基于结构方程模型的江西省水资源利用影响因素分析

丁 萌[1,2], 罗 璇[2], 郭 熙[1], 钟 亮[1]

(1.江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045; 2.江西省自然资源厅国土资源勘测规划院, 江西 南昌 330045)

摘 要: [目的] 分析江西省水资源利用的影响因素,为实现水资源可持续利用提供理论依据。[方法] 从水资源利用的定义出发,以水资源利用、社会发展、经济发展和生态环境为潜在变量,选取相关的指标为观测变量,通过建立结构方程模型(SEM)来定量分析影响江西省水资源利用的因素。[结果] SEM 较好地反映了江西省水资源利用的基本情况,其中经济发展、社会发展和生态环境都不同程度地影响水资源利用,表现为:经济发展(0.847)>社会发展(0.500)>生态环境(0.177),而水资源利用主要由水资源开发利用率(0.891)和人均水资源量(0.803)来反映。[结论] 由于江西省水资源利用受多方面因素的影响,综合各影响因素之间的影响关系和程度,建议政府应当综合考虑经济发达与欠发达地区的水资源利用情况,建立良好的节水机制,大力宣传节水措施,逐步提高水资源开发利用率,实现水资源可持续利用。

关键词: 水资源利用; 结构方程模型; 影响因素; 江西省

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2021)04-0182-07 **中图分类号**: TV213

文献参数: 丁萌, 罗璇, 郭熙, 等.基于结构方程模型的江西省水资源利用影响因素分析[J].水土保持通报,2021,41(4):182-188.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.04.026; Ding Meng, Luo Xuan, Guo Xi, et al. Influencing factors of water resources utilization in Jiangxi Province based on structural equation modeling [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(4):182-188.

Influencing Factors of Water Resources Utilization in Jiangxi Province Based on Structural Equation Modeling

Ding Meng[1,2], Luo Xuan[2], Guo Xi[1], Zhong Liang[1]

(1.*College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi* 330045, *China*; 2.*Land and Resources Surveying and Planning Institute of Jiangxi Province, Nanchang, Jiangxi* 330045, *China*)

Abstract: [Objective] The factors affecting water utilization in Jiangxi Province were analysed to provide theoretical evidence for sustainable utilization of water. [Methods] Based on the definition of water utilization, water utilization, social and economic development, and ecological environment were selected as latent variables. In addition, a structural equation model (SEM) was established to quantitatively analyse the factors affecting water utilization in Jiangxi Province. [Results] SEM could reflect the basic situation of water utilization in Jiangxi Province. Furthermore, in the model (SEM), economic development, social development and ecological environment all affected water utilization to varying degrees, and economic development (0.847) > social development (0.500) > ecological environment (0.177). Besides, the utilization of water was mainly reflected by the utilization rate of water development (0.891) and water resources per capita (0.803). [Conclusion] Since the utilization of water resources in Jiangxi Province was affected by many factors, the government should comprehensively consider the different conditions of water utilization in economically developed and under-developed areas. Moreover, the government ought to establish a good water-saving system, promote water-saving measures vigorously, increase the utilization rate of water gradually, and realize the sustainable utilization of water finally.

Keywords: **water resources utilization; structural equation modeling; influence factor; Jiangxi Province**

收稿日期:2020-12-31 **修回日期**:2021-04-12

资助项目:江西省赣鄱英才"555"领军人才项目"鄱阳湖流域农业资源与生态研究"(201295)

第一作者:丁萌(1996—),女(汉族),江苏省海安市人,硕士研究生,研究方向为土地资源利用、水资源利用。Email:dingm1996@126.com。

通讯作者:郭熙(1974—),男(汉族),江西省永丰县人,博士,教授,主要从事农业遥感与信息技术及土地资源利用方面研究。Email:xig435@163.com。

在全球气候变化与人类生产活动日益加剧的形势下,水资源利用问题日益严峻。目前,对水资源的定义是指地球上可利用或者可能被利用的且能满足某一地区某一时间具体需求的水源。广义上的水资源是指地球上水的总和[1-2],狭义的水资源是指与自然界相关的生态系统和人类生存发展密切相关的、可利用又能逐年恢复和更新的淡水资源[3-4]。而水资源利用是指通过开发各类水资源为居民提供符合质量要求的地表水与地下可用水源以及各个居民使用水的过程[5]。

