

区域水资源利用效率评价

——以江苏省为例

李永泰 曾春芬 杨树滩 王腊春 赵静

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏南京 210046;

2. 江苏省水资源服务中心, 江苏南京 210046)

【摘要】2015年, 中国水利部将“三条红线”量化的指标权重提高到40%, 凸显了水资源利用效率的重要性。文章从目标层、准则层和指标层3个层次构建区域水资源利用效率指标评价体系, 通过主成分分析法确定指标体系中各指标的权重, 并构建综合评价模型, 旨在探讨区域尺度下, 构建具有普适性的水资源利用效率评价系统。文章以江苏省为例, 在一般用水效率和高效用水效率标准下, 综合分析其水资源利用效率逐年变化情况。结果表明: (1)从2003年至2013年, 江苏省用水效率逐年稳步提高; (2)一般标准下, 用水效率从Ⅴ类上升到Ⅲ类; (3)高效标准下, 用水效率从Ⅴ类上升到Ⅱ类, 高效用水效率建设尚需进一步加强。

【关键词】水资源利用效率; 指标体系; 主成分分析; 江苏省

0 引言

21世纪以来, 水资源短缺和水生态环境恶化已经严重困扰到社会经济的发展和人们的日常生活。中国水利部提出建立用水总量控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三项制度”, 相应地划定用水总量、用水效率和水功能区限制纳污“三条红线”。目前, 提高水资源利用效率是解决中国水资源可持续利用问题的关键。

评价区域高效用水情况, 需要建立合理的指标体系。在农业用水方面, 朱美玲基于水资源高效利用的概念, 构建了田间尺度农业高效用水评价指标体系。在工业用水方面, 袁宝招等采用了一般工业万元增加值取水量和火(核)电万千瓦装机用水量等指标。蒋桂芹等以安徽省为例, 开展了区域产业结构与用水结构协调性评价。在生活用水方面, 刘家宏等建立了考虑气候、经济发展水平等因素的城市生活用水指标计算模型, 能够较好地反映不同气候背景下、不同经济发展阶段的城市生活用水差异性。

目前, 大部分对水资源利用效率评价的研究仅侧重于某个单一的用水层面, 综合评价较少。基于以上认知, 本文从综合用水、农业用水、工业用水、生活用水4个方面建立水资源利用效率指标体系, 可为相关研究提供参考。

