

文章编号: 1000-5862(2018)04-0427-07

基于 DEA-CCA 模型的鄱阳湖生态经济区 用水效率时空变化及影响因素分析

胡绵好¹, 廖桂萱², 袁菊红³, 卢福财¹

(1. 江西财经大学生态经济研究院, 江西 南昌 330013; 2. 江西财经大学旅游与城市管理学院, 江西 南昌 330013;
3. 江西财经大学环境与植物科学研究所, 江西 南昌 330032)

摘要: 采用数据包络分析(DEA)模型对鄱阳湖生态经济区30个县(市、区)2010—2013年用水效率的时间和空间的变化进行分析, 再结合典型相关分析(CCA)模型, 探究影响鄱阳湖生态经济区用水效率的相关因素。结果表明: 鄱阳湖生态经济区各县(市、区)无论在生活用水、农业用水、工业用水还是总用水效率上差异都较为明显, 其中鄱阳县、南昌市区、南昌县等8个县(市、区)总体用水效率较高, 其他县(市、区)总体用水效率中等或偏低, 丰城市总体用水效率很低; 鄱阳湖生态经济区水资源利用效率整体呈上升趋势, 其中农业用水效率最低, 是牵制总用水效率上升的主要指标。影响技术冗余率的主要因素有人均GDP和一产产值/(二产产值+三产产值), 而影响规模冗余率主要因素有人均用水量、万元GDP用水量以及一产产值/(二产产值+三产产值)。

关键词: 用水效率; 数据包络分析; 典型相关分析; 鄱阳湖生态经济区

中图分类号: TV 123.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2018.04.19

0 引言

随着我国建设节约型社会的步伐不断加快, 节能减排的任务已被明确纳入国家和各地区的发展规划中, 对各种自然资源进行节约集约利用是实现这一目标的关键^[1]。水资源作为保障人民生活水平质量和国民经济持续稳定增长的重要自然资源, 其利用效率的高低直接关系到经济社会的可持续发展^[2]。如工业用水的高效、可持续循环利用技术可以降低产品生产成本, 增强企业的竞争力和节约水资源^[3]。水资源规划及节水型城市的深度开发可提高城市水资源利用效率^[4]。然而, 我国水资源利用效率由于地域特征和区域差异^[5], 呈现出北部沿海和黄河中下游区域用水效率较高, 而西北地区和东北地区用水效率较低的格局^[6]。因此, 从生活、农业和工业等多个方面判断区域水资源利用效率, 探究其利用效率的分布时空差异并寻找影响水资源利用效率的因素, 可为经济社会的可持续发展提出更好

的政策建议。

鄱阳湖生态经济区是以江西省鄱阳湖为中心, 以鄱阳湖城市圈为依托, 以保护生态和发展经济为目的而建立的国家重要战略发展区域^[7], 是我国长江三角洲、珠江三角洲和海西经济区等重要经济板块的直接腹地, 也是我国南方地区最活跃的经济区域和制造业基地。然而, 近年来随着鄱阳湖生态经济区的社会经济的快速发展, 区内工农业生产用水与生活用水需求不断增加、水资源浪费和水环境污染较严重, 加之区内对水资源高强度的需求与水资源时空分布不均衡之间的冲突愈发严重^[8], 因此, 如何合理提高对区内有限水资源的利用效率, 使其创造更大的社会经济价值已成为鄱阳湖生态经济区建设发展需解决的重要问题。有关区内水文水资源演变规律^[9]、水资源集约利用评价^[10]、水资源供需^[11]及水资源与经济可持续发展^[12]等研究已有大量报道, 但就鄱阳湖生态经济区水资源利用效率及其影响因素的报道较少。因此, 本文基于数据包络分析方法对鄱阳湖生态经济区的生活用水、农业用水和工

收稿日期: 2018-03-27

基金项目: 国家自然科学基金(21407069, 21367013, 71463020)和江西省自然科学基金(20142BAB203024, 20151BAB203034)资助项目。

作者简介: 胡绵好(1976-), 男, 湖南怀化人, 副教授, 主要从事区域环境污染控制及其经济学等研究。E-mail: yankeul@163.com

业用水效率的时空变化展开研究,并通过典型相关分析方法探究其水资源利用效率的影响因素,为鄱阳湖生态经济区内水资源合理高效利用及提高水资源效率相关政策的制定提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究方法

