

鄱阳湖流域水资源开发利用的时空特征

刘鑫, 吴向东, 鄢笑宇, 温天福, 吴佳琪
(江西省水利科学院, 江西 南昌 330029)

摘要: 对流域水资源开发利用时空特征进行分析是提高未来水资源开发利用合理性、高效性的前提, 可为流域未来水资源规划、开发、利用提供有力支撑。基于2010-2019年鄱阳湖流域用水和经济社会数据, 采用变异系数、洛伦兹曲线与基尼系数、空间分级分类、信息熵与均衡度分别从水资源的开发利用量、开发利用效率、开发利用结构3方面研究流域近10年水资源开发利用的时空特征。结果表明: 鄱阳湖流域各行业中第二产业的用水空间布局均衡性最差, 变异系数为0.8~0.9, 用水空间布局与水资源空间禀赋的匹配性最差, 基尼系数为0.30~0.35; 流域内各地市2010-2019年用水结构均衡度在0.40~0.75之间, 其中, 抚州市均衡度最小, 均值约为0.40, 南昌市均衡度最大, 均值在0.75左右。流域内第二产业的用水空间布局有逐年改善的趋势, 其发展布局已逐渐重视水资源因素; 各行业用水效率有明显的空间差异性, 且各行业的用水效率不具有空间一致性, 其中第二产业用水效率有逐年提高的趋势; 影响鄱阳湖流域内用水结构均衡性的主要因素是农业用水量占比较大。

关键词: 水资源开发利用; 变异系数; 基尼系数; 信息熵; 时空特征; 鄱阳湖流域

中图分类号: TV213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2022)04-0072-07

Spatio-temporal characteristics of water resources development and utilization in the Poyang Lake Basin

LIU Xin, WU Xiangdong, YAN Xiaoyu, WEN Tianfu, WU Jiaqi
(Jiangxi Academy of Water Science and Engineering, Nanchang 330029, China)

Abstract: The analysis of spatio-temporal characteristics of water resources development and utilization in the river basin can lay the foundation for the rational and effective development and utilization of future water resources, and provide a technical support for the planning, development and utilization of water resources in the basin. Based on the water use and socio-economic data of Poyang Lake Basin from 2010 to 2019, we studied the temporal and spatial characteristics of water resources development and utilization in recent 10 years from the three aspects of quantity, efficiency and structure of water resources development and utilization using the factors of coefficient of variation, Lorentz curve and Gini coefficient, spatial classification, information entropy and equilibrium. Among all the industries in the Poyang Lake Basin, the spatial distribution of water use in the secondary industry was the most unbalanced, its coefficient of variation ranged from 0.8 to 0.9, and the spatial matching between water use distribution and water resources endowment was the worst, its Gini coefficient ranged from 0.30 to 0.35. From 2010 to 2019, the equilibrium degree of water use structure of cities in the basin ranged from 0.4 to 0.75, among which, the equilibrium degree of Fuzhou City was the smallest, about 0.4, and that of Nanchang city was the largest, about 0.75. However, the spatial distribution of water use of the secondary industry in the basin presented an upward trend during these years, because water resources gradually drew more and more attention in the development layout of this industry. The water use efficiency of each industry had obvious spatial differences, but the variations were inconsistent, among which, the water use efficiency of the secondary industry had been increasing year by year. The main factor affecting the balance of water use structure in the Poyang Lake Basin was the large proportion of agricultural water consumption.

收稿日期: 2021-08-25; 修回日期: 2022-02-24

基金项目: 江西水利科技支撑项目(202124ZDKT05、202124ZDKT20); 江西省水利厅水利发展研究项目(JXSLFZ2022-01)

作者简介: 刘鑫(1994-), 男, 江西赣州人, 硕士, 助理工程师, 主要从事水资源规划研究。

Key words: water resources development and utilization; coefficient of variation; Gini coefficient; information entropy; spatio-temporal characteristics; the Poyang Lake Basin

