

江西省水资源生态足迹时空格局

谷文林, 刘 枫, 井沛然

(河海大学商学院, 江苏 南京 211100)

摘要:基于水资源生态足迹模型和水资源生态承载力模型,构建包括人均水资源生态盈余(赤字)、水资源生态压力指数和万元 GDP 水资源生态足迹在内的评价指标体系,对 2010—2018 年江西省水资源生态足迹时空格局进行分析。结果显示:在时间序列方面,江西省及各地级市水资源生态足迹整体呈波动上升趋势,水资源生态承载力波动较大;在空间分布方面,赣州市和宜春市的水资源生态足迹与水资源生态承载力位居全省前列,其他各地级市差异较大;南昌市部分年份出现人均水资源生态赤字,水资源生态压力指数较大,但万元 GDP 水资源生态足迹低,用水效率全省最高。

关键词:水资源;生态足迹;生态承载力;时空格局;江西省

中图分类号:P964 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-9511(2021)01-0058-07

随着人口增长和社会发展,生态文明建设的地位日趋重要。中国共产党第十九次全国代表大会报告指出:“要加快生态文明体制改革,建设美丽中国。”生态文明建设的重要内容之一就是自然资源的可持续利用。水资源作为人类生产、生活必不可少的资源,其可持续利用状况关系到人类社会的健康发展。但是在当前阶段,我国的水资源状况并不乐观,人均水资源量远低于全球平均水平,仅 62.8% 的水资源和 22.2% 的湖泊水质可饮用,约 2/3 的城市存在不同程度的水资源短缺^[1]。江西省地处中国东南部,属于亚热带季风气候,降水较多,省内河网密布,区域内有著名的鄱阳湖自然保护区。由于季风气候的不稳定性,台风、旱涝等灾害频发,水资源时空分布不均。随着江西省社会经济的发展 and 人口的增长,水资源供需矛盾日益突出,水资源开发利用效率以及水资源环境污染等问题亟须解决。

1992 年 Rees^[2]首次提出生态足迹理论,为区域水资源可持续利用评价提供了全新的视角。水资源生态足迹可以表述为:在特定人口和经济状况下,为了维持人们正常的生产生活,水资源消费以及消纳水污染所必须的生态生产性土地面积^[3-5]。水资源生态足迹核算基于两个假设条件:第一,能够对人们所消费及浪费的大部分水资源

进行跟踪;第二,人们消费及浪费的水资源能够被转化为生物生产性土地面积^[6]。在国内研究中,徐中民等^[7]首次将生态足迹法引入中国,并使用该方法对甘肃省生态足迹进行了测算;同年,张志强等^[8]对生态足迹法的理论概念与计算模型进行了系统介绍,将生态足迹法完整地引入了国内;龙爱华等^[9]将生态足迹法应用于水资源领域,对西北四省(区)水资源可持续利用状况进行了评价;黄林楠等^[10]以生态足迹模型为基础,提出产量因子和均衡因子模型,并用该模型对江苏省水资源可持续利用状况进行了评价;张义等^[11]建立了水污染生态足迹模型,并将该模型引入水资源生态足迹的计算中;陶倩君等^[12]运用时空分析和相关分析等方法对广东省 2000—2014 年的水资源生态足迹进行评价。参考近几年国内研究文献,研究对象以干旱省份和经济区域为主^[13-16],对南方水资源充沛的省份研究较少。由于各省对地级市的水资源数据披露情况不尽相同,水资源生态足迹空间研究也相对匮乏。

本文以江西省为研究对象,对其 2010—2018 年水资源生态足迹时空格局进行系统评价,以期为该地区水资源可持续利用以及水资源政策的制定提供借鉴。

基金项目:江苏省研究生科研创新计划(KYCX20_0558)

作者简介:谷文林(1967—),男,副教授,博士,主要从事内控制度设计研究。E-mail:wlg@hhu.edu.cn

1 模型构建与指标计算

1.1 模型构建

1.1.1 一级水资源生态足迹模型

现阶段水资源生态足迹模型发展较为完善,根据陆砚池等^[17]的研究,一级水资源生态足迹模型可以描述为

$$E_w = Nf_w = R_w(W/P) \quad (1)$$

其中 $P = Q/S$

式中: E_w 为水资源生态足迹, hm^2 ; N 为区域内总人口数; f_w 为人均水资源生态足迹; R_w 为水资源全球均衡因子; W 为区域内消耗的水资源总量, m^3 ; P 为区域水资源生产能力, m^3/hm^2 ; Q 为区域内水资源总量, m^3 ; S 为区域面积, hm^2 。

