

山西省生态用水发展情况的再探讨

范艺璇, 李萌, 刘欣雨, 任世芳

太原师范学院地理科学学院, 山西 晋中

收稿日期: 2024年3月9日; 录用日期: 2024年4月19日; 发布日期: 2024年4月28日

摘要

采用生态用水模数、洛伦兹曲线和相关分析方法, 对2011~2020年山西省生态用水量的变化因素进行深入探讨。研究结果如下: 1) 10年间山西省工业用水和生活用水的集约循环程度提高, 在一定程度上促进了生态用水使用量增加。2) 各市生态用水的年际投入差距随时间逐渐减小; 基本呈现经济发达城市生态用水投入更多、反之亦然规律; 两个五年计划的交界期, 各市在生态用水的投入上差距较大, 可能与衔接时期的社会经济发展转型相关。3) 建成区绿化覆盖面积、GDP、居民生活用水量与当地水资源量四个因素对生态用水投入产生了影响, 但影响程度大小随四个因子的组合而产生差异, 个别市可能存在更为复杂的影响机制。

关键词

生态用水, 发展态势, 山西省

Re-Discussion of the Development of Ecological Water Use in Shanxi Province

Yixuan Fan, Meng Li, Xinyu Liu, Shifang Ren

Institute of Geographical Science, Taiyuan Normal University, Jinzhong Shanxi

Received: Mar. 9th, 2024; accepted: Apr. 19th, 2024; published: Apr. 28th, 2024

Abstract

Ecological water use modulus, Lorentz curve and related analysis methods were used to deeply discuss the change factors of ecological water consumption in Shanxi Province from 2011 to 2020. Study results show: 1) The increase in the intensive recycling industrial water and domestic water in Shanxi Province in the past 10 years promoted the increase of ecological water use to a certain extent. 2) The inter-annual gap in ecological water investment between cities gradually decreased, but there was a large difference among cities in the same year, which showed that the ecological water investment in developed cities was more

作者简介: 范艺璇, 籍贯: 黑龙江省伊春市嘉荫县, 出生于2002年8月, 大学本科学历, 研究方向为地理科学, Email: 2519366319@qq.com

文章引用: 范艺璇, 李萌, 刘欣雨, 任世芳. 山西省生态用水发展情况的再探讨[J]. 水资源研究, 2024, 13(2): 185-193.

DOI: 10.12677/jwrr.2024.132021

and vice versa, and the gap in ecological water investment between cities was large during the transition period of the two five-year plans, which may be related to the social and economic development transformation. 3) Four factors, including green coverage area of built-up areas, GDP, domestic water consumption and local water resources, have an impact on ecological water input, but the degree of influence varies with the combination of the above four factors, and there may be more complex influence mechanisms in individual cities.

Keywords

Ecological Water Use, Development Trend, Shanxi Province

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水资源是生态系统的重要支撑,影响着生态系统的平衡和稳定。山西省地处中国干旱半干旱区,全省水资源总量多年平均为 $123.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 人均、亩均水资源量都在全国的末位[1]。季风气候带来的水资源时空分布不均,以及能源基地和农业大省的经济地位使得多年来用水量和排污量都极为巨大。论文前期的研究对 2011~2020 年间山西省水资源公报中的生态用水数量发展趋势进行了初步分析,发现近年来山西省生态用水使用量呈上升趋势,同时省内各市在生态用水的主动投入上存在显著差异[2]。继续对各市在研究期内生态用水的投入变化和影响因素进行分析可以为提升全省生态环境用水投入、合理配置水资源和优化调整用水结构提供参考。

2. 研究方法及参数

研究期跨越十三五、十四五规划的 2011~2020 年的 10 年,研究区域包括山西省域所辖 11 市,数据来源为《山西省统计年鉴》[3] (2011~2020 年)和《山西省水资源公报》[4] (2011~2020 年),具体研究方法和所用参数如下:

1) 生态用水模数

生态用水模数(Mu)是生态用水的重要特征,为一年中研究区域单位面积上的生态用水量。该值可以消除区域面积的影响,使不同区域的生态用水量可以进行比较,其数值大小可以反映该区对于生态环境的实际水资源数量投入,模数值越大则投入越多,反之则投入越少。生态用水模数的计算公式为:

$$\text{Mu} = \text{Wu}/\text{A} \quad (1)$$

式中: Mu (m^3 或 $\text{mm}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$)为生态用水模数(%), Wu 为消耗性生态用水量(m^3 或 mm); P 为区域年降水量(mm 或 mm), A——流域或区域面积(km^2)。

2) 洛伦兹曲线

洛伦兹曲线方法由美国经济学家 Lorenz 于 1905 年提出,用来表示不同地区收入分配情况。随着社会经济不断发展和学科之间交叉融合,目前在包括水资源研究在内的多个领域得到有效利用,用来反映资源分配的均衡程度[5] [6] [7]。本研究使用洛伦兹曲线分析研究期山西省各市生态用水使用量地区差异以及变化的集中程度。洛伦兹曲线方法的数学表达式如下:

$$L_y = \frac{\int_0^y x dF(x)}{\mu} \quad (2)$$

式中： $F(x)$ 为有序个体的累积分布函数， μ 为一个均值。在根据公式绘制的洛伦兹曲线图中，横、纵坐标均为累积百分比，百分比含义由研究对象决定，不同研究对象的累积百分比 $y=f(x)$ 与绝对平均线 $y=x$ 越接近，则研究对象的空间分配越均衡，越远空间分配差距越大。

为绘制洛伦兹曲线图，首先要计算区位熵。区位熵是衡量某一区域要素的空间分布情况、反映某一产业部门的专业化程度、以及某一区域在高层次区域的地位和作用等方面的较为简便易行的指标，也可在一定程度上反映出资源在地区层面的集聚水平。区位熵值越高，表明集聚水平越高。该案中的区位熵为各市各年生态用水的累积百分比与总用水量累计百分比的比值，即洛伦兹曲线中的斜率大小，可用以下公式表示：

$$L_{ij} = \frac{Q_{ij}/Q_j}{Q_i/Q} \quad (3)$$

式中： L_{ij} 为*i*区域第*j*年的区位熵， Q_{ij} 为*i*区域第*j*年的生态用水量(m^3)， Q_j 为第*j*年全省生态用水量(m^3)， Q_i 为*i*区域10年间生态用水量(m^3)， Q 为全省十年间生态用水用水量(m^3)。

3) 皮尔逊相关分析

为找出影响生态环境用水量变化的因素，研究对可能影响生态环境用水的因素进行相关性分析。皮尔逊相关系数是用于度量两个变量X和Y之间的相关程度，其值介于-1与1之间。因此，本研究选用皮尔逊简单相关系数分析，并针对相关系数进行T检验。具体方法参考相关文献进行[8]。

3. 研究结果分析

3.1. 用水结构变化

表1所示为研究期山西省各类用水量和总用水量统计。由于山西省水资源公报中农田灌溉用水和林牧渔畜用水指标在2020年水资源公报中被农业用水替代，城市公共用水和居民生活用水被生活用水代替，因此，表1中农业用水采用农田灌溉和林牧渔畜用水之和，生活用水采用城市公共用水和居民生活用水之和进行计算，综合为农业用水、工业用水、生活用水和生态用水等四个大类。

研究显示，10年间山西省农业用水和城镇工业用水有减少趋势，居民生活用水和生态环境用水则呈现微弱增加趋势，但就总用水量而言，其变化并不明显。

表1. 2011~2020年山西省各类用水量统计表($10^8 m^3$)