近年来,由于经济的迅速发展和人口的快速增长加剧了水资源短缺、水污染和水资源供需不平衡等问题,区域水资源利用已经引起政府和专家的关注[6]。因此,分析水资源利用的影响因素可以调节人类与经济社会发展和生态之间的关系,对实现水资源利用—经济—社会—生态环境的可持续发展具有重要意义[7-8]。随着对水资源利用的深入研究,国内外学者已经在水资源利用方面进行了大量的探索。从水资源利用影响因素方面:左其亭等[9]建立 3 个准则层的评价指标体系并采用层次分析法和熵权法对九省区的水资源进行综合评价。朱达等[10]从农业、工业、生活和社会 4 个角度测算了省会城市的水资源利用效率。此外,现有对水资源利用影响因素的研究主要是产业结构、技术发展水平、农田水利设施等[11-12],但经济社会发展和生态环境也会对水资源利用产生影响[13]。从研究尺度方面,张国兴和徐龙[14]、贺玉晓等[15]从全国的尺度分析水资源利用效率和时空分布规律。刁艺璇等[16]、赵莺燕和于法稳等[17]从流域的角度分析水资源利用与经济发展之间的协调关系,并提出了相应的政策性意见。余灏哲等[18]、熊鹰等[19]、高新才和殷颂葵[20]从城市群角度分析区域间的关联程度进而分析水资源与经济发展的协调状况,为合理调控配置水资源提供参考依据。在研究方法方面,目前分析水资源利用效率的方法大多是数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)法[21-22]和随机前沿分析(stochastic frontier approach, SFA)法[23-24],由于 DEA 法和 SFA 法通过投入和产出之间的加权之比进而分析决策单元的利用效率,无需考虑投入变量和产出变量之间在量纲和数量级上的差异,故难以揭示各潜在变量之间的相互关系和影响程度。合理的指标体系应当兼顾定性与定量两个方面,而结构方程模型(structural equation modeling, SEM)能够考虑误差因素的影响,弥补了因子分析的缺点,可以精确估计观测变量和潜在变量之间的关系[25]。近年来江西省水资源供需矛盾等问题日益突出,江西省也面临着水资源利用效率较低等问题,因此,本文以江西省为例,运用结构方程模型,从经济、社会和生态 3 个方面对 2019 年江西省水资源利用情况进行综合分析,为提高水资源的利用效率提供依据。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

江西省位于我国东南部、长江中下游南岸,地处中亚热带湿润季风区,属丰水区。全省共设有 11 个设区市 100 个县(市、区),国土面积 1.67×10^5 km^2,境内水系发达,河流众多,拥有我国第一大淡水湖鄱阳湖。境内水系主要为长江和珠江两大水系,分别占 97.7%和 2.1%,此外尚有 243 km^2 面积属钱塘江及韩江流域诸水系,境内长江水系中,鄱阳湖水系占主要部分,在江西境内的面积达 1.57×10^5 km^2,占江西省流域面积的 96.6%。2019 年江西省水资源公报统计发现:全省年平均降水量 1 556 mm,总用水量 2.53×10^{10} m^3。水资源总量丰富但在水资源利用中仍存在不足,如水资源开发利用程度较低,水资源浪费现象普遍存在,水资源空间分布差异较大,降水量较丰沛、过境水量较丰富,但调蓄水量能力较低等问题[26]。

1.2　数据来源与处理

通过文献的梳理和对比,综合考虑江西省水资源利用的实际问题,结合数据的可获取性与指标选取的全面性与科学性等原则,同时借鉴前人的研究成果[27-31],从水资源利用、社会发展、经济发展和生态环境 4 个方面选取了 15 个观测变量(表 1)。综合考虑 2019 年江西省水资源利用与经济发展、社会发展和生态环境之间的联系。同时为消除各潜在变量指标之间量纲的差异,对原始数据统一进行以 10 为底的 log 函数转换处理。

2　研究方法

2.1　结构方程模型

在结构方程模型中,不能直接观察的变量为潜在变量,可以直接观察的变量为显变量[32]。该模型由结构模型和测量模型两部分构成,第一部分是结构模型,主要用路径关系图来描述潜在变量之间的关系〔公式(1)〕;第二部分是测量模型,主要描述测量指标与潜在变量之间的关系〔公式(2)—(3)〕。

$$\eta=B_\eta+\Gamma\xi+\zeta \tag{1}$$

$$X=\Lambda_X\xi+\delta \tag{2}$$

$$Y=\Lambda_Y\eta+\varepsilon \tag{3}$$

式中:η,ξ 分别为内生潜变量和外生潜变量;B,Γ 为

路径系数；ζ 为残差项；X，Y 分别是外生潜变量和内生潜 η 的观测变量；Λ_X，Λ_Y 分别表示观测变量对潜在变量 ξ 和 η 之间的关系；δ，ε 分别为 X 和 Y 的误差项。

