

湖南省水贫困与城市化水平测度及其 时空耦合协调研究

李欢, 李景保, 王凯

(湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081)

摘要: 为综合评价湖南省水贫困与城市化发展现状及其二者的耦合协调关系, 构建水贫困及城市化发展模型, 对2007-2017年湖南省水贫困及城市化水平进行测度, 并采用耦合协调度模型, 定量评估水贫困与城市化耦合协调关系的时空变化。结果表明: 近10年间, 湖南省水贫困程度降低84.14%, 城市化发展水平提高88.42%; 各市(州)水贫困程度差异显著但保持相对稳定状态, 城市化发展水平空间差异较大且呈扩大态势; 水贫困与城市化的耦合度总体呈上升趋势, 属极强耦合。协调度增长了63.5%, 由轻度失调逐步过渡到高度协调; 各市(州)水贫困与城市化发展的协调度差异明显, 可分为良好协调型(长沙市)、初级协调型(株洲市、湘潭市)、勉强协调型(常德市、岳阳市、衡阳市、郴州市)、濒临失调型(张家界市、湘西州、怀化市、永州市、邵阳市、娄底市、益阳市)4种类型。最后为城市化与水资源协调发展提出建议。

关键词: 水贫困; 城市化水平; 时空耦合; 协调度; 湖南省

中图分类号: TV213.4; F299.27

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)04-0105-08

Spatio-temporal coupling and measurement of water poverty and urbanization level in Hunan Province

LI Huan, LI Jingbao, WANG Kai

(College of Resources and Environmental Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: In order to comprehensively evaluate the present water poverty, urbanization development, and the coupling and coordination relationship between them in Hunan Province, the model of water poverty and urbanization development was set up to measure the water poverty and urbanization of Hunan Province in 2007-2017, and to quantitatively evaluate the spatio-temporal changes of the coupling relationship between water poverty and urbanization using the coupling coordination degree model. The results showed that: First, the water poverty level in Hunan Province has decreased by 84.14%, and the urbanization development level has increased by 88.42% in the past ten years. Second, the differences in water poverty levels among cities (states) were significant but remain relatively stable, the spatial difference of urbanization development level is large and expanding. Third, the coupling degree between water poverty and urbanization is generally on the rise, which is extremely strong coupling. Coordination degree has increased by 63.5%, from mild disorder to a high degree of coordination. Fourth, there are significant differences in coordination degree between water poverty and urbanization development among cities and states, which can be divided into four types, namely good coordination type (Changsha City), primary coordination type (Zhuzhou City, Xiangtan City), reluctantly coordinated type (Changde City, Yueyang City, Hengyang City, Chenzhou City), and endangered type (Zhangjiajie City, Xiangxi State, Huaihua City, Yongzhou City, Shaoyang City, Loudi City, Yiyang City). Finally, we provided suggestions for the coordinated development of urbanization and water resources.

收稿日期: 2019-01-18; 修回日期: 2019-03-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571100); 湖南省重点学科地理学建设项目

作者简介: 李欢(1994-), 女, 四川南充人, 硕士研究生, 研究方向为区域经济开发和利用。

通讯作者: 李景保(1951-), 男, 湖南桂阳人, 大学本科, 教授, 硕士生导师, 研究方向为水文水资源科学。

Key words: water poverty; urbanization level; spatio-temporal coupling; coordination degree; Hunan Province

1 研究背景

我国南方地区因降水时空分布不均和不断增长的水资源需求量及城市化引发的水资源污染等问题,水资源短缺状况的发展速度实则比北方地区更快^[1]。水贫困已成为制约城市化可持续发展的重要因素^[2]。因此,将水贫困与城市化发展相结合进行研究,对于解决水资源短缺及城市化可持续发展具有重要意义。

国内外关于水贫困与城市化已有较多研究。在水贫困方面,学者多以水贫困指数(Water Poverty Index, WPI)模型为基础展开研究,认为WPI是评价水资源短缺情况的一个简单而有效的工具,能够帮助决策者更好地制定当地政策^[3-4],并根据不同空间尺度区域的实际情况改善了WPI模型,如Forouzani等^[5]提出了制定农业用水贫困指标的概念路径,并给予了一系列步骤建议;Van Ty等^[6]提出MWPI(改良的水贫困指数),并使用基准方法评估Srepok河流域(东南亚典型的农村地区)的水资源状况;孙才志等^[7]融入了社会适应性指标来测度中国水贫困情况。在水贫困与城市化方面,国外研究主要集中于用水贫困理论来评估城市水资源状况^[8-9],国内学者主要对农村及干旱区水贫困与城市化的协调关系进行研究^[2,10]。由此可见,针对湿润地区有关水贫困与城市化关系的研究成果较贫乏。