年份	农业用水	城镇工业用水	居民生活用水	生态环境用水	总用水量
2011	44.877	14.267	11.607	3.434	74.185
2012	42.742	15.498	11.829	3.320	73.388
2013	43.404	15.724	12.177	3.543	74.848
2014	41.538	14.191	12.207	3.439	71.375
2016	46.696	12.945	12.630	3.254	75.526
2017	45.547	13.492	12.844	3.013	74.895
2018	43.334	14.019	13.438	3.510	74.300
2019	43.832	13.453	13.794	4.892	75.971
2020	41.013	12.388	14.583	4.799	72.783

2011~2020年间，山西省工业用水在总用水量中的比重逐渐减少，反映出工业企业废污水循环利用效率和集约利用程度的上升；而生活用水、生态环境用水占比逐渐增加的趋势则反映出十年间山西省城市化发展和居

民生活水平的提高以及用水观念的转变。生态用水量虽然在总用水量中的占比较少，但经计算后发现高于同期全国平均值 2.1% 这一水平。由于《山西省水资源公报》中的生态用水其实等同于《中国水资源公报》[9] 中的“人工生态环境补水”一项，包括城镇绿地灌溉用水和河湖系统人工补水，其来源大多为工业、生活来源的废水利用(中水)以及外来客水(如 2020 年山西省地表水供水源中跨流域引水比例为当年地表水源供水量 39.5484 亿 m^3 的 2.2%，约 0.87 亿 m^3)，而跨流域引水初衷主要是为了满足工农业和生活用水，因此生态用水的使用量提高在一定程度上依赖于当地工业用水和生活用水的集约循环程度。

3.2. 生态用水模数分析结果

山西境内分属海河流域和黄河流域，两流域面积比为 1:1.64；按行政分区下辖 11 个市，分别为太原市、大同市、阳泉市、长治市、晋城市、忻州市、吕梁市、朔州市、晋中市、临汾市和运城市。参考相关文献中生态用水模数概念[10]，将区域生态用水模数预测值转变为实际使用生态用水模数，经过计算后，计算结果整理在表 2、表 3 中。从上述分属流域片分析，两流域在生态用水的投入水平上近似，海河流域 10 年间生态用水模数均值为 $0.2135 \times 10^4 m^3$ ，黄河流域均值为 $0.2360 \times 10^4 m^3$ ，黄河流域单位面积上的生态用水投入量略多，比海河流域多了近 10%。

表 2. 山西省黄河流域和海河流域 10 年间生态用水模数

流域	消耗性生态用水量($10^8 m^3$)	面积(km^2)	生态用水模数 Mu ($10^4 m^3/km^2 \cdot a$)
海河流域	1.2624	59,133	0.2135
黄河流域	2.2928	97,138	0.2360
平均	1.7776	—	0.2248

表 3. 山西省行政分区 10 年间生态用水模数

市	消耗性生态用水量($10^8 m^3$)	面积(km^2)	生态用水模数 Mu ($10^4 m^3/km^2 \cdot a$)
太原市	0.5728	6878	0.8328
大同市	0.3743	14,097	0.2655
阳泉市	0.1472	4517	0.3259
长治市	0.3093	13,863	0.2231
晋城市	0.1308	9349	0.1399
朔州市	0.1032	10,656	0.0969
忻州市	0.4547	25,143	0.1808
吕梁市	0.5732	20,988	0.2731
晋中市	0.3905	16,347	0.2389
临汾市	0.3219	20,200	0.1594
运城市	0.1350	14,233	0.0948
平均	0.3194	14,206	0.2574

就行政分区而言，太原市由于其省会地位突出，生态建设始终走在全省示范前列，生态模数均值位列全省首位，为 $0.8328 \times 10^4 m^3/km^2 \cdot a$ ，高出全省 11 市的 10 年间均值 3.24 倍；阳泉市位列第二，也高于全省平均水平，为 $0.3259 \times 10^4 m^3/km^2 \cdot a$ ；大同市、吕梁市、晋中市和长治市属同一水平，与全省平均值差距不大。朔州和运城两市位列全省最末，约为均值的 60% 左右。运城市地处山西南部，多年平均降水量为 525 mm (1956~2005 年)，