1.1.1 数据包络分析 数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)方法以相对效率概念为基础,是评价具有相同类型的多投入和多产出决策单元资源配置效率的一种系统分析方法^[13]。目前常用的 DEA 模型包括 CCR 和 BCC 这 2 种,前者假设规模报酬不变,测度综合效率;后者假设规模报酬可变,将综合效率进一步分解为纯技术效率和规模效率^[14]。

依据 DEA 基本原理,对已知的 n 个决策单元,记做 $DMU_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 每个决策单元 DMU_i 有 P 种投入指标和 Q 种产出指标。假设第 i 个 DMU 的第 p 种投入量表示为 x_{ip} , 投入组合用 x_0 表示;第 i 个 DMU 的第 q 种产出量表示为 y_{iq} , 产出组合用 y_0 表示。

$$\begin{aligned} & \min [\theta - \varepsilon(e^T s^- + e^T s^+)] \\ \text{s. t. } & \sum_{i=1}^n x_i \lambda_i + s^- = \theta x_0, \\ & \sum_{i=1}^n y_i \lambda_i - s^+ = y_0, \\ & \lambda_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ & s^- \geq 0, s^+ \geq 0. \end{aligned} \quad (1)$$

通过(1)式可求出综合效率 θ 和各指标的松弛变量 s^- 、 s^+ 。由于 DEA 无法直接计算出用水效率,需要对计算结果进一步求解。

投入冗余率 α 为投入不足量 Δx 与原投入量 x_0 的比值,即

$$\alpha = \Delta x / x_0 = ((1 - \theta)x_0 + s^-) / x_0 = 1 - \theta + s^- / x_0. \quad (2)$$

定义技术冗余率 $\alpha_{\text{技术}} = 1 - \theta$, 规模冗余率 $\alpha_{\text{规模}} = s^- / x_0$ 。

调整后的投入量 x' 为原投入量 x_0 与投入不足量 Δx 的差,即

$$x' = x_0 - \Delta x = x_0 - [(1 - \theta)x_0 + s^-] = \theta x_0 - s^-. \quad (3)$$

而调整后的投入量 x' 与原投入量 x_0 的比值就得出了用水效率 e , 即

$$e = x' / x_0 = (\theta x_0 - s^-) / x_0 = \theta - s^- / x_0 = 1 - \alpha_{\text{技术}} - \alpha_{\text{规模}}. \quad (4)$$

通过(2)~(4)式进一步求解,可以计算出技术

冗余率、规模冗余率、生活用水效率、农业用水效率和工业用水效率以及总用水效率。

1.1.2 典型相关分析 典型相关分析(Canonical Correlation Analysis, CCA)作为多元统计学的一个重要部分,是相关分析研究的一个主要内容^[15]。它主要研究 2 组多元随机变量之间的相关关系^[16]。将 2 组变量中的典型变量提取出来,再对典型变量之间的关系进行分析^[17],能够在保持信息总量不变的情况下,使同组提取的综合变量之间不具有相关性,并且将原始变量所包含的信息分配到典型变量上^[18],再通过维度递减检验和典型冗余度分析判断需要保留的典型变量个数和解释能力。

1.2 数据来源及指标选取

1.2.1 数据来源 鄱阳湖生态经济区包括 38 个县(市、区),因部分地区数据缺失,本文将庐山区、浔阳区和共青城市剔除,并将东湖区、西湖区、青云谱区、湾里区和青山湖区 5 个区并为南昌市区,昌江区和珠山区并为景德镇市区,故本文研究对象为 2010—2013 年鄱阳湖生态经济区内的 30 个县(市、区)。数据来源于《鄱阳湖生态经济区统计年鉴(2010—2013)》,《江西统计年鉴(2010—2013)》和《江西省水资源公报(2010—2013)》。

1.2.2 指标选取 基于 DEA 中的 BCC 模型不涉及具体的生产函数形式,其依赖的一个基本的假设认为,DEA 的相对效率评价思想要求投入必须尽可能地缩减而产出必须尽可能地扩大,即满足以最小的投入生产尽可能多的产出^[13]。本文中 DEA 模型投入指标为土地面积、生活用水量、农业用水量、工业用水量、从业人员、固定资产投资,产出指标为 GDP。