湖南是国家“两型社会”建设示范区,城市化与工业化的发展进程加快,对水资源需求量不断增加,然而,季节性水资源短缺严重,使水资源供需矛盾日益加剧。本文以湖南省为研究对象,基于WPI模型和城市化内涵,构建适用于湖南省的水贫困与城市化评价指标体系,计算2007-2017年水贫困与城市化综合发展指数,对水贫困程度及城市化水平进行测度。并利用耦合协调度模型,从时空维度分析二者之间的耦合协调差异,以期对湖南省乃至亚热带丰水地区的水资源合理配置、保护与经济可持续发展提供理论指导。

2 研究区域与方法

2.1 研究区域概况及数据来源

湖南省地处我国中南部,位于长江中游南岸,土地面积约 $21.18 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中耕地面积约占土地

面积的15.2%,2017年人口密度达322.1人/ km^2 ,城镇化率为54.62%,略低于全国平均水平(57.35%);该省属亚热带大陆性季风性湿润气候,降水总量远高于全国平均水平,但年降水相对变率大且时空分布不均。降水主要集中在4-8月,占全年的63.09%,秋冬两季少雨,仅占17%和12%。据统计,降水最大年份2002年达1964.95mm,最小年份2011年仅为1051.3mm^[11];洞庭湖西北部及湘东南地区年降水相对变率大。因此,看似不缺水的湖南实则面临着严峻的水资源短缺问题^[12]。

本文研究原始数据来源于2008-2018年《湖南省统计年鉴》《湖南省水资源公报》《湖南省农村统计年鉴》以及湖南省经济和社会发展统计公报。

2.2 研究方法

2.2.1 水贫困指数模型 水贫困理论始于Sullivan等^[13]提出的WPI(Water Poverty Index),该理论融合了水资源状况、供水设施状况、利用能力、使用效率和环境状况5个维度的指标来度量水贫困程度,既能反映区域水资源的本底状况,还能反映水工程、水管理以及当地的经济与环境状况,完整地体现了水贫困的内涵^[14]。公式如下:

$$WPI = \frac{Rw_r + Aw_a + Cw_c + Uw_u + Ew_e}{w_r + w_a + w_c + w_u + w_e} \quad (1)$$

式中:WPI为水贫困指数,WPI值越大,水贫困程度越轻微;R、A、C、U、E分别为子系统中水资源状况、供水设施状况、利用能力、使用效率和环境状况; w_r, w_a, w_c, w_u, w_e 分别为各子系统对应的指标权重。

2.2.2 城市化发展模型 城市化是指农村人口(农村地域)向城市人口(城市地域)转化的过程,同时也是城市文明不断向农村传播与扩散,最终达到城乡共享的过程,是质与量的统一^[15]。不同领域学者主要从人口、经济、社会、空间4个角度对城市化予以阐述,本文依此构建城市化发展模型,公式如下:

$$UL = \frac{Pu_p + Fu_f + Su_s + Iu_i}{u_p + u_f + u_s + u_i} \quad (2)$$

式中:UL为城市化发展指数,数值越大,表示城市化发展水平越高;P、F、S、I分别为子系统中人口、经济、社会、空间城市化; u_p, u_f, u_s, u_i 分别为各子系统对应的指标权重。

2.2.3 耦合协调度模型 耦合最早源于物理学,指两个或两个以上的系统或运动形式通过各种相互作用而彼此影响以致联合起来的现象,是一种系统

间在良性互动下形成的相互协调、依赖、促进的动态关联关系^[16]。协调度指系统演变过程中内部各要素相互和谐一致的属性^[17]。二者的区别在于耦合度更多表现系统间的相互影响程度,而协调度则侧重于系统间对整体的和谐属性。本文采用耦合协调度模型^[18]对湖南省水贫困与城市化两大系统的耦合度与协调度进行测度。公式如下:

$$C = \{f(x)g(x)/[(f(x) + g(x))/2]^2\}^K \quad (3)$$

($K \geq 2$)

$$T = \alpha f(x) + \beta g(x) \quad (4)$$

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (5)$$

式中: C 为水贫困与城市化的耦合度, C 值越高,说明二者拟合程度越好; $f(x)$ 、 $g(x)$ 分别为水贫困与城市化发展指数; K 为调节系数,本文取 $K = 2$; T 为水贫困与城市化的综合评价指数; α 、 β 为待定系数,在文中表示衡量水贫困与城市化的重要程度,二者同等重要,故 $\alpha = \beta = 0.5$; D 为协调度, D 值越大,代表两系统协调程度越好。借鉴相关参考文献^[2,19],对耦合度与协调度进行等级划分,见表 1。