参照世界自然基金会核算的各类土地均衡因子, R_w 取值为 5.19。使用水文学中产水模数这一概念来衡量区域水资源生产能力 P , 产水模数为区域内水资源总量与区域面积的比值, 表示区域内每公顷土地所分配的水资源量:

1.1.2 二级水资源生态足迹模型

《江西省水资源公报》将年用水总量指标细分为六类:农田灌溉用水量、林牧渔畜用水量、工业用水量、城镇公共用水量、居民生活用水量和生态环境用水量。按照用水特性可以将这六类划归为生活用水量、生产用水量和生态用水量三大类综合用水指标, 账户划分情况见表 1。根据一级水资源生态足迹模型, 建立生活用水生态足迹模型、生产用水生态足迹模型和生态用水生态足迹模型 3 个二级水资源生态足迹模型。生活用水生态足迹模型为

$$E_{dw} = Nf_{dw} = R_w(W_d/P) = R_w W_d / (Q/S) \quad (2)$$

式中: E_{dw} 为生活用水生态足迹, hm^2 ; f_{dw} 为人均生活用水生态足迹; W_d 为区域内生活用水总量, m^3 。将 W_d 换成生产用水量和生态用水量, 可以得到生产用水生态足迹模型 E_{iw} 和生态用水生态足迹模型 E_{ew} 。水资源生态足迹模型可以表示为

$$E_w = E_{dw} + E_{iw} + E_{ew} \quad (3)$$

表 1 水资源生态足迹账户划分

一级生态足迹	二级生态足迹	综合用水指标	细分用水指标
水资源生态足迹	生活用水生态足迹	生活用水量	城镇公共用水量 居民生活用水量
	生产用水生态足迹	生产用水量	农田灌溉用水量 林牧渔畜用水量
	生态用水生态足迹	生态用水量	工业用水量 生态环境用水量

1.1.3 水资源生态承载力模型

水资源生态承载力是指在一定区域和时间内, 水资源能够满足该区域社会发展和人口增长的最大

供给量^[18]。为实现可持续发展, 区域的水资源开发利用效率应不超过 40%^[19], 因此在水资源生态承载力的计算中要扣除 60% 用于维持当地生态环境。水资源生态承载力模型构建如下:

$$C_w = Nc_w = (1 - 60\%) \psi R_w (Q/P) \quad (4)$$

其中 $\psi = P/P_w$

式中: C_w 为水资源生态承载力, hm^2 ; c_w 为人均水资源生态承载力; ψ 为区域水资源产量因子, 该变量可以对不同地区同类生态生产能力进行比较; P_w 为全球单位面积产水量, 参考方伟成等^[20]的研究, P_w 取值为 3 140 m^3/hm^2 。

区域水资源生态承载力也可以用“区域地表水资源生态承载力与地下水生态承载力之和”来表示:

$$C_w = C_{sw} + C_{lw} \quad (5)$$

式中: C_{sw} 为地表水资源生态承载力, 其计算方法是将式(5)的区域水资源总量 Q 换成区域地表水资源总量; C_{lw} 为地下水生态承载力, 计算方法同 C_{sw} 。

1.2 指标计算

1.2.1 人均水资源生态盈余(赤字)

人均水资源生态盈余(赤字)是用来衡量区域内水资源是否满足该区域生产、生活以及生态用水的需求^[21], 其表达式为

$$D_w = (C_w - E_w) / N \quad (6)$$

式中: D_w 为人均水资源生态盈余(赤字), 当 $D_w > 0$ 时, 表示人均水资源生态盈余, 区域内水资源可以满足各方面的用水需求; 当 $D_w < 0$ 时, 表示人均水资源生态赤字, 区域内水资源不能满足用水需求。

1.2.2 水资源生态压力指数

水资源生态压力指数反映了一个国家或地区水资源的稀缺程度和安全程度^[22], 用水资源生态足迹与水资源生态承载力的比值表示。根据王先庆等^[23]的研究, 水资源生态压力指数可分成不同区间: 水资源生态压力指数大于 1, 水资源供给不足, 水资源安全性较差; 水资源生态压力指数等于 1, 水资源供给与需求达到平衡, 水资源安全性有待提高; 水资源生态压力指数在 0.5 ~ 1 的区间内, 水资源供给较为充足, 水资源安全性较高; 水资源生态压力指数小于 0.5, 水资源供给充足, 水资源安全性高。

1.2.3 万元 GDP 水资源生态足迹

万元 GDP 水资源生态足迹反映的是水资源的利用效率^[24], 用区域水资源生态足迹与该区域相应年份 GDP 的比值表示。万元 GDP 水资源生态足迹与水资源利用效率之间具有负相关性, 即万元 GDP 水资源生态足迹越低, 水资源利用效率越高。