1 研究背景

20世纪末,随着我国经济社会的发展,水资源量短缺、水污染等问题日益严重。该领域的研究初始于地区、流域水资源特征的分析,后逐渐重视水资源的开发利用现状及问题。随着国内对水资源管理重视程度的不断加深,水资源的开发利用数据逐渐变得清晰、准确、透明,为研究水资源开发利用的时空演变奠定了基础。当前,不少学者针对水资源开发利用用水量、用水效率及用水结构中的某一方面开展了大量详细、深入的研究,在水资源开发利用量方面:张之颖等^[1]选取了国内341个行政区,探究了中国近50年用水量的时空演变规律。在水资源开发利用效率方面:姚亭亭等^[2]选取了6项用水指标评价了京津冀三地的用水效率变化特征;陈述等^[3]探究了长江流域水资源利用效率的时空变化,并挖掘了内在驱动因素;郑乐等^[4]分析了第二产业的用水效率。在水资源开发利用结构演变方面:徐晋轩等^[5]和甘丰余等^[6]利用信息熵方法、易晶晶等^[7]和吴旭等^[8]将信息熵原理与重心模型相结合分别研究了地区用水结构的时空演变特征;陈晓清等^[9]分析了用水结构的时空演变特征;焦士兴等^[10]探讨了河南省农业和非农业水资源开发利用的时空变化趋势,分析了驱动因素效应。对水资源开发利用演变的研究也从单方面逐渐向多方面发展,魏卿等^[11]从用水量和用水结构两方面分析了流域用水结构的演变特征,鲍超等^[12]从用水量、用水效率、用水结构3方面分析了区域水资源开发利用的时空特征。但总体而言,从水资源开发利用的多方面分析其时空演变的研究仍然较少,而影响水资源开发利用的因素很多,若仅从某一方面对水资源开发利用的时空演变特征进行分析,则很难完全发掘其本质特征。为了能够比较全面地分析流域水资源开发利用的时空演变特征,以有效支撑流域未来水资源的规划、开发及利用,提高未来水资源开发利用的合理性和高效性,本文从水资源的开发利用量、开发利用效率、开发利用结构3方面研究江西省境内鄱阳湖流域近10年水资源开发利用的时空特征。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

鄱阳湖流域地处长江中下游,东邻富水、闽江流

域,南靠珠江流域,西毗洞庭湖流域,北接长江干流,位于东经113°30′~118°31′、北纬24°29′~30°02′之间。鄱阳湖流域由赣江、抚河、信江、饶河、修河五大河及鄱阳湖湖区等河流水系组成,形成以鄱阳湖为中心,五河汇聚的水系布局。鄱阳湖流域面积为162 225 km²(湖口控制站),在江西省境内的面积为156 743 km²,占流域面积的96.62%,涉及全省11个地市。鄱阳湖流域是长江流域的重要组成部分,以9%的流域面积占比贡献了长江流域15.5%的水量,经流域控制站汇入长江的多年平均水量高达1 457 × 10⁸ m³,江西省境内鄱阳湖流域行政区划及水系分布见图1。

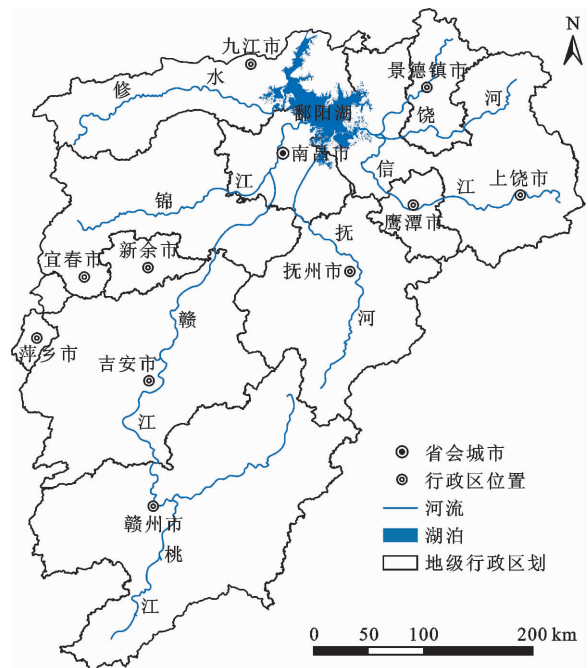


图1 江西省境内鄱阳湖流域行政区划及水系分布

2.2 数据来源

本研究的数据资料来源于《江西省水资源公报》(2010-2019年)、《江西省统计年鉴》(2011-2020年)以及《江西省第三次水资源调查评价》。本文分析鄱阳湖流域水资源开发利用量、开发利用效率使用流域内2010-2019年用水及经济社会数据;受资料系列长度的影响,分析用水效率所用资料的时间年限为2011-2019年。