表 1 耦合度与协调度等级划分

协调度等级	协调度值	耦合度等级	耦合度值
极度失调	0 ~ 0.1	无耦合	0
严重失调	0.1 ~ 0.2	弱耦合	0 ~ 0.35
中度失调	0.2 ~ 0.3	中等耦合	0.35 ~ 0.65
轻度失调	0.3 ~ 0.4	较强耦合	0.65 ~ 0.85
濒临失调	0.4 ~ 0.5	极强耦合	0.85 ~ 1.00
勉强协调	0.5 ~ 0.6	完全耦合	1.00
初级协调	0.6 ~ 0.7		
中级协调	0.7 ~ 0.8		
良好协调	0.8 ~ 0.9		
高度协调	0.9 ~ 1.0		

3 指标体系的构建及权重确定

3.1 水贫困评价指标的选取及权重确定

目前,较为公认的水贫困定义为获得水能力的缺乏及用水权利的缺乏^[20]。本文以 WPI 模型为框架,结合湖南省水资源发展现状,遵循科学性、系统性、可操作性的原则,构建了适合于湖南省水贫困的评价指标共 21 个,并利用熵值法^[21]对各指标进行赋权,结果如表 2。

3.2 城市化评价指标体系选取及权重确定

基于城市化内涵,分别从人口、经济、社会、空间

4 个子系统选取 13 个指标构建城市化评价指标体系,以反映区域城市化发展综合水平,利用熵值法^[21]对各指标进行赋权,结果见表 3。

表 2 水贫困评价指标体系及权重确定

目标一级层	二级指标层	指标属性	权重	各子系统权重	
水贫困	资源	地表水资源量	+	0.040	0.113
		地下水资源量	+	0.036	
		人均水资源量	+	0.037	
	设施	城市用水普及率	+	0.037	0.127
		农用排灌动力机械	+	0.034	
		供水管道长度	+	0.056	
		人均 GDP	+	0.046	
	能力	人均固定资产投资	+	0.053	0.274
		科学技术支出占财政支出的比重	+	0.085	
		每万人在校大学生数	+	0.040	
	使用	城市居民可支配收入	+	0.051	0.312
		万元 GDP 用水量	-	0.036	
		农业用水比例	-	0.040	
城市人均日生活用水量		-	0.055		
农村生活用水量		-	0.065		
有效灌溉面积		+	0.074		
农业机械总动力		+	0.042		
环境	污水处理率	+	0.040	0.174	
	化肥施用量	-	0.051		
	农用柴油使用量	-	0.009		
	工业废水排放量	-	0.074		

4 结果与分析

4.1 湖南省水贫困程度的时空格局变化

4.1.1 湖南省近 10 年间水贫困程度的变化趋势

根据公式(1),计算得近 10 年水贫困及各子系统发展指数值(图 1)。整体来看,水贫困指数值从 2007 年的 0.135 增加到 2017 年 0.857,水贫困程度降幅为 84.14%,这表明湖南省水贫困程度得到大幅改善。再从不同时段上看水贫困程度的变化状态:(1)2007 - 2008 年水贫困程度下降了 44.82%。在获批两型社会试验区的开局之年,全省经济发展势头迅猛,经济效益显著,人均 GDP 增长率高达 18.17%,为近 10 年来增速最快的时期,在大力推进新型工业化的过程中,加强对资源的集约利用和环

境的有效保护,万元 GDP 用水量下降约 20%,水资源利用率明显提高。该时段水贫困程度减缓速度最快。(2)2009 - 2012 年水贫困程度下降 67.69%。该时段面临国际金融危机的严重冲击及国内经济下行压力加大的严峻形势,加之降水量年际变率大,导致该时段水贫困程度改善速度较为缓慢。(3)2013 - 2017 年水贫困程度降低了 69.82%。该时段为发展转型和改革的关键期,在国内外经济形势的双重压力下,保持经济稳中求进。此外,在此期间发生了持续高温和极端干旱事件如 2013 - 2016 年,导致水贫困程度有所波动,水贫困程度年均减缓速度为 10 年来最慢时段。

表 3 城市化评价指标体系及权重确定

目标层	一级指标层	二级指标层	指标属性	权重	各子系统权重
人口城市化	经济城市化	城镇人口比例	+	0.032	0.330
		人均 GDP	+	0.075	
		城镇固定资产投资额	+	0.086	
		第二产业产值占 GDP 的比重	+	0.084	
经济城市化	社会城市化	第三产业产值占 GDP 比重	+	0.086	0.428
		城市燃气普及率	+	0.079	
		城镇居民可支配收入	+	0.083	
		万人普通高校在校大学生数	+	0.065	
社会城市化	空间城市化	万人普通高等院校在校大学生数	+	0.065	0.210
		卫生机构个数	+	0.125	
		万人拥有公交车数	+	0.077	
		人均公共绿地面积	+	0.072	
空间城市化	空间城市化	人均建成区面积	+	0.067	0.210
		人均拥有道路	+	0.071	