本文的水资源指标数据来自 2010—2018 年各年度《江西省水资源公报》，人口、土地面积和 GDP 数据来自 2010—2018 年各年度《江西省统计年鉴》。

2 计算结果与分析

2.1 区域水资源生产能力

在水资源生态足迹模型中,用产水模数来衡量区域水资源生产能力。由于江西省年降水量差异较大,各年度产水模数会有较大不同,最终计算出的历年水资源生态足迹会出现大幅度变动。为了排除历年降水量对水资源生态足迹的影响,参考赵春芳等^[25]的研究,将样本年度内各地级市的产水模数取平均值作为各自的水资源生产能力,见表 2。

表 2 江西省及各地级市水资源生产能力

行政区	水资源生产能力/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	行政区	水资源生产能力/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)
南昌	1.040	赣州	0.817
景德镇	1.199	宜春	1.081
萍乡	1.049	上饶	1.282
九江	0.898	吉安	0.940
鹰潭	1.399	抚州	1.180
新余	0.974	江西省	1.036

2.2 江西省水资源生态足迹与水资源生态承载力

2010—2018 江西省年水资源生态足迹账户相关指标的计算结果见表 3。研究期内,水资源生态足迹呈现波动上升的变化趋势,生产用水生态足迹所占比重最大,每年均超过 87%,且历年变化较小;生活用水生态足迹每年稳定上升,这与人口的增加、居民生活方式的转变等因素都有密切关系;生态用水生态足迹呈现逐年上升的变化轨迹,说明江西省在生态方面的用水量逐年增加,这与其所倡导的绿色发展模式相吻合。

江西省水资源生态承载力波动较大。由式(4)可知,水资源生态承载力与水资源总量具有正相关性,影响水资源总量的最主要因素是降水量。江西省属季风气候,季风的不稳定性易造成各年度降水量出现较大差异,水资源生态承载力会随着降水量

表 3 2010—2018 年江西省水资源生态足迹账户

年份	水资源生态足迹/ 万 hm^2				水资源生态承载力/ 万 hm^2			人均水资源生态盈余/ hm^2
	生产用水	生活用水	生态用水	总和	地表水资源	地下水资源	总和	
2010	1061.23	120.22	19.49	1200.94	4681.77	1010.64	5692.41	1.07
2011	1081.77	124.43	10.31	1216.51	2115.32	654.42	2769.74	0.13
2012	1073.85	130.79	10.27	1214.91	4475.42	959.69	5435.11	0.99
2013	1081.02	134.65	10.62	1226.29	2917.38	785.50	3702.88	0.46
2014	1081.27	137.05	10.42	1228.74	3349.17	824.65	4173.82	0.62
2015	1080.72	139.90	10.67	1231.29	4116.69	965.28	5081.97	0.88
2016	1075.41	142.610	11.02	1229.0	4573.93	1042.01	5615.94	1.01
2017	1086.88	143.96	11.47	1242.31	3398.83	787.78	4186.61	0.62
2018	1099.45	145.014	11.87	1256.33	2345.57	619.77	2965.34	0.23

的差异而波动变化。受水资源生态承载力波动的影响,各年度人均水资源生态盈余也出现同向变动。此外,江西省人口数量每年稳定上升,但对人均水资源生态盈余的变化没有显著影响。

2.3 江西省各地级市水资源生态足迹

江西省各地级市 2010—2018 年水资源生态足迹整体上较为平稳(图 1)。根据水资源生态足迹计算结果,可将 11 个市分成 3 组:第一组包括赣州市和宜春两市,水资源生态足迹常年保持在较高水平;第二组包括吉安、南昌、九江、上饶和抚州 5 市,水资源生态足迹保持在中等水平;第三组包括新余、萍乡、景德镇和鹰潭 4 市,水资源生态足迹处于较低水平。以 2018 年各地级市用水情况(表 4)为例,对江西省水资源生态足迹空间分布状况进行解释。

