

基于水贫困指数地理探测器的丝绸之路经济带 甘肃段水贫困时空格局及驱动分析

高翔, 王可

兰州大学 资源环境学院, 兰州 730000

摘要: 以水贫困理论为基础, 构建了甘肃段水贫困评价指标体系, 采用熵值法对甘肃段2000–2015年水贫困的时空特征进行综合评估. 运用地理探测器定量识别影响甘肃段水贫困指数变化的因素及驱动力. 根据不同的驱动力因素, 划分水贫困地域类型. 结果表明: 甘肃段水贫困程度较严重, 东西部差异明显, 西部水贫困状况好于东部. 甘肃段水贫困空间驱动要素由“使用–环境–途径”驱动转为“能力”驱动. 能力系统对甘肃段水贫困得分的影响最大, 且影响力呈现增大的趋势; 途径系统的影响力在变小, 使用系统的变化不大, 资源系统和环境系统影响力较小. 各城市水贫困年际变化存在明显差异, 可归纳为环境驱动型、资源驱动型、使用驱动型、途径驱动型4大类型. 不同驱动机制下的城市水資源开发应做到因地制宜、抓住重点、讲究实效, 有序推进反水贫困政策.

关键词: 水贫困; 时空特征; 驱动因素; 水贫困指数; 地理探测器; 甘肃段

中图分类号: K928.4

文献标识码: A

文章编号: 0455-2059(2019)03-0290-09

DOI: 10.13885/j.issn.0455-2059.2019.03.002

Spatio-temporal pattern of water poverty and driving mechanism based on WPI-geodetector in the Gansu section of the Silk Road Economic Belt

Gao Xiang, Wang Ke

College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Based on the natural and socio-economic data of the Gansu section of the Silk Road Economic Belt, a water poverty assessment index system was established. The water poverty index (WPI) model was used to calculate the WPI of Gansu section from 2000 to 2015 and to analyze the spatial-temporal characteristics of WPI. On the basis of the calculated WPI, the factors that affected the WPI change in Gansu section were examined and quantitatively identified using the geographical detector method. According to the different driving forces of WPI, the areas were divided and recommendations were given accordingly. The main results are as follows: the water poverty situation in the west area of Gansu section was better than that in the east area, the difference between the two regions was obvious. The spatial driving force behind the water poverty in the Gansu section had been changed from "use-environment-access" to "capacity". The capacity system had the greatest impact on the water poverty situation and its influence was increasing, but the influence of the resource system and the environmental system was small. The influence of the access system was becoming smaller, but the use system's influence had not been changed. There were significant differences between the driving mechanisms of water poverty.

收稿日期: 2018-05-22 修回日期: 2018-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41530745); 国家社会科学基金项目(14BSH027); 兰州大学“一带一路”专项项目(2018ldbryb008)

作者简介: 高翔(1974–), 男, 山东单县人, 教授, 博士, e-mail: xgao@lzu.edu.cn, 研究方向为资源测度与规划/区域城市化.

ty of cities, which could be classified into four types: environment-driven, resource-driven, use-driven and access-driven. The development of water resources under different driving mechanisms should be based on local conditions, focusing on key issues and paying attention to the actual results and promoting poverty reduction policies in an orderly manner.

Key words: water poverty; spatio-temporal pattern; driving factor; WPI-geodetector; Gansu section

水是人類賴以生存和發展最不可缺少的自然資源。伴隨經濟發展和人口增長的壓力,水危機成為全球性問題。“為所有人提供水和環境衛生並對其進行可持續管理”,是聯合國《2030年可持續發展議程》的目標之一,《水利改革發展“十三五”規劃》將“全面提升水安全保障能力”作為改革發展的主線,水安全已經上升為國家戰略,如何對水資源進行科學評價和綜合管理成為政府和學術界共同關注的焦點。傳統的水資源評價多著眼於資源短缺或資源消費的角度,限制於資源的丰歉,忽視了社會經濟的宏觀影響,也缺少以“人”為出發點,涵蓋人們利用水的能力及生計影響的綜合評價方法。水貧困理論是水資源短缺理論研究的新視角,它從一般的貧困理論出發,把水資源的開發、利用、管理以及人們利用水資源的能力和生計影響有機結合,為集成的水資源管理和決策提供了新的研究方法^[1]。水貧困與經濟貧困息息相關,中國已進入全面建成小康社會的新時期,中共中央、國務院明確提出了到2020年實現精準扶貧、全部脫貧的目標,促使水貧困理論迅速成為學術研究的熱點。

水貧困是水資源缺乏、使用水的能力低下、水資源管理不足、用水權力的缺失和水資源可持續利用性差等多維度的綜合。在水貧困研究過程中,先後提出了水文壓力指數^[2]、社會水缺乏指數^[3]等來定量測度水貧困。Sullivan^[4]深化了水貧困的概念並完善了水貧困指數(water poverty index, WPI)體系、計算方法與模型。在此基礎上,水健康指數^[5]、氣候脆弱性指數^[6]等相繼誕生,從增加糧食、健康、生產力狀況等因素的角度擴充了水貧困理論,但在實證研究中WPI作為經典水貧困測度模型得到了廣泛應用。對水貧困的研究包括:面向全國^[7-10]、省域^[11]、社區^[12-15]和流域^[16-17]等尺度的水貧困評價;對水貧困與經濟貧困^[10, 18]、城市化進程、工業化進程^[19]的耦合關係研究。對於不同地區的水資源管理與可持續利用具有一定的指導意義,然而均缺少對水貧困時序、地域分異機制的定量研究。