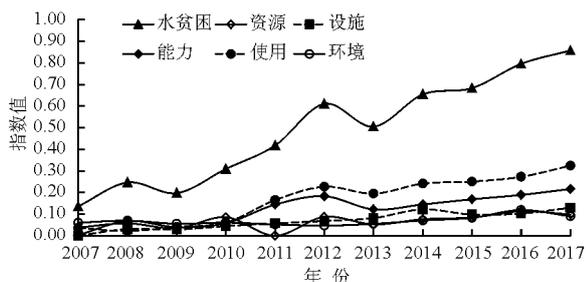


图 1 2007 - 2017 年湖南省水贫困指数及各子系统发展指数变化曲线

4.1.2 湖南省水贫困程度的空间分布差异 为了便于对比分析不同时段不同区域水贫困程度的空间

分布差异,分别选取 2008、2012、2016 年 3 个时间节点的水贫困指数值,辅以 ArcGIS 软件,采用自然断点分级法将湖南省 14 个市(州)的水贫困程度划分为严重贫困区、较贫困区、中等贫困区、较富裕区、富裕区 5 种类型区(图 2)。

总体来看,各市(州)水贫困程度差异显著但保持相对稳定状态,有 50% 市(州)水贫困程度保持不变。其中长沙市一直处于富裕区,株洲市处于较富裕区,张家界市处于较贫困区,常德、怀化、湘潭、永州 4 市均处于中等贫困区。

以不同时段的区域而言,2008 年益阳、娄底、邵阳市均属严重贫困区,岳阳、张家界和湘西州属较贫困区,常德、怀化、永州、衡阳和湘潭市属中等贫困区,郴州与株洲市属较富裕区,长沙市为富裕区;2012 年娄底、益阳、邵阳市均由严重贫困区转为较贫困区,岳阳市由较贫困区转为中等贫困区,水贫困程度有所改善,湘西州和郴州市水贫困程度均不同程度加剧。2012 年湖南省平均年降水量较往年平均偏多 16.7%,全省 14 个市(州)降水量均高于多年平均降水量。此外,该省着力加强供水设施建设,提高水资源使用能力,水贫困程度整体改善。而郴州市正处于工业化发展的中前期,大力发展重工业的同时没有注重水资源的保护和高效利用,万元 GDP 用水量及工业废水排放量居全省前列,导致水贫困程度加剧。湘西州位于湖南省西北部,境内多山,地形闭塞,经济发展水平不高且增长相对较为缓慢,在水资源的开发和利用方面较全省落后,处于严重贫困区;2016 年各市(州)水贫困程度保持相对稳定,其中益阳与衡阳市相较于 2012 年水贫困程度有所加剧。在这一时期,与湖南省其他市(州)相比,两市农业用水比例增加,农田有效灌溉面积减少等,导致水贫困程度加剧。

4.2 湖南省城市化综合发展水平时空变化

4.2.1 城市化发展水平的时空变化 根据公式(2),计算得近 10 年城市化及各子系统发展指数值(图 3)。分析可得,城市化综合指数值由 2007 年 0.106 增长到 2017 年 0.916,增幅为 88.42%,这表明该省城市化水平不断提高。根据城市化水平发展速度,可大致分为两个时段:(1)平缓增长期(2007 - 2011 年),该 5 年期间城市化综合指数值增加了 0.299。该时段湖南省在国家政策的大力支持下,不断寻求经济与资源环境相协调发展的路径,稳步推进各项事业全面发展。(2)波动上升期(2012 - 2017 年),该 6 年期间城市化综合指数值增加了