水资源匮乏；朔州市地处晋北寒旱区域，多年平均降水量 428 mm，仅为全省均值的 84.12%，生态环境质量堪忧。这二市天然水资源条件较差，在生态用水的投入上过少会导致当地河湖水系及城镇生态环境的进一步恶化，值得重点关注。

3.3. 洛伦兹方法研究结果

3.3.1. 区位熵差异

为进一步探究山西省内各市生态用水量的空间变化，首先对各市 2011~2020 年逐年生态用水的区位熵进行了计算，结果如表 4 所示：

表 4. 2011~2020 年山西省各市生态用水区位熵

城市	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
太原	1.2676	1.2729	1.2802	1.1360	0.6582	0.5716	0.7957	0.7059	0.9382	1.1795
大同	0.6533	0.9061	0.9994	1.1041	0.6923	1.7079	1.0023	1.0262	0.8468	1.0451
阳泉	1.4530	0.9377	1.1023	1.2959	2.3844	0.6383	0.4594	0.8546	0.8092	0.6392
长治	0.9087	0.9791	0.8675	0.8661	1.0119	0.8912	0.9416	0.9958	1.3900	0.9837
晋城	1.4050	1.0005	1.0188	1.0284	0.9373	0.8228	0.8175	0.9278	0.6679	1.3323
朔州	0.7246	0.8714	1.2696	1.7359	0.9545	0.6436	1.1707	0.8483	0.8821	0.9476
忻州	0.9581	0.9706	0.8787	0.9460	1.4923	1.1517	1.3024	1.0898	0.8447	0.7374
吕梁	1.0782	1.0694	0.9555	1.0225	0.8611	0.8571	0.9230	1.1242	0.9447	1.0915
晋中	0.8894	0.8237	1.0587	0.8975	0.6827	1.2808	1.1728	1.1330	1.0311	0.9587
临汾	1.0452	1.0735	0.9230	0.7837	1.4468	1.1821	1.0844	1.0787	0.9072	0.7705
运城	0.3912	0.4642	0.4387	0.4589	0.4856	0.7392	1.1255	1.0921	2.3534	1.5114

表 4 显示，2011~2020 年，各市生态用水的区位熵总体呈上升趋势，但各市间差异较大，表明各市对于生态用水投入的力度仍存在差距。

首先对比研究期始、末的区位熵值变化发现，在研究期末的 2020 年，太原、大同、晋城、吕梁、运城等五市的区位熵值均大于 1，长治、朔州、晋中三市的区位熵也接近 1。十一市中有八个城市的区位熵在 1 附近，表明研究期末全省大多数市生态用水的投入水平相似。

而这 8 市中太原、长治、运城和吕梁四市为全省当年(2020 年) GDP 排名前四，显然这些市在发展经济的同时对于环境保护和维护也比较积极；阳泉、忻州、临汾三市的区位熵较小，且相比 2011 年都有一定程度的降低。其中阳泉和忻州两市分别为全省当年 GDP 倒数第 1、2 名，临汾市虽为全省当年 GDP 第五名，但生态用水投入仍落后于全省平均水平。由于区位熵反映了资源在地区层面的集聚水平，区位熵值越高，表明集聚水平越高。因此，各市在 2020 年的生态用水投入倾向于向经济发展水平较高地区集聚，也就是说，这些经济发达的城市大多也对环境生态保护和改善投入力度较大，反之经济发展水平落后的城市，其生态投入的力度也会略逊一筹，虽然这一规律并不绝对(比如临汾市)，但基本趋势已经显现。