地理探測器是探測空間分異性,揭示其背後

驅動力和影響因子以及多因子交互作用的一種新的統計學方法^[20]。地理探測器 q 統計量作為度量空間分異性、探測解釋因子、分析變量之間相互關係的有力工具,已被應用到從自然^[21-22]到社會經濟^[23-24]等十分廣泛的領域。WPI與地理探測器的結合,不僅能測量地區水貧困的程度、分析各系統的優劣狀況,而且能夠精準識別對WPI分異產生影響的具體指標並探測其決定力大小,也就是揭示水貧困的驅動因子和因子決定力,定量研究水貧困的地域分異機制。

2016年,絲綢之路經濟帶甘肅段(以下簡稱甘肅段)的總人口和生產總值分別占甘肅省的79.06%、90.39%,是甘肅省名副其實的黃金段。隨著《“絲綢之路經濟帶”甘肅段建設總體方案》的實施,甘肅段人口、經濟、城市化水平增速明顯,但水資源與社會經濟發展的矛盾也日益突出。當前甘肅段處於內陸地區變為向西開放前沿的重要戰略機遇期,定量辨識甘肅段水貧困時空特征及驅動因子可以豐富水貧困的研究內容,為構建適應甘肅段發展要求的安全且可持續的水資源環境、管理体系提供扎实的理论支撑,并为针对性改善地区水贫困现状,减缓水贫困对经济贫困的影响,促进反水贫困工作的精准实施提供启示。

1 研究区概况

甘肅省是絲綢之路的主要區段,本研究所選研究區為甘肅段11個重要節點城市,包括蘭州市、白銀市、酒泉市、嘉峪關市、金昌市、武威市、平涼市、慶陽市、天水市、定西市和張掖市。甘肅段深居中國西北內陸地區,位於祁連山以北,合黎山以南,六盤山以西,呈西北-東南向狹長分布。全段可分為河西走廊內陸河流域^[25]、黃河流域和長江三大流域,黃河流域干流縱貫甘肅段中部,流域面積大、水利條件優越,但流域內絕大部分地區為黃土覆蓋,植被稀疏,水土流失嚴重,河流含沙量大。甘肅段總長約1 555 km,占國內絲綢之路總長的39%。2016年,甘肅段萬元國內生產總值用水量均值为230 m³,是全國平均水平的2.84倍,而甘肅段人均國內生產總值為34 329元,

远远落后于全国平均水平 53 980 元. 集资源性、工程性、管理性、生态性缺水于一体的水资源现状给区域城市化和工业化发展带来巨大挑战, 总体来看, 甘肃段水生态环境脆弱, 水量匮乏严重, 人口和经济增长带来的用水浪费、废污水排放、上下游及各产业争水问题愈加凸显, 水资源成为甘肃段生态环境最主要的组成部分和社会经济发展的关键限制因素^[26-27].

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

WPI 结果可以反映地区间的相对缺水程度和水资源禀赋、工程、管理利用、经济与环境情况. 为了定量分析各项自然、社会经济等因素对 WPI 变化的决定力大小, 以 WPI 总分和各指标得分为数据基础, 应用地理探测器识别甘肃段及各城市水贫困的影响因子及驱动力, 划分不同的驱动类型.

2.1.1 WPI 方法

WPI 包括资源、途径、能力、利用和环境 5 个部分. 其中, 资源是指能够被人类所利用的水资源的数量和被利用的可依赖性; 途径指能够供应水资源的量, 考虑了区域中安全供水和环境卫生供水的程度; 能力指人们管理水资源的效能, 综合考虑基于教育、财政状况等经济社会方面的水管理能力; 利用指各经济部门, 特别是日常生活、工业和农业生产部门的水资源利用水平; 环境指水资源管理过程中确保生态系统保持长期稳定性的环境作用, 包括水质状况及生态环境可能受到的潜在压力等^[13]. 根据 WPI 内涵, 针对西北干旱区特殊的自然环境, 采用理论分析法、频度统计法、专家咨询法等选取了 25 个子指标(表 1). 通过各项指标加权, 能够计算得出 WPI. WPI 越高, 说明人们对水资源获得性、水资源利用程度、用水安全性和社会福利综合水平越高, 水贫困程度也就越低^[19]. 其数学表达式为:

表 1 水贫困评价指标体系
Table 1 Index system for water poverty assessment

目标层	准则层	指标层	简写	正负性
资源	水质水量	其他水源供水占比/%	R1	正
		人均水资源量/(m ³ /人)	R2	正
	资源禀赋	年降水量变异系数/%	R3	负
		产水模数/%	R4	正
		人均地下水资源量/(m ³ /人)	R5	正
途径	供水设施	城镇日综合供水能力/(m ³ /(人·d))	A1	正
		人均水利工程供水量/(m ³ /人)	A2	正
		城市供、排水管道密度/(km/km ²)	A3	正
	用水途径	用水普及率/%	A4	正
		节水灌溉率/%	A5	正
能力	经济实力	人均 GDP/元	C1	正
		城镇居民家庭可支配收入/元	C2	正
	社会生活	每千人口执业医师和助理医师数/人	C3	正
		万人拥有在校中学生数/人	C4	正
	用水管理	财政收支比	C5	正
		R&D 经费支出占财政支出的比例	C6	正
使用	使用效率	万元 GDP 用水量/m ³	U1	负
		万元工业增加值用水量/m ³	U2	负
		单位粮食产量用水/(m ³ /t)	U3	负
		农业用水占比/%	U4	负
环境	生态压力	旱灾成灾面积比例/%	E1	负
		化肥施用强度/(kg/hm ²)	E2	负
	用水强度	人均生活用水量/(m ³ /人)	E3	负
	环境治理	建成区绿化覆盖率/%	E4	正
		城镇污水处理厂日处理能力/(m ³ /d)	E5	正

$$WPI = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_j X_{ij}}{\sum_{j=1}^n \omega_j}$$

