

# 福建省 2010—2019 年水资源生态足迹与生态承载力

岳晨<sup>1,2</sup>, 钱永<sup>1,2</sup>, 崔向向<sup>1,2</sup>, 王春晓<sup>1,2</sup>, 刘峰<sup>1</sup>, 郭斯嘉<sup>1,2</sup>

(1.中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北省石家庄 050061;

2.中国地质调查局\河北省地下水污染机理与修复重点实验室, 河北省石家庄 050061)

**摘要:** [目的] 对福建省水资源生态承载力进行研究, 为该区水资源可持续利用提供科学依据。[方法] 以水资源生态足迹作为理论基础, 叠加水资源生态足迹三维模型, 并以福建省 2010—2019 年数据为主, 分析福建省水资源生态足迹、水资源生态承载力以及水资源空间格局。[结果] 福建省 2010—2019 年水资源生态足迹总体呈下降趋势, 变化范围为 0.696~0.928 hm<sup>2</sup>/人; 水资源生态承载力受降水影响, 年际变幅较大, 变化范围为 2.602~10.944 hm<sup>2</sup>/人, 为水资源生态盈余。万元 GDP 水资源生态足迹呈现明显下降趋势; 福建省西部地区水资源承载力明显好于东部沿海地区。水资源足迹深度为 1, 水资源足迹广度波动范围在 1 以下, 并呈下降趋势。[结论] 福建省水资源比较丰富。目前条件下, 该省水资源承载力能够满足当地经济发展。但福建省水资源承载力年际变化较大, 空间分布差异较大, 随着经济的发展, 水资源还是存在一定风险。

**关键词:** 水资源生态足迹; 水资源生态承载力; 水资源生态足迹深度; 水资源生态足迹广度; 福建省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)06-0282-06

中图分类号: TV211.1

**文献参数:** 岳晨, 钱永, 崔向向, 等. 福建省 2010—2019 年水资源生态足迹与生态承载力[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 282-287. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.036; Yue Chen, Qian Yong, Cui Xiangxiang, et al. Ecological footprint and ecological carrying capacity of water resources in Fujian Province during 2010—2019 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 282-287.

## Ecological Footprint and Ecological Carrying Capacity of Water Resources in Fujian Province During 2010—2019

Yue Chen<sup>1,2</sup>, Qian Yong<sup>1,2</sup>, Cui Xiangxiang<sup>1,2</sup>, Wang Chunxiao<sup>1,2</sup>, Liu Feng<sup>1</sup>, Guo Sijia<sup>1,2</sup>

(1. The Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of

Geological Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050061, China; 2. Key Laboratory of Groundwater

Contamination and Remediation of Hebei Province and China Geological Survey, Shijiazhuang, Hebei 050061, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological carrying capacity of water resources in Fujian Province was studied, in order to provide a scientific basis for the sustainable utilization of water resources in this area. [Methods] Based on the theory of ecological footprint, the 3D model of water ecology carrying capacity was imposed and the data from 2010 to 2019 in Fujian Province was used, to analyze the water ecological footprint, water ecological carrying capacity and spatial pattern of water resources. [Results] From 2010 to 2019, the general trend of per capita water ecological footprint in Fujian Province showed a decreasing trend with a range of 0.696 hm<sup>2</sup>/person to 0.928 hm<sup>2</sup>/person. The per capita water ecological carrying capacity ranged from 2.602 hm<sup>2</sup>/person to 10.944 hm<sup>2</sup>/person and was greatly affected by precipitation. Water resources showed ecological surplus. The tendency of ecological footprint of ten thousand-yuan GDP showed an obvious downward trend. The water carrying capacity in the western part was obviously better than that in the eastern coastal area. The water resources footprint depth was 1, and the value of water resources footprint

收稿日期: 2021-05-13

修回日期: 2021-06-24

资助项目: 河北省创新能力提升计划项目“河北省地下水污染机理与修复重点实验室绩效后补助项目”(21567632H); 中国地质调查项目(DD20190128); 江西省重点研发计划项目(20203BBG72W011)。