2.3 研究方法

本文从鄱阳湖流域水资源开发利用的用水量、用水效率、用水结构3个方面出发,对不同方面选用相应的方法评价流域水资源开发利用的时空特征。

变异系数能够度量数组的离散程度,选择变异系数评价鄱阳湖流域各行业用水量的空间差异性和时间变化;洛伦兹曲线能对两组具有一定联系数据的不均等程度做定性分析,选择基尼系数对流域水资源与耕地、第二产业、人口的匹配性做定量评价,以上两种方法能够分析鄱阳湖流域用水的空间差异性并从水资源空间禀赋角度分析该差异性的合理性。空间分级分类法具有直观、易懂的特点,基于空间分级分类理论借助 ArcGIS 工具分析鄱阳湖流域用水效率的时空变化。信息熵能分析系统信息的稳定性和不确定性,采用均衡度评价流域用水结构的时空变化,但本文认为,在水资源领域分析各行业的用水结构时,信息熵和均衡度并不能评价用水结构空间布局与时间变化的合理性。

(1) 变异系数。变异系数定义为数组标准差与平均值之比^[13-14],其计算公式如下。

$$C = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (1)$$

式中: C 为流域用水量的变异系数; \bar{x} 为流域内各单元用水量的平均值, 10^4 m^3 ; x_n 为单元 n 的用水量, 10^4 m^3 ; N 为流域内单元总数。

(2) 洛伦兹曲线与基尼系数。洛伦兹曲线理论自提出后得到广泛应用,其对水资源领域的研究有很大的贡献^[15-17]。本文采用积分理论计算基尼系数,计算公式如下^[18]。基尼系数对匹配性的评价标准见表 1。

$$G = \sum_{u=1}^n (X_u \cdot W_u) + 2 \times \sum_{u=1}^n [X_u(1 - S_u)] - 1 \quad (2)$$

式中: G 为基尼系数; X_u 为单元 u 的某一经济社会发展指标占所有单元该经济社会指标总量的百分比; W_u 为单元 u 的水资源量占所有单元水资源量的百分比; S_u 为单元 u 往前单元水资源量的累积百分比。

表 1 基尼系数评价匹配性的标准

序号	基尼系数	匹配性
①	0~0.2	绝对均衡
②	0.2~0.3	比较均衡
③	0.3~0.4	相对均衡
④	0.4~0.5	一般失衡
⑤	0.5~1.0	严重失衡

(3) 信息熵与均衡度。信息熵是系统信息稳定性、不确定性的度量^[19],信息熵理论自提出后在水

文水资源领域得到广泛应用^[20-21]。信息熵与均衡度的计算公式如下。

$$H = - \sum_{n=1}^N p_n \cdot \log_2(p_n) \quad (3)$$

$$J = \frac{H}{H_{\max}} = - \sum_{n=1}^N (p_n \cdot \log_2(p_n) / \log_2 N) \quad (4)$$

式中: H 为用水结构信息熵; J 为用水结构均衡度; N 为用水行业数量; p_n 为行业 n 的用水量在地区总用水量的占比。

3 结果与分析

3.1 用水量的时空分析

鄱阳湖流域 2010 - 2019 年年均用水总量为 $231 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大年用水量为 $244 \times 10^8 \text{ m}^3$,最小年用水量为 $221 \times 10^8 \text{ m}^3$,2010 - 2015 年流域用水量呈波动变化,2015 - 2019 年流域用水量平稳上升。以鄱阳湖流域内 11 个地市为单元计算 2010 - 2019 年流域用水总量以及农业、第二产业、生活用水量的年变异系数,计算结果如图 2 所示。由图 2 可以看出,2010 - 2018 年各类用水量变异系数的大小基本表现为第二产业用水量变异系数 > 生活用水量变异系数 > 农业用水量变异系数 > 流域用水总量变异系数。第二产业用水量变异系数在 0.8 ~ 0.9 之间,远高于流域用水总量和农业、生活用水量的变异系数,表明流域内第二产业用水量的空间分布差异最大。2010 - 2019 年,第二产业用水量的变异系数呈现波动变化,流域用水总量和农业、生活用水量的空间差异相似,变异系数均在 0.6 ~ 0.7 之间变化。

在不同的水文频率年,流域水资源量具有一定的差距,为弱化不同水文频率年变化对基尼系数计算结果的影响,并提高年际间基尼系数的可比性,本文在分析流域水资源与人口、耕地、第二产业的空间匹配度时,取近 10 年水资源量的均值作为匹配原象计算基尼系数。2010 - 2019 年鄱阳湖流域水资源与人口、耕地面积、第二产业增加值匹配的基尼系数变化趋势如图 3 所示。由图 3 可以看出,2010 - 2019 年鄱阳湖流域水资源与第二产业增加值匹配的基尼系数最大,在 0.30 ~ 0.35 之间,属于相对均衡阶段,表明流域水资源空间禀赋与第二产业布局相对匹配,但已经接近基尼系数警戒值 0.4,另外,该阶段基尼系数有明显的减小趋势,显示出在发展用水层面第二产业布局不断得到改善。2010 - 2019 年,水资源与人口、耕地面积匹配的基尼系数基本稳定在 0 ~ 0.2 之间,属于绝对均衡阶段。

