

宁夏水贫困地域分异的 WPI-Geodetector 测度与分析^①

刘小鹏^{1,3}, 王可², 叶均艳¹, 温胜强¹

(1 宁夏大学资源环境学院, 宁夏 银川 750021; 2 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000;

3 教育部中阿旱区特色资源与环境治理国际合作联合实验室, 宁夏 银川 750021)

摘要: 水贫困是长期以来备受西北地区关注的焦点问题。以宁夏为典型案例, 通过建立水贫困评价指标体系, 采用 WPI 模型计算 2011—2015 年区域水贫困水平, 并运用地理探测器诊断出水贫困分异的主导因素, 揭示水贫困动力机制, 总结出水贫困地域类型。结果表明: (1) 水贫困指数时空分异显著。宁夏 WPI 值由 2011 年的 0.393 上升到 2015 年的 0.404, 水贫困呈现缓慢改善态势, 但地区差距在扩大。(2) 水贫困主导因素时空变化明显。从目标层看, 资源系统对宁夏水贫困影响最大, 但其决定力在变小; 环境系统的决定力在增大; 使用系统的决定力最小。从指标层看, 年降水量等 10 个指标 q 值始终在 0.8 以上, 而年径流深等 7 个指标对宁夏水贫困决定力在下降。从分地区看, 银川市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 6 个指标, 需要提高用水效率、降低用水压力和合理配置生态用水; 石嘴山市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 11 个指标, 客观表明作为资源型地区发展转型过程中的矛盾所在; 吴忠市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 13 个指标, 今后着力要加强用水效率、用水管理和水资源高效利用水平等的统筹协调; 固原市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 4 个指标, 重点要提高设施水平和污染治理能力; 中卫市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 15 个指标, 要突出提高用水效率和设施水平。(3) 水贫困地域类型划分。在水资源共同约束背景下将研究区划分为途径(设施水平)约束型区域、能力—使用(用水管理—用水效率)约束型区域、环境(用水压力—生态环境)约束型区域等 3 种水贫困地域类型。

关键词: 水贫困; 地域分异; 主导因素; WPI-Geodetector; 宁夏

中图分类号: F323.213

文献标识码: A

文章编号: 1000-6060(2018)01-0160-10(0160~0169)

随着全球变化和区域社会经济的发展, 水资源短缺问题成为当今世界普遍关注的主要水危机。在此背景下, 水贫困理论应运而生^[1]。目前, 学术界虽对水贫困的定义没有统一的认识, 但其核心思想是指水资源短缺及其社会适应能力(用水能力、水资源管理能力等)的缺乏^[1]。在水贫困研究过程中, 学者们先后提出了水文压力指数(Hydrological Water Stress Index, HWSI)^[2]、社会水缺乏指数(Social Water Scarcity Index, SWSI)^[3]等来定量测度水贫困。其中, 最为著名的水贫困测度方法是英国牛津大学生态与水文研究所 SULLIVAN 提出的水贫困指数(Water Poverty Index, WPI)^[4]。该指数综合了资源(Resources)、途径(Access)、能力(Capacity)、

利用(Use)和环境(Environment)5项要素, 建立了较为完善的 WPI 构成系统。虽然之后的 Water Wealth Index (WWI)^[5]、Climate Vulnerability Index (CVI)^[6]、Canadian Water Sustainability Index (CWSI)^[7]等进一步补充完善了 WPI, 但在实证研究中 WPI 作为经典水贫困测度模型仍得到广泛应用。根据国情和研究需要, 国内学者建立 WPI-ESDA^[8]、WPI-LSE^[9]等模型, 以及在 WPI 基础上构建了面向全国^[8-10]、省域^[11]、农村(社区)^[12-15]和流域^[16]等的水贫困评价体系, 尚缺少水贫困地域分异机制的定量研究。

长期以来, 水资源开发利用和水安全是水科学、地理学等学科研究的前沿课题。“十二五”时期, 特

① 收稿日期: 2017-10-07; 修订日期: 2017-12-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41261021)

作者简介: 刘小鹏(1973-), 男, 满族, 宁夏海原人, 博士, 教授, 博导, 主要研究方向为贫困地理与区域可持续发展。

E-mail: 2641996568@qq.com

别是党的十八大以来,我国将水安全上升为国家战略,提出了水治理中的重大理论和现实问题。《水利改革发展“十三五”规划》,对我国基本国情水情、面临新老水问题以及水利发展新形势的综合研判,更是促使有关水贫困理论等问题迅速成为社会关注的焦点和学术研究的热点。

我国西北地区土地面积占全国总面积的 31.76%,人口占全国总人口的 6.9%,但水资源量和人均水资源占有量仅占全国平均水平的 4.6%和 80.5%,水资源成为该地区生态环境最主要的组成部分和社会经济发展关键限制因素。宁夏地处我国西北内陆地区,干旱半干旱面积占总面积的 75%以上;多年平均降水量 289 mm,蒸发量达 1 250 mm;人均水资源可利用量 664 m³,仅为全国平均水平的 1/3,世界平均水平的 1/9,是全国水资源严重短缺的省区之一。同时,宁夏是经济欠发达地区,城镇化和工业化进入快速推进阶段,面临着复杂的水安全问题。在此背景下,从水贫困视角审视水安全,对于宁夏打造西部地区生态文明建设先行区和西北地区重要生态安全屏障具有重要科学意义。本文以宁夏为典型案例,利用水贫困指数(WPI)和地理探测器(Geodetector)模型,科学探测和诊断西北地区省域水贫困时空规律和主导因素,揭示省域水贫困分异特征及其动力机制,进一步划分出水贫困地域类型,