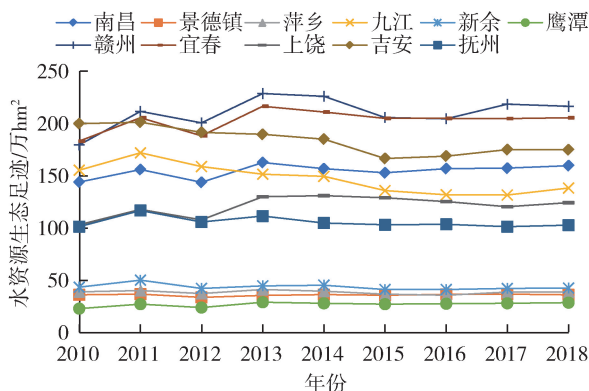


图 1 江西省各地级市水资源生态足迹

a. 第一组。在用水总量方面,2018 年宜春市和赣州市用水总量分别为 42.81 亿 m^3 和 34.04 亿 m^3 ,位居全省第一、二位。在具体用水指标方面,宜春市工业用水量为 14.59 亿 m^3 ,占全省工业用水总量的 24.83%,所占比重最大。宜春市第二产业中以锂电能源、纺织和建筑等水资源消耗极高的行业为主,该市的锂电新能源、丰城再生铝、奉新棉纺织等产业被列为省级重点产业集群,产生了极大的用水需求。赣州市居民生活用水量位居全省第一,达 4.1 亿 m^3 。在 2018 年江西省各市人口排名中,赣州市以常住人口 850.75 万人高居全省第一,生活用水量需求巨

大。较高的用水量是宜春市和赣州市水资源生态足迹高的主要原因。

b. 第二组、第三组。各市用水总量第二组均超过 20 亿 m³, 第三组均低于 10 亿 m³。在具体用水指标方面, 农田灌溉用水量和居民生活用水量是两组用水总量产生差异的主要原因。第三组中 4 个市的农田灌溉用水量合计为 16.28 亿 m³, 仅与第二组中南昌市的农田灌溉用水量大致相当。在居民生活用水量方面, 第三组最高的萍乡市仅为 0.97 亿 m³, 第二组中最低的抚州市已达到 1.85 亿 m³, 其他各市均超过 2 亿 m³。较高的农田灌溉用水量、居民生活用水量和用水总量是第二组水资源生态足迹高于第三组的主要原因。

对研究时段内其他各年度江西省各市用水量进行统计, 其他各年度状况与 2018 年大致相同, 验证了结论的准确性。

2.4 江西省各地级市水资源生态承载力

江西省 11 个地级市各年度水资源生态承载力呈现较大的波动(图 2)。江西省气候湿润, 降水偏多, 受梅雨、强降雨以及“早春汛”的影响, 2010 年全省降水量达到 3 482.89 亿 m³, 较多年均值高于 23.7 亿 m³; 2012 年全省降水量 3 614.53 亿 m³, 较多年均值高于 32.2 亿 m³。这两年均属于丰水年份, 各市的水资源生态承载力均达到了较高水平。2011 年和 2018 年江西省梅雨持续时间短, 整体降水较少, 部分地区出现夏秋连旱, 2011 年降水量为 2 176.4 亿 m³, 低于多年均值 20.4 亿 m³; 2018 年降水量 2 483.6 亿 m³, 低于多年均值 9.2 亿 m³。这两年属于枯水年份, 各市的水资源生态承载力都处于较低水平。

从空间分布来看(图 2), 11 个地级市大致可分成 3 组: 第一组为赣州市, 各年份水资源生态承载力都高居全省第一位; 第二组包括吉安、抚州、上饶、宜春和九江 5 个市, 各市水资源生态承载力处于全省中等水平; 第三组包括南昌、景德镇、鹰潭、萍乡和新

余 5 个市, 各市水资源生态承载力长期处于全省较低水平。对于江西省水资源生态承载力空间分布状况, 以 2018 年为例, 结合表 5 从降水量、水库蓄水量以及地表水总量 3 个角度进行解释。

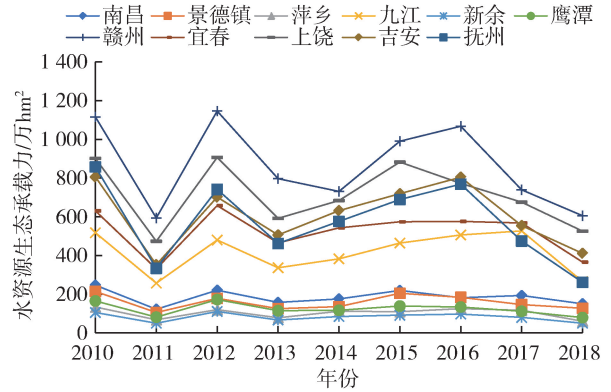


图 2 江西省各地级市水资源生态承载力

a. 第一组。在降水量方面, 赣州市地处江西省最南部, 梅雨季节开始时间早于其他各市, 结束时间相对较晚, 全市受梅雨影响时间长。2018 年降水量达 546.89 亿 m³, 占全省降水总量的 22.02%, 高居全省第一。在水库蓄水量方面, 赣州市拥有大中型水库共计 49 座, 水库数量全省第一, 蓄水量为 12.81 亿 m³, 位居全省第四。在地表水方面, 2018 年赣州市地表水资源总量达到 222.92 亿 m³, 占全省地表水资源总量的 19.73%, 位居全省第一。降水多、地表水量丰沛, 水库蓄水充足, 这是赣州市水资源生态足迹全省最高的主要原因。