其次，分析研究期内各市的区位熵变化，发现研究期各市的区位熵变化各异性强，共性规律不甚明显。但个别几个市仍存在一定的规律，如太原市、阳泉市、长治市、朔州市和运城 5 市在 2014~2016 年间的某一年都出现区位熵的下降。由于研究期跨越了山西省“十二五规划”(2011~2015 年)和“十三五”(2016~2020 年)时期，而 2014~2016 年恰好处于两个五年规划的交界时期，这 5 市的情况是否与两个五年规划衔接时期的社会经济发展转型相关，还有待于后续深入探讨。

3.3.2. 洛伦兹曲线差异

根据区位熵及其相关的公式，研究得出生态用水累积百分比，图 1 绘制出山西省生态用水洛伦兹曲线图。

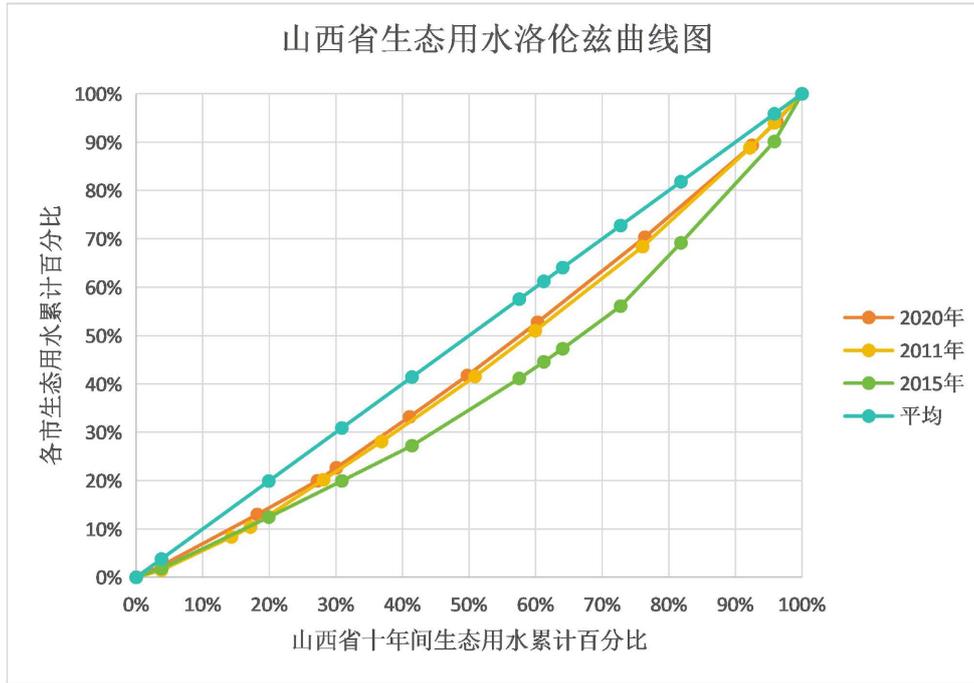


图 1. 山西省生态用水洛伦兹曲线图

图 1 分别为研究期始、中期、末的 2011 年 2015 年和 2020 年山西全省生态用水洛伦兹曲线，曲线显示三个关键年份的生态环境用水量整体变化幅度比较平缓，呈现出稳定发展的趋势。其中，2011 年和 2020 年的生态环境用水距离绝对平均线较近，表明研究期始、末年份各市生态用水投入差异较小；2015 年曲线则距离绝对平均线较远，表明该年各市在生态用水投入上差距较大。同上，该年处于两个五年计划转折点，各市在生态用水投入上的波动是否与过度时期的社会经济发展转型相关，还有待于后续进一步研究。

4. 生态用水影响因素分析

4.1. 全省整体情况

鉴于迄今为止，对于生态用水实际投入量的研究还很少，影响生态用水投入的影响因素也尚未有成熟的研究结论。因此基于常识和逻辑判断，研究尝试选取了建成区绿化面积、公路绿化里程、常住人口数量、GDP、水资源总量、年降水量、居民生活用水量、万元 GDP 用水量、农田灌溉亩均用水量等可能影响生态用水使用量的 8 个指标，分别与生态用水量进行皮尔逊相关分析，研究结果如表 5 所示：