为因地制宜、有效实施水资源可持续治理与管理提供参考依据。

1 研究区概况

宁夏回族自治区(简称宁夏,下同)地处黄河上游地区,深居西北内陆,地理位置位于 35°14′~39°23′N,104°17′~107°39′E 之间,现辖 5 个地级市,9 个市辖区、2 个县级市、11 个县和 1 个开发区,总面积为 6.64 × 10⁴ km²(图 1)。在我国气候区划中,该区域属于典型的大陆性半湿润半干旱气候。其中,固原市南部属中温带半湿润区,原州区以北至盐池、同心一带属中温带半干旱区,引黄灌区属中温带干旱区。全区年平均气温为 5.3~9.9℃,呈北高南低分布;年均降水量 166.9~647.3 mm,呈南多北少态势。

2 研究方法

2.1 数据来源和赋权

2010 年之前,宁夏各市、县(区)区划调整频繁,统计数据缺乏连贯性和可比性。为了保证数据的连贯性、可比性和可获得性,本研究数据均来自《宁夏统计年鉴》(2012—2016 年)和《宁夏水资源统计公报》(2011—2015 年)。缺失数据采用多项式插值法

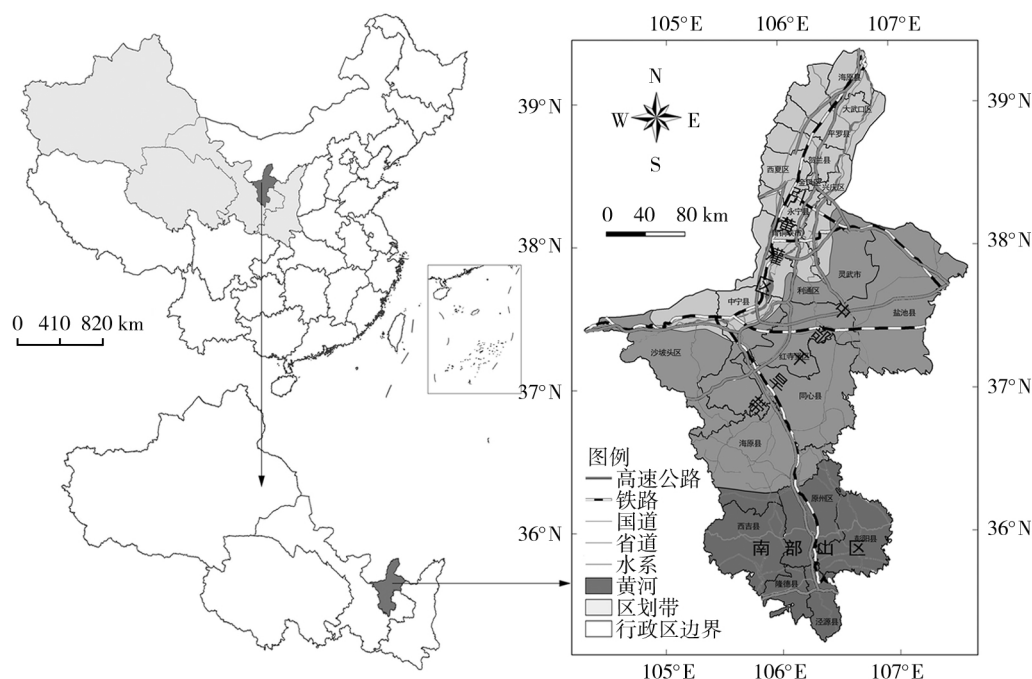


图 1 宁夏地理位置示意图

Fig. 1 Location map of Ningxia

替代。

根据 WPI 内涵,针对宁夏区域特征,采用专家咨询法、频度统计法和理论分析法,构建了由目标层 5 个、准则层 10 个,共 34 个原始指标或生成指标。

在对指标标准化处理后^[12],采用主客观组合赋权法^[15-16]计算权重(表 1、2)。

2.2 水贫困指数

以水贫困理论为基础,采用非均衡法构建测度

表 1 宁夏水贫困测度评价指标体系和指标权重

Tab. 1 Index system and weights for water poverty assessment in Ningxia

目标层	准则层	原始指标或生成指标	指标 正负性	指标权重				
				2011	2012	2013	2014	2015
资源(R)	资源禀赋	年径流深/mm	正	0.033	0.055	0.044	0.043	0.049
		年降水量/mm	正	0.026	0.033	0.032	0.029	0.035
		人均水资源量/m ³	正	0.048	0.050	0.056	0.042	0.032
		人均地表水资源量/m ³	正	0.047	0.044	0.048	0.043	0.056
		人均地下水资源量/m ³	正	0.016	0.018	0.031	0.024	0.028
途径(A)	设施水平	自来水受益村比例/%	正	0.027	0.032	0.035	0.036	0.023
		人均供水量/m ³	正	0.014	0.015	0.016	0.017	0.050
		灌溉水有效利用系数/%	正	0.040	0.045	0.028	0.046	0.053
		排水管道密度/km·km ⁻²	正	0.042	0.046	0.040	0.044	0.037
		用水普及率/%	正	0.016	0.033	0.052	0.038	0.016
		城镇生活污水处理率/%	正	0.018	0.017	0.018	0.026	0.022
能力(C)	经济水平	地方财政自给率/%	正	0.028	0.030	0.028	0.028	0.027
		人均国内生产总值/元	正	0.026	0.030	0.026	0.029	0.027
	社会生活	人均收支比/%	正	0.027	0.021	0.028	0.022	0.022
		恩格尔系数/%	负	0.027	0.019	0.017	0.034	0.069
		执业医师数服务人数/人	正	0.023	0.022	0.025	0.024	0.022
		万人拥有在校中学生数/人	正	0.029	0.040	0.032	0.033	0.035
		文化卫生事业投资占总投资比重/%	正	0.041	0.020	0.025	0.035	0.025
	用水管理	科研经费支出占财政支出比例/%	正	0.061	0.035	0.038	0.036	0.026
		水利、环境和公共投资占总投资比/%	正	0.044	0.026	0.023	0.025	0.043
使用(U)	用水效率	万元 GDP 用水量/m ³	负	0.025	0.026	0.030	0.028	0.022
		万元工业增加值用水/m ³ ·(万元) ⁻¹	负	0.046	0.030	0.020	0.030	0.024
		人均工业用水量/m ³	负	0.014	0.023	0.023	0.016	0.019
		农业亩均取水量/m ³ ·hm ⁻¹	负	0.042	0.039	0.042	0.048	0.035
环境(E)	用水压力	农村人均生活耗水量/m ³	负	0.025	0.031	0.030	0.028	0.026