第一作者: 岳晨(1988—), 女(汉族), 河北省武安市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水资源承载力评价研究。Email: yuechen24@163.com。

通讯作者: 钱永(1980—), 男(汉族), 河南省信阳市人, 博士, 高级工程师, 主要从事水文水资源及地下水污染机理与修复方面的研究。Email: desertqy@163.com。

size was below 1 in recent years. Meanwhile, it showed a downward trend. [Conclusion] Water resources are rich in Fujian Province. In recent years, water resources well supported the local development. However, the water carrying capacity in Fujian Province varied greatly from year to year and the spatial distribution is quite different. With the development of social economy, there are still some risks in water resources.

**Keywords:** capacity; water resources footprint depth; water resources footprint size; Fujian Province

目前,水资源生态足迹的研究主要基于生态足迹的原理和方法之上进行改进。生态足迹法主要通过表征在所需人口和经济规模下,维持水资源消费和自然环境进化所必需的水资源用地面积来衡量区域可持续发展状况<sup>[1]</sup>。该方法最早是 Willam Rees 提出由其博士 Wackernagel 完善,从此开启了生态承载力评价的新征程<sup>[2-4]</sup>。随着生态足迹法的不断完善,以生态足迹为理论框架进行水资源可持续性评价成为水资源发展研究的热点。各国学者<sup>[5-9]</sup>在此基础上开展水足迹、水生态足迹和水资源生态足迹的研究,并取得不断进步。范晓秋<sup>[5]</sup>将水资源账户统一到生态足迹模型中,将水资源的生态环境和社会经济功能也一并纳入到生态足迹模型中。黄林楠<sup>[10]</sup>在生态足迹的理论框架下建立水资源生态足迹计算模型。Wang 等<sup>[11]</sup>将水资源账户刻画为生活用水、生产用水和生态需水 3 个子账户,计算辽河流域水资源生态足迹;方恺<sup>[12-13]</sup>将三维生态足迹模型引用到水资源生态足迹评价中,通过引入足迹深度和足迹广度,来表明存量资本消耗和流量资本占用。丁华等<sup>[14]</sup>通过引入万元 GDP 水资源生态足迹,分析了水资源生态需求和供给能力;Veldkamp 等<sup>[15]</sup>认为人口和经济发展是影响水资源生态足迹模型的重要因素。通过各国学者<sup>[16]</sup>不断实践和努力,水资源生态足迹已成为国际上开展生态足迹核算、水资源战略评价的重要方法依据。福建省水资源比较丰富,但福建省经济发展较快,水资源年际变化差异大,水资源空间失衡比较突出,而福建省水资源生态足迹相关研究严重缺乏<sup>[17]</sup>,这对当地水资源合理利用造成巨大挑战。科学评价水资源利用情况,合理开发利用水资源,是实现城市可持续发展的重要基础。

因此,本文依托于水资源生态足迹的理论框架,以福建省 2010—2019 年数据为基础,建立福建省水资源生态足迹模型,通过建立福建省水资源生态足迹三维模型,分析福建省水资源演变特征及空间分布格局,为福建省水资源可持续利用提供科学依据。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

福建省位于中国东南部,东临太平洋。全省属多

山地区,地势西北高,东南低,大致可划为闽北山地、闽西南山地、闽东山地和闽东南丘陵、沿海平原。福建省属于亚热带海洋性季风气候,全省大部分地区平均气温在 17~21℃,年降水量一般在 1 100~2 000 mm。受气候和地形影响,降水时空分布不均,多集中在春夏,冬季少雨。福建省地表水多年平均径流量为  $1.18 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,人均拥有水资源量为  $3 433 \text{ m}^3$ (2019 年),水资源相对丰富。省内地表径流丰富,年平均流量变化很小,含沙量少,水力资源丰富。河流一般短促,河网密度大于  $0.1 \text{ km/km}^2$ 。改革开放以来,福建省经济飞速发展,基本保持 8% 的增速,经济增长速度在东部沿海省份中排名第 1,在全国省市中高居前 10,是我国东南沿海经济发展的重要地区<sup>[18]</sup>。