数据处理与建模在 SPSS 22.0 和 AMOS 22.0 软件中完成。

表 1 水资源利用影响因子及其来源

潜变量	观测变量	选取依据	数据来源
水资源利用 Y_1	单位面积水资源量 A_1	反映水资源量的大小	2019 年水资源公报和水文年鉴
	水资源总量 A_2	反映每一用水人口平均每天的生活供水量	2019 年水资源公报和水文年鉴
	人均拥有水资源量 A_3	反映流域或区域用水量占水资源总量的比率	2019 年水资源公报和水文年鉴
	水资源开发利用率 A_4	反映区域水资源开发利用的程度	2019 年水资源公报和水文年鉴
	产水系数 A_5	反映每生产一个单位的地区生产总值的用水量	2019 年水资源公报和水文年鉴
经济发展 Y_2	国民生产总值 B_1	反映区域经济状况	2020 年统计年鉴
	农林渔牧总产值 B_2	反映区域在一定时期内农业生产总规模和总成果	2020 年统计年鉴
	人均 GDP B_3	反映区域人民生活水平的标准	2020 年统计年鉴
	工业总产值 B_4	反映区域一定时间内工业生产的总规模和总水平	2020 年统计年鉴
社会发展 Y_3	人均耕地面积 C_1	反映耕地的保障情况	2020 年统计年鉴和国民经济发展与社会发展公报
	人口密度 C_2	反映区域人口压力	2020 年统计年鉴和国民经济发展与社会发展公报
	城市化水平 C_3	反映社会发展总体水平	2020 年统计年鉴和国民经济发展与社会发展公报
生态环境 Y_4	生态环境用水率 D_1	反映生态系统与水资源利用的关系	2020 年江西省环境年鉴
	COD 环境容量 D_2	反映区域内人类活动造成影响的最大容量	2020 年江西省环境年鉴
	氨氮环境容量 D_3	反映人类活动对环境造成影响的最大容量	2020 年江西省环境年鉴

2.2 模型构建

结合研究区相关特征和已有的研究，本文总结了省域尺度下对水资源利用影响较大的 3 类因素：①经济发展。水资源利用在经济发展中发挥着十分重要的作用，水资源可以支撑区域经济的发展，水资源利用的高低很大程度上取决与经济发展的快慢。因此，经济发展可能直接影响水资源的利用[33]。②社会发展。近年来江西省城市化水平不断提高，全省通过改革促进社会发展，不断优化产业结构。根据区域的实际情况，通过增加第三产业的份额来提高居民收入，针对发展相对落后的县区更是因地制宜调整作物的种植面积和空间布局，合理控制区域的人口密度，加快城市化进程，因此，社会发展也可能直接影响水资源的利用[34]。③生态环境。江西省拥有我国第一大淡水湖鄱阳湖，在水资源治理和保护方面对鄱阳湖流域的生态保护和高质量发展具有不可替代的作用，合理调节鄱阳湖的水资源，加强水利设施的建设，通过提高生态用水的调蓄能力和合理配置水资源的功能来提高水资源的利用，故生态环境也可能对水资源产生不容忽视的影响[35]。

根据上述分析并结合江西省区域特征，提出以下 3 项研究假设：假设 1，社会发展综合指标对水资源利用综合指标有显著的正向影响；假设 2，经济发展综合指标对水资源利用综合指标有显著的正向影响；假设 3，生态环境综合指标对水资源利用综合指标有显著的正向影响。基于此，建立江西省水资源利用影响因素相互关系的概念模型，该模型包含 4 个潜在变量以及 15 个观测变量。综合运用 Cronbach's 和 Bartlett's 球形检验、卡方自由度比（Cmin/DF）、拟合优度指数（GFI）、近似误差的均方根（RMSEA）、规范拟合指数（NFI）、递增拟合指数（IFI）、Tucker-Lewis 指数（TLI）、比较拟合指数（CFI）、精简正规拟合指数（PNFI）、精简拟合优度指数（PGFI）等指标对所构建的模型进行信度检验[32]。

3 结果与分析

3.1 数据处理与信度分析

应用 SPSS 22.0 对数据的有效性进行信度分析，通过 Cronbach's 系数检验 4 个潜在变量的信度，结果详见表 2。水资源利用、经济发展、社会发展和生态环境潜在变量的 Cronbach's 分别为 0.786，0.678，0.799和 0.615，绝对值均大于 0.6，说明该数据有较好的信度；Bartlett's 球形检验值在 1%的水平上显著，表明各观测变量具有良好的效度[32]。