		城市人均生活耗水量/m ³	负	0.018	0.018	0.016	0.019	0.016
		人均取水量/m ³	负	0.034	0.036	0.035	0.033	0.029
	生态环境	人均园林草地面积/hm ²	正	0.035	0.038	0.035	0.028	0.025
		人均水域湿地面积/hm ²	正	0.020	0.021	0.020	0.023	0.021
		人均公园绿地面积/m ²	正	0.014	0.017	0.015	0.016	0.016
		建成区绿化覆盖率/%	正	0.022	0.016	0.015	0.017	0.015
	污染治理	人均污水处理回用量/m ³	正	0.020	0.031	0.027	0.021	0.018
		人均废污水排放量/t·(人) ⁻¹	负	0.024	0.019	0.024	0.018	0.018
		化肥施用强度/t·hm ⁻²	负	0.028	0.024	0.027	0.022	0.019

表 2 宁夏水贫困测度评价指标体系目标层和准则层权重

Tab. 2 The weights of target layer and criterion layer of water poverty assessment in Ningxia

目标层	目标层权重					准则层	准则层权重				
	2011	2012	2013	2014	2015		2011	2012	2013	2014	2015
资源(R)	0.170	0.200	0.211	0.181	0.200	资源禀赋	0.170	0.200	0.211	0.181	0.200
途径(A)	0.157	0.187	0.189	0.207	0.201	设施水平	0.157	0.187	0.189	0.207	0.201
能力(C)	0.306	0.244	0.242	0.265	0.296	经济水平	0.054	0.061	0.054	0.057	0.054
						社会生活	0.147	0.123	0.127	0.147	0.172
						用水管理	0.105	0.061	0.061	0.061	0.070
						用水效率	0.127	0.119	0.116	0.123	0.100
使用(U)	0.127	0.119	0.116	0.123	0.100	用水压力	0.077	0.085	0.080	0.080	0.071
环境(E)	0.240	0.250	0.242	0.225	0.203	生态环境	0.091	0.092	0.084	0.083	0.077
						污染治理	0.072	0.073	0.078	0.062	0.055

模型^[17] ,其数学表达式为:

$$WPI_i = \frac{\sum_{j=1}^5 \omega_j Y_{ij}}{\sum_{j=1}^5 \omega_j} \quad (1)$$

式中: WPI_i 为第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个评价对象的水贫困指数值,其取值在 0~1 之间,得分越低说明水贫困越严重; Y_{ij} 为第 j 个原始指标或生成指标标准化后的值; ω_j 为第 j 个原始指标或生成指标的权重。

2.3 地理探测器

地理探测器(Geodetector) 是基于 GIS 空间叠加技术和集合论,用以识别多因子之间交互作用的模型方法^[18],在分析地理要素格局演变和地域空间分异等方面应用十分广泛。

借鉴地理探测器模型,引入水贫困分异决定力指标 q 。假定研究区域存在水贫困指数 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 与水贫困指数 y 的空间相关性,将水贫困指数 y 图层与因素 A 图层叠置,在因素 A 的第 h 类型(对应一个或多个子区域), y 的离散方差被记为 σ_h^2 ,因素 A 对水贫困指数 y 的决定力大小为:

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

$$n = \sum_{h=1}^L n_h \quad (3)$$

式中: n_h 为在因素 A 的类型 h (对应一个或多个子区域) 内的样本数; n 为在整个研究区域 H 内的所有

样本数; L 为因素 A 的分类数; σ^2 扩为整个区域的离散方差。

当各因素对水贫困发生具有决定力时,每个类型(对应一个或多个子区域)的离散方差 σ_h^2 会较小,类型(对应一个或多个子区域)之间的离散方差会较大。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,水贫困指数随机分布,因素 A 对水贫困发生分异没有影响,决定力 q 值越大,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^[18-19]