0.475。其中,2013 年城市化指数值出现小高峰,反映在社会城市化指数的高值上。相较 2012 年,城镇居民可支配收入增加了 14.2%,卫生机构个数较上

年增长了 22%,增幅较往年最大。由此可见,社会城市化提升了城市化综合水平,使得 2013 年湖南省城市化综合水平增幅较大。

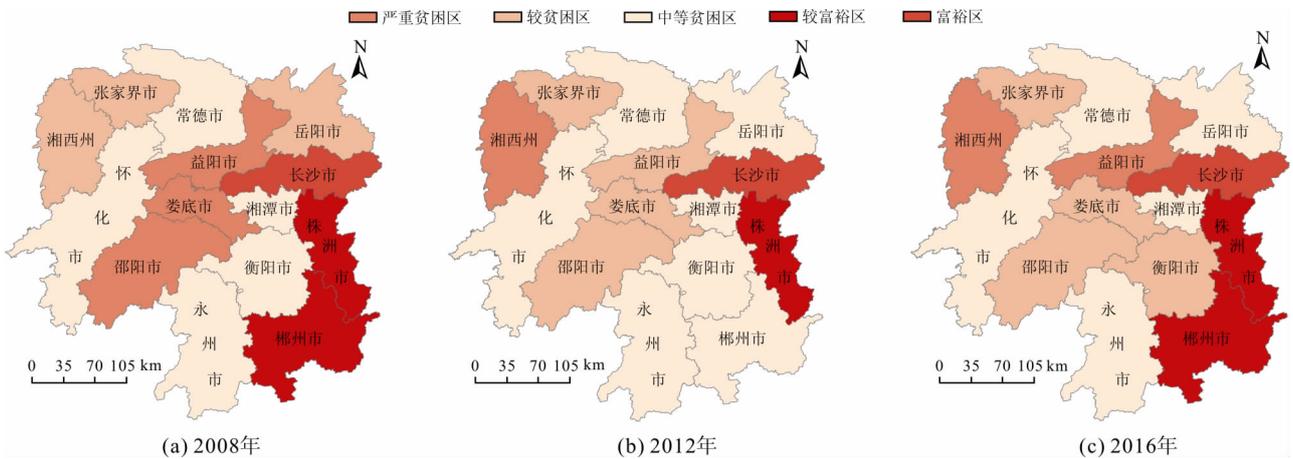


图 2 不同年份湖南省各市州水贫困程度差异及变化

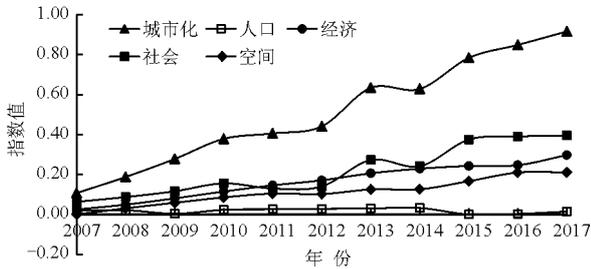


图 3 2007 - 2017 年湖南省城市化综合指数及各子系统发展指数变化趋势

4.2.2 城市化发展水平的空间差异 为了便于对比分析不同时段不同区域城市化水平的空间分布差异,分别选取 2008、2012、2016 年 3 个时间节点的城市化指数值,辅以 ArcGIS 软件,采用自然断点分级法将湖南省 14 个市(州)的城市化水平划分为低水平区、较低水平区、中等水平区、较高水平区、高水平

区 5 种类型区(图 4)。

总体来看,近 10 年来各市(州)城市化水平空间差异较大且呈扩大态势,仅有约 28.5%的市(州)城市化发展水平保持稳定,其中长沙市一直处于高水平区,湘潭、株洲市属较高水平区类。进一步分析发现,2008 - 2012 年有 42.8%的城市逐渐向高水平区转移,城市化发展水平提升速度较快。其中张家界市、益阳市、永州市已逐步从低水平区或较低水平区转移到中等水平区,常德市、衡阳市、郴州市由较低水平区域或中等水平区发展到较高水平区;2012 - 2017 年有 64.2%的城市城市化发展水平向低等级转移。常德市、岳阳市、衡阳市、郴州市均由较高水平区下滑到中等水平区;张家界市、益阳市、永州市由中等水平区下滑到较低水平区;娄底市、怀化市由较低水平区下滑到低水平区。究其原因,自