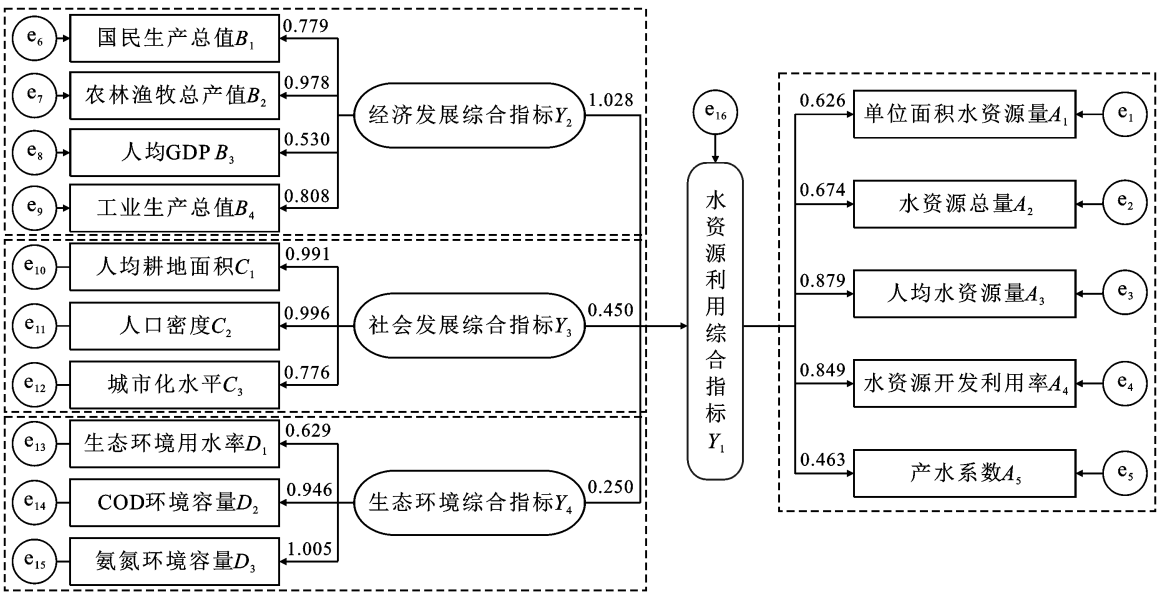
3.2 模型运算

根据江西省 100 个县（市、区）统计后的数据，运

用 AMOS22.0 软件对构建的水资源利用影响因素初始模型进行拟合,得到初始模型见图 1。从显著性与相关性来看,经济发展综合指标路径系数较不合理,不利于模型的优化,因此需要对模型进行修正。从表 3 中初始模型的拟合结果来看,模型各参数未达到评判标准[36],拟合效果一般,因此需要对初始模型进行修正。模型校正包括对参数合理性和适配性的修正,而模型拟合的参数越好并不代表模型的结果就越好,需要将理论与实际相结合进行修正,这样模型不仅有统计学的理论意义,也具有现实意义。通过多次的修正与拟合,最终得到修正模型(图 2)和拟合指标表(表 3),修正后的模型各项拟合指数均在标准范围之内,模型拟合度较好,潜在变量的效度和信度也符合要求,整个模型可以较好地解释各变量之间的相互关系。

表 2　各变量的信度和效度检验

潜变量	观测变量	Cronbach's	Bartlett's 球形检验
水资源利用综合指标 Y_1	单位面积水资源量 A_1 水资源总量 A_2 人均水资源量 A_3 水资源开发利用率 A_4 产水系数 A_5	0.786	704.443($p<0.001$)
经济发展综合指标 Y_2	国民生产总值 B_1 农林渔牧总产值 B_2 人均 GDP B_3 工业总产值 B_4	0.729	242.767($p<0.001$)
社会发展综合指标 Y_3	人均耕地面积 C_1 人口密度 C_2 城市化水平 C_3	0.799	237.066($p<0.001$)
生态环境综合指标 Y_4	生态环境用水率 D_1 COD 环境容量 D_2 氨氮环境容量 D_3	0.615	279.815($p<0.001$)