b. 第二组与第三组。在降水量方面, 由于江西省降水量呈现出从东南向西北递减的变化轨迹, 位于东南部的吉安、抚州和上饶 3 个市降水量均超过 300 亿 m³, 宜春市和九江市降水量也在 250 亿 m³ 之上, 对比而言, 第三组 5 个市的降水量均未超过 100 亿 m³。在蓄水量方面, 第二组的九江市水库蓄水量达到 47.81 亿 m³, 占全省水库蓄水总量的 38.91%, 高居全省第一。吉安市和宜春市水库蓄水量分别为 21.37 亿 m³ 和 19.23 亿 m³, 位居全省第二、三位。

表 4 2018 年江西省各地级市用水量

组别	行政分区	农田灌溉用水量	林牧渔畜用水量	工业用水量	城镇公共用水量	居民生活用水量	生态环境用水量	用水总量
第一组	宜春	23.67	1.08	14.59	0.60	2.69	0.81	42.81
	赣州	21.59	2.48	4.51	1.04	4.10	0.33	34.04
第二组	吉安	22.46	0.79	5.67	0.33	2.28	0.17	31.70
	南昌	16.98	0.47	9.13	1.79	3.01	0.64	32.02
	九江	12.61	0.27	8.03	0.53	2.31	0.2	23.95
	上饶	21.86	0.78	4.10	0.66	3.15	0.22	30.77
第三组	抚州	17.08	1.47	2.46	0.42	1.85	0.16	23.44
	新余	3.87	0.24	2.96	0.23	0.64	0.10	8.04
	萍乡	3.16	0.36	2.96	0.35	0.97	0.08	7.88
	景德镇	4.67	0.08	2.31	0.26	0.89	0.17	8.38
	鹰潭	4.58	0.19	2.03	0.26	0.59	0.12	7.77

表5 2018年江西省各地级市水资源生态承载力影响因素
亿 m³

组别	行政分区	年降水量	水库蓄水量	地表水资源总量
第一组	赣州	546.89	12.81	222.92
	吉安	369.98	21.37	157.04
	抚州	305.60	7.03	125.87
第二组	宜春	280.64	19.23	137.62
	上饶	385.60	8.89	204.88
	九江	253.16	47.81	98.77
	南昌	96.56	0.35	59.33
第三组	景德镇	98.10	0.81	49.84
	鹰潭	56.91	0.70	30.16
	萍乡	50.43	1.09	24.29
	新余	39.95	2.78	19.13

上饶市和抚州市水库蓄水量分别为 8.89 亿 m³ 和 7.03 亿 m³, 处于全省中等水平。第三组中, 新余市水库蓄水量最高, 为 2.78 亿 m³, 其次是萍乡市, 蓄水量为 1.09 亿 m³, 景德镇、鹰潭和南昌 3 个市的水库蓄水量均未超过 1 亿 m³, 处于全省末端水平。在地表水方面, 第二组上饶市地表水资源总量为 204.88 亿 m³, 居全省第二, 吉安、抚州和宜春各市的地表水资源总量均超过 100 亿 m³, 九江市为 98.77 亿 m³, 位居全省第六。第三组各市地表水资源总量明显低于第二组, 该组中地表水资源总量最丰富的是南昌市, 仅为 59.33 亿 m³, 与第二组末端的九江市有较大的差距, 其余 4 个市的状况则更加不容乐观。

综上所述, 第二组各市在降水量、水库蓄水量和地表水资源总量 3 个方面全部高于第三组, 这是第

表6 江西省各地级市人均水资源生态盈余(赤字)

年份	南昌	景德镇	萍乡	九江	新余	鹰潭	赣州	宜春	上饶	吉安	抚州
2010	0.204	1.119	0.511	0.728	0.5423	1.266	1.031	0.822	1.077	1.254	1.021
2011	-0.067	0.431	0.144	0.169	0.003	0.480	0.417	0.230	0.474	0.313	0.288
2012	0.190	0.902	0.439	0.632	0.595	1.304	1.020	0.859	1.050	1.050	0.842
2013	-0.011	0.557	0.197	0.363	0.070	0.753	0.613	0.454	0.607	0.650	0.462
2014	0.036	0.609	0.381	0.454	0.340	0.774	0.529	0.604	0.715	0.915	0.610
2015	0.128	1.031	0.381	0.635	0.430	0.965	0.816	0.670	0.972	1.127	0.756
2016	0.047	0.886	0.467	0.719	0.479	0.913	1.301	0.671	0.827	1.292	0.849
2017	0.068	0.656	0.404	0.760	0.321	0.712	0.535	0.653	0.709	0.767	0.476
2018	-0.017	0.545	0.110	0.243	0.069	0.434	0.397	0.288	0.513	0.476	0.202