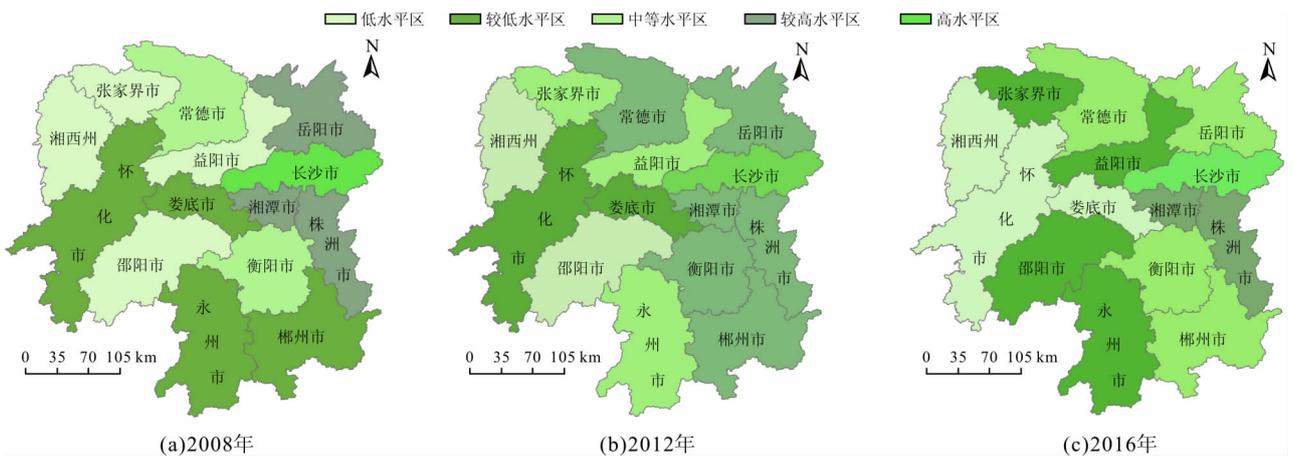


图 4 不同年份湖南省各市(州)城市化发展水平空间差异及变化

2012年以来,全省经济发展水平差异逐渐扩大,长株潭城市群经济迅猛发展,城市化发展水平大步向前,而湘西等偏远地区经济增长缓慢,城市化建设配套设施水平较低,区域发展差距明显。与此同时,面对国内外错综复杂的经济环境及新时代改革的繁重任务,2012-2017年全省GDP增速比2007-2012年下降1.6%,致使各市(州)城市化发展水平有所回落。

4.3 湖南省水贫困与城市化耦合协调性时空变化分析

4.3.1 湖南省水贫困与城市化的耦合性与协调性时序分析 根据公式(3)~(5),计算湖南省2007-2017年水贫困与城市化发展的耦合度与协调度值,反映近10年间湖南省水贫困与城市化的耦合度与协调度变化情况(图5)。

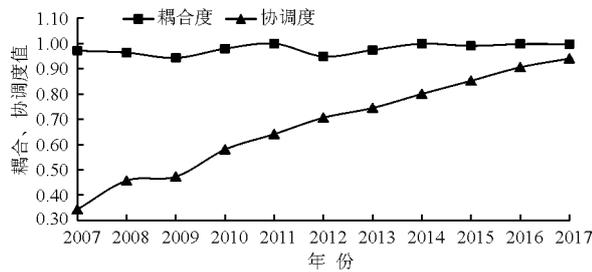


图5 2007-2017年湖南省水贫困与城市化耦合度与协调度变化曲线

(1)从耦合度变化曲线来看,近10年间湖南省水贫困与城市化的耦合度总体呈波动上升趋势且均在0.9以上,属极强耦合,耦合度值由0.972增长到0.998,这表明二者间相互影响相互促进的作用增强。但2009与2012年耦合度值有所下降,究其原因,主要在于面对2008年国际金融危机的严重冲击,该省经济增速放缓,城市化发展滞后于水资源的合理利用与保护。2012年该省年降水量达1692.3mm,为近10年以来的降水最丰年,使得水贫困指数偏高,从而水贫困与城市化耦合度值偏低。

(2)从协调度变化趋势来看,湖南省水贫困与城市化协调度由0.343增加到0.941,增幅达63.5%。可划分为7个阶段:2007年处于轻度失调阶段、2008-2009年处于濒临失调阶段、2010年处于勉强协调阶段、2011年处于初级协调阶段、2012-2013年处于中级协调阶段、2014-2015年处于良好协调阶段、2016-2017年处于优质协调阶段。由此可见,近10年间湖南省水贫困与城市化由轻度失调逐步过渡到优质协调,二者正走向协调有序发展。

(3)该省水贫困与城市化的耦合度水平高于协调度且波动较小,协调度呈线性上升状态,且不断靠近耦合度。这表明该省水贫困与城市化相互联系、相互作用的关系较强,并有逐步走向高度协调的良好趋势。

4.3.2 湖南省水贫困与城市化的耦合协调性空间变化 为进一步揭示湖南省水贫困与城市化发展协调度的空间差异及分布特点,分别计算得出近10年湖南省14个市(州)水贫困与城市化综合发展的协调度值并加以平均,参考协调度等级类型(表1),辅助ArcGIS软件,将湖南省14个市州的协调度分为4类(图6),分别为良好协调型、初级协调型、勉强协调型、濒临失调型。