注:e_1—e_{15}为 15 个观测变量编号。下同。

图 1　江西省水资源利用影响因素分析初始模型

表 3　结构方程模型的适配度拟合指标

指数		评判标准	初始模型拟合结果	修正模型拟合结果
绝对拟合指数	Cmin/DF	1～3(越小越好)	4.738	1.778
	GFI	>0.9(>0.8 可接受)	0.670	0.804
	RMSEA	<0.1	0.193	0.089
相对拟合指数	NFI	>0.9(>0.8 可接受)	0.733	0.900
	IFI	>0.9	0.777	0.953
	TLI	>0.9	0.723	0.936
	CFI	>0.9	0.774	0.952
精简指数	PNFI	>0.5	0.598	0.668
	PGFI	>0.5	0.483	0.537

3.3　模型结果与分析

从修正模型图 2 和拟合指标表 4 来看,在构建模型时 3 个假设均成立。在有显著相关性的前提下,结构方程模型路径系数的绝对值越大,表示变量间的影响程度越大[32]。结果显示,经济发展、社会发展和生态环境对水资源利用都有显著的正向影响。其标准化路径系数分别为 0.847,0.500 和 0.177,表明江西省水资源利用主要受经济发展和社会发展的影响,随着经济和社会的发展,政府管理水平逐渐越高,在资金充足的情况下更有条件减少资源的浪费[6]。此外,生态环境对水资源利用的路径系数较低,说明生态环境对水资源利用的影响较小,这主要是因为近年来江西省生态环境趋好。

水资源利用的 5 个观测变量都会对水资源利用产生不同程度的影响。影响程度由高到低依次为:水

资源开发利用率(0.891)>人均水资源量(0.803)>水资源总量(0.713)>单位面积水资源量(0.663)>产水系数(0.489)。江西省属丰水区,水资源总量丰富,全省用水总量和控制指标完成情况较好,且近年来全省大力投入节水改造工程,通过加强农业节水、工业节水和城镇居民生活节水来逐步提高水资源开发利用率,这些都为提高全省水资源利用效率打下良好的基础。

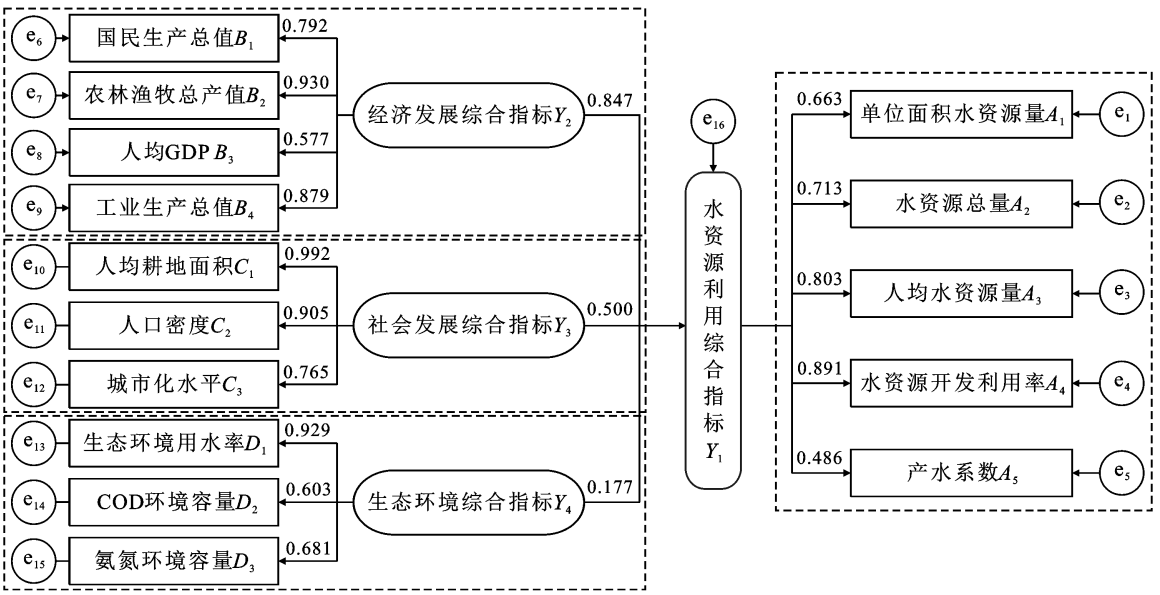


图 2 江西省水资源利用影响因素标准化修正模型

经济发展对水资源利用均有极显著($p<0.01$)的正向影响,其标准化路径系数为 0.847。影响程度由高到低依次为:农林渔牧总产值(0.930)>工业生产总值(0.879)>国民生产总值(0.792)>人均 GDP(0.577)。近年来江西省通过不断改革经济发展模式,优化三产结构,根据各地区的实际情况来逐步提高第三产业的占比。江西省作为农业大省,农林渔牧总产值占比较高,农业用水量也相对较高,水资源浪费现象较严重,全省农田灌溉水有效利用系数仅为 0.509,远低于发达国家 0.8 的平均水平,且现阶段较少运用先进的农业节水技术和灌溉耕作技术,农民节水意识不强,这也是影响水资源利用的原因。此外,随着江西省工业化进程的推进,工业用水量逐年增加,提高工业用水利用效率不仅可以提高工业总产值,也为保证未来江西省水资源利用提供保障[37]。