表 5. 各市生态用水量与可能影响因素的相关分析结果

影响因素	参数	太原市	大同市	阳泉市	长治市	晋城市	朔州市	晋中市	运城市	忻州市	临汾市	吕梁市	山西省
建成区绿化覆盖面积(公顷)	R	-0.045	0.563	0.026	0.938**	-0.028	0.349	0.711*	0.693*	0.738*	0.254	0.454	0.690*
	P	0.901	0.09	0.943	0	0.94	0.323	0.021	0.026	0.015	0.479	0.187	0.027
公路绿化里程(km ²)	R	0.869**	0.437	-0.217	0.475	0.319	0.458	0.424	-0.524	0.216	-0.011	0.194	0.421
	P	0.001	0.207	0.547	0.165	0.368	0.183	0.222	0.12	0.55	0.976	0.591	0.225

续表

常住人口(万人)	R	0.441	-0.545	0.46	-0.542	-0.005	-0.213	0.586	-0.765**	0.142	-0.466	-0.451	-0.07
	P	0.202	0.104	0.181	0.105	0.989	0.555	0.075	0.01	0.695	0.174	0.191	0.849
GDP(亿元)	R	0.446	0.464	0.228	0.710*	0.424	0.61	0.498	0.853**	0.834**	0.5	0.839**	0.575
	P	0.196	0.177	0.527	0.021	0.222	0.061	0.143	0.002	0.003	0.141	0.002	0.082
水资源总量 (亿 m ³)	R	0.647*	0.622	-0.56	-0.496	-0.116	-0.019	0.21	0.960**	0.489	0.996**	-0.075	-0.114
	P	0.043	0.055	0.092	0.145	0.749	0.959	0.561	0	0.151	0	0.836	0.754
年降水量 (亿 m ³)	R	0.009	0.401	-0.308	0.367	0.222	-0.125	-0.13	-0.329	0.099	-0.518	-0.025	-0.155
	P	0.98	0.251	0.386	0.297	0.537	0.73	0.721	0.353	0.786	0.125	0.946	0.669
居民生活 用水量(亿 m ³)	R	0.827**	0.521	0.578	-0.558	0.712*	0.361	0.56	0.763*	0.288	0.538	0.601	0.651*
	P	0.003	0.123	0.08	0.094	0.021	0.306	0.092	0.01	0.42	0.109	0.066	0.041
万元 GDP 用水量(亿 m ³)	R	-0.316	-0.261	-0.367	-0.504	-0.17	-0.591	-0.647*	-0.704*	-0.638*	0.048	-0.251	-0.563
	P	0.373	0.467	0.297	0.138	0.638	0.072	0.043	0.023	0.047	0.895	0.485	0.09
农田灌溉亩均 用水量(亿 m ³)	R	0.101	-0.442	0.264	-0.261	-0.355	-0.349	-0.387	-0.171	-0.53	0.131	0.048	-0.308
	P	0.782	0.201	0.461	0.467	0.314	0.323	0.269	0.636	0.115	0.719	0.894	0.387

注: R 表示相关系数, P 表示两变量之间相关系数的显著性水平; *表示在 0.05 显著性水平上通过检验(即 P 值小于 0.05), **表示在 0.01 显著性水平上通过检验(即 P 值小于 0.01)。

结果显示, 全省建成区绿化面积和居民生活用水总量两个指标是影响生态用水量年际变化的主要因素, 根据相关分析结果, 二者在显著性为 0.05 的水平上达到显著相关, 相关系数分别为 0.69 和 0.651。这一结果与生态用水量的统计主要来源于城市建成区绿化灌溉, 而这部分绿化灌溉用水大都来源于城镇生活用水的废水回收再利用相符。