表7 2010—2018年江西省及各地级市水资源生态压力指数

年份	南昌	景德镇	萍乡	九江	新余	鹰潭	赣州	宜春	上饶	吉安	抚州	江西省
2010	0.584	0.170	0.293	0.300	0.413	0.139	0.161	0.291	0.115	0.248	0.118	0.211
2011	1.275	0.349	0.601	0.670	0.994	0.334	0.356	0.621	0.249	0.571	0.351	0.439
2012	0.653	0.189	0.314	0.331	0.383	0.140	0.175	0.286	0.119	0.273	0.143	0.224
2013	1.033	0.284	0.528	0.451	0.673	0.254	0.287	0.465	0.220	0.375	0.241	0.33
2014	0.894	0.269	0.356	0.391	0.536	0.240	0.309	0.389	0.192	0.293	0.182	0.295
2015	0.697	0.175	0.339	0.293	0.453	0.198	0.208	0.357	0.146	0.232	0.150	0.242
2016	0.864	0.201	0.287	0.261	0.425	0.207	0.139	0.356	0.162	0.210	0.135	0.219
2017	0.815	0.252	0.334	0.250	0.529	0.254	0.295	0.361	0.178	0.316	0.214	0.297
2018	1.062	0.285	0.648	0.521	0.839	0.362	0.357	0.561	0.237	0.426	0.394	0.424

二组各市水资源生态承载力高于第三组各市的主要原因。

对研究时段内其他年度的降水量、水库蓄水量和地表水资源总量进行了相同的对比分析, 各年度结果与 2018 年基本一致, 验证了结论的准确性。

2.5 江西省各地级市人均水资源生态盈余(赤字)

通过式(6)计算各地级市人均水资源生态盈余(赤字), 结果见表 6, 其值为正表示水资源盈余, 为负则表示水资源短缺。对比图 2 与表 6, 可以确定人均水资源生态盈余(赤字)与水资源生态承载力变化轨迹基本相同。水资源生态承载力排名第一的赣州市在 2010 年、2012 年和 2016 年的人均水资源生态盈余均超过 1, 水资源充足。2011 年、2013 年和 2018 年南昌市人均水资源生态盈余均出现生态赤字, 其余年份盈余都较为接近 0。南昌市水资源生态承载力排在第三组, 整体水资源较为匮乏是南昌市出现人均水资源生态赤字的主要原因; 此外, 南昌市人口较多, 人均分配量较低, 这是南昌市出现人均水资源生态赤字的另一重要原因。

2.6 水资源生态压力指数

2010—2018 年江西省各年水资源生态压力指数均低于 0.5 (表 7), 表明江西省水资源安全程度高, 水资源供给能够满足各方面的用水需求。从空间上来看, 2011 年、2013 年和 2018 年南昌市水资源生态压力指数均超过 1, 水资源安全状况差, 供给严重不足; 其他年份水资源生态压力指数均在 0.5~1 之间, 水资源安全状况有所缓解, 处于相对安全状

态。景德镇、鹰潭、赣州、上饶和抚州 5 个市在 2010—2018 年各年的水资源生态压力指数均低于 0.5,水资源安全程度高,供给充足。萍乡、九江、新余、宜春和吉安 5 市较早年份部分值大于 0.5,但在近 4 年中,水资源生态压力指数均小于 0.5,且呈现出逐年减小的趋势,水资源安全程度不断改善。

2.7 江西省及各地级市万元 GDP 水资源生态足迹

2010—2018 年江西省及各地级市的万元 GDP 水资源生态足迹均呈现逐年下降的变化趋势(表 8),水资源利用效率逐年提高,这与江西省农业现代化的进程以及技术进步、工业转型都有一定关系。从空间分布来看,吉安市和宜春市各年度万元 GDP 水资源生态足迹明显高于其他地级市,用水效率显著低于其他地级市;从 2010—2018 年 9 年的时间对比来看,吉安市用水效率提高了 66.67%,涨幅位列全省第一,宜春市增长 51.30%,涨幅位于全省中等水平,两市用水效率显著提高。南昌市的万元 GDP 水资源生态足迹处于全省末位,用水效率高于其他地级市;2010—2018 年万元 GDP 水资源生态足迹值涨幅达 53.85%,处于全省中上水平,水资源利用效率的提高速度较快。分析其原因可知,一方面南昌市水资源生态足迹处于中等水平,但该市 GDP 产值巨大,万元 GDP 水资源生态足迹显著低于其他各市;另一方面,南昌市水资源生态承载力水平低、人均水资源生态赤字以及水资源生态压力指数大,可利用水资源短缺是南昌市万元 GDP 水资源生态足迹值较低的原因之一。