社会发展对水资源利用有显著($p<0.05$)的正向影响,其标准化路径系数为 0.500。影响程度由高到低依次为:人均耕地面积(0.992)>人口密度(0.905)>城市化水平(0.765)。江西省水资源总量虽然丰富,但耕地灌排设施布局凌乱,土质渠道较多,基础设施的落后影响了耕地的灌溉与排水,进而影响耕地的利用,这也是人均耕地面积影响最大的直接原因。此外,在加快城市化进程中,也要合理控制人口密度,这样既可以提高水资源的利用,也可以营造良好的生态环境[38-39]。

生态环境对水资源利用有显著($p<0.05$)的正向影响,其标准化路径系数为 0.177,生态环境对水资源利用的影响最小。影响程度由高到低依次为:生态环境用水率(0.929)>氨氮环境容量(0.681)>COD 环境容量(0.603)。近年来江西省生态环境发展较好,在逐步加大污水处理设施的同时严格控制污水排放标准,开发利用新技术,这也是生态环境路径系数较低的原因。

表 4 江西省水资源利用影响因素修正模型拟合结果

路径	标准化系数	路径	标准化系数
$Y_2\rightarrow Y_1$	0.847***	$B_2\rightarrow Y_2$	0.930***
$Y_3\rightarrow Y_1$	0.500**	$B_3\rightarrow Y_2$	0.577***
$Y_4\rightarrow Y_1$	0.177**	$B_4\rightarrow Y_2$	0.879***
$A_1\rightarrow Y_1$	0.663***	$C_1\rightarrow Y_3$	0.992***
$A_2\rightarrow Y_1$	0.713***	$C_2\rightarrow Y_3$	0.905***
$A_3\rightarrow Y_1$	0.803***	$C_3\rightarrow Y_3$	0.765***
$A_4\rightarrow Y_1$	0.891***	$D_1\rightarrow Y_4$	0.929***
$A_5\rightarrow Y_1$	0.486***	$D_2\rightarrow Y_4$	0.603***
$B_1\rightarrow Y_2$	0.792***	$D_3\rightarrow Y_4$	0.681***

注:*,**,*** 分别表示 10%,5%和 1%的水平上显著。

4 结论和讨论

4.1 结 论

(1) 经济发展、社会发展和生态环境对水资源利用都有显著的直接影响,影响程度从大到小依次是经

济发展(0.847)>社会发展(0.500)>生态环境(0.177)。

(2) 经济发展对水资源利用的影响程度由大到小依次为:农林渔牧总产值(0.930)>工业生产总值(0.879)>国民生产总值(0.792)>人均 GDP(0.577)。

(3) 社会发展的影响程度由大到小依次为:人均耕地面积(0.992)>人口密度(0.905)>城市化水平(0.765)。

(4) 生态环境的影响程度由大到小依次为:生态环境用水率(0.929)>氨氮环境容量(0.681)>COD 环境容量(0.603)。

由于水资源利用的影响因素具有复杂性,不同尺度范围内其影响因素都会发生改变,本文选取江西省 100 个县(市、区),研究结果可以为南方丰水区水资源利用影响因素分析提供一定的参考依据。

4.2 讨论

(1) 建立良好的节水机制,减少对水资源的无效投入。一方面增加水产养殖与水利方面的投入和利用,另一方面应当保护好当地的水资源,逐步加强对水资源的开发与管理[40]。积极响应国家建立节水型社会的号召,建立节水型社会是提高江西省用水效率、解决水资源供需矛盾等问题的最好途径;当区域水资源相对丰富时,人民的节水意愿与采取节水措施可能性会相对较低,这样不仅会降低水资源的利用效率,也会加剧水资源浪费[41],应当学习国内外先进的水资源管理知识与经验以此提高水资源利用效率。

(2) 综合考虑不同地区水资源利用的实际情况。经济相对发达的地区应当加强对生产设备、供水水利设施等基础设施的投资;经济欠发达地区由于在供水与节水方面投入力度相对有限,水资源利用方式较发达地区会更加粗放,整体的水资源利用效率会较低[16],应当加大对节水设备的投入,提高居民的节水意识逐步提高水资源的利用。