其中, WPI 为 0~1, X_{ij} 为各指标标准化后的值, ω_j 为各指标的权重.

2.1.2 熵值法

熵值法是一种客观定权法, 能够综合考虑各因素提供信息量来确定权重, 在系统中提供信息量越多的指标, 熵越小, 权重越大^[27]. 熵值法能够避免主观赋权法之中的随机性、臆断性, 对多个指标间存在的重叠问题也可以有效解决.

2.1.3 地理探测器

借鉴地理探测器模型, 引入水贫困分异决定力指标 q . 假定研究区域存在 y . y 被采集在研究区域内, 由采样单元 i ($i=1, 2, 3, \dots, n$, n 为总采样单元数) 组成的格点系统, 假设 $A=\{A_h\}$ 是可能存在的一种影响贫困分异的因素 ($h=1, 2, 3, \dots, L$, L 为因素分类数) A_h 代表因素 A 不同的类型. 一个类型 h 对应空间上一个或多个子区域. 为了探测因素 A 与 y 的空间相关性, 将 y 图层与因素 A 图层叠置, 在因素 A 的第 h 类型 (对应一个或多子区域), y 的离散方差被记为 σ_h^2 , 因素 A 对 y 的决定力为:

$$q = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{h=1}^L n_h \sigma_h^2$$

其中, n_h 为类型 h (对应一个或多个子区域) 内的样本数, σ^2 为整个区域的离散方差. 当因素对水贫困发生具有强决定力时, 每个类型的离散方差 σ_h^2 会较小; 反之, 类型的离散方差会较大. 当离散方差 σ_h^2 趋近于 0 时, 因素 A 的决定力 $q=1$, 是水贫困的发生分异完全由因素 A 决定的理想状态; 当因素 A 的决定力 $q=0$ 时, y 随机分布, 因素 A 对水贫困发生分异没有影响. 决定力 q 越大, 表明因素对水贫困发生空间分异的影响越大. 通过比较因素决定力的大小, 探测出区域水贫困地域分异的主导因素^[24].

2.2 数据来源

研究数据均来自《甘肃统计年鉴》(2001–2016 年)、《甘肃省水利统计年鉴》(2001–2016 年)、《甘肃水资源统计公报》(2000–2015 年) 和《中国城市统计年鉴》(2001–2016 年). 结合甘肃段发展实际、数据的可获取性及有效性, 本研究构建了由 5 个目标层、11 个准则层, 25 项指标组成的水贫困综合评价体系. 其他供水占比, 人均水利工程供水量, 城市供、排水管道密度, 财政收支比, 农业用水占比,

化肥施用强度通过计算后获得, 其余为原始指标. 由于 2002 年之前庆阳地区还未建市, 部分数据难以统计, 所缺失数据占总数据量的 2.5%, 采用多重替代法处理.

3 甘肃水贫困实证

3.1 WPI 时空变化

通过水贫困指标体系, 结合 WPI 的计算公式, 得出甘肃段 11 个城市的 WPI (表 2). 将 2000–2015 年按每 4 a 划分为 4 个时间段, 采取各个时间段 WPI 的均值作为该时间段的值, 通过专家咨询法, 把水贫困划分为 4 个等级, 可以看出水贫困程度分布的空间差异 (图 1).

整体来看, 甘肃段水贫困程度较严重, 东西部差异明显. 图 2 显示, 2000–2003 年, 甘肃段 2/3 的地区处于极度或严重水贫困, 而 2012–2015 年, 近半数地区水贫困状况变为轻度或中等程度; 西部水贫困状况好于东部, 河西地区水贫困得分相对较高, 其中, 嘉峪关市在 2004–2015 年的 WPI > 0.5, 表明嘉峪关市的水贫困状况较为良好, 属于轻度水贫困. 陇中及定西市水贫困状况最为严重, 武威市、白银市、定西市在 4 个时间段内 WPI 始终低于 0.25, 长期处在极度水贫困状态. 陇南及陇东地区水贫困状况稍好于陇中及定西市. 甘肃段各市的水贫困差距在 15 a 间逐渐拉大 (表 2), 按水贫困现状从优到劣排序, 2000 年与 2015 年甘肃段各市 WPI 值排名情况分别为: 嘉峪关市 > 酒泉市 > 兰州市 > 张掖市 > 金昌市 > 庆阳市 > 天水市 > 定西市 > 平凉市 > 武威市 > 白银市, 嘉峪关市 > 兰州市 > 酒泉市 > 金昌市 > 张掖市 > 庆阳市 > 平凉市 > 天水市 > 白银市 > 武威市 > 定西市. 空间上, 各等级水贫困相对混杂分布呈现出中部 (武威市、白银市、定西市) 严重、东南部 (天水市、平凉市、庆阳市) 一般、河西部分地区及兰州 (嘉峪关市、酒泉市、金昌市、张掖市、兰州市) 较轻的分布规律.