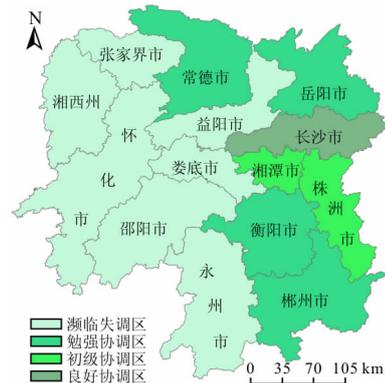


图6 湖南省各市(州)水贫困与城市化发展协调度空间差异

(1)良好协调型。主要是长沙市,其协调度值为0.878。长沙市位于湖南省东北部,湘江下游,地势起伏小,境内地表水系发达,水资源较为丰富。同时,长沙市作为湖南省政治经济文化中心,是全国“两型社会”综合配套改革试验区的核心城市,也是长江中游城市群和长江经济带的重要节点城市,城市化发展水平居全省首位。良好的经济基础带动用水效率不断提高,从而使得该市水贫困与城市化发展的协调程度稳步提升,属良好协调型。

(2)初级协调型。主要是株洲、湘潭两市,其协调度值分别为0.655和0.603。株洲与湘潭同属长株潭城市群核心成员之一,是长株潭两型社会建设综合配套改革试验区的重要部分,城市化发展水平仅次于长沙市。2017年两市的人均GDP分别为64248元和72437元,远超全国平均水平(53935元)。但两市存在万元GDP用水量较高、农村用水粗放、水资源利用效率较低等问题,导致城市化发展指数略高于水贫困指数,水资源开发和利用滞后于城市化的发展,属初级协调型。

(3)勉强协调型。包括常德市、岳阳市、衡阳市、郴州市四大区域,协调度值在0.553~0.580之间。其中,岳阳与常德市位于洞庭湖平原区,处湘江与长江交汇地带,地表水与地下水充足,人均水资源量较高。两市依托良好的水资源本底条件,加强供水设施建设,着力提高用水能力和使用效率,2017年,两市供水管道长度均达1500 km以上,居全省前列。农村用水效率逐步提高,两市农田有效灌溉面积与农业机械总动力均达到全省较高水平。岳阳与常德市是环洞庭湖生态经济圈的重要城市,近年来经济发展较为迅速,截止2017年,人均GDP均在 5.5×10^4 元以上;郴州市境内有湘江、赣江、北江三大水系流经,水资源富足,但该市在发展重工业的同时,工业废水排放量居全省前列,污水处理率较低。衡阳市近年来不断优化产业结构,截止2017年三次产业结构比为14.1:38.7:47.2,城镇化率达52.46%,但该市地表水及地下水资源量较少,人均水资源量不高,城市化发展水平高于水资源的开发利用水平。整体来看,该类型区属于勉强协调型。

(4)濒临失调型。主要包括张家界市、湘西州、怀化市、永州市、邵阳市、娄底市、益阳市七大区域,协调度值在0.402~0.484之间。该类型区分布较为集中,涵盖全省1/2的城市,主要分布在丘陵山地地区。因常年受到地形抬升作用,降水量丰富,加之该类型区人口密度较小,人均水资源量普遍较多。但受地理位置与自然条件等因素的影响,城市化发展水平较低,水贫困发展指数高于城市化发展指数,属于濒临失调型。

由上述分析表明,导致水贫困与城市化耦合协调性空间差异的主要驱动因素,除了与区域地形、地貌、降水等自然因素有关外,还与区域的社会经济、技术、基础设施、用水效率等因素密切相关。

5 结论与讨论

(1)2007-2017年湖南省水贫困程度呈下降趋势,各子系统对水贫困程度减缓的驱动力大小依次为使用、能力、环境、设施和资源,各子系统相对独立又互相影响,共同体现水贫困内涵的综合性。各市(州)水贫困程度差异显著但保持相对稳定状态,有50%市(州)水贫困程度保持不变。

(2)2007-2017年湖南省城市化水平不断提高,各子系统对城市化水平高低的影响力分别为社会城市化、经济城市化、空间城市化和人口城市化。各市(州)城市化水平分异明显且区域差异不断扩

大,导致全省城市化水平有所回落。

(3)2007-2017年湖南省水贫困与城市化的耦合度与协调度总体呈波动上升趋势,水贫困与城市化的相互影响力在不断增强,且二者正走向协调发展。各市(州)水贫困与城市化的协调度差异较大,仅有7%城市为良好协调型、有11.7%市(州)为初级协调型、28.6%市(州)为勉强协调型、50%的市(州)为濒临失调型。

(4)湖南省近10年平均年降水量达1443.58 mm,但时空分布不均,加之水资源开发利用保护不强,依然面临严重的水资源短缺问题。因此衡量区域水资源短缺程度不仅仅取决于水资源本底条件,更应考虑社会经济管理等对水资源的利用开发与保护程度,南方地区尤甚。在城市化快速推进的过程中不同地区应协调资源、环境与经济发展的关系,推进产业结构优化调整,加强节水技术推广,提高公众节水意识,促进水资源的有效利用。