2 实证分析

2.1 用水效率空间变化

2010—2013 年鄱阳湖生态经济区生活用水效率、农业用水效率和工业用水效率如表 1 所示,总用水效率如表 2 所示,各地区之间用水效率差异明显。表 1 中大多数县(市、区)生活用水、农业用水和工业用水以及总用水效率不断提升,但丰城市除了工业用水效率有所上升外其余指标用水效率皆呈下降趋势,工业用水效率虽然上升却始终保持在很低的水平,最高只达到 0.106。整个鄱阳湖生态经济区工业生产水平和技术水平都在不断提升,但仍留有很大的上升空间,个别地区需重点关注。在表 2 中鄱阳县

4 年总用水效率都达到 DEA 有效,南昌市区、南昌县、安义县、进贤县、景德镇市区、渝水区和月湖区从 DEA 无效上升至 DEA 有效,可见这些地区在经济发展的同时水资源逐渐得到充分合理的利用。然而,丰城市、彭泽县和余干县等总用水效率低下,说明这些地区在经济发展时造成了水资源大量浪费,没能使投入的水资源创造最大的收益与价值。在 2010—2013 年鄱阳湖生态经济区总用水效率均值为 0.680,这说明鄱阳湖生态经济区总用水存在 32.000% 的浪费,浪费较为严重。

为进一步分析,本文取各县(市、区)各类用水效率 2010—2013 年平均值作图,鄱阳湖生态经济区生活用水效率、农业用水效率、工业用水效率和总用水效率趋势如图 1 所示。从图 1 可发现,生活用水效

率、农业用水效率和工业用水效率都高的地区其总用水效率也高,而 3 类用水效率都低的地区其总效率也较低。尤其是丰城市的工业用水效率极低,如何转变工业生产方式,促进产业结构优化升级以提高工业用水效率是丰城市乃至整个区域发展急需解决的问题。造成丰城市各类用水效率极低的原因可能有:丰城市水源丰沛,丰富的水资源能够充分满足居民生活、生产的用水需求,人们节水意识淡薄,导致丰城市在生活和工业方面用水不加以节制,造成了极大的浪费;另外,丰城市拥有耕地面积约 826.67 km²,全省第一、全国第五,其中水田约 693.33 km²,在如此大面积的水田浇灌上多采取传统灌溉模式,大部分灌区渠系利用系数低,灌水定额偏大,在粮食生产过程中付出了水资源浪费严重的代价。