3 结论与建议

3.1 结论

本文基于江西省 2010—2018 年水资源相关数据,构建江西省及 11 个地级市的水资源生态足迹账户,并从水资源的盈余状况、安全性和用水效率 3 个方面对江西省及各地级市的水资源可持续利用水平进行了评价。

a. 2010—2018 年江西省水资源生态足迹与全

省用水量逐年增多正向关系显著,整体呈现稳步上升的变化趋势。生产用水生态足迹变化较为稳定,各年生产用水量均保持在总用水量的 87% 以上,生活用水生态足迹和生态用水生态足迹则逐年上升。在空间分布方面,各地级市生态足迹差异较大,根据生态足迹高低将 11 个地级市分成 3 组,第一组宜春市工业用水消耗巨大,赣州市居民生活用水量居高不下,水资源生态足迹分别居于全省第一、二位。第三组的鹰潭、景德镇、新余和萍乡 4 个市在农田灌溉用水量、居民生活用水量和用水总量方面与其他地级市差距较大,水资源生态足迹处于全省后四位水平。

b. 2010—2018 年江西省水资源生态承载力出现较大波动,这与江西省各年度降水量的不稳定有关。在空间分布方面,各地级市历年水资源生态承载力与江西省水资源生态承载力基本保持同步变动,依据各地级市水资源生态承载力的高低将 11 个市分成 3 组,赣州市降水丰沛、地表水充足、水库蓄水量较高,水资源生态承载力全省最高,位居第一组;南昌、景德镇、鹰潭、萍乡和新余 5 个市同属第三组,降水量相对较少,水库蓄水量和地表水总量都处于全省末位,水资源生态承载力位居全省末端。

c. 从人均水资源盈余(赤字)来看,南昌市水资源较为匮乏,个别年份出现赤字,其他各市水资源均较为充足。从水资源生态压力指数来看,南昌市多个年份的水资源生态压力指数大于 1,水资源供需存在不平衡;景德镇、鹰潭、赣州、上饶和抚州 5 个地级市历年水资源生态压力指数均小于 0.5,水资源安全程度非常高;其余各市历年值虽有波动,但近 4 年呈现出逐年减小的变化趋势,水资源安全程度逐步提高。从万元 GDP 水资源生态足迹来看,南昌市历年值较小,用水效率高;吉安市和宜春市万元 GDP 水资源生态足迹偏大,水资源利用效率较低,但研究时段内涨幅较大,用水效率提高较快。

3.2 对策建议

a. 宜春市工业用水量大、水资源生态足迹高,

表 8 2010—2018 年江西省及各地级市万元 GDP 水资源生态足迹

年份	南昌	景德镇	萍乡	九江	新余	鹰潭	赣州	宜春	上饶	吉安	抚州	江西省
2010	0.065	0.079	0.075	0.151	0.052	0.066	0.160	0.211	0.115	0.300	0.161	0.072
2011	0.058	0.083	0.061	0.137	0.065	0.063	0.158	0.191	0.106	0.280	0.157	0.067
2012	0.048	0.054	0.051	0.112	0.051	0.049	0.133	0.151	0.09	0.190	0.128	0.066
2013	0.049	0.053	0.052	0.094	0.053	0.051	0.135	0.156	0.093	0.169	0.119	0.094
2014	0.043	0.051	0.046	0.084	0.051	0.045	0.122	0.139	0.085	0.154	0.101	0.041
2015	0.038	0.046	0.041	0.071	0.044	0.042	0.104	0.126	0.078	0.125	0.093	0.064
2016	0.036	0.043	0.036	0.063	0.040	0.039	0.093	0.116	0.069	0.116	0.086	0.094
2017	0.033	0.042	0.039	0.055	0.044	0.038	0.087	0.101	0.060	0.107	0.075	0.106
2018	0.030	0.043	0.039	0.051	0.042	0.035	0.077	0.094	0.056	0.100	0.074	0.081

建议对现有的锂电能源、纺织和建筑等高耗水行业进行技术创新或者有规划地逐步淘汰,优先发展高新技术企业,解决工业用水过高的问题;对于生态足迹较低的新余、萍乡、景德镇和鹰潭4个市,可以鼓励利用现有资源,合理发展农业生产,适当增加工业规模,增加GDP产值。此外,江西省各市应该继续增大生态用水投入,并根据实际状况调整产业结构,优先发展低耗水的第三产业^[26]。

b. 南昌、景德镇、鹰潭、萍乡和新余5个市水资源生态承载力过低,建议通过兴修水库、大坝等水利工程措施提高地表水资源储备。江西省过境水资源较为丰富,应充分利用过境水资源与本地水资源互补^[27],保证水资源总量充足,提高水资源生态承载力。

c. 要解决南昌市人均水资源生态赤字和水资源生态压力指数过大的问题,重点在于“节流”。南昌市要加大研发投入,发展节水灌溉带等节水农业,同时通过改进技术等方式提高工业用水效率,实现污水处理回用资源化;日常生活中应加强宣传引导,提高居民的节水意识。对于宜春市和吉安市万元GDP水资源生态足迹偏大的问题,可以充分利用环鄱阳湖生态经济区,加强技术交流与合作,提高水资源利用效率。