3.2 用水效率的时空分析

评价经济社会各行业用水效率的指标有很多,本文参考《江西省水资源公报》中各行业用水定额作为用水效率评价的代表性指标,选择农业综合灌溉用水定额(m^3/hm^2)、工业万元增加值用水定额($\text{m}^3/(10^4 \text{元})$)、城

乡居民生活用水定额($\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$)分别评价农业、第二产业、生活的用水效率。2011 - 2019 年鄱阳湖流域农业综合灌溉、工业万元增加值、城乡居民生活用水定额指标变化如图 4 ~ 6 所示(因版面有限,本文仅列出各用水部门 2012、2014、2016 和 2018 年对应的 4 幅图)。

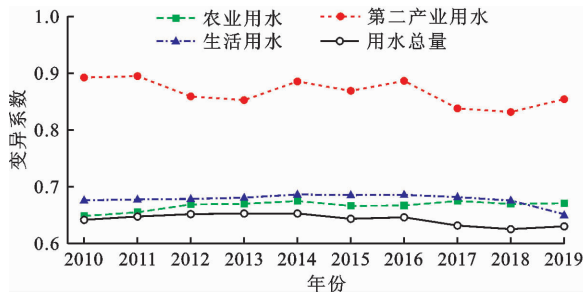


图 2 2010 - 2019 年鄱阳湖流域各类用水变异系数变化趋势

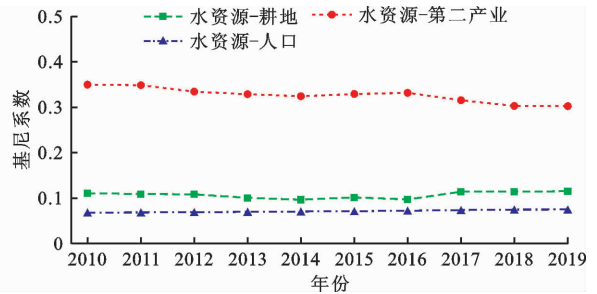


图 3 2010 - 2019 年鄱阳湖流域水资源与经济社会指标匹配基尼系数变化趋势

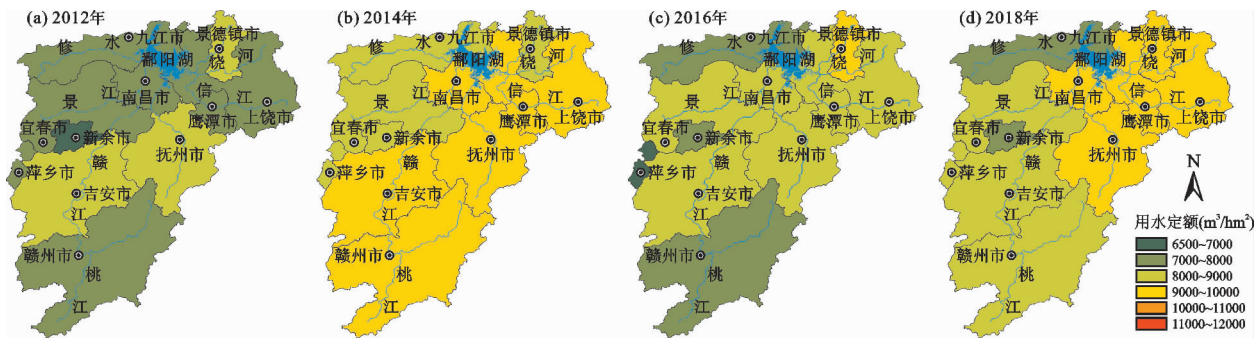


图 4 2012、2014、2016 和 2018 年鄱阳湖流域农业综合灌溉用水定额指标变化

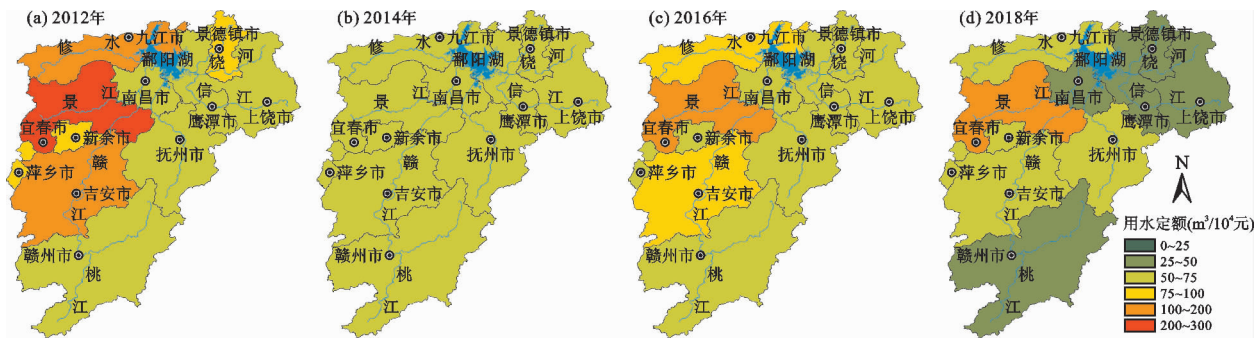


图 5 2012、2014、2016 和 2018 年鄱阳湖流域工业万元增加值用水定额指标变化

2011 - 2019 年鄱阳湖流域各地市农业综合灌溉用水定额呈波动变化趋势,且流域农业用水效率空间差异较大,2011 - 2019 年历年流域各地市农业综合灌溉用水定额最大差距均超过 $1\ 500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。流域内九江市、新余市农业综合灌溉用水定额较小,历年均值分别为 $7\ 937$ 、 $7\ 682 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,该两市农业灌溉的用水效率在全流域处于领先;抚州市、鹰潭市农业综合灌溉用水定额较大,历年均值分别为 $9\ 433$ 、 $9\ 235 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,该两市农业灌溉的用水效率在流域内表现最差。2013、2015 - 2019 年各地市的