表 1 鄱阳湖生态经济区生活用水效率、农业用水效率和工业用水效率

地区名称	2010 年			2011 年			2012 年			2013 年		
	生活用 水效率	农业用 水效率	工业用 水效率	生活用 水效率	农业用 水效率	工业用 水效率	生活用 水效率	农业用 水效率	工业用 水效率	生活用 水效率	农业用 水效率	工业用 水效率
南昌市区	0.915	0.915	0.889	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
南昌县	0.779	0.596	0.779	0.872	0.565	0.872	0.922	0.859	0.922	1.000	1.000	1.000
新建县	0.765	0.707	0.765	0.826	0.569	0.826	0.876	0.837	0.876	0.930	0.930	0.930
安义县	0.793	0.525	0.793	0.936	0.672	0.936	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
进贤县	0.933	0.799	0.883	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
景德镇市区	0.820	0.820	0.420	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
浮梁县	0.544	0.544	0.544	0.606	0.532	0.548	0.609	0.609	0.609	0.689	0.689	0.689
乐平市	0.445	0.445	0.445	0.465	0.465	0.465	0.575	0.575	0.575	0.635	0.635	0.635
九江县	0.545	0.578	0.578	0.591	0.591	0.591	0.677	0.677	0.677	0.748	0.748	0.748
武宁县	0.590	0.602	0.602	0.691	0.691	0.691	0.718	0.718	0.718	0.643	0.643	0.643
永修县	0.504	0.492	0.504	0.554	0.459	0.554	0.645	0.645	0.645	0.707	0.707	0.707
德安县	0.558	0.558	0.558	0.688	0.688	0.688	0.711	0.495	0.711	0.796	0.351	0.796
星子县	0.585	0.621	0.621	0.735	0.744	0.744	0.627	0.627	0.627	0.635	0.635	0.635
都昌县	0.385	0.347	0.645	0.295	0.232	0.492	0.643	0.743	0.743	0.666	0.788	0.788
湖口县	0.581	0.581	0.581	0.625	0.540	0.625	0.680	0.508	0.680	0.780	0.780	0.780
彭泽县	0.316	0.316	0.316	0.442	0.442	0.442	0.587	0.448	0.587	0.618	0.618	0.618
瑞昌市	0.524	0.524	0.524	0.538	0.538	0.538	0.628	0.628	0.628	0.753	0.753	0.753
渝水区	0.967	0.967	0.820	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
月湖区	0.621	0.581	0.766	0.832	0.900	0.900	0.895	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
余江县	0.489	0.589	0.589	0.625	0.444	0.758	0.644	0.744	0.744	0.722	0.722	0.722
贵溪市	0.588	0.523	0.588	0.747	0.400	0.747	0.765	0.581	0.765	0.825	0.499	0.825
新干县	0.594	0.514	0.594	0.593	0.510	0.593	0.710	0.676	0.710	0.719	0.749	0.749
丰城市	0.458	0.437	0.073	0.478	0.326	0.093	0.458	0.344	0.106	0.428	0.230	0.104
樟树市	0.651	0.651	0.651	0.743	0.644	0.743	0.948	0.948	0.948	0.929	0.692	0.929
高安市	0.540	0.584	0.584	0.600	0.562	0.607	0.542	0.542	0.542	0.626	0.626	0.626
临川区	0.535	0.726	0.726	0.547	0.594	0.747	0.600	0.867	0.867	0.705	0.967	0.967
东乡县	0.570	0.570	0.570	0.575	0.575	0.575	0.647	0.528	0.647	0.702	0.702	0.702
余干县	0.368	0.436	0.468	0.399	0.457	0.502	0.544	0.599	0.599	0.602	0.592	0.660
鄱阳县	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
万年县	0.537	0.537	0.537	0.612	0.612	0.612	0.672	0.672	0.672	0.716	0.716	0.716
平均值	0.617	0.603	0.614	0.687	0.625	0.696	0.744	0.729	0.753	0.786	0.759	0.791