3 结果分析

3.1 水贫困指数时空分异

时间序列上, WPI 值由 2011 年的 0.393 上升到 2015 年的 0.404,上升了 2.8%,说明宁夏的水贫困呈现缓慢改善态势(图 2)。空间格局上,宁夏水贫困地区差距在扩大。宁夏吴忠市、银川市和中卫市的水贫困略有好转,而石嘴山市水贫困得分降幅达 23.4%,表明石嘴山市的水贫困程度在加重。固原市的水贫困得分虽然高于其他地区,但在评价期水贫困得分降幅达 10.3%,说明该地区水贫困出现恶化态势(图 3、4)。

3.2 水贫困主导因素时空变化

地理探测器针对类别数据的算法优于连续数据。根据专家意见将 34 个指标量进行分类,然后利用地理探测器测算方法,分别计算反映各探测因子对 WPI 得分决定力的 q 值(表 3)。

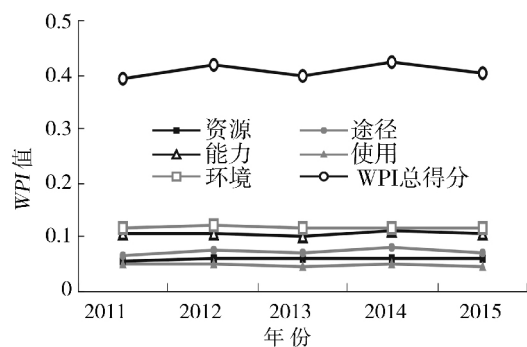


图2 2011—2015年宁夏WPI值

Fig. 2 Scores of WPI in Ningxia from 2011 to 2015

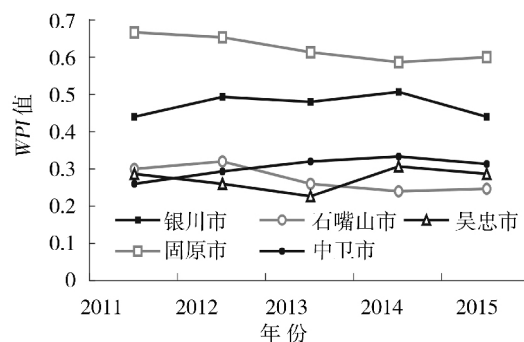


图3 2011—2015年宁夏各地区WPI值

Fig. 3 Scores of WPI in the cities of Ningxia from 2011 to 2015

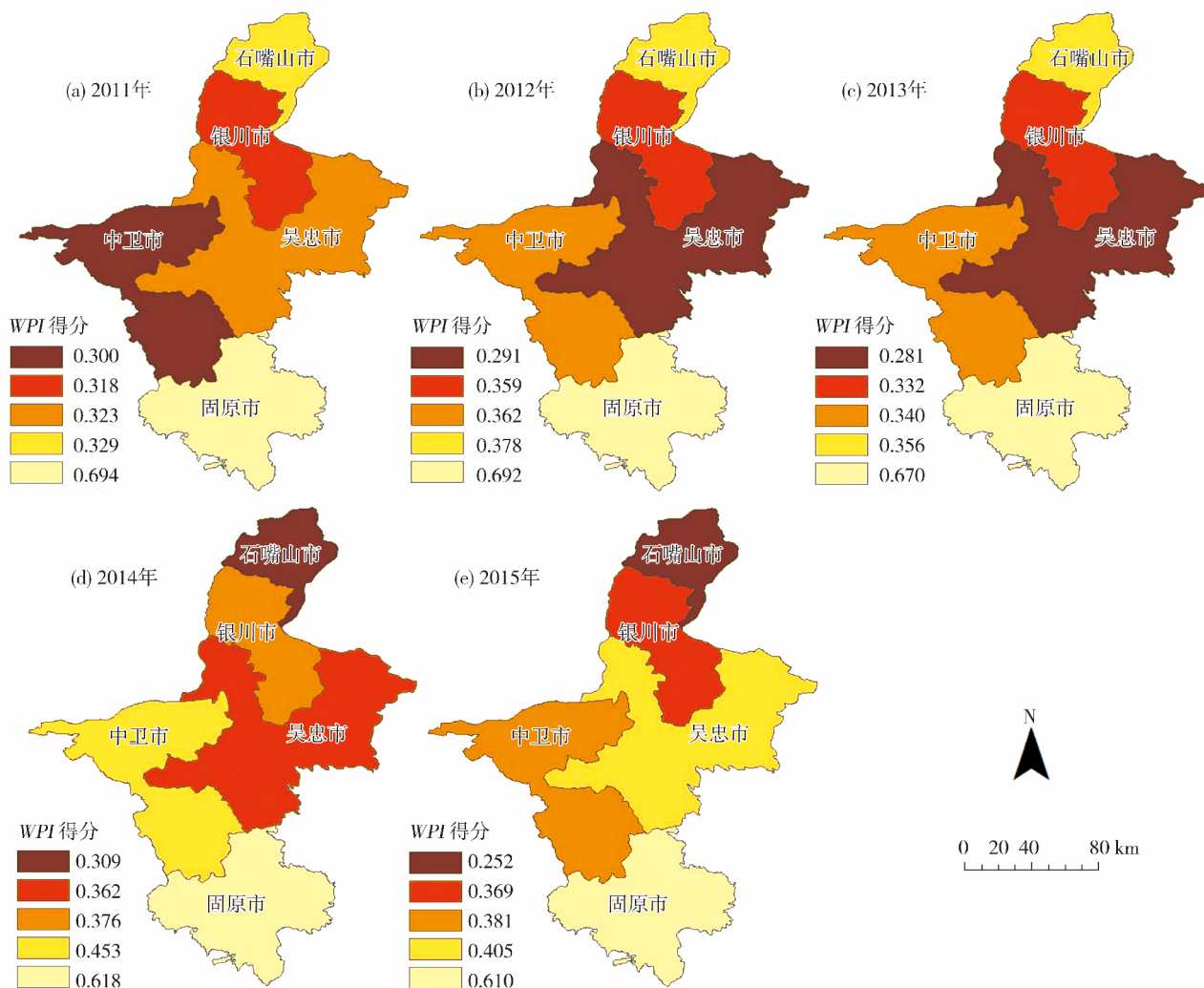


图4 2011—2015年宁夏水贫困空间变化

Fig. 4 Water poverty spatial distribution contrast in Ningxia from 2011 to 2015

(1) 从目标层看,资源系统对宁夏水贫困得分的影响最大,但其决定力在变小;环境系统的决定力在增大;能力系统和途径系统的决定力相当;使用系统的决定力最小。

(2) 从指标层看,年降水量、人均水资源量、人

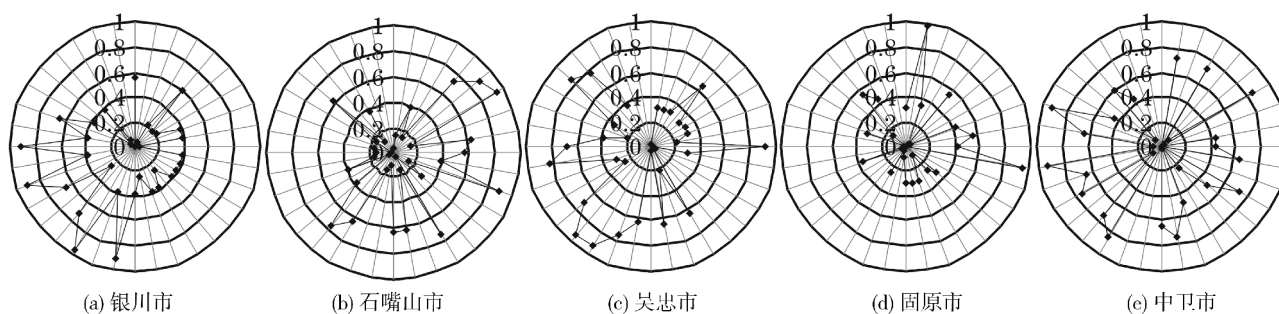
均公园绿地面积、年径流深、人均地表水资源量、人均供水量、灌溉水有效利用系数、排水管道密度、人均取水量、人均废污水排放量是宁夏水贫困决定力较强的10个指标,且 q 值始终在0.8以上,但年径流深、人均地表水资源量、人均供水量、灌溉水有效

表 3 宁夏水贫困影响因素对 WPI 得分的决定力 q 值
Tab. 3 Influencing factors for scores of WPI by geographic detector from 2011 to 2015

目标层	准则层	指标	2011	2012	2013	2014	2015
资源(R)	资源禀赋	年径流深/mm	0.998	0.956	0.968	0.917	0.793
		年降水量/mm	0.997	0.973	0.979	0.962	0.894
		人均水资源量/ m^3	0.996	0.968	0.968	0.818	0.809
		人均地表水资源量/ m^3	0.996	0.956	0.968	0.958	0.793
		人均地下水资源量/ m^3	1	0.998	0.426	0.917	0.867
途径(A)	设施水平	自来水受益村比例/%	0.141	0.45	0.093	0.726	0.508