农业综合灌溉用水定额的空间分布很明显地表明流域东北地区(上饶、景德镇、南昌等市)的农业综合灌溉用水定额较流域其他地区更大,而流域内九江市、新余市、赣州市的农业综合灌溉用水定额要小于流域其他地区。

2011 - 2019 年鄱阳湖流域各地市工业万元增加值用水定额呈现波动减小的变化趋势。其中,吉安市工业用水效率提高最多,2019 年工业万元增加值用水定额较 2011 年减少了 70%,同期流域内 GDP 排名靠前的南昌市、赣州市、九江市工业万元

增加值用水定额分别减少了47%、45%、67%；全流域仅萍乡市、宜春市工业万元增加值用水定额2019年较2011年分别提高了6%、132%。流域内赣南、赣东、赣东北地区(赣州、景德镇、南昌等市)的工业万元增加值用水定额较流域其他区域更小,工业用水效率高;赣西、赣西北地区(宜春、九江、吉安等市)的工业万元增加值用水定额相对较高,工业用水效率低。

2011-2019年鄱阳湖流域各地市城镇居民生活用水定额整体呈先上升后下降的变化趋势。其中,景德镇市和抚州市城镇居民生活用水定额2019年较2014年分别减少了12%、11%;九江市城镇居民生活用水定额2019年较2013年减少了7%;仅萍乡市2019年较2013年增长了1%。2012-2017年流域赣北地区城镇居民生活用水定额高于赣南地区,但2018-2019年赣北地区城镇居民生活用水定额下降明显,说明赣北地区城镇居民生活用水效率有明显的提高。2011-2019年流域大部分地市农村居民生活用水定额呈上升趋势,其中,萍乡市、抚州市、新余市、宜春市农村居民生活用水定额2019年较2011年分别增长了12%、10%、9%、11%;全流域仅南昌市农村居民生活用水定额减少了4%。2011-2015年流域赣中北地区农村居民生活用水定额小于赣南地区,2016-2019年流域赣中北地区农村居民生活用水定额出现明显的增长。

3.3 用水结构的时空分析

分析鄱阳湖流域用水结构的时空变化时,将流域用水行业分为农业、第二产业、生活、第三产业、生态环境(河道外生态环境)5类。计算2010-2019年流域内11个地市用水结构的均衡度值,计算结果见表2。