从各地区来看, 嘉峪关市、金昌市、张掖市、武威市、白银市的水资源综合条件有明显好转. 嘉峪关市从最初的中等程度变为轻度, 金昌市、张掖市从 2000–2003 年的严重程度提升为中等程度, 武威市、白银市的水贫困状况也得到了改善, 庆阳市 WPI 得分波动变化明显, 在 2004–2011 年水贫困状况有所恶化, 处于极度水贫困, 2012–2015 年水贫困程度略微好转, 恢复为严重状态. 酒泉市、兰州市、天水市、平凉市、庆阳市的水贫困

表2 2000–2015年各城市WPI
Table 2 WPI in each city from 2000 to 2015

年份	酒泉市	嘉峪关市	张掖市	金昌市	武威市	兰州市	白银市	定西市	天水市	平凉市	庆阳市
2000	0.423	0.482	0.368	0.289	0.209	0.395	0.203	0.224	0.253	0.220	0.287
2001	0.427	0.473	0.368	0.329	0.186	0.389	0.195	0.200	0.266	0.222	0.292
2002	0.470	0.476	0.324	0.301	0.182	0.374	0.188	0.187	0.226	0.243	0.294
2003	0.388	0.559	0.334	0.323	0.201	0.492	0.210	0.177	0.284	0.234	0.190
2004	0.407	0.645	0.345	0.363	0.216	0.426	0.173	0.168	0.272	0.274	0.232
2005	0.450	0.485	0.447	0.349	0.223	0.424	0.203	0.153	0.399	0.232	0.260
2006	0.413	0.478	0.444	0.452	0.245	0.378	0.183	0.172	0.318	0.230	0.255
2007	0.395	0.515	0.391	0.510	0.214	0.358	0.184	0.131	0.258	0.203	0.197
2008	0.359	0.631	0.420	0.445	0.212	0.363	0.193	0.188	0.270	0.204	0.242
2009	0.378	0.606	0.411	0.384	0.195	0.373	0.178	0.154	0.265	0.238	0.202
2010	0.365	0.546	0.355	0.403	0.178	0.405	0.185	0.122	0.278	0.226	0.200
2011	0.389	0.596	0.366	0.433	0.224	0.341	0.222	0.134	0.308	0.256	0.247
2012	0.362	0.565	0.372	0.385	0.261	0.401	0.212	0.188	0.310	0.245	0.282
2013	0.437	0.500	0.338	0.441	0.209	0.415	0.256	0.210	0.291	0.313	0.273
2014	0.423	0.572	0.411	0.382	0.249	0.403	0.224	0.227	0.224	0.294	0.308
2015	0.388	0.524	0.356	0.366	0.172	0.412	0.189	0.138	0.192	0.215	0.228

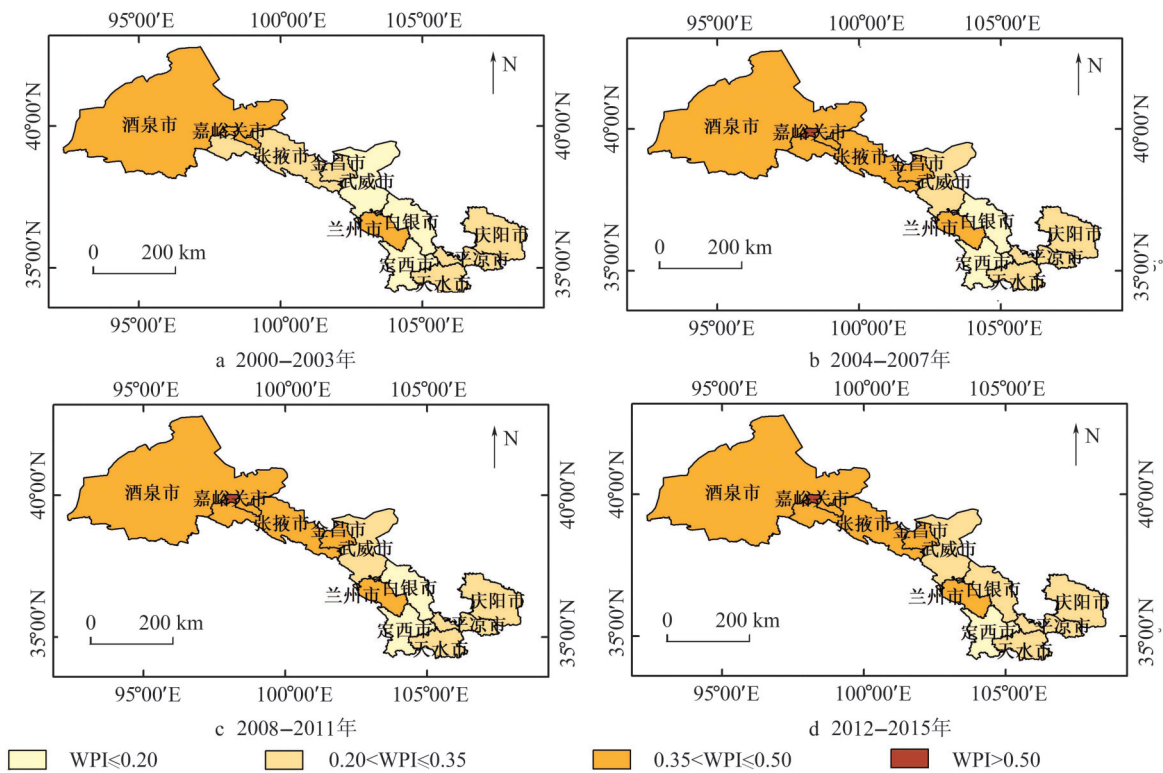


图1 2000–2015年甘肃段水贫困程度空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of water poverty degree in Gansu section from 2000 to 2015

状态较稳定,酒泉市、兰州市处于中等程度水贫困,天水市、平凉市、庆阳市处于严重程度水贫困,定西市始终处于极度水贫困状态.