### 1.2 数据来源

本文的研究的水资源、用水量、人口、国内生产总值数据主要来自于福建省水资源公报(2010—2019 年),福建省统计年鉴(2010—2019 年)。

## 2 研究方法

### 2.1 水资源生态足迹

水资源生态足迹是建立在生态足迹模型基础之上的,用于描述水资源生态环境和社会经济功能<sup>[5]</sup>。水资源生态足迹计算公式<sup>[19]</sup>为:

$$EF_w = N \cdot ef_w = N \cdot \gamma_w \cdot (W/p_w) \quad (1)$$

式中:  $EF_w$  为水资源生态足迹( $\text{hm}^2$ );  $N$  为人口数;  $ef_w$  为人均水资源生态足迹( $\text{hm}^2/\text{人}$ );  $\gamma_w$  为全球水资源均衡因子,取值  $5.19^{[10]}$ ;  $W$  为水资源消耗量( $\text{m}^3$ );  $p_w$  为全球水资源平均生产能力,取值  $3 140 \text{ m}^3/\text{hm}^2^{[10]}$ 。

### 2.2 水资源生态承载力

水资源生态承载力,主要表示水资源对生态系统和经济系统良性发展的支撑能力,需要综合考虑生态环境以及社会生产所需要的水资源<sup>[20]</sup>。生态承载力计算公式为如下:

$$EC_w = N \cdot ec_w = 0.4 \times \psi \cdot \gamma_w \cdot Q/p_w \quad (2)$$

式中:  $EC_w$  为生态承载力( $\text{hm}^2$ );  $ec_w$  为人均生态承载力( $\text{hm}^2/\text{人}$ );  $\psi$  为水资源产量因子;  $Q$  为水资源总量( $\text{m}^3$ );通常一个国家和地区的水资源承载力中 60% 用

于维持生态环境,因此,计算中乘以系数 0.4<sup>[10]</sup>。

区域水资源产量因子:区域水资源产量因子为该区域水资源量平均生产能力与世界水资源生产能力的比值。水资源产量因子计算公式<sup>[5]</sup>为:

$$\psi = P/P_w \quad (3)$$

式中: $P$  为区域单位面积产水量。

根据福建省水资源相关数据,计算得出福建省 2010—2019 年水资源产量因子,结果详见表 1。

表 1 福建省各个市年水资源产量因子

地区	全省	福州	厦门	莆田	三明	泉州	漳州	南平	龙岩	宁德
水资源产量因子	3.23	2.85	2.46	2.88	3.35	2.90	3.02	3.85	3.42	3.62

### 2.3 水资源生态盈余/赤字

水资源生态盈余/赤字公式为:

$$ES = EC_w - EF_w \quad (4)$$

式中: $ES$  为生态盈余/赤字 ( $\text{hm}^2$ )。其值为正时,为生态盈余,表明福建省水资源尚有潜力;其值为 0 时,表明福建省水资源生态平衡。其值为负时,为生态赤字,表明水资源处于过量开发阶段。

### 2.4 万元 GDP 水资源生态足迹

万元 GDP 水资源生态足迹是通过水资源生态足迹与万元 GDP 的比值来表示的。其值越小表示水资源利用效率越高,反之越低<sup>[21]</sup>,计算公式为:

$$\text{万元 GDP 水资源生态足迹} = EF_w / \text{GDP} \quad (5)$$

### 2.5 水资源生态足迹三维模型

水资源生态足迹深度表征人类对水资源存量资本的消耗程度,水资源生态足迹广度表征人类对水资源流量资本的占用水平<sup>[22]</sup>。计算公式为:

$$EF_{\text{depth}} = 1 + ES/EC_w \quad (6)$$

$$EF_{\text{size}} = \min[EC_w, EF_w] \quad (7)$$

式中: $EF_{\text{depth}}$  为水资源生态足迹深度(等于 1 时称为原长); $EF_{\text{size}}$  为水资源生态足迹广度 ( $\text{hm}^2$ )。当  $EF_w < EC_w$  时,水资源生态足迹深度为自然深度  $EF_{\text{depth}} = 1$ ,因为人类对水资源的需求仅通过消耗流量资本便可满足, $EF_{\text{depth}}$  越大,区域消耗水资源存量越多,对水资源生态系统危害越大<sup>[23-24]</sup>。由于生态足迹的理论基础,生物圈可提供的自然资本流量上限为生物承载力,则水资源可提供的流量资本上限为水资源生态承载力<sup>[22]</sup>。