由表2可看出,2010-2019年流域内各地市均衡度整体呈现先增大后减小再波动变化的趋势,增大阶段主要出现在2010-2013年,减小阶段主要出现在2013-2016年,波动变化阶段主要出现在2016-2019年(不同地市变化转折点会提早或延后1a)。2010-2019年抚州市历年均衡度值均为最小,用水结构均衡性最差,该市历年均衡度平均值为0.44,最大值为0.46,最小值为0.39。研究时段内抚州市历年农业用水量在总用水量中的占比为78%~83%,第二产业用水量在总用水量中的占比为8%~11%,生活、第三产业、生态环境3个行业合计用水量仅占总用水量的8%~11%,农业在各行业用水量中处于主导地位。流域内南昌市的历年均衡度值最大,用水结构均衡性最好,该市历年均衡度平均值为0.71,最大值为0.74,最小值为0.68。研究时段南昌市历年农业用水量在总用水量中的占比为51%~57%,第二产业用水量在总用水量中的占比为28%~30%,生活、第三产业、生态环境3个行业合计用水量占总用水量的15%~19%。

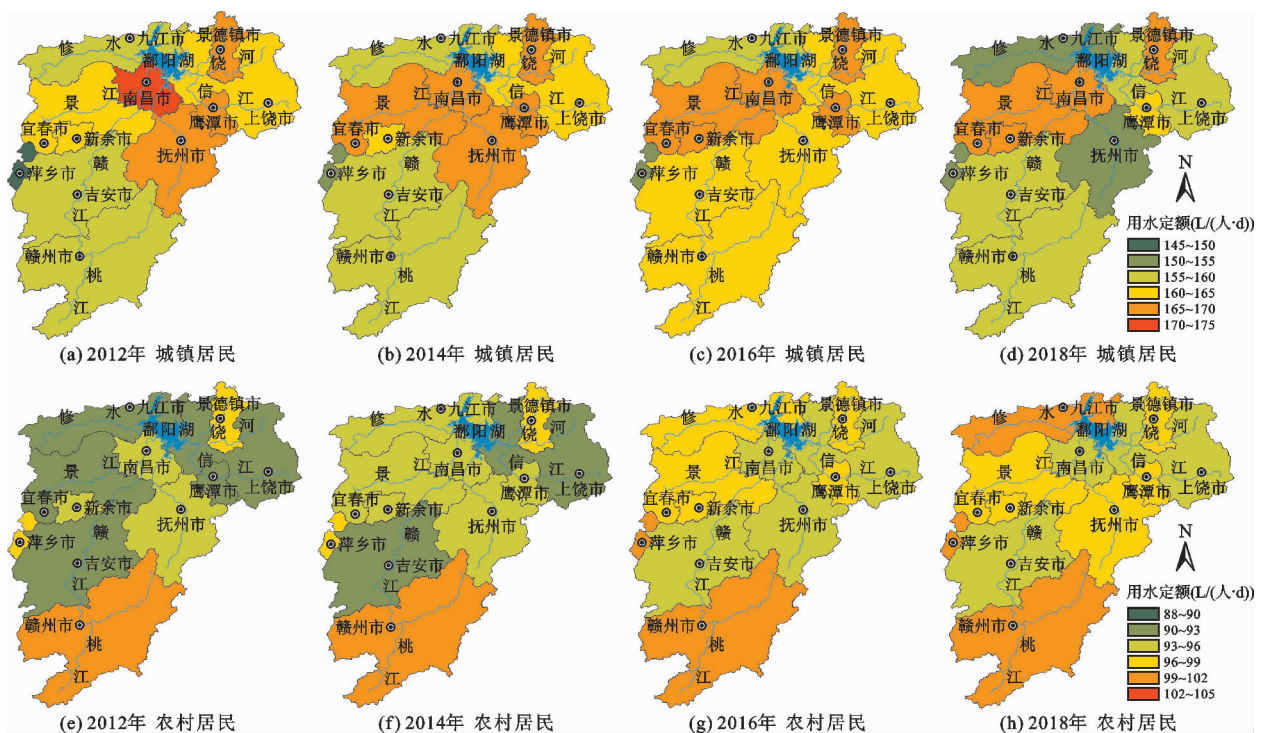


图6 2012、2014、2016和2018年鄱阳湖流域城乡居民生活用水定额指标变化

表2 2010-2019年鄱阳湖流域各地市用水结构均衡度值

年份	抚州市	赣州市	吉安市	景德镇市	九江市	南昌市	萍乡市	上饶市	新余市	宜春市	鹰潭市
2010	0.45	0.57	0.50	0.69	0.55	0.72	0.63	0.53	0.66	0.59	0.63
2011	0.45	0.58	0.50	0.68	0.54	0.71	0.63	0.52	0.66	0.59	0.64
2012	0.46	0.58	0.50	0.69	0.57	0.72	0.65	0.54	0.67	0.59	0.64
2013	0.46	0.60	0.51	0.68	0.58	0.72	0.68	0.52	0.67	0.58	0.63
2014	0.46	0.59	0.50	0.68	0.57	0.72	0.65	0.51	0.66	0.59	0.63
2015	0.45	0.55	0.47	0.67	0.53	0.71	0.62	0.50	0.64	0.57	0.61
2016	0.42	0.54	0.47	0.67	0.51	0.69	0.59	0.47	0.65	0.56	0.59
2017	0.42	0.57	0.45	0.69	0.47	0.72	0.61	0.52	0.65	0.58	0.64
2018	0.39	0.54	0.42	0.66	0.45	0.68	0.59	0.47	0.61	0.55	0.58
2019	0.40	0.56	0.46	0.67	0.44	0.74	0.58	0.49	0.62	0.58	0.61

4 讨论

