,2:93-94.(ZHANG X.WPI-based urban water safety evaluation system-a case study of Qinghai Province in 2013[J].China Southern Agricultural Machinery,2016,2:93-94.(in Chinese))
- [16] 张先基,张戈.基于WPI体系的大连市水贫困评价研究[J].云南地理环境研究,2012,24(4):68-72.(ZHANG X J,ZHANG G.Research on the assessment of water poverty in Dalian based on the WPI system[J].Yunnan Geographic Environment Research,2012,24(4):68-72.(in Chinese))
- [17] 姜宁,付强,孙颖娜.水匮乏指数及其在东北地区水安全评价中的应用[J].东北农业大学学报,2013(2):88-91.(JIANG N,FU Q,SUN Y N.Application of water poverty index in water security evaluation in north east region of China[J].Journal of Northeast Agricultural University,2013(2):88-91.(in Chinese))

- [18] 杨玉蓉, 谭勇, 皮灿, 等. 湖南农村水贫困时空分异及其驱动机制[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(1): 23-27. (YANG Y R, TAN Y, PI C, et al. Spatiotemporal pattern of rural water poverty and its driving factors in the hilly area of Hunan Province[J]. Areal Research and Development, 2014, 33(1): 23-27. (in Chinese))
- [19] 孙才志, 汤玮佳, 邹玮. 中国农村水贫困测度及空间格局机理[J]. 地理研究, 2012, 31(8): 1445-1455. (SUN C Z, TANG W J, ZOU W. Measure of water poverty conditions and its spatial pattern mechanism in China's rural areas[J]. Geographical Research, 2012, 31(8): 1445-1455. (in Chinese))
- [20] 孙才志, 王雪妮, 邹玮. 基于 WPFLSE 模型的中国水贫困测度及空间驱动类型分析[J]. 经济地理, 2012, 32(3): 9-15. (SUN C Z, WANG X N, ZOU W. Measurement and spatial driving type analysis for water poverty in China based on WPFLSE model[J]. Economic Geography, 2012, 32(3): 9-15. (in Chinese))
- [21] 孙才志, 陈琳, 赵良仕, 等. 中国农村水贫困和经济贫困的时空耦合关系研究[J]. 资源科学, 2013, 35(10): 1991-2002. (SUN C Z, CHEN L, ZHAO L S, et al. Spatiotemporal coupling between rural water poverty and economic poverty in China[J]. Resources Science, 35(10): 1991-2002. (in Chinese))
- [22] 孙才志, 汤玮佳, 邹玮. 中国农村水贫困与城市化、工业化进程的协调关系研究[J]. 中国软科学, 2013(7): 86-100. (SUN C Z, TANG W J, ZOU W. Research on the coordinating relation among rural water poverty, urbanization and industrialization process in China[J]. China Soft Science, 2013(7): 86-100. (in Chinese))
- [23] 四川省水利厅, 四川省统计局. 四川省第一次全国水利普查公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013(s1): 1-3. (Sichuan Provincial Water Resources Department, Sichuan Provincial Bureau of Statistics. First national water conservancy census bulletin of Sichuan province[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Publishing House, 2013(s1): 1-3. (in Chinese))
- [24] 四川省统计局. 2015年四川国民经济和社会发展统计公报[Z]. 2016. http://www.sc.stats.gov.cn/sjfb/tjgb/201602/t20160225_2_01907.html (Sichuan Provincial Bureau of Statistics. 2015 Sichuan national economic and social development statistical bulletin[Z]. 2016. http://www.sc.stats.gov.cn/sjfb/tjgb/201602/t20160225_2_01907.html (in Chinese))
- [25] 四川省环境监测总站. 四川省 2016 年 7 月地表水水质状况[Z]. <http://www.scemc.cn/xxgk/szzb/10238.htm>. (Environmental Monitoring Station of Sichuan Province. Surface water quality in Sichuan Province in July 2016[Z]. <http://www.scemc.cn/xxgk/szzb/10238.htm> (in Chinese))
- [26] 刘胜, 孙宗瑞, 杨育, 等. 基于 SMART 准则的科技成果评估指标体系研究[J]. 机械, 2011, 38(7): 31-35. (LIU S, SUN Z R, YANG Y, et al. Based on the SMART principle of scientific and technological achievements assessment index system research[J]. Machinery, 2011, 38(7): 31-35. (in Chinese))
- [27] EL-GAFY E D. The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector[J]. Ain Shams Engineering Journal, 2015, 5: 1-14.
- [28] HE IDECKE C. Development and evaluation of a regional water poverty index for Benin[R]. International Food Policy Research Institute. Environment and Production Technology Division, 2006: 35.
- [29] 祝慧娜, 袁兴中, 曾光明, 等. 基于动态聚类分析的水环境健康风险综合评价[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2010, 37(9): 73-78. (ZHU H N, YUAN X Z, ZENG G M, et al. Integrated assessment of the environmental health risks of water sources based on dynamic cluster analysis[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2010, 37(9): 73-78. (in Chinese))
- [30] 杨玉蓉, 张青山, 邹君. 基于村级尺度的农村水贫困评价—以常德澧县梅家港村为例[J]. 生态经济, 2013, 269(7): 24-28. (YANG Y R, ZHANG Q S, ZOU J. The assessment of rural water poverty based on a community scale: Taking Changed Lixian Meijiagang village as an example[J]. Ecological Economy, 2013, 269(7): 24-28. (in Chinese))

(上接第 62 页)

- [26] ZHANG W, MONTGOMERY D R. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrological simulation[J]. Water Resources Research, 1994, 30(4): 1019-1028. DOI: 10.1029/93WR03553.
- [27] 邓慧平, 李秀彬. 地形指数的物理意义分析[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 16-20. (DENG H P, LI X B. Relationship of upslope contribution area and soil water content in topmodel[J]. Progress in Geography, 2002, 21(2): 16-20. (in Chinese))
- [28] XIA J, WANG G S, TAN G, et al. Development of distributed time variant gain model for nonlinear hydrological systems[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2005, 48(6): 713-723.
- [29] YE A, DUAN Q, ZENG H, et al. A distributed time variant gain hydrological model based on remote sensing[J]. Journal of Resources and Ecology, 2010, 1(3): 222-230. DOI: 10.3969/j.issn.1674-764x.2010.03.005.
- [30] 夏军, 叶爱中, 王蕊, 等. 跨流域调水的大尺度分布式水文模型研究与应用[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 1: 1-8. (XIA J, YE A Z, WANG R, et al. Large scale distributed hydrological model of inter basin water transfer and its application[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 1: 1-8. (in Chinese)) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2011.01001.
- [31] 叶爱中, 夏军, 王纲胜. 基于动力网络的分布式运动波汇流模型[J]. 人民黄河, 2006(2): 26-28. (YE A Z, XIA J, WANG G S. Dynamic network-based distributed kinematic wave affluent model[J]. Yellow River, 2006, (2): 26-28. (in Chinese))
- [32] YE A, DUAN Q, ZHAN C, et al. Improving kinematic wave routing scheme in community land model[J]. Hydrology Research, 2013, 44(5): 886-903. DOI: 10.2166/NH.2012.145.