3.2 水贫困驱动因素

利用 ArcGIS 中的自然断点法将各指标的得

分划分为5类,将数据离散为类型量.以16 a间各城市数据作为层单元,探测甘肃段不同年份水贫困的全局驱动力(表3).以各城市每年的数据为层单元,探测城市水贫困的影响因子驱动力(表4).由于指标数较多,按照决定力大小,本研究只列出

决定力排序前8位的因子。

3.2.1 全局驱动力

从表3可以看出: 总体上, 能力系统对甘肃段水贫困得分的决定力最大, 其次是途经系统和使用系统, 对水贫困得分变化影响力较小的是资源系统和环境系统。排序前8位的指标要素在资源、途径、能力、使用和环境系统中分布的比例分别是13.28%、23.44%、31.25%、17.97%、14.06%。在众多水贫困评价指标中, 具有普遍影响作用(频数不小于6)的指标依次为每千人口执业医师和助理医师数、人均GDP、城镇居民家庭可支配

收入、万人拥有在校中学生数、财政收支比、城镇日综合供水能力、节水灌溉率、R&D经费支出占财政支出的比例和农业用水占比。

时间上, 甘肃段水贫困空间驱动力的变化体现在从“使用-环境-途径”驱动转为“能力”驱动。能力系统的影响力在变大, 途径系统的影响力在变小, 使用系统的变化不大。2000年, 农业用水占比、化肥施用强度的 q 较大, 说明部分地区的水资源配置不合理, 农业占用水资源过多; 农业上大量施用化肥是造成地下水硝酸盐污染的重要原因, 不合理的农耕方式导致生态环境恶化。其次为城

表3 2000-2015年甘肃段水贫困变化影响因素的探测结果

Table 3 Detection results of the influence factors of the water poverty changing in Gansu section from 2000 to 2015

年份	第1位		第2位		第3位		第4位		第5位		第6位		第7位		第8位	
	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q
2000	U4	0.714	E2	0.691	A1	0.605	A2	0.509	A3	0.395	R3	0.368	U2	0.342	R1	0.255
2001	R4	0.441	A2	0.581	A3	0.354	A4	0.575	A5	0.591	C1	0.628	U2	0.340	E5	0.730
2002	E5	0.695	U4	0.667	A5	0.589	A4	0.520	U2	0.446	R4	0.410	E1	0.349	E3	0.311
2003	C3	0.851	C1	0.791	E5	0.767	C5	0.751	R3	0.711	U4	0.603	A3	0.430	A4	0.427
2004	C3	0.935	C1	0.868	C5	0.753	A1	0.718	U1	0.706	E3	0.695	C4	0.685	R1	0.334
2005	R4	0.523	A3	0.414	A2	0.326	E3	0.296	U3	0.266	R2	0.247	R5	0.247	U2	0.197
2006	C4	0.607	A2	0.538	R4	0.447	E4	0.406	E3	0.391	R3	0.323	R2	0.208	R5	0.208
2007	C4	0.793	A5	0.695	C2	0.664	E2	0.615	A1	0.611	A2	0.583	R3	0.577	C1	0.577
2008	C2	0.739	A1	0.725	C5	0.718	E2	0.688	C1	0.688	A5	0.675	U1	0.599	U4	0.576
2009	E5	0.856	C1	0.671	C5	0.664	A5	0.646	A1	0.642	C2	0.617	U1	0.595	A3	0.555
2010	C3	0.910	C5	0.689	C2	0.632	C4	0.627	E2	0.620	A5	0.578	U1	0.530	A3	0.503
2011	C3	0.869	U1	0.697	A1	0.667	C1	0.667	C4	0.644	C2	0.628	U4	0.550	A3	0.539
2012	C3	0.913	C4	0.712	C5	0.686	A1	0.621	U1	0.617	E2	0.605	U4	0.587	U2	0.540
2013	C3	0.856	E2	0.731	C2	0.687	U1	0.609	R3	0.593	U2	0.524	E4	0.514	A1	0.496
2014	C3	0.875	C4	0.776	C1	0.764	C5	0.726	U4	0.688	C2	0.625	U2	0.614	U1	0.533
2015	C3	0.958	C4	0.956	C5	0.813	C2	0.733	A5	0.498	R4	0.487	E1	0.432	R3	0.412

表4 各城市WPI年际变化影响因子的探测结果

Table 4 Detection result of the influence factors for the interannual variability of WPI in each city