鄱阳湖流域内农业、人口的发展布局比较均衡,且与水资源空间禀赋的匹配性较好,而第二产业的空间均衡性最差,产业布局与水资源空间禀赋的匹配性最差。该研究结果与孟丽红等^[22]采用变异系数、泰尔系数的研究结果具有一致性,这一现象与流域内人口、农业、第二产业的历史发展有重要关系。鄱阳湖流域的人口和耕地发展期非常早,人口的分布遵循着“依水而居”的理念;鄱阳湖流域是我国重要的粮食生产地,农业在整个流域内发展全面,农业的发展与人口的布局具有一致性,所以农业与人口的空间均衡性和与水资源空间禀赋的匹配性一致性较高;流域内第二产业起源于20世纪初,发展在20世纪中后期至今,第二产业的发展受地区交通、政治、资源等众多因素影响,所以各地市第二产业的发展差异性大。2010-2019年鄱阳湖流域第二产业用水量的空间差异性有逐渐减小的趋势,且流域第二产业与水资源的匹配度也呈现下降的趋势,表明流域内第二产业的发展受到了水资源空间禀赋的约束,第二产业的发展布局也逐渐重视水资源因素。本文以流域内11个地市为分析单元,因各地市的行政面积、经济体量、水资源空间禀赋等均有所不同,如果仅采用变异系数分析流域各行业用水量,则无法表明流域内某行业各单元用水空间分布的合理性,所以在分析各行业用水量变异系数的基础上,再采用基尼系数分析流域各单元水资源与耕地、第二产业、人口的匹配性,才能够对流域内各行业用水布局的合理性作出评价。

鄱阳湖流域各行业的用水效率有较明显的时空

特征。基于流域农业综合灌溉用水定额分析,流域中东和东北区域农业用水效率明显低于流域其他区域;基于流域工业万元增加值用水定额分析,流域中西和西北区域第二产业的用水效率较其他区域差;基于流域城乡居民生活用水定额分析,流域北部区域比南部区域城镇居民生活用水定额大,且流域北部区域的农村居民生活用水定额具有明显的上升趋势。评价各行业用水效率的指标较多,本文选取的指标具有一定的代表性,但不够全面,在后续研究中可以考虑多指标的用水效率评价。

鄱阳湖流域在当前的经济社会发展阶段,影响流域内用水结构均衡性的主要原因是农业用水量大,第三产业和生态环境用水量小,该用水结构特征与我国大部分省份的用水结构相似。流域内各地市农业用水量在总用水量中的占比均大于50%,且大部分地市占比达到60%~70%;第三产业和生态环境用水量占比非常小,大部分地市两行业用水总量占比小于5%,仅南昌市两行业用水占比达到8%。鄱阳湖流域属亚热带地区,是我国重要的粮食生产基地,粮食作物以需水量大的水稻为主。鄱阳湖流域内用水结构分析结果符合流域当前的发展阶段特点,当前发展阶段依然是以农业生产活动为主,农业用水量依然是占比最大的行业。

5 结论

本文基于鄱阳湖流域2010-2019年的用水和经济社会数据,分别从水资源的开发利用量、开发利用效率、开发利用结构3个方面研究流域近10年水资源开发利用的空间分布特征及时间变化特征,得出的主要结论如下:

(1)2010-2019年,鄱阳湖流域内农业、人口的发展布局较为均衡,且与水资源空间禀赋的匹配性较好;而第二产业的空间均衡性最差,且与水资源空间禀赋的匹配性最差。但第二产业用水量的空间差异性逐渐减小,与水资源的匹配度也逐渐提高,流域内第二产业的发展在受到水资源空间禀赋约束的情况下,其发展布局也开始重视水资源因素。