参考文献:

[1] CHEN J F, YU C, WANG H M. Multi-objective optimal allocation of urban water resources while considering conflict resolution based on the POS algorithm: a case of Kunming, China [J]. Sustainability, 2020, 12 (4): 1337-1353.

[2] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.

[3] 黄凯,王梓元,杨顺顺,等. 水足迹的理论、核算方法及其应用进展 [J]. 水利水电科技进展, 2013, 33 (4): 78-83.

[4] 杨志峰,支援,尹心安. 虚拟水研究进展 [J]. 水利水电科技进展, 2015, 35 (5): 181-190.

[5] WACKERNAGEL M, LEWAN L, HASSON C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: applications in Sweden and Subregions [J]. Ambio, 1999, 28(7): 604-612.

[6] 沈伟腾,胡求光. 浙江省生态足迹测算及其时空分异特征 [J]. 科技与管理, 2017, 19(3): 7-24.

[7] 徐中民,张志强,程国栋. 甘肃省1998年生态足迹计算与分析 [J]. 地理学报, 2000, 55(5): 607-616.

[8] 张志强,徐中民,程国栋. 生态足迹的概念及计算模型 [J]. 生态经济, 2000(10): 8-10.

[9] 龙爱华,徐中民,张志强. 西北四省(区)2000年的水资源足迹 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 692-700.

[10] 黄林楠,张伟新,姜翠玲,等. 水资源生态足迹计算方法 [J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1279-1286.

[11] 张义,张合平,李丰生,等. 基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析 [J]. 资源科学, 2013, 35 (8): 1601-1610.

[12] 陶倩君,郭程轩. 广东省水资源生态足迹的定量评价及其影响因素 [J]. 水资源保护, 2018, 34(2): 28-33.

[13] 贾焰,张军,张仁陟. 2001—2011年石羊河流域水资源生态足迹研究 [J]. 草业学报, 2016, 25(2): 10-17.

[14] 金昌盛,邓仁健,刘俞希,等. 长江经济带水资源生态足迹时空分析及预测 [J]. 水资源与水利工程学报, 2018, 29(4): 60-66.

[15] 许典子,张万顺,彭虹,等. 三峡库区水资源生态足迹及承载力时空演变研究 [J]. 人民长江, 2019, 50(5): 99-106.

[16] 张乐勤,方宇媛. 基于空间自相关分析的安徽省水资源生态压力空间格局探析 [J]. 水资源保护, 2017, 33(1): 24-29.

[17] 陆砚池,方世明. 中国省域生态足迹格局均衡性研究 [J]. 水土保持研究, 2019, 25(4): 289-297.

[18] 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.

[19] 杨志峰,崔保山,刘静玲. 生态环境需水量评估方法与例证 [J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2004(11): 1072-1082.

[20] 方伟成,孙成访. 基于水资源生态足迹模型的东莞市水资源可持续性研究 [J]. 水电能源科学, 2016, 32(1): 25-27.

[21] 徐珊,夏丽华,陈智斌,等. 基于生态足迹法的广东省水资源可持续利用分析 [J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 11-15.

[22] 张军,张仁陟,周冬梅. 基于生态足迹法的疏勒河流域水资源承载力评价 [J]. 草业学报, 2012, 21(4): 267-274.

[23] 王先庆,李博,李进,等. 基于生态足迹模型的水资源可持续利用分析 [J]. 人民长江, 2019, 50(5): 107-112.

[24] 许国钰,任晓冬,杨振华,等. 利用弹性网对PLS佐证分析城市水生态足迹及驱动因素:以贵阳市为例 [J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 220-227.

[25] 赵春芳,董朝阳,伍磊,等. 浙江省水资源生态足迹时空格局 [J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 242-248.

[26] 岳金桂,游海霞. 江苏省水资源可持续利用问题研究 [J]. 水利经济, 2016, 34(3): 41-58.

[27] 宦臣臣,甘升伟,徐慧,等. 无锡市水生态足迹与水资源可持续发展评价 [J]. 水利经济, 2018, 36(4): 58-62.

(收稿日期:2020-02-14 编辑:胡新宇)