城市	第1位		第2位		第3位		第4位		第5位		第6位		第7位		第8位	
	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q	指标	q
酒泉市	E2	0.551	U3	0.331	A4	0.311	R5	0.284	U2	0.198	A3	0.191	E5	0.146	C3	0.138
嘉峪关市	R4	0.564	U1	0.522	A3	0.417	A4	0.380	C5	0.366	U2	0.319	C1	0.319	E4	0.288
张掖市	R5	0.827	R1	0.545	C5	0.388	C4	0.303	U1	0.226	R2	0.217	E5	0.216	A2	0.200
金昌市	U1	0.813	A4	0.615	A1	0.590	A2	0.535	C2	0.383	C1	0.330	R3	0.296	C3	0.251
武威市	E4	0.546	R3	0.432	E2	0.298	A5	0.275	C4	0.258	U2	0.134	A4	0.127	U4	0.111
兰州市	U1	0.533	U3	0.408	U2	0.282	E5	0.251	C1	0.242	C4	0.207	R3	0.166	E4	0.137
白银市	A5	0.612	E2	0.500	R3	0.430	C1	0.393	C2	0.145	U4	0.142	U2	0.114	A2	0.088
定西市	R1	0.570	E1	0.507	R4	0.481	A3	0.438	U2	0.214	R3	0.193	A4	0.188	U3	0.147
天水市	R1	0.549	U1	0.494	R4	0.401	U2	0.337	A3	0.249	U3	0.194	R3	0.163	E3	0.092
平凉市	R1	0.665	E1	0.644	U2	0.328	E4	0.300	U4	0.296	R4	0.294	E3	0.227	C3	0.216
庆阳市	R1	0.686	U2	0.614	E3	0.384	E5	0.316	A4	0.301	A3	0.288	E1	0.240	E4	0.230

镇日综合供水能力和人均水利工程供水量,二者属于设施系统的指标,说明不同地区用水便利程度和供水量多寡的差异也是影响各地区WPI的重要因素. 2015年, q 位于前列的均属于能力系统的指标,它们依次是: 每千人口执业医师和助理医师数、万人拥有在校中学生数、城镇居民家庭可支配收入、财政收支比,说明2015年反映水资源利用能力的社会经济支撑状况对WPI的解释力较强.

3.2.2 各城市驱动力

分地区看(表4),甘肃段WPI决定力 q 存在显著的地域分异特征. 酒泉市 $q > 0.5$ 的指标为化肥施用强度,说明该市WPI受化肥施用强度影响最大;化肥对水污染主要体现在两个方面,一是造成水体富营养化,二是地下水硝酸盐超标.

嘉峪关市 $q > 0.5$ 的指标有两个,分别是产水模数和万元GDP用水量,与嘉峪关市“生态立市”的目标有关. 近年来,嘉峪关市先后建成了15座大型水利生态公园,人均水域面积达 23 m^2 ,极大地改善了当地的生态环境. 人均地下水资源量对张掖市WPI变化的决定力最大,另一个决定力较大的指标是其他水源供水占比. 实施黑河调水以来,由于黑河引水量大幅度减少,通过渠系、田间灌溉入渗到地下水的补给量变少;另一方面,井灌面积增加,地下水开采量相应增加,人均地下水资源量的变动大,导致 q 影响力显著.

金昌市 $q > 0.5$ 的指标有4个: 万元GDP用水量、用水普及率、城镇日综合供水能力和人均水利工程供水量. 可从金昌市对水利事业的重视和发展来解释,近5a来,金昌市共争取开工建设国防工业基地蓄洪生态治理、城市应急备用水源、石羊河流域重点治理、农村饮水安全、大型灌区节水改造、高效节水灌溉、山洪灾害防治、河道治理等61个重点水利项目,完成投资是前5a水利投资的2.6倍,为金昌市经济社会转型跨越发展提供了坚实的水利保障.

武威市受建成区绿化覆盖率的影响最大,兰州市受万元GDP值用水量的影响较大.

兰州市水贫困程度呈现好转态势,作为省会,经济发展速度快,节水技术到位,水资源利用效率的提高对水贫困状况改善效果明显.

白银市的节水灌溉率和化肥施用强度对WPI的决定较大. 农业用水占全市用水总量的84.5%,全市灌溉水利用系数仅为0.615,农业灌溉水利用率低下、农民节水意识淡薄、水浪费严重,距高效

节水农业要求还有很大差距. 2012–2015年白银市共安排高效节水面积 $25\,880 \text{ ha}^2$,一定程度上为极度水贫困状况的改善提供了帮助.

定西市、天水市、平凉市和庆阳市受其他水源供水占比影响较大. 近年来,随着城市建设规模扩大、人口的持续增长以及马铃薯加工产业的迅猛发展,地下水掠夺性开采已经接近上限,不能满足城区需水量,其他水源供水占比加大,对WPI的影响凸显出来. 旱灾成灾面积比例对定西市和平凉市的影响也较大,是典型的雨养农业区,旱灾是当地的主要自然灾害,水资源禀赋较差,发展水平相对较低,用水途径及效率、水生态环境都较差, WPI低,因此自然条件变动对其水贫困状况的影响显著. 庆阳市万元工业增加值用水量,影响力仅次于其他水源供水占比,庆阳市水贫困状况在2012–2015年有所改善,与城市工业快速发展,用水效率提升有关.