(2)鄱阳湖流域各行业的用水效率呈现较明显的空间差异,且各行业的用水效率不具有空间一致性。流域中东和东北区域农业用水效率明显低于流域其他区域,流域中西和西北区域第二产业的用水效率较其他区域差,流域北部区域比流域南部区域城镇居民生活用水定额大,流域北部区域农村居民生活用水定额具有明显的增大趋势。

(3)研究时段鄱阳湖流域内南昌市的用水结构均衡性最好,历年均衡度均值为0.71;抚州市的用水结构均衡性最差,历年均衡度均值为0.44。影响鄱阳湖流域内各地市用水结构均衡性的主要因素是农业用水量占比大,第三产业和生态环境用水量占比小。

参考文献:

- [1] 张之颖,张辉,章静,等. 1965-2013年中国用水量的时空演变[J]. 水利水运工程学报,2022(2):11-20.
- [2] 姚亭亭,刘苏峡. 京津冀水资源利用多效率指标的变化特征比较[J]. 地理科学进展,2021,40(7):1195-1207.
- [3] 陈述,吕文芳,王建平. 长江流域水资源利用效率时空演变分析[J/OL]. 水资源保护,2021(2021-08-30)[2022-04-26]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20210830.1246.004.html>.
- [4] 郑乐,杨法暄,钱会,等. 基于超效率DEA模型的宁夏第二产业水资源利用效率研究[J]. 水资源与水工程学报,2020,31(2):81-86.
- [5] 徐晋轩,杨默远,潘兴瑶,等. 基于水足迹的北京市水资源开发利用演变特征分析[J/OL]. 水资源保护,2021(2021-09-06)[2022-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20210906.1124.006.html>.
- [6] 甘丰余,邢侨芬,林振豪,等. 海南近期用水结构变化规律分析[J]. 中国农村水利水电,2021(3):153-157.

- [7] 易晶晶,陈志和,杨创鹏,等. 基于信息熵原理的区域用水结构时空演变特征研究[J]. 水文,2019,39(4):12-17.
- [8] 吴旭,陶涛,吴润泽,等. 华北地区用水结构时空动态演变特征分析——以邯郸市为例[J]. 科学技术与工程,2021,21(27):11768-11775.
- [9] 陈晓清,侯保灯,周毓彦,等. 中国地理分区用水结构时空演变对比分析[J]. 中国农村水利水电,2021(6):78-85+90.
- [10] 焦士兴,王安周,李玉靖,等. 河南省水资源“农转非”时空演变及驱动力[J/OL]. 水资源保护,2021(2021-10-11)[2021-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20211009.1148.005.html>.
- [11] 魏卿,薛联青,王桂芳,等. 玛纳斯河流域用水结构时空演化及水资源空间匹配分析[J]. 水资源保护,2021,37(5):124-130.
- [12] 鲍超,贺东梅. 京津冀城市群水资源开发利用的时空特征与政策启示[J]. 地理科学进展,2017,36(1):58-67.
- [13] 查建平,周玉玺,周霞. 沿黄九省(区)农业用水效率与农业经济发展耦合协调关系研究[J]. 水资源与水工程学报,2021,32(5):219-226.
- [14] 王蓉华,顾蓓青,刘金梅,等. 两个正态分布变异系数差与商的近似置信区间[J]. 统计与决策,2022,38(1):38-42.
- [15] 黄锋华,黄本胜,洪昌红,等. 粤港澳大湾区水资源空间均衡性研究[J/OL]. 水资源保护,2021(2021-06-25)[2021-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20210625.0942.002.html>.
- [16] LORENZ M O. Methods of measuring the concentration of wealth[J]. Journal of the American Statistical Association, 1905, 18(9): 209-219.
- [17] 陈良,杨银科,刘宇,等. 基于洛伦兹曲线的甘肃省用水结构分析[J]. 长江科学院院报,2021,38(5):25-33.
- [18] 汪燕敏,吴治民. 在EXCEL中用VBA计算基尼系数[J]. 统计与决策,2006,22(6):143-145.
- [19] 陈颖. 基于信息熵理论的水文站网评价优化研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2013.
- [20] 徐鹏程,王栋. 信息熵在水文水资源科学中的研究进展[J]. 华北水利水电大学学报,2017,38(4):71-78.
- [21] 黄家俊,张强,等. 基于信息熵的新疆降水时空变异特征研究[J]. 生态学报,2017,37(13):4444-4455.
- [22] 孟丽红,吴绍雄,郑蓬蓬,等. 江西省水资源利用时空变化特征及区域差异[J]. 水土保持通报,2020,40(5):276-283.