		人均供水量/ m^3	0.996	0.956	0.979	0.976	0.023
		灌溉水有效利用系数/%	0.996	0.956	0.968	0.818	0.793
		排水管道密度/ $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$	0.996	0.958	0.968	0.818	0.799
		用水普及率/%	0.997	0.192	0.123	0.105	0.394
能力(C)	经济水平	城镇生活污水处理率/%	0.997	0.295	0.979	0.891	0.894
		地方财政自给率/%	0.142	0.079	0.096	0.418	0.529
		人均国内生产总值/元	0.318	0.078	0.093	0.38	0.428
	社会生活	人均收支比/%	0.392	0.502	0.221	0.05	0.047
		恩格尔系数/%	0.053	0.47	0.093	0.721	0.01
		执业医师数服务人数/人	0.997	0.973	0.093	0.38	0.809
	用水管理	万人拥有在校中学生数/人	0.318	0.959	0.997	0.822	0.849
		文化卫生事业投资占总投资比重/%	0.996	0.998	0.971	0.086	0.565
		科研经费支出占财政支出比例/%	0.996	0.956	0.968	0.018	0.428
		水利、环境和公共投资占总投资比/%	0.053	0.197	0.093	0.256	0.01
使用(U)	用水效率	万元 GDP 用水量/ m^3	0.377	0.417	0.38	0.42	0.564
		万元工业增加值用水/ $\text{m}^3 \cdot (\text{万元})^{-1}$	0.996	0.417	0.979	0.891	0.428
		人均工业用水量/ m^3	0.153	0.973	0.979	0.282	0.426
		农业亩均取水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	0.066	0.064	0.065	0.055	0.053
环境(E)	用水压力	农村人均生活耗水量/ m^3	0.318	0.411	0.409	0.739	0.435
		城市人均生活耗水量/ m^3	0.376	0.079	0.096	0.418	0.529
		人均取水量/ m^3	0.996	0.956	0.968	0.818	0.01
	生态环境	人均园林草地面积/ hm^2	0.997	0.973	0.979	0.891	0.894
		人均水域湿地面积/ hm^2	0.376	0.4	0.38	0.309	0.445
		人均公园绿地面积/ m^2	0.207	0.963	0.123	0.818	0.867
		建成区绿化覆盖率/%	0.319	0.959	0.97	0.958	0.809
	污染治理	人均污水处理回用量/ m^3	0.396	0.417	0.439	0.998	0.99
		人均废污水排放量/ $\text{t} \cdot (\text{人})^{-1}$	0.996	0.958	0.997	0.818	0.799
		化肥施用强度/ $\text{t} \cdot \text{hm}^2$	0.141	0.078	0.093	0.38	0.428