3.2.3 水贫困地域类型

在水资源约束背景条件下,以最大 q 对应自变量所属目标层为依据,将研究区划分为环境驱动型、资源驱动型、使用驱动型和途径驱动型4种水贫困类型. 环境驱动型: 包括酒泉市和武威市,城市水质与生态环境可能受到的潜在压力大,环境治理欠佳;资源驱动型: 包括嘉峪关市、张掖市、定西市、天水市、平凉市、庆阳市,城市地表及地下水资源的可靠性较差;使用驱动型: 包括金昌市和兰州市,社会经济状况对水行业的影响较大;途径驱动型: 白银市,水资源相关设施状况不佳,城市的用水安全保障较低.

3.3 措施与建议

针对水贫困的4种驱动类型,结合各城市社会经济、生态环境特征,提出相应的水资源管理措施,推动地区水贫困改善,促使甘肃段整体建设及减贫工作更加全面高效.

环境驱动型: 酒泉市2015年WPI相对较高,属于中等水贫困,在未来的规划发展中,应当将管理重点放在农业现代体系的建设上,建立健全耕地土壤监测维护系统,量化施肥指标,确定合理施用量,推动肥料结构的优化升级,推广新型肥料和科学施肥方法. 武威市WPI值较低,在全面提升城市绿化质量和层次,恢复城市绿地及地下水的良性循环,加强水土保持生态建设的同时,应注重资源系统、途径系统、能力系统、使用系统的协调.

资源驱动型:在合理配置水资源的前提下,张掖市应注重完善地下水监测网络,实施严格的取水制度,控制地下水开采规模。天水市、平凉市、庆阳市和定西市,应加强节水型社会的建设,建立城市水系统良性循环机制,促进污水资源化;做好水生态系统保护与修复工程、建设替代水源工程等。这些城市处于严重或极度水贫困状态,只有资源系统、途径系统、能力系统、使用系统和环境系统协调发展,才能根本改善地区水贫困现状。

使用驱动型:城市应做出政策管理、技术创新等方面的改变,提高水资源产出效益。金昌市和兰州市均属于中等程度水贫困,社会经济发展水平相对较高,受水资源使用效率的影响较大。在未来发展中应严格限制发展高耗水、高污染工业项目,运用行政、经济等措施引导高耗水行业逐步转移。积极引进类似城市的政策、管理经验,通过技术手段逐步改造传统用水工艺。

途径驱动型:完善城市水务基础设施是关键。白银市正处在资源型城市的转型期,在基础设施方面的短板劣势突出,应增加投入资金、技术,加快城市供排水管网技术改造,为城市建设提供强有力的水利保障;推进农业节水工程,在高效节水农业和生态农业上下大力,提高节水灌溉率。

4 结论

甘肃段中部(武威市、白银市、定西市)水贫困较为严重、东南部(天水市、平凉市、庆阳市)一般严重、河西部分地区(嘉峪关市、酒泉市、金昌市、张掖市)及兰州市程度较轻。嘉峪关市、金昌市、张掖市、武威市、白银市的水贫困状况有所好转;酒泉市、兰州市、天水市、平凉市、庆阳市、定西市的水贫困状态较为稳定。定西市始终处于极度水贫困状态。

甘肃段水贫困驱动机制从“使用-环境-途径”驱动转为“能力”驱动。能力系统对水贫困得分的决定力最大,且呈现增大的趋势;其次是途经系统和使用系统,途径系统的影响力在变小,使用系统的变化不大。资源系统和环境系统对水贫困得分变化影响力较小。

区域水贫困可划分为4种类型:分别为环境驱动型(酒泉市、武威市)、资源驱动型(嘉峪关市、张掖市、定西市、天水市、平凉市、庆阳市)、使用驱动型(金昌市、兰州市)、途径驱动型(白银市),针对各类型区提出发展建议。

囿于数据的可获取性和有效性,研究建立在

地级市的数据基础之上,相对于省级区域数据,精细度和指向性有所提高,但县域作为研究区域发展的基本单元,能更好地反映甘肃段水资源状况的变化规律和特点。另外,在指标选取时,由于政策制度、环保要求、公众意识等指标难以量化,指标体系可能存在不足。

参考文献

- [1] 何栋材,徐中民,王广玉.水贫困测量及应用的国际研究进展[J].干旱区地理,2009,32(2):296-303.
- [2] Joseph A, Petra D, Thomas H. Development and testing of the Water GAP 2 global model of water use and availability[J]. Hydrological Sciences Journal, 2003, 48(3): 317-337.
- [3] Ohlsson L. Water conflicts and social resource scarcity[J]. Physics & Chemistry of the Earth Part B Hydrology Oceans & Atmosphere, 2000, 25(3): 213-220.
- [4] Sullivan C. Calculating a water poverty index[J]. World Development, 2002, 30(7): 1195-1210.
- [5] Sullivan C A. mapping the links between water, poverty and food security[R]. Oxfordshire: Centre for Ecology and Hydrology, 2006(1): 27-28.
- [6] Sullivan C, Meigh J. Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index[J]. Water Science & Technology A Journal of the International Association on Water Pollution Research, 2005, 51(5): 69-78.
- [7] 孙才志,王雪妮.基于WPI-ESDA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.
- [8] 孙才志,王雪妮,邹玮.基于WPI-LSE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.
- [9] 孙才志,吴永杰,刘文新.基于DPSIR-PLS模型的中国水贫困评价[J].干旱区地理,2017,40(5): 1079-1088.
- [10] 王雪妮,孙才志,邹玮.中国水贫困与经济贫困空间耦合关系研究[J].中国软科学,2011(12): 180-192.
- [11] 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(2): 205-210.
- [12] 孙才志,董璐.基于灾害学视角的中国农村水贫困测度[J].中国人口·资源与环境,2014,24(3): 83-92.
- [13] 孙才志,董璐,郑德凤.中国农村水贫困风险评价:障碍因子及阻力类型分析[J].资源科学,2014,36(5): 895-905.
- [14] 杨玉蓉,张青山,邹君.基于村级尺度的湖南农村水贫困比较研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(7): 1027-1034.