## 3 结果与讨论

### 3.1 福建省水资源生态足迹与生态承载力分析

根据公式核算出福建省 2010—2019 年人均水资源生态足迹(表 2),具体变化情况如图 1 所示。福建省人均水资源生态足迹整体上趋于平稳并呈现稳中有降

的趋势,表明随着社会经济的发展,水资源利用效率在逐渐提高。其变化范围为 0.696~0.928  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,均值为 0.848  $\text{hm}^2/\text{人}$ 。在水资源各账户中,农业用水、工业用水、生活用水、生态环境用水足迹多年均值分别为 0.393,0.305,0.077 和 0.071  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,各占福建省水资源总生态足迹的 46.41%,36.03%,9.14%,8.43%。以上数据表明福建省水资源生态足迹仍以农业用水为主。用水结构中,工业用水生态足迹下降最快,随着福建省经济发展飞速,说明工业用水效率逐年提高,工业用水消耗量逐年减少。生活用水生态足迹增长最快,说明福建省人口数量和居民生活水平在不断提高。农业用水足迹呈现平稳态势,且有小幅下降,说明全省已经注意到农业节水灌溉工程,但效果仍旧不明显。人均生态环境用水生态足迹自 2012 年后每年的变化非常小,所占份额也最小,也有可能福建省降雨丰富相关,生态环境用水量相对较少。根据公式核算出福建省 2010—2019 年水资源生态承载力(表 2),福建省水资源生态足迹和水资源生态承载力体变化如图 2 所示。福建省水资源生态承载力明显大于水资源生态足迹,福建省长期处于生态盈余状态。福建省水资源生态承载力波动起伏变化较大,年际差异比较大。其中,2013 年水资源生态承载力最高,为 10.944  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,2018 年水资源生态承载力最低,为 2.602  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,年际间相差 4 倍之多。水资源生态承载力的变化不仅限于人口、水文、植被、地质条件等情况,也与当年的气候条件,尤其是降水密切相关。由图 2 可知,福建省水资源生态承载力与降水量波动趋势基本一致。受水资源生态承载力影响,福建省水资源生态盈余年际变化比较大,变化幅度在 1.829~10.047  $\text{hm}^2/\text{人}$  之间。其中,2013 年福建省水资源生态盈余水平最高,10.047  $\text{hm}^2/\text{人}$ 。根据图 2 福建省降水量可以看出,该地区的生态承载力受降水量影响还是比较大的。目前,福建省水资源状态相对较好。

表 2 福建省 2010—2019 年各行业人均水资源生态足迹、生态承载力分析结果

hm<sup>2</sup>/人

指标	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
人均农业用水足迹	0.412	0.415	0.409	0.419	0.415	0.402	0.361	0.386	0.367	0.348
人均工业用水足迹	0.364	0.371	0.334	0.328	0.327	0.312	0.294	0.272	0.260	0.191
人均生活用水足迹	0.036	0.036	0.083	0.086	0.087	0.088	0.090	0.089	0.089	0.090
人均生态环境用水足迹	0.095	0.107	0.056	0.063	0.063	0.065	0.066	0.065	0.067	0.067
人均水资源生态足迹	0.907	0.928	0.882	0.897	0.893	0.867	0.810	0.812	0.784	0.696
人均生态承载力	9.567	4.448	8.612	6.518	6.843	7.376	11.677	5.764	4.218	7.331
人均生态盈余	8.660	3.520	7.729	5.621	5.950	6.509	10.867	4.952	3.434	6.634
万元 GDP 生态足迹	0.627	0.526	0.448	0.412	0.371	0.334	0.284	0.252	0.219	0.164