利用系数、排水管道密度、人均取水量、人均废污水排放量 7 个指标对宁夏水贫困得分的决定力在下降,而人均公园绿地面积、建成区绿化覆盖率、人均污水处理回用量 3 个指标对宁夏水贫困得分的决定力在上升。

(3) 从分地区看,宁夏水贫困指数决定力 q 值存在显著的地域分异特征(图 5)。(1) 银川市水贫困指数分异决定力 q 值 > 0.5 的有 6 个指标,其中的水利、环境和公共设施管理业固定资产投资占总投资比例、万元工业增加值用水、城市人均生活耗

图5 宁夏水贫困指数决定力 q 值地域分异Fig. 5 The regional differentiation of water poverty index determination's q value in Ningxia

水量和人均园林草地面积均 >0.9 ,这与银川市近年来宁东能源化工基地建设、城市化速度加快和园林城市建设紧密相关,反映银川市亟待提高用水效率、降低用水压力和合理配置生态用水。② 石嘴山市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 11 个指标,其中反映设施水平的 4 个指标,分别是来自水受益村比例、人均供水量、排水管道密度和用水普及率;反映社会生活的 2 个指标,分别是执业医师数服务人数和文化卫生事业投资占总投资比重;反映用水效率的 2 个指标,分别是万元工业增加值用水和人均工业用水量;剩余的 3 个指标分别是反映经济水平的地方财政自给率、用水管理的科研经费支出占财政支出比例和污染治理的人均污水处理回用量。石嘴山市水贫困指数分异的 q 值分布客观表明作为资源型地区发展转型过程中的矛盾所在。③ 吴忠市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 13 个指标,其中用水效率的 4 个指标 q 值均在 0.69 以上,说明吴忠市工业和农业用水较为粗放。同时,该地区污染治理中的 3 个指标,有 2 个 q 值超过 0.5,分别为人均污水处理回用量 0.83 和人均废污水排放量 0.76,表明吴忠市环境保护水平有待提高。其他指标主要分布于社会生活、用水管理、用水压力和生态环境用水等方面。以上综合反映了吴忠市用水效率、用水管理和水资源高效利用水平等需要协调统筹。④ 固原市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 4 个指标,其中年降水量 q 值为 0.99,反映该地区对降水相对丰富,有利于缓解水贫困。另外,城镇生活污水处理率、排水管道密度和人均废污水排放量的 q 值分别为 0.95、0.54 和 0.54,说明固原市设施水平和污染治理能力有待提高。⑤ 中卫市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 15 个指标,其中人均取水量和人均公园绿地面积 q 值均为 0.92,表

明该地区在城镇化过程中用水压力和生态用水都在增大。同时,万元工业增加值用水和人均供水量 q 值均达 0.85,说明中卫市用水效率和设施水平亟待提高。

3.3 水贫困地域类型划分

按照行政区划分层,利用地理探测器模型进行多级探测^[18-19]。在水资源约束背景条件下,根据探测结果,以 $q > 0.9$ 为标准,将研究区划分为途径(设施水平)约束型区域、能力—使用(用水管理—用水效率)约束型区域、环境(用水压力—生态环境)约束型区域等 3 种水贫困地域类型。

(1) 途径(设施水平)约束型区域。主要包括石嘴山市、吴忠市和固原市。在“途径”目标层“设施水平”准则层中,石嘴山人均供水量 q 值为 0.95、吴忠市用水普及率 q 值为 0.91、固原市城镇生活污水处理率 q 值为 0.95,反映石嘴山市、吴忠市和固原市设施水平成为水贫困最重要的约束条件。今后,这三个地区的共同任务是改善设施条件。

(2) 能力—使用(用水管理—用水效率)约束型区域。主要包括银川市和吴忠市。在“能力”和“使用”目标层,银川市水利、环境和公共设施管理固定资产投资占总投资比例 q 值为 0.91,参考吴忠市水利、环境和公共设施管理固定资产投资占总投资比例 q 值为 0.62,其他各地区的 q 值均在 0.11 以下。另外,银川市和吴忠市的万元工业增加值用水 q 值分别为 0.95 和 0.91。说明银川市和吴忠市除了要加大水利、环境和公共设施管理固定资产投资,提高用水管理水平外,更重要的是要加强工业园区升级改造,降低万元工业增加值用水量,提高用水效率。