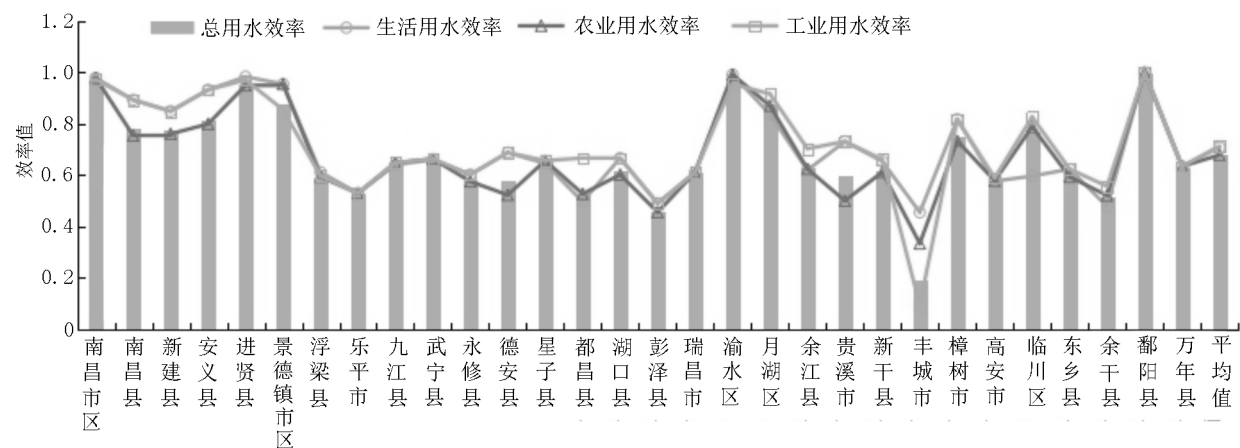


图1 鄱阳湖生态经济区生活用水效率、农业用水效率、工业用水效率和总用水效率趋势图

表2 鄱阳湖生态经济区总用水效率

地区	2010	2011	2012	2013	平均值
南昌市区	0.898	1.000	1.000	1.000	0.975
南昌县	0.630	0.627	0.874	1.000	0.783
新建县	0.717	0.617	0.846	0.930	0.778
安义县	0.552	0.700	1.000	1.000	0.813
进贤县	0.818	1.000	1.000	1.000	0.954
景德镇市区	0.512	1.000	1.000	1.000	0.878
浮梁县	0.544	0.541	0.609	0.689	0.596
乐平市	0.445	0.465	0.575	0.635	0.530
九江县	0.574	0.591	0.677	0.748	0.647
武宁县	0.600	0.691	0.718	0.643	0.663
永修县	0.495	0.477	0.645	0.707	0.581
德安县	0.558	0.688	0.582	0.494	0.581
星子县	0.616	0.743	0.627	0.635	0.655
都昌县	0.358	0.250	0.733	0.772	0.529
湖口县	0.581	0.565	0.553	0.780	0.620
彭泽县	0.316	0.442	0.464	0.618	0.460
瑞昌市	0.524	0.538	0.628	0.753	0.611
渝水区	0.897	1.000	1.000	1.000	0.974
月湖区	0.656	0.881	0.971	1.000	0.877
余江县	0.579	0.482	0.735	0.722	0.630
贵溪市	0.550	0.538	0.668	0.631	0.597
新干县	0.523	0.521	0.681	0.747	0.618
丰城市	0.209	0.194	0.201	0.159	0.191
樟树市	0.651	0.666	0.948	0.750	0.754
高安市	0.580	0.568	0.542	0.626	0.579
临川区	0.704	0.610	0.834	0.935	0.771
东乡县	0.570	0.575	0.551	0.702	0.600
余干县	0.432	0.455	0.594	0.596	0.519
鄱阳县	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
万年县	0.537	0.612	0.672	0.716	0.634
平均值	0.588	0.635	0.731	0.766	0.680

2.2 用水效率时间变化

在2010—2013这4年中,鄱阳湖生态经济区内各类用水效率达到DEA有效的地区均从1个上升

至8个,本文将每年各类用水效率的平均值进行时间分析与趋势对比,得出2010—2013年鄱阳湖生态经济区各类用水效率变化曲线图(见图2)。在图2中所有指标的用水效率都呈上升趋势,上升幅度最大的是总用水效率,上升17.800%;农业用水效率上升15.600%,幅度最小;生活用水和工业用水效率上升趋势相似,而农业用水和总用水效率上升趋势相似。从2010年到2013年,鄱阳湖生态经济区各类用水效率随时间变化的趋势初步说明:区域经济发展的同时带来了水资源短缺等问题,人们逐渐意识到可持续发展的重要性,并通过提高节水意识、更新设备和改进生产工艺等方式来避免不必要的水资源浪费。鄱阳湖生态经济区的水资源利用效率正逐步迈向新的台阶,总用水效率受农业用水效率的牵制较大。

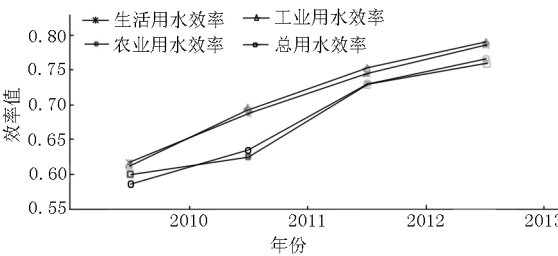


图2 2010—2013年鄱阳湖生态经济区各类用水效率变化曲线图

2.3 用水效率影响因素分析

技术冗余率和规模冗余率的高低将直接影响用水效率,因此,本文对总用水效率的技术冗余率和规模冗余率与用水效率的影响因素进行了典型相关分析。水资源利用效率与自然条件、经济发展、技术水平、产业结构和人口等因素有着密切联系,故本文选取以下指标构建典型相关分析方法的指标体系,其

中自变量组指标包括人均 GDP x_1 , 人均用水量 x_2 , 固定资产投资 x_3 , 固定资产投资占 GDP 比例 x_4 , 万元 GDP 用水量 x_5 , 第 3 产业比例 x_6 , 一产产值/(二产产值 + 三产产值) x_7 ; 因变量组包括用水技术冗余率 y_1 和规模冗余率 y_2 .