根据中国统计年鉴所载研究期山西省城市建成区绿化面积, 由绿化覆盖率 = 绿化面积/区域总面积 * 100% 的公式计算, 研究期 10 年间山西省的建成区绿化覆盖面积约增长了 16,455 公顷, 既反映了山西省在绿化美化生态环境上的投入和付出, 也证实了生态用水量的增长是由于大量绿化灌溉的用水需求; 同时, 就山西全省整体而言, 其他指标的相关分析均未通过显著性检验, 表明尚未发现其他因素与全省生态用水使用量变化间存在密切联系。

4.2. 各市情况

具体到各市的研究表明(表 5), 所选取的 8 个因素中通过相关分析显著性检验的因子出现频率分别为: 建成区绿化覆盖面积 4 次, GDP 4 次, 居民生活用水量 3 次, 水资源总量 3 次, 公路绿化里程 1 次, 常住人口 0 次, 年降水量 0 次, 万元 GDP 用水量 0 次, 农田灌溉亩均用水 0 次。

与全省整体情况有相似之处的是运城市、太原市、晋中市、忻州市、晋城市和长治市 6 市, 即上述建成区绿化面积和居民用水总量两个因素中的某一项或两项与这 6 市生态用水显示出一定相关关系, 但在影响程度和具体因素方面存在具体差异。比如: 运城市生态用水量与建成区绿化面积及居民生活用水量均呈显著相关(相关系数 0.938, 显著性水平 0.01; 相关系数 0.763, 0.05 显著性水平), 与全省情况一致, 此外, GDP、水资源总量两个因素也通过了显著性检验; 同样出现生态用水量与建成区绿化面积显著相关的还有晋中市、忻州市和长治市, 相关系数分别为在 0.05 显著性水平上的 0.711、0.693、0.738; 同样出现生态用水量与居民生活用水量显著相关的还有太原市(在 0.01 显著性水平上相关系数 0.827)、晋城市(在 0.05 显著性水平上相关系数为 0.712)。太原市的公路绿化里程和水资源总量两个因素也通过检验。而忻州市的生态环境用水量与 GDP 因素关系密切, 在

0.01 水平通过检验, 相关系数为 0.834。长治市除建成区绿地面积外, GDP 因素在 0.05 水平显著性上通过检验, 相关系数值为 0.710。

临汾市的生态用水和水资源总量之间的相关系数值为 0.996 ($\alpha = 0.01$), 同样的情况还发生在太原市和运城市; 吕梁市的生态用水和 GDP 之间的相关系数值为 0.839 ($\alpha = 0.01$), 同样的情况还发生在忻州市、长治市、运城市。

另外, 大同市、阳泉市、朔州市三市生态用水量变化与所选取的 8 个影响因素的相关关系均未通过相关显著性检验, 这三个市的生态环境用水量变化影响因素有待后续进一步研究。还有些城市的生态用水变化的影响因素分析中出现负相关, 因目前在原因上还无法解释, 也暂时忽略以待后续研究。

5. 结论

1) 2011~2020 年间, 山西省用水结构中工业用水的比重逐渐减少, 居民生活用水和生态环境用水占比逐渐增加, 工业用水和生活用水的集约循环程度提高可以在一定程度上促进生态用水的使用量增加。

2) 山西境内两流域的生态用水模数相近, 其中黄河流域单位面积上的生态用水投入量略多, 较海河流域多了近 10%, 但远低于两流域面积比 1:1.64, 表明区域面积大小因素与生态用水的投入量多少无关。

就行政分区而言, 太原市、阳泉市生态模数高于全省平均水平, 位居前列; 大同市、吕梁市、晋中市和长治市与全省平均值差距不大; 临汾、晋城和忻州三市低于全省均值, 朔州和运城两市位列全省最末, 因两地水资源匮乏, 生态用水低投入对环境的影响值得重点关注。