(3) 环境(用水压力—生态环境)约束型区域。主要包括银川市和中卫市。在“环境”目标层“用水

压力”准则层中,银川市城市人均生活耗水量 q 值为 0.91、中卫市人均取水量 q 值为 0.92;在“环境”目标层“生态环境”准则层中,银川市人均园林绿地面积 q 值为 0.91、中卫市人均公园绿地面积 q 值为 0.92,表明银川市和中卫市反水贫困措施重点在提高人们节约用水意识、能力和方式等,建设节水型社会;加强水资源高效利用水平,补充快速增加的生态园林用水。

4 结论

在借鉴前人研究成果的基础上,以宁夏为典型案例,计算了区域水贫困指数(WPI),并按照行政区进行分层多级地理要素探测,获得了宁夏和各地水贫困分异的主导因素。依据不同主导因素对水贫困指数决定力,总结提出了水贫困的 3 种地域类型:途径(设施水平)约束型区域、能力—使用(用水管理—用水效率)约束型区域、环境(用水压力—生态环境)约束型区域,对中国西北干旱地区反水贫困具有重要启示和借鉴意义。

(1) 水贫困指数时空分异显著。宁夏 WPI 值由 2011 年的 0.393 上升到 2015 年的 0.404,水贫困呈现缓慢改善态势,但地区差距在扩大。吴忠市、银川市和中卫市的水贫困略有好转。石嘴山市水贫困得分降幅达 23.4%,表明该地区水贫困程度在加重。固原市的水贫困得分从 2011—2015 年下降了 10.3%,但总体仍优于吴忠市、银川市、中卫市和石嘴山市。

(2) 水贫困主导因素时空变化明显。从目标层看,资源系统对宁夏水贫困得分的影响最大,其决定力在变小;环境系统的决定力在增大;能力系统和途径系统的决定力相当;使用系统的决定力最小。从指标层看,年降水量等 10 个指标 q 值始终在 0.8 以上,而年径流深等 7 个指标对宁夏水贫困得分的决定力在下降。从分地区看,银川市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 6 个指标,反映银川市亟待提高用水效率、降低用水压力和合理配置生态用水;石嘴山市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 11 个指标,客观表明作为资源型地区发展转型过程中的矛盾所在;吴忠市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 13 个指标,综合反映了吴忠市用水效率、用水管理和水资源高效利用水平等需要协调统

筹;固原市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 4 个指标,表明固原市设施水平和污染治理能力有待提高;中卫市水贫困指数分异决定力 q 值 >0.5 的有 15 个指标,说明中卫市亟待提高用水效率和设施水平。

(3) 水贫困地域类型划分。在水资源共同约束背景条件下将研究区划分为途径(设施水平)约束型区域、能力—使用(用水管理—用水效率)约束型区域、环境(用水压力—生态环境)约束型区域等 3 种水贫困地域类型。其中,途径(设施水平)约束型区域主要包括石嘴山市、吴忠市和固原市,这三个地区的共同任务是改善设施条件;能力—使用(用水管理—用水效率)约束型区域主要包括银川市和吴忠市,这两个地区不仅要加大水利、环境和公共设施管理业固定资产投资,提高用水管理水平外,更重要的是要加强工业园区升级改造,降低万元工业增加值用水量,提高用水效率;环境(用水压力—生态环境)约束型区域主要包括银川市和中卫市,重点在提高节约用水意识、能力和方式等,建设节水型社会,加强水资源高效利用水平,补充生态园林用水。

(4) 水贫困时空分异的尺度选择。空间分异是自然和社会经济过程的空间表现。地理探测器是探测空间分异性,以及揭示其背后驱动因子的一种新的统计学方法^[18]。地理探测器 q 统计量,可用以度量空间分异性、探测解释因子、分析变量之间交互关系,已经在自然和社会科学多领域应用。本研究采用 WPI-Geodetector 初步探讨了市域尺度的水贫困时空分异及其主导因素和地域类型。今后,进一步按照行政区(省、市、县、乡、村)进行分层多级地理要素探测,揭示区域水贫困时空分异动力机制更具实践意义,将是运用地理探测器和其他方法相结合研究的重点^[20]。

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):169-174. [YANG Qian, WANG Mei, HAN Linzhi et al. Progress in the study of water poverty evaluation[J]. Ecological Economy, 2016, 32(1): 169-174.]
- [2] CLAUDIA Heidecke. Development and evaluation of a regional water poverty index for Benin[R]. International Food Policy Research Institute, Environment and Production Technology Division, 2006: 35.
- [3] OHLSSON L. Water conflicts and social resource scarcity[R]. Den