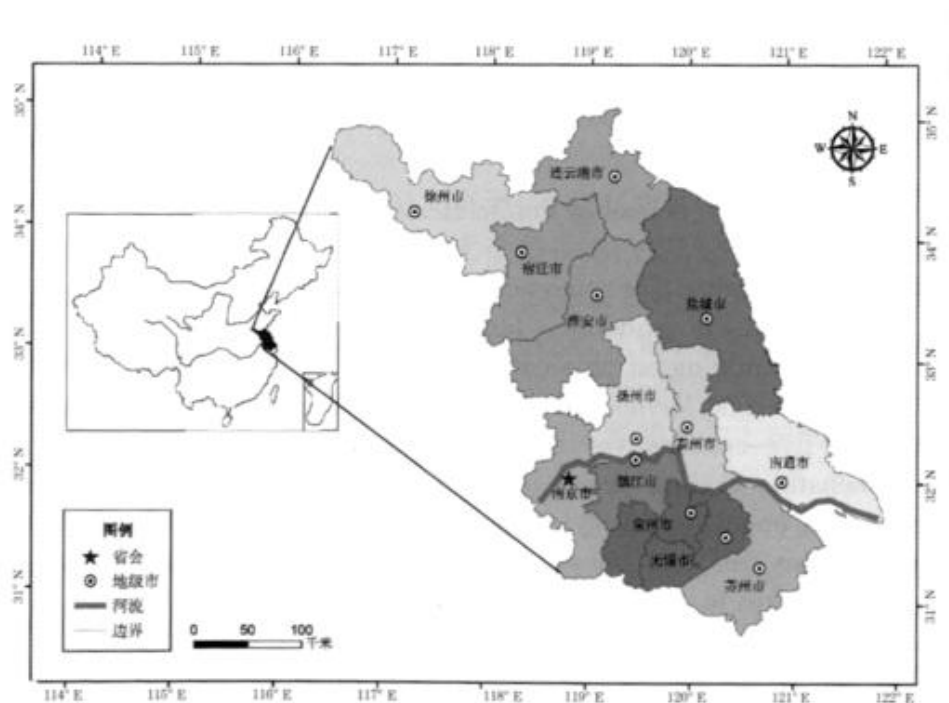


图 1 江苏省行政区划示意

1 数据与研究方法

1.1 研究区概况

江苏省位于中国东部沿海中心，介于东经 $116^{\circ} 18' - 121^{\circ} 57'$ ，北纬 $30^{\circ} 45' \sim 35^{\circ} 20'$ （见图 1）。江苏省地跨长江淮河南北，京杭大运河从中穿过，境内地势低平，河网密布、湖荡众多。中国五大淡水湖中的太湖和洪泽湖位于江苏。全省地处亚热带季风气候区，温暖湿润，每年春夏之交常出现梅雨季节，严重时会造成洪涝灾害。江苏水资源十分丰富，多年平均降雨量在 1000mm 以上，降雨年径流深在 150~400mm 之间，且平原地区广泛分布着深厚的第四纪松散堆积物，地下水源丰富。

1.2 数据来源

本文选取时间序列数据，旨在分析江苏省水资源利用效率随时间变化的趋势。数据主要来自《江苏省统计年鉴》（2003—2013）和《江苏省水资源公报》（2003—2013）。1.3 指标分析确立水资源利用效率评价指标体系，首要任务是确定指标层指标。在选取指标时，采用单位人口或单位 GDP 的用水量。其次，指标的选取还考虑了其可操作性。研究区内最主要的用水集中在农业用水、工业用水和生活用水这 3 个方面。农业用水，尤其是农田灌溉用水在我国一直是主要用水量。江苏省农田灌溉用水所占比例为 52.9%，因此，农业用水、节水潜力的挖掘是高效用水的研究重点。工业用水方面，用水效率高低的指标选取的是工业万元产值用水量。生活用水方面，借鉴了刘家宏等建立的城市生活用水指标。

1.4 主成分分析原理

目前,常用的确定评价体系指标权重的方法有主成分分析法、熵值法、层次分析法等。主成分分析法通常用于建模、多变量过程的输出预测和监控。本文选择主成分分析方法,原因如下:(1)在计算权重方面,主成分分析法以客观数据为依据,可以忽略人为因素的偏差,也有利于客观地反映样本间的现实关系。(2)在综合评价中,应用主成分分析方法可以消除各指标不同量纲的影响以及各指标之间的信息重叠。

2 结果与分析

2.1 构建评价指标体系

水资源利用效率涉及面较为广泛,从用水领域角度来看,有工业用水、农业用水和生活用水。此外,不同的社会经济发展情况下,相同用水效率下的用水量也会发生变化。因此,考虑到水资源利用效率评价的复杂性,需要构建一个科学合理的评价指标系统。本文构建的水资源利用效率评价指标体系如表 1 所示。

2.2 用水效率分析结果

选取表 1 中指标层的 10 个指标,通过专家评估给出一般用水效率标准和高效用水效率标准,继而对指标进行无量纲化处理,而后在 SPSS 中,对所有指标进行主成分分析,得出各指标的解释方差(见表 2),各指标在主成分中所占系数关系(见表 3),通过计算得到江苏 2003—2013 年的用水效率综合评价(见表 4)。

在主成分分析中,3 个主成分累积方差达到了 90%以上,符合预期值,说明了分析的可信度。前 3 个主成分的方差贡献率决定综合评价函数中各主成分的权重,这样确定权重是客观的、合理的,它克服了某些评价方法中人为确定权重的缺陷。一般用水标准下和高效用水标准下的方差基本保持了一致。