(3) 提高政府宣传节水措施的力度,普及人民的节水意识,让居民意识到水资源保护的重要性。此外还可以在符合江西省发展的前提下,合理规划江西省水资源利用的内容与方向,结合实际情况从经济发展、社会发展和生态环境 3 个方面综合提高水资源利用效率。

要说明的是,本文的研究结果基于某一时间点的现状数据,但各影响因素的相互作用是一个动态变化的过程,随着数据的变化结构方程模型也会随之变化。在数据量充足的情况下,应当收集不同时期的数据,建立不同时期的结构方程模型进行对比分析,可以使结果更具有科学性。

[参 考 文 献]

[1] 周迪,周丰年.中国水资源利用效率俱乐部趋同的检验、测度及解释:2003—2015 年[J].自然资源学报,2018,33(7):1103-1115.

[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] Zhou Chaofan, Gong Huili, Chen Beibei, et al. Land subsidence response to different land use types and water resource utilization in Beijing-Tianjin-Hebei, China [J]. Remote Sensing, 2020,12(3):457.

[4] Liu Dehai, Ji Xiaoxiao, Tang Jiafu, et al. A fuzzy cooperative game theoretic approach for multination water resource spatiotemporal allocation [J]. European Journal of Operational Research, 2020,282(3):1025-1037.

[5] 张冉,王义民,畅建霞,等.基于水资源分区的黄河流域土地利用变化对人类活动的响应[J].自然资源学报,2019,34(2):274-287.

[6] 任玉芬,方文颖,欧阳志云,等.基于面板数据的我国城市水资源水环境随机前沿面分析[J].环境科学学报,2020,40(7):2638-2643.

[7] Yang Shiliang, Wang Huimin, Tong Jinping, et al. Technical Efficiency of China's Agriculture and Output Elasticity of Factors Based on Water Resources Utilization [J]. Water, 2020,12(10):2691.

[8] 贾陈忠,乔扬源,关格格,等.山西省水资源生态足迹时空变化特征及驱动因素[J].水土保持研究,2019,26(2):370-376.

[9] 左其亭,张志卓,吴滨滨.基于组合权重 TOPSIS 模型的黄河流域九省区水资源承载力评价[J].水资源保护,2020,36(2):1-7.

[10] 朱达,唐亮,谢启伟,等.基于数据包络分析方法的城市水资源利用效率研究[J].生态学报,2020,40(6):1956-1966.

[11] 赵良仕,孙才志,刘凤朝.环境约束下中国省际水资源两阶段效率及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2017,27(5):27-36.

[12] 丁绪辉,高素惠,吴凤平.环境规制、FDI 集聚与长江经济带用水效率的空间溢出效应研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(8):148-155.

[13] 巩灿娟,徐成龙,张晓青.黄河中下游沿线城市水资源利用效率的时空演变及影响因素[J].地理科学,2020,40(11):1930-1939.

[14] 张国兴,徐龙.基于时空维度的水资源与经济匹配分析[J].水电能源科学,2020,38(3):54-57.

[15] 贺玉晓,苏小婉,任玉芬,等.中国生态地理区城市水资源利用效率时空分异特征[J].生态学报,2020,40(20):7464-7478.

[16] 刁艺璇,左其亭,马军霞.黄河流域城镇化与水资源利用水平及其耦合协调分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),2020,56(3):326-333.