- Haag: European Geophysical Society ,1999: 12 – 23.
- [4] SULLIVAN Caroline. The water poverty index: development and application at the community scale[J]. Natural Resources Forum , 2003 27(3) : 189 – 199.
- [5] SULLIVAN Caroline ,CHARLES J ,ERIC C ,et al. Mapping the Links between water ,poverty and food Security [R]. Wallingford , 2005: 23 – 24.
- [6] MEIGH J ,SULLIVAN Caroline. Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated approach: the example of the climate vulnerability index [J]. Water Science and Technology 2005 , 54(1) : 69 – 78.
- [7] PHIL Adkins ,LEN Dyck. Canadian water sustainability index [J]. Project Report 2007: 1 – 27.
- [8] 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. [SUN Caizhi ,WANG Xueni. Research on the assessment and spatial correlation pattern of water poverty in China based on WPI-ESDA model [J]. Resources Science. 2011 33(6) : 1072 – 1082.]
- [9] 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. [SUN Caizhi ,WANG Xueni ,ZOU Wei. Measurement and spatial driving type analysis for water poverty in China based on WPI-LSE model [J]. Economic Geography. 2012 32(3) : 9 – 15.]
- [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(12) : 180 – 192. [WANG Xueni ,SUN Caizhi ,ZOU Wei. Coupling relation analysis between water poverty and economic poverty in China [J]. China Soft Science 2011 12(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(1) : 205 – 209. [LIU Lichen ,JIN Sufang ,FU Chunyan ,et al. Spatial-temporal differentiation and driving factors of water poverty in Gansu Province [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Science. 2016 52(1) : 205 – 209.]
- [12] 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 Yurong ,TAN Yong ,PI Can ,et al. Spatial-temporal 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.]
- [13] 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 – 2034. [YANG Yurong ,ZHANG Qingshan ,ZOU Jun. A comparative study of hunan rural water poverty based on village scale [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin. 2014 23(7) : 1027 – 2034.]
- [14] 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. [SUN Caizhi ,DONG Lu. Rural water poverty assessment with the perspective of catastrophology in China [J]. China Population ,Resources and Environment. 2014 24(3) : 83 – 92.]
- [15] 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. [SUN Caizhi ,DONG Lu ,ZHENG Defeng. Rural water poverty risk evaluation ,obstacle indicators and resistance paradigms in China [J]. Resources Science. 2014 36(5) : 895 – 905.]
- [16] 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 Li ,SHI Peiji ,WEI Wei ,et al. Water poverty temporal-spatial differentiation in the Shiyang River Basin [J]. Resources Science. 2013 35(7) : 1373 – 1379.]
- [17] 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. [ZHANG Hui ,DING Jixin ,WANG Jifeng. Application of water poverty index at Three Inland River Basins in Hexi Corridor [J]. Yellow River. 2012 34(7) : 42 – 44.]
- [18] 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. [WANG Jinfeng ,XU Chengdong. Geodetector: principle and prospective [J]. Acta Geographical Sinica , 2017 72(1) : 116 – 134.]
- [19] 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. [LIU Yansui ,LI Jintao. Geographic detection and optimizing decision of the differentiation mechanism of rural poverty in China [J]. Acta Geographical Sinica. 2017 72(1) : 161 – 173.]
- [20] 聂思雨 ,莫淑红 ,王学风 ,等. 城市需水量模拟及不确定性分析方法研究 [J]. 干旱区地理 ,2015 ,38(2) : 260 – 266. [NIE Siyu ,MO Shuhong ,WANG Xuefeng ,et al. Method of simulation and uncertainty analysis for urban water demand [J]. Arid Land Geography 2015 38(2) : 260 – 266.]

Measurement and analysis of spatial-temporal differentiation of water poverty in Ningxia based on *WPI*-geodetector

LIU Xiao-peng^{1,3}, WANG Ke², YE Jun-yan¹, WEN Sheng-qiang¹

(1 School of Resources and Environment Ningxia University Yinchuan 750021 Ningxia China;

2 School of Resources and Environment Lanzhou University Lanzhou 730000 Gansu China;

3 China-Arab Joint International Research Laboratory for Featured Resources and Environmental Governance in Arid Regions of Ministry of Education of the People's Republic of China Ningxia University Yinchuan 750021 Ningxia China)

Abstract: Water poverty has been the focus issue in northwest China for a long time. Taking Ningxia as the study area in this study, the regional water poverty levels were calculated from 2011 to 2015 using the *WPI* model based on the built evaluation index system of water poverty. The key factors causing the differentiation of water poverty were analyzed by using *WPI*-Geodetector to reveal the mechanism of water poverty and to give the regional types of water poverty. The results showed as follows: (1) The spatial-temporal variation of water poverty index was significant. Ningxia's *WPI* value was increased from 0.393 in 2011 to 0.404 in 2015 which indicated an overall slow improvement trend while its regional gap became magnified. (2) The spatial-temporal variation of the leading factors in water poverty was obvious. From the target perspective, the resource system had the biggest impact on water poverty in Ningxia, while its weight was getting smaller. The weight of the environmental system was increasing. The weight of the utilization system was the least. From the index perspective, the q value of annual precipitation and other 10 indicators was always above 0.8. However, the weights of 7 indicators including annual runoff depth on the Ningxia water poverty were declining. In the regions' point of view, there were 6 indicators in determining water poverty index differentiation with the q value greater than 0.5 for Yinchuan which suggested an urgent need to improve the water-use efficiency, reduce water pressure and to allocate reasonably the ecological water utilization. For Shizuishan City, there were 11 indicators with the q value greater than 0.5 which objectively indicated the contradiction in the transformation process of the resource-based region. For Wuzhong City, there were also 13 indicators with the q value greater than 0.5 which suggested something needs to be done to enhance water-use efficiency, water-use management and to improve the planning and coordination of water resources. For Guyuan City, there were 4 indicators with the q value being more than 0.5 which suggested a focus on improving water-use facilities and controlling pollution. For Zhongwei City, there were 15 indicators with the q value being more than 0.5 which indicated the efficiency of water use and facilities should be improved. (3) Water poverty regional types were classified. Sharing the same background of water resources constraints, the study area were divided into 3 types including the pathway (facility level) constrained area, the capacity-utilization (water management and water efficiency) constrained area and the environment (water-use pressure-ecological environment) constrained area.

Key words: water poverty; spatial-temporal differentiation; leading factors; *WPI*-Geodetector