由标准化后的典型系数构建第 1 对典型变量为

$$W_1 = 0.826x_1 + 0.067x_2 - 0.095x_3 - 0.273x_4 - 0.382x_5 + 0.260x_6 + 0.536x_7,$$

$$L_1 = -1.001y_1 + 0.015y_2.$$

第 2 对典型变量为

$$W_2 = 0.268x_1 + 0.524x_2 - 0.016x_3 - 0.252x_4 + 0.862x_5 - 0.283x_6 - 0.576x_7,$$

$$L_2 = -0.067y_1 + 1.003y_2.$$

由表 3 可知,用水效率与其影响因素的 2 对典型变量的典型相关系数分别为 0.773 和 0.683, Wilks 检验对应的 p 值均通过了 χ^2 统计量 $\alpha = 0.005$ 的显著性检验,这表示 2 对典型相关变量相关性显著.

表 3 典型相关系数及其维度递减检验

典型相关变量	典型相关系数	Wilks	Chi-SQ	DF	Sig.
1	0.773	0.215	175.466	14.000	0.000
2	0.683	0.533	71.759	6.000	0.000

第 1 对典型变量将 x_1 和 x_7 从自变量组提取出来, x_1 和 x_7 的典型载荷分别为 0.826 和 0.536, 将 y_1 从标准变量组提取出来, 典型载荷为 -1.001, 这说明鄱阳湖生态经济区用水技术冗余率主要受人均 GDP 和一产产值/(二产产值 + 三产产值)的影响, 且均为负相关关系. 目前, 鄱阳湖生态经济区整体经济水平较落后, 基础设施和生产设备陈旧, 生产技术与管理理念也存在一定缺陷. 区域经济的快速发展需要充足水资源支持, 但在有限的水资源约束下, 必须提高节水意识, 更新生产设备, 通过生产水平和科技水平的改进与提升, 才能有效提高水资源利用效率. 江西是个农业大省, 鄱阳湖生态经济区的农业又以水田为主, 第 1 产业耗水量十分巨大, 适当调整第 1 产业比例, 改进灌溉技术, 减少农业用水对整个水资源利用效率的提升十分关键.

在第 2 对典型变量中, 将自变量组的 x_2 、 x_5 、 x_7 与标准变量组的 y_2 提取出来, x_2 、 x_5 、 x_7 和 y_2 的典型载荷分别为 0.524、0.862、-0.576 和 1.003. 其中

x_2 和 x_5 与 y_2 呈正相关关系, 这说明人均用水量越多, 带来的用水浪费越严重, 在一定程度上和地区人均水资源量有关, 生活在水资源充沛地区的大多数人意识不到水资源的稀缺与珍贵, 导致在生产生活中大量水资源没能得到充分利用. 为了保证良好的水环境质量, 必须合理开发利用水资源, 通过系列经济和行政手段建立起节水的内在机制, 以促进节水型社会的建立. 鄱阳湖生态经济区有近 2/3 地区以第 2 产业发展为主, 第 2 产业产值占比约 53.377%, 工业用水量约占总用水量的 25.519%, 然而农业用水量却占总用水量的 66.258%, 但是第 1 产业产值占比却只有 9.490% 左右. 万元 GDP 用水量与用水规模冗余率正相关说明在农业与工业生产中存在资源投入剩余情况, 尤其是农业方面, 巨大的水量投入并未获得相对应的产出, x_7 与 y_2 负相关也印证了这一点, 所以如何合理地对第 1、第 2 产业作出调整, 在保证粮食安全与经济发展的情况下减少农业、工业用水量是提高水资源利用效率的关键.