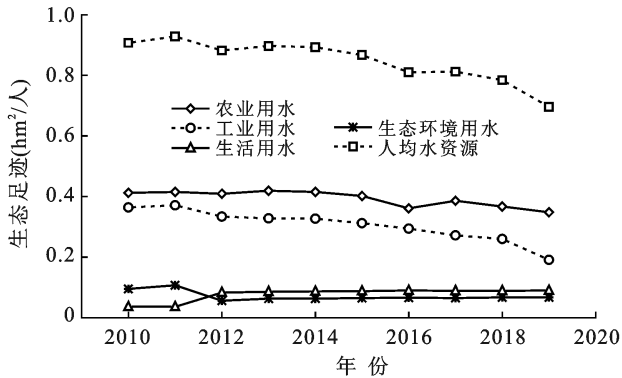


图 1 福建省 2010—2019 年各行业人均水资源生态足迹变化

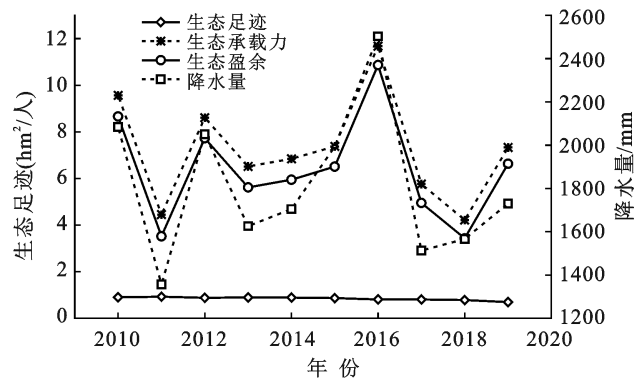


图 2 福建省 2010—2019 年人均水资源生态足迹、人均水资源生态承载力与年降水量变化趋势

根据公式核算出福建省 2010—2019 年万元 GDP 水资源生态足迹变化。由图 3 可以看出,福建省万元水资源生态足迹自 2010—2019 年呈现明显下降趋势,自 2012 年以后,下降速度放缓并趋向平稳。万元 GDP 水资源生态足迹从 2010 年的 0.627 hm<sup>2</sup>/人

降到了 2019 年的 0.164 hm<sup>2</sup>/人,由此可以看出,福建省水资源利用效率总体上正在逐年提高。

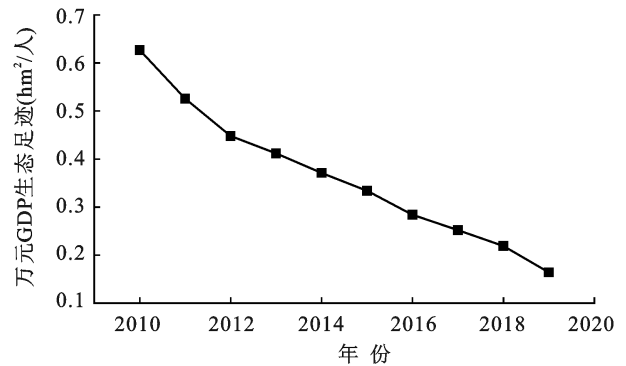


图 3 福建省 2010—2019 年万元 GDP 水资源生态足迹变化

### 3.2 水资源生态足迹空间分布特征

根据公式核算出福建省 2010—2019 年水资源生态足迹深度与广度(表 3)。水资源生态足迹三维模型主要反映了区域对水资源存量资本的消耗程度。受季风气候影响,福建省降水量相对充足,但年际变化较大。虽然人口不断增长,经济迅猛发展,用水量的需求不断增加,但目前福建省水资源流量资本可以满足经济社会的生活生产需求。由图 4 可知,自 2010—2019 年福建省水资源生态足迹深度为 1,说明福建省水资源存量资本的消耗在水资源承载力范围之内。水资源生态足迹广度主要反映区域对水资源流量资本的占有情况。福建省水资源生态足迹广度自 2010—2019 年波动范围在 1 以下,整体呈波动下降的趋势,并未超过福建省水资源生态承载力,说明福建省水资源生态足迹格局相对较高,水资源承载能够满足本地经济发展。