3) 2011~2020 年, 各市生态用水的区位熵总体呈上升趋势, 表明各市间生态用水的年际投入差距逐渐减小, 但同一年中各市间差异较大。总体而言, 各市区位熵变化差异性较强, 共性规律不甚明显, 但个别几个市仍存在一定的规律, 如太原、阳泉、长治、朔州和运城五市在 2014~2016 年间的某一年都出现区位熵的下降。由于研究期跨越了山西省“十二五规划”(2011~2015 年)和“十三五”(2016~2020 年)时期, 而 2014~2016 年恰好处于两个五年规划的交界时期, 这 5 市的情况是否与两个五年规划衔接时期的社会经济发展转型相关, 还有待于后续深入探讨。

到研究期末的 2020 年, 生态用水的投入水平差距大多数市之间已经减小, 而生态用水投入更倾向于向经济发展水平较高地区集聚, 即经济发达的城市大多也对环境生态保护和改善投入力度较大, 反之经济发展水平落后的城市其生态投入的力度也会略逊一筹, 虽然这一规律并不绝对(比如临汾市), 但基本趋势已经显现。

4) 洛伦兹曲线显示, 研究期始(2011 年)和研究期末年(2020 年)生态用水投入在各市间的差异较小; 研究中期(2015 年)时各市在生态用水的投入上差距较大。同样, 2015 年恰好也处于两个五年计划转折点, 这一点洛伦兹曲线与区位熵研究结果基本一致。

5) 相关分析结果显示, 研究期 10 年间的建成区绿化面积和居民用水总量两个指标是影响山西全省生态用水量年际变化的主要因素。具体到各市的研究表明, 所选取的 8 个因子中, 建成区绿化覆盖面积、GDP、居民生活用水量和当地水资源数量等四个因素对生态用水投入产生了影响, 但影响程度大小随上述四个因子的组合而产生差异。个别市的影响因子没有明显规律, 有可能存在更复杂的影响机制, 期待后续研究中通过更合适的模型加以探寻。

基金项目

山西省大学生创新创业训练项目(20220898); 太原师范学院大学生创新创业训练项目(20220898); 山西省高等学校人文社会科学重点研究基地项目: 汾河中上游流域“山水林田湖草-人”生态保护修复空间模式优化研究(20210112); 山西省哲学社会科学规划课题立项通知书: 汾河流域山水林田湖草沙一体化生态保护和修复对策研究(2023YY241)。

参考文献

- [1] 周琳, 周孝德, 杨方廷. 基于灰色关联度的山西省地表水资源分析[J]. 水利科技与经济, 2010, 16(2): 133-135.
- [2] 李萌, 范艺璇, 刘欣雨. 山西省生态用水发展态势的初步分析[J]. 地理科学研究, 2023(4): 529-538.
- [3] 山西省统计局, 国家统计局山西调查总队. 山西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011-2020.
- [4] 山西省水利厅. 山西省水资源公报 2011-2020 [R]. <http://slt.shanxi.gov.cn/>.
- [5] 张洪波, 兰甜, 王斌. 基于洛伦茨曲线和基尼系数的榆林市用水结构时空演化及其驱动力分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018(1): 15-24.
- [6] 李扬. 基于区位熵和洛伦兹曲线的山西省用水结构分析[J]. 中国农村水利水电, 2020(4): 181-185.
- [7] 韦大明, 路瑞. 基于生态位及其熵值的汾河流域用水结构研究[J]. 中国环保产业, 2021(11): 31-36.
- [8] 唐蓉, 谭定英, 张海扬, 谭火媛. 双变量相关分析法在嵌入式医学仪器特性的研究[J]. 现代计算机(专业版), 2015(21): 3-6.
- [9] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011-2020.
- [10] 王治国. 山西省生态用水态势及可持续评价研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2007.