第一主成分中,万元 GDP 用水量、节水灌溉率、万元工业产值用水量、一般工业万元增加值用水量以及城市人口用水普及率的相关系数大于 0.85,即第一主成分是对所有指标的一种正面的综合测度。在一定程度内,当以上指标增长时,则用水效率会随之提高。

第二主成分中,农田灌溉用水所占比例、工业用水年增长率和城市人均生活用水量的相关系数分别为-0.710, 0.678 和 0.846。所以第二主成分是用结构的测度,当农业用水转变成工业城市用水时,用水效率逐步提高。

第三主成分和农业用水效率相关,说明现阶段农业用水对用水效率影响最大,当农业效率

得到提高时，用水效率会得到提高。

本文将用水效率从 V 类到 I 类分为 5 个等级，其中，V 类的用水效率最差，I 类的用水效率最高。具体结果如表 4 所示。

表 1 水资源利用效率评价指标体系			
目标层	准则层	指标层	计算方法
水资源利用效率评价指标体系	综合用水	人均综合用水量(m^3)	综合用水量/人口
		万元 GDP 用水量(m^3)	综合用水量/GDP
	农业用水	农田灌溉用水所占比例(%)	灌溉用水量/总用水量
		农田灌溉亩均用水量(m^3)	灌溉用水量/农田面积
		节水灌溉率(%)	节水耕地面积/有效耕地面积
	工业用水	工业用水年增长率(%)	工业用水量的年份比率
		万元工业产值用水量(m^3)	工业用水量/工业 GDP
		工业万元增加值用水量(m^3)	工业用水量/工业增加值
	生活用水	城市人均生活用水量(L/d)	统计数据
		城市人口用水普及率(%)	统计数据

表 2 两种用水效率下各指标的解释方差											
	成分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
一般	方差(%)	56.26	25.60	11.72	4.28	1.41	0.47	0.23	0.02	0.00	0
	累积方差(%)	56.26	81.86	93.58	97.86	99.27	99.74	99.97	100	100	100
高效	方差(%)	56.12	26.40	11.68	4.20	1.02	0.44	0.07	0.05	0.01	0
	累积方差(%)	56.12	82.52	94.21	98.41	99.43	99.86	99.94	99.99	100	100

表 3 两种用水效率下各指标的成分矩阵						
成分	成分(一般)			成分(高效)		
	1	2	3	1	2	3
人均综合用水量(m^3)	0.648	-0.648	-0.352	0.669	-0.605	-0.399
万元 GDP 用水量(%)	0.964	0.067	0.232	0.955	0.060	0.276
农田灌溉用水所占比例(%)	-0.396	-0.710	0.526	-0.399	-0.770	0.457
农田灌溉亩均用水量(m^3)	-0.462	0.454	0.745	-0.496	0.371	0.757
节水灌溉率(%)	0.882	0.212	0.259	0.919	0.181	0.218
工业用水年增长率(%)	0.674	0.678	-0.065	0.570	0.762	-0.148
万元工业产值用水量(m^3)	0.974	0.135	0.143	0.967	0.138	0.193
一般工业万元增加值用水量(m^3)	0.975	-0.016	0.072	0.981	-0.024	0.115
城市人均生活用水量(L/d)	-0.117	0.846	-0.198	-0.129	0.848	-0.085
城市人口用水普及率(%)	0.873	-0.432	0.160	0.875	-0.432	0.153

表 4 用水效率综合评价

年份	综合得分 (一般)	标准等级 (一般)	综合得分 (高效)	标准等级 (高效)
2003	0.12	V	0.04	V
2004	0.12	V	0.09	V
2005	0.17	V	0.14	V
2006	0.20	IV	0.17	V
2007	0.23	IV	0.21	IV
2008	0.36	IV	0.30	IV
2009	0.43	III	0.36	IV
2010	0.52	III	0.41	III
2011	0.54	III	0.44	III
2012	0.62	II	0.49	III
2013	0.71	II	0.55	III