[17] 赵莺燕,于法稳.黄河流域水资源可持续利用:核心、路径及对策[J].中国特色社会主义研究,2020(1):52-62.
[18] 余灏哲,李丽娟,李九一.一体化进程中京津冀水资源利用与城市经济发展关系时空分析[J].南水北调与水利科技,2019,17(2):29-39.
[19] 熊鹰,苏孟婷,张方明,等.长株潭城市群城镇化进程与水资源利用响应关系研究[J].人文地理,2018,33(6):69-76.
[20] 高新才,殷颂葵.西北地区城市水资源利用效率时空演变及俱乐部趋同分析[J].经济经纬,2021,38(2):5-13.
[21] 郑乐,杨法暄,钱会,等.基于超效率 DEA 模型的宁夏工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.
[22] 李莉,刘爽.基于 DEA-BCC 模型的新疆水资源利用效率时空差异性分析[J].水文,2019,39(2):28-32.
[23] 李跃.基于 SFA 的我国区域水资源利用效率及影响因素分析[J].水电能源科学,2014,32(12):39-42.
[24] 陈菁泉,刘娜,马晓君.中国八大综合经济区能源生态效率测度及其驱动因素研究[J].中国环境科学,2021,41(5):2471-2480.
[25] 刘润润,薛景丽,郑新奇.结构方程模型在城市研究中的应用述评[J].资源开发与市场,2012,28(3):222-226.
[26] 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.
[27] 崔丹,李瑞,陈岩,等.基于结构方程的流域水环境承载力评价:以湟水流域小峡桥断面上游为例[J].环境科学学报,2019,39(2):624-632.
[28] 张宁宁,粟晓玲,周云哲,等.黄河流域水资源承载力评价[J].自然资源学报,2019,34(8):1759-1770.
[29] Pan Zhengwei, Wang Yanhua, Jin Juliang, et al. Set pair analysis method for coordination evaluation in water resources utilizing conflict [J]. Physics and Chemistry of the Earth (Parts A/B/C),2017,101:149-156.
[30] 韩雁,贾绍凤,鲁春霞,等.水资源与社会经济发展要素时空匹配特征:以张家口为例[J].自然资源学报,2020,35(6):1392-1401.
[31] 周有荣,崔东文.云南省水资源—经济—社会—水生态协调度评价[J].人民长江,2019,50(3):136-144.
[32] 吴明隆.结构方程模型-AMO 的操作与应用[M].重庆:重庆大学出版社,2008.
[33] 凌敏华,陈万贺.地下水资源对新疆经济社会支撑作用的定量评价[J].水资源保护,2021,37(2):49-54,64.
[34] 吴青松,马军霞,左其亭,等.塔里木河流域水资源—经济社会—生态环境耦合系统和谐程度量化分析[J].水资源保护,2021,37(2):55-62.
[35] 张红武,张罗号,景唤,等.山东对黄河流域生态保护和高质量发展的作用不可替代[J].水利水电技术(中英文),2021,52(1):1-21.
[36] 林嵩.结构方程模型原理及 AMOS 应用[M].湖北 武汉:华中师范大学出版社,2008.
[37] 郑乐,杨法暄,钱会,等.基于超效率 DEA 模型的宁夏工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.
[38] 马历,唐宏,冉瑞平,等.四川水资源压力与耕地利用效益变化的格局及耦合关系[J].中国农业资源与区划,2019,40(11):9-19.
[39] 韩雁,贾绍凤,鲁春霞,等.水资源与社会经济发展要素时空匹配特征:以张家口为例[J].自然资源学报,2020,35(6):1392-1401.
[40] 焦士兴,崔思静,王安周,等.河南省城镇化进程与水资源利用响应关系[J].水土保持研究,2020,27(4):239-246.
[41] 何刚,夏业领,秦勇,等.长江经济带水资源承载力评价及时空动态变化[J].水土保持研究,2019,26(1):287-292.

(上接第 181 页)

[25] 刘春芳,王川,刘立程.三大自然区过渡带生境质量时空差异及形成机制:以榆中县为例[J].地理研究,2018,37(2):419-432.
[26] 张学儒,周杰,李梦梅.基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析[J].地理学报,2020,75(1):160-178.
[27] 郭丽洁,尹小君,苟贞珍,等.基于 InVEST 模型的阿克苏河流域产水量评估及环境因素影响研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2020,38(2):216-224.
[28] 段峥嵘,祖拜代·木依布拉,夏建新.新疆阿克苏地区潜在蒸散量时空演变及驱动因素[J].新疆大学学报(自然科学版),2018,35(4):493-501,512.
[29] Fischer G, Nachtergaele F, Prieler S, et al. Global agro-ecological zones assessment for agriculture (GAEZ2008) [M]. Laxenburg, Austria: IIASA, 2008.
[30] 周文佐.基于 GIS 的我国主要土壤类型土壤有效含水量研究[D].江苏 南京:南京农业大学,2003.
[31] 窦攀烽,左舒翟,任引,等.气候和土地利用/覆被变化对宁波地区生态系统产水服务的影响[J].环境科学学报,2019,39(7):2398-2409.
[32] 李军玲,郭其乐,彭记永.基于 MODIS 数据的河南省冬小麦产量遥感估算模型[J].生态环境学报,2012,21(10):1665-1669.
[33] 徐自为,张智杰.基于土地利用变更调查的 2010—2016 年新疆尉犁县生态系统碳储量时空变化.环境科学研究,2018,31(11):1909-1917.
[34] 中共中央办公厅.国务院办公厅印发《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》[R/OL]. http: // www. gov. cn/zhengce/2019-11/01/content_5447654.htm.2019.