参考文献:

- [1] 李玉敏,王金霞. 农村水资源短缺:现状、趋势及其对作物种植结构的影响——基于全国10个省调查数据的实证分析[J]. 自然资源学报,2009,24(2):200-208.
- [2] 黄德春,孙敏敏. 新疆水贫困与城市化的协调关系研究[J]. 水资源保护,2017,33(1):30-34+51.
- [3] EL-GAFY I K E D. The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector[J]. Ain Shams Engineering Journal, 2018,9(2):173-186.
- [4] TANG Xia, FENG Qi. The temporal-spatial assessment of water scarcity with the water poverty index: a study in the middle basin of the Heihe River, northwest China[J]. Water Science and Technology: Water Supply, 2016,16(5):1266-1276.
- [5] FOROUZANI M, KARAMI E. Agricultural water poverty index and sustainability[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2011,31(2):415-431.
- [6] VAN TY T, SUNADA K, ICHIKAWA Y, et al. Evaluation of the state of water resources using modified water poverty index: a case study in the Srepok River basin, Vietnam-Cambodia[J]. International Journal of River Basin Management,2010,8(3-4):305-317.
- [7] 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.
- [8] SUN Caizhi, LIU Wenxin, ZOU Wei. Water poverty in urban and rural China considered through the harmonious and developmental ability model[J]. Water Resources Management. 2016,30(7):2547-2567.

- [9] GONG Li, JIN Chunling. Water poverty theory and its application in urban water security [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 610-613: 677-680.
- [10] 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.
- [11] 邝美娟, 谢红霞, 隋兵, 等. 湖南省近50年降水特征分析[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(5): 145-149.
- [12] 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.
- [13] SULLIVAN C A, MEIGH J R, GIACOMELLO A M. The water poverty index: development and application at the community scale [C]// *Natural Resources Forum*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2003, 27(3): 189-199.
- [14] GARRIGA R G, FOGUET A P. Improved method to calculate a water poverty index at local scale [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2010, 136(11): 1287-1298.
- [15] 杨雅琴. 城市化内涵、推进与公共服务: 一个文献评述 [J]. *经济体制改革*, 2014(4): 5-9.
- [16] 蔡继, 董增川, 陈康宁. 产业结构调整与水资源可持续利用的耦合性分析 [J]. *水利经济*, 2007(5): 43-45+77.
- [17] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析 [J]. *地理学报*, 2012, 67(10): 1299-1307.
- [18] 余菲菲, 胡文海, 荣慧芳. 中小城市旅游经济与交通耦合协调发展研究——以池州市为例 [J]. *地理科学*, 2015, 35(9): 1116-1122.
- [19] 张胜武, 石培基, 王祖静. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析——以石羊河流域为例 [J]. *经济地理*, 2012, 32(8): 142-148.
- [20] CULLIS J, O REGAN D. Targeting the water-poor through water poverty mapping [J]. *Water Policy*, 2004, 6(5): 397-411.
- [21] 陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析 [J]. *地理学报*, 2009, 64(4): 387-398.

(上接第97页)

- [22] 朱双, 周建中, 孟长青, 等. 基于灰色关联分析的模糊支持向量机方法在径流预报中的应用研究 [J]. *水力发电学报*, 2015, 34(6): 1-6.
- [23] CHIEW F H S, POTTER N J, VAZE J, et al. Observed hydrologic non-stationarity in far south-eastern Australia: implications for modelling and prediction [J]. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 2014, 28(1): 3-15.
- [24] RICHMAN J S, RANDALL M J. Physiological time-series analysis, using approximate entropy and sample entropy [J]. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 2000, 278(6): H2039-H2049.
- [25] 李天生, 夏军, 匡洋, 等. 不同潜在蒸散发估算方法在汉江流域中上游地区的适用性研究 [J]. *南水北调与水*
- 利科技, 2017, 15(6): 1-10.
- [26] HARGREAVES G H. Moisture availability and crop production [J]. *Transactions of the ASAE*, 1975, 18(5): 980-984.
- [27] 郭生练, 郭家力, 侯雨坤, 等. 基于Budyko假设预测长江流域未来径流量变化 [J]. *水科学进展*, 2015, 26(2): 151-160.
- [28] 张国宏, 王晓丽, 郭慕萍, 等. 近60a黄河流域地表径流变化特征及其与气候变化的关系 [J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(7): 91-95.
- [29] 赵亚迪, 刘永和, 李建林, 等. 1960-2013年中国地表潜在蒸散发时空变化及其对气象因子的敏感性 [J]. *沙漠与绿洲气象*, 2018, 12(3): 1-9.