3 讨论

本文旨在构建以行政区域(省级或市级)为评价单元的指标体系及其评价。从时间序列的角度分析了江苏综合用水效率情况。此次指标体系的构建打破了针对单方面用水专题的局限,综合了农业、工业、生活用水等方面的代表性指标,以期提高所建用水效率评价体系的通用性与科学性,可为相关研究提供借鉴作用。

本文选取了 3 个主成分,其累积方差达到了 90%,符合预期值,也说明了主成分分析法在对用水效率评价工作上的适用性。

在指标的选取中,由于主成分分析可以改变原始指标,形成彼此独立的成分,所以可消除指标之间的相互影响,减少指标选择的工作量。

4 结论

通过对 2003—2013 年江苏省在综合用水、农业用水、工业用水以及生活用水的相关数据进行分析,构建指标体系,并进行评价,得出以下结论:

(1)2003—2013 年,一般用水效率以及高效用水效率都在逐年上升,体现了近十年来江苏省对用水效率方面的成绩和进步,表明随着经济和技术发展到一定规模,水资源的利用效率得到了提升。

(2)一般标准下,用水效率从 V 类上升到 III 类,综合得分呈稳定上升趋势,且上升速度基本保持稳定。表明江苏的用水效率在一般的标准下已经取得了相当的成绩。

(3)高效标准下,用水效率从Ⅴ类上升到Ⅱ类二综合得分呈稳定上升趋势,且上升速度基本和一般标准保持一致3 但和国外先进的高效用水模式相比,仍存在着一定差距,用水结构和用水方式亟须改善。

参考文献:

[1]Li j.MA X,SHANG X,WANG L,et al.Innovative approach for the development of a water quality identification index: a case study from the Wen-Rui Tang River watershed, China[J].Desalination & Water Treatment,2015 (7): 1400-1410.

[2]MA X,WANG L,WU H,et al. Impact of Yangtze River water transfer on the water quality of the Lixia River watershed,China[j j.PLos One,2015(3) : 1 —15.

[3]楚文海,高乃云,鄢贵权,等.西南岩溶山区水资源 可持续利用评价指标选取及权重确定[J].水土保持 通报,2008(1):59-64.

[4][4]报,2014(1):121-133.[5]朱美玲.干旱绿洲灌区农业田间高效用水评价指标体系研究——基于田间高效节水灌溉技术应用[J].节水灌溉,2012(11):58-63.

[5]袁宝招,陆桂华,酆建强.黄河区用水指标分析与 评价[J].水利水电技术,2006(5):1 -5.

[6]蒋桂芹,于福亮,赵勇.区域产业结构与用水结构 协调度评价与调控——以安徽省为例[J].水利水电 技术,2012(6):8-11,15.

[7]刘家宏,王建华,李海红,等.城市生活用水指标计 算模型[J].水利学报,2013(10):1158-1164.

[8]张淑清,张昕,俞黎曦.水资源利用效率及效益的 评价体系[J].现代物业,2011(2) = 89-91.

[9]程启月.评测指标权重确定的结构熵权法[J].系 统工程理论与实践,2010(7):1225-1228.

[10][11]GODOY J L,VEGA J R,MARCHETTI J LRelationships between PCA and PLS-regression[J].Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems,2014(2) :

182-191.

[11]马小雪,卞子浩,李娜,等.秦淮河流域 1980—2010 年土地利用变化及驱动机制[J].水土保持通报,2015:272-274.

[12]马小雪,王腊春,廖玲玲.温瑞塘河流域水体污染 时空分异特征及污染源识别[J].环境科学,2015(1):64-71.

[13]侯文.对应用主成分法进行综合评价的探讨[J].数理统计与管理,2006(2):211-214.