典型冗余度分析是反映典型变量对观测变量所拥有的解释能力的判断方式, 它是一组中形成的典型变量对另一组变量总方差的解释比例, 是一种组间交叉共享比例, 这一比例可以反映目标变量组被自变量组解释的程度. 结果如表 4 所示. 典型冗余度分析发现, 第 1 典型变量 W_1 可解释 32.300% 的组内变差, 组间变差解释率为 19.300%, 第 2 典型变量 W_2 能解释 15.700% 的组内变差, 组间变差解释率为 7.300%. 这 2 组自变量的典型变量分别能解释标准变量中 59.752% 和 46.497% 的信息, 这反映自变量的典型变量对标准变量有一定的解释能力.

表 4 典型冗余度分析

序号	解释组内	解释组内	解释对方组	解释对方组
	总变差	总变差累计	总变差	总变差累计
W_1	0.323	0.323	0.193	0.193
W_2	0.157	0.480	0.073	0.266
L_1	0.502	0.502	0.300	0.300
L_2	0.498	1.000	0.233	0.533

3 结果与讨论

1) 通过对 DEA 模型进一步分解和计算, 得到技术冗余率、规模冗余率、生活用水效率、农业用水效率和工业用水效率以及总用水效率, 并对 2010—

2013 年鄱阳湖生态经济区内的 30 个县(市、区)的用水效率进行时空分析. 空间分析显示:大部分地区的生活用水效率、农业用水效率和工业用水效率都呈上升趋势,但仍留有很大的上升空间,各地区之间差异明显,个别地区需重点关注. 其中鄱阳县 4 年的所有用水效率都达到 DEA 有效,丰城市所有用水效率都处于低水平. 3 类用水效率都高的地区其总用水效率也高,反之,3 类用水效率都低的地区其总用水效率也低. 在时间变化分析上,鄱阳湖生态经济区所有指标用水效率都呈上升趋势,上升幅度最大的是总用水效率,最小的是农业用水效率. 整体看来,鄱阳湖生态经济区的水资源利用效率正逐步迈向新的台阶,农业用水效率是牵制总用水效率上升的主要方面,各地区用水效率差异明显,需结合当地具体情况改善.

2) 通过 CCA 方法对技术冗余率和规模冗余率与用水效率的影响因素进行了实证分析,结果发现:影响技术冗余率和规模冗余率的因素有所不同,技术冗余率的影响因素主要有人均 GDP 和一产产值/(二产产值+三产产值),而规模冗余率主要受人均用水量、万元 GDP 用水量以及一产产值/(二产产值+三产产值)的影响. 一产产值/(二产产值+三产产值)作为 2 者共同的主要影响因素,这说明产业结构所反映出来的用水结构是影响鄱阳湖生态经济区水资源利用效率的一个较为重要的因素. 技术冗余率更多地反映区域经济发展水平、生产能力与科技发展水平等外在原因产生的投入冗余,而规模冗余率反映的是区域发展规模或用水结构等自身原因造成的投入剩余^[19].

3) 对鄱阳湖生态经济区 30 个县(市、区)及区域整体用水效率的分布特征与变化进行了分析,并对水资源利用效率的影响因素进行了相关分析,为提高区域水资源利用效率、加快向节水型社会转变提供理论依据和方向. 本文在研究用水效率时把生活用水效率、农业用水效率和工业用水效率分开计算与讨论. 在今后研究中,将考虑如何把生活用水、农业用水和工业用水当做一个整体的用水结构,结合产业结构调整对水资源的利用效率进行下一步研究.