(下转第304页)

- [3] Sergio J R, Brett D M. US regional income convergence: a spatial econometric perspective[J]. *Regional Studies*, 1999, 33(2): 143-156.
- [4] Anselin L. *Spatial econometrics: methods and models*[M]. Netherlands: Springer, 1988: 7-41.
- [5] 齐元静, 杨宇, 金凤君. 中国经济发展阶段及其时空格局演变特征[J]. *地理学报*, 2013, 68(4): 517-531.
- [6] 丁建福, 王绍光, 萧今. 中国县际经济差异的时空演变趋势: 1997-2010[J]. *经济地理*, 2015, 35(11): 15-20.
- [7] 朱道才, 任以胜, 徐慧敏, 等. 长江经济带空间溢出效应时空分异[J]. *经济地理*, 2016, 36(6): 26-33.
- [8] 席强敏, 李国平. 京津冀生产性服务业空间分工特征及溢出效应[J]. *地理学报*, 2015, 70(12): 1926-1938.
- [9] 毛琦梁, 董锁成, 黄永斌, 等. 首都圈产业分布变化及其空间溢出效应分析: 基于制造业从业人数的实证研究[J]. *地理研究*, 2014, 33(5): 899-914.
- [10] 王坤, 黄震方, 余凤龙, 等. 中国城镇化对旅游经济影响的空间效应: 基于空间面板计量模型的研究[J]. *旅游学刊*, 2016, 31(5): 15-28.
- [11] 方创琳. 中国城市群形成发育的新格局及新趋向[J]. *地理科学*, 2011, 29(9): 1025-1034.
- [12] 方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向[J]. *地理学报*, 2014, 69(8): 1130-1144.
- [13] 刘辉, 申玉铭, 柳坤. 中国城市群金融服务业发展水平及空间格局[J]. *地理学报*, 2013, 68(2): 44-56.
- [14] 孙东琪, 张京祥, 胡毅, 等. 基于产业空间联系的“大都市阴影区”形成机制解析: 长三角城市群与京津冀城市群的比较研究[J]. *地理科学*, 2013, 33(9): 1043-1050.
- [15] 何天祥, 朱翔, 王月红. 中部城市群产业结构高度化的比较[J]. *经济地理*, 2012, 32(5): 54-58.
- [16] 段小微, 李璐璐, 苗长虹, 等. 中部六大城市群产业转移综合承接能力评价研究[J]. *地理科学*, 2016, 36(5): 681-690.
- [17] 郝俊卿, 曹明明, 王雁林. 关中城市群产业集聚的空间演变及效应分析: 以制造业为例[J]. *人文地理*, 2013, 28(3): 96-100.
- [18] 贾卓, 陈兴鹏, 杨璟恒, 等. 兰白西城市群空间范围界定和空间发展战略研究[J]. *西北师范大学学报: 自然科学版*, 2013, 49(3): 110-114.
- [19] 李晨曦, 陈兴鹏, 初雪, 等. 基于ESDA的兰白西城市群县际工业经济差异时空分析[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2019, 55(1): 19-25, 32.
- [20] 陈强. *高级计量经济学及Stata应用*[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2014: 575-614.
- [21] Lesage J P, Pace R K. *Introduction to spatial econometrics*[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009: 513-514.
- [22] Lesage J P, Pace R K. *Spatial econometric modeling of origin-destination flows*[J]. *Journal of Regional Science*, 2008, 48(5): 941-967.

(责任编辑: 王春燕)

(上接第297页)

- [15] 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.
- [16] 张辉, 丁继新, 王继峰. 水贫困指数在河西走廊三大内陆河流域的应用[J]. *人民黄河*, 2012, 34(7): 42-44.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- [21] 郭春颖, 施润和, 周云云, 等. 基于遥感与地理探测器的长江三角洲空气污染风险因子分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(11): 1805-1814.
- [22] 董玉祥, 徐茜, 杨忍, 等. 基于地理探测器的中国陆地热带北界探讨[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 135-147.
- [23] 吕晨, 蓝修婷, 孙威. 地理探测器方法下北京市人口空间格局变化与自然因素的关系研究[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(8): 1385-1397.
- [24] 刘彦随, 李进涛. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 161-173.
- [25] 蒙吉军, 汪疆玮, 周朕, 等. 黑河中游灌区水资源配置要素对生态用地变化的影响[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2017, 53(2): 143-151.
- [26] 高翔, 鱼腾飞, 程慧波. 西北地区水资源环境与城市化系统耦合的时空分异: 以西陇海兰新经济带甘肃段为例[J]. *干旱区地理: 汉文版*, 2010, 33(6): 1010-1018.
- [27] 王珞珈, 董晓峰, 刘星光, 等. 基于信息熵的兰州城市生态系统可持续发展能力演化分析[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2016, 52(6): 764-770.

(责任编辑: 王春燕)