4 参考文献

- [1] 刘满凤,许娟娟. 鄱阳湖生态经济区经济与环境协同性的时空演化分析[J]. 江西师范大学学报:自然科学版,2016,40(3):318-323.
- [2] 匡耀求,黄宁生. 中国水资源利用与水环境保护研究的若干问题[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(4):29-33.
- [3] Bindra S P, Muntasser M, Khweldi M E, et al. Water use efficiency for industrial development in Libya[J]. Desalination, 2003, 158(1):167-178.
- [4] Aida K, Cooper W W, Pastor J T, et al. Evaluating water supply services in Japan with RAM: a Range-adjusted measure of inefficiency[J]. Omega, 1998, 26(2):207-232.
- [5] 杨骞,刘华军. 污染排放约束下中国农业水资源效率的区域差异与影响因素[J]. 数量经济技术经济研究, 2015(1):114-128.
- [6] 高媛媛,许新宜,王红瑞,等. 中国水资源利用效率评估模型构建及应用[J]. 系统工程理论与实践,2013,33(3):776-784.
- [7] 王万山. 鄱阳湖区水资源利用和保护机制演变及其绩效分析[J]. 水土保持通报,2006,26(4):106-110.
- [8] 徐升华,吴丹. 基于系统动力学的鄱阳湖生态产业集群“产业-经济-资源”系统模拟分析[J]. 资源科学, 2016,38(5):871-887.
- [9] 谭国良,郭生练,王俊,等. 鄱阳湖生态经济区水文水资源演变规律研究[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2013:60-81.
- [10] 廖文梅,张广来,孔凡斌. 区域水资源集约利用评价及其影响因素分析:以鄱阳湖生态经济区为例[J]. 新疆农垦经济,2015(6):67-72.
- [11] 李长健,吴薇,刘函. 水资源可持续发展与区域经济发展互促关系研究:以鄱阳湖生态经济区为例[J]. 江西社会科学,2010(4):209-213.
- [12] 张延飞,张振东,唐鑫,等. 鄱阳湖生态经济区水资源供需系统仿真与优化[J]. 科技管理研究,2016,36(14):243-247.
- [13] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法[M]. 北京:中国人民大学出版社,1988:42-57.
- [14] 朱巧娴,梅昀,陈银蓉,等. 基于碳排放测算的湖北省土地利用结构效率的 DEA 模型分析与空间分异研究[J]. 经济地理,2015,35(12):176-184.
- [15] 孔艳,江洪,张秀英,等. 基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较[J]. 生态学报,2013,33

- (12):3825-3836.
- [16] 张明 朱会义 何书金. 典型相关分析在土地利用结构研究中的应用:以环渤海地区为例 [J]. 地理研究, 2001, 20(6):761-767.
- [17] 宋焱 刘贤赵 张勇 等. 寒害后珠海淇澳岛红树林群落水土生要素的 CCA 分析 [J]. 生态学报, 2016, 36(19):6274-6283.
- [18] 胡宗义 李鹏 刘亦文. 基于 CCA-DEA 的我国区域城市基础设施建设投融资效率及差异评价 [J]. 软科学, 2013, 27(4):7-11.
- [19] 王倩 魏巍 刘洁 等. 江苏省水资源利用相对效率时间分异与影响因素 [J]. 水土保持通报, 2017, 37(1):308-314.

The Temporal-Spatial Changes and Its Influencing Factors of Regional Water-Use Efficiency of Poyang Lake Eco-Economic Zone Based on DEA-CCA Model

HU Mianhao¹, LIAO Guixuan², YUAN Juhong³, LU Fucui¹

(1. Institute of Ecological Economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang Jiangxi 330013, China;

2. School of Tourism and Urban Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang Jiangxi 330013, China;

3. Institute of Environment and Plant Science, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang Jiangxi 330032, China)

Abstract: Temporal-spatial changes of water-use efficiency (WUF) in the Poyang lake eco-economic zone (including 30 Counties (cities and districts)) from 2010 to 2013 are analysed with data envelopment analysis (DEA) model, then the influencing factor of WUF in Poyang lake eco-economic zone with canonical correlation analysis (CCA) model is explored. The results show that there are obviously different between the domestic water, agricultural water, industrial water and total water efficiency in the various counties (cities and districts) of Poyang lake eco-economic zone, and among them, the WUF are high in the eight counties (cities and districts) of Poyang county, Nanchang city, Nanchang county, etc. However, the WUF is moderate or low in other counties (cities and districts), and the WUF is very low in Fengcheng city. The utilization efficiency of water resources is the uptrend in Poyang lake eco-economic zone, and the agricultural water efficiency is the lowest, which is the main indicator of WUF increase. The main factors affecting the technical redundancy rate are GDP per Capita and the ratio of output value of primary industry to the output value of secondary industry plus output value of tertiary industry, but the main factors influencing scale redundancy rate are per capita water consumption, water consumption of ten thousand Yuan GDP, and the ratio of output value of primary industry to the output value of secondary industry plus output value of tertiary industry.

Key words: water-use efficiency; data envelopment analysis; canonical correlation analysis; Poyang lake eco-economic zone

(责任编辑: 曾剑锋)