表 3 福建省 2010—2019 年水资源生态足迹深度及水资源生态足迹广度

项目	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
人均水资源生态足迹深度	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
人均水资源生态足迹广度	0.907	0.928	0.882	0.897	0.893	0.867	0.810	0.812	0.784	0.696

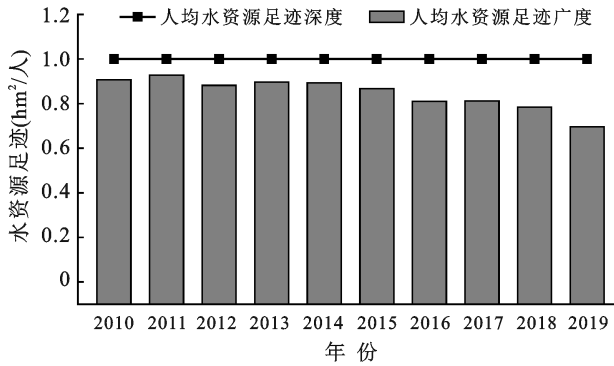


图 4 福建省 2010—2019 年水资源生态足迹深度与广度变化特征

### 3.3 福建省各市水资源空间分布格局

福建省各个市水资源空间分布情况如图 5 所示。由图 5 可知,福建省 9 个市人均水资源生态足迹、人均水资源生态承载力和人均生态盈余具有明显的空间分布差异性。其中人均水资源生态足迹最高为南平市,为  $0.501 \text{ hm}^2/\text{人}$ ;三明市,龙岩市,宁德市和漳州市,分别为  $0.398, 0.339, 0.269$  和  $0.206 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,人均水资源生态足迹相对较高;其次为莆田市,福州市,泉州市,人均水资源生态足迹分别为  $0.171, 0.157$  和  $0.143 \text{ hm}^2/\text{人}$ ;最低为厦门市,为  $0.058 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。根据福建省经济发展情况和产业结构分布,西部地区的水资源人均生态足迹明显高于沿海地区,分析其原因,主要是因为西部地区主要以农业和传统工业为主,沿海地区的各市则以耗水量较少的工业和第三产业为主,在一定程度上,造成了福建省水资源生态足

迹空间差异的现象。

由图 5 可知,福建省各个市人均水资源生态承载空间分布相差悬殊,其值比较高的地区依次为南平市,三明市,龙岩市和宁德市,分别为  $30.581, 21.040, 17.658$  和  $12.755 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。这 4 个市的人均水资源承载力均大于 10,水资源非常丰富。福建省沿海地区人均水资源承载力相对较低,其次为漳州市 ( $4.853 \text{ hm}^2/\text{人}$ ),福州市 ( $2.732 \text{ hm}^2/\text{人}$ ),莆田市 ( $2.505 \text{ hm}^2/\text{人}$ ),泉州市 ( $2.272 \text{ hm}^2/\text{人}$ ),人均水资源承载力均大于 1。厦门市人均水资源承载力最低,为  $0.541 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。由此可以看出,西部地区水资源人均生态承载力相对较高,沿海地区,水资源生态承载力相对较低。尤其是福建省经济发展较快的厦门市,福州市和泉州市,由于其人口和经济发展较快,水资源生态承载力相对较低。由图 5 可知,福建省水资源整体上为生态盈余,但各地差异较大。其中西部地区南平市,三明市,龙岩市和宁德市人均水资源生态盈余较高,其中南平市和三明市的值均大于  $5 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。尤其是南平市,达到  $9.482 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。漳州市人均水资源生态盈余为  $1.140 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,而莆田市,福州市,泉州市和厦门市人均水资源生态盈余均小于 1,厦门市最低,为  $0.044 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。由此可知,福建省西部地区由于水资源生态承载力高,即使人均生态足迹相对较高,生态盈余依然较大。而东部沿海地区,虽然人均水资源生态足迹较低,但由于其水资源生态承载力较低,水资源相对短缺,人口密度较大,水资源生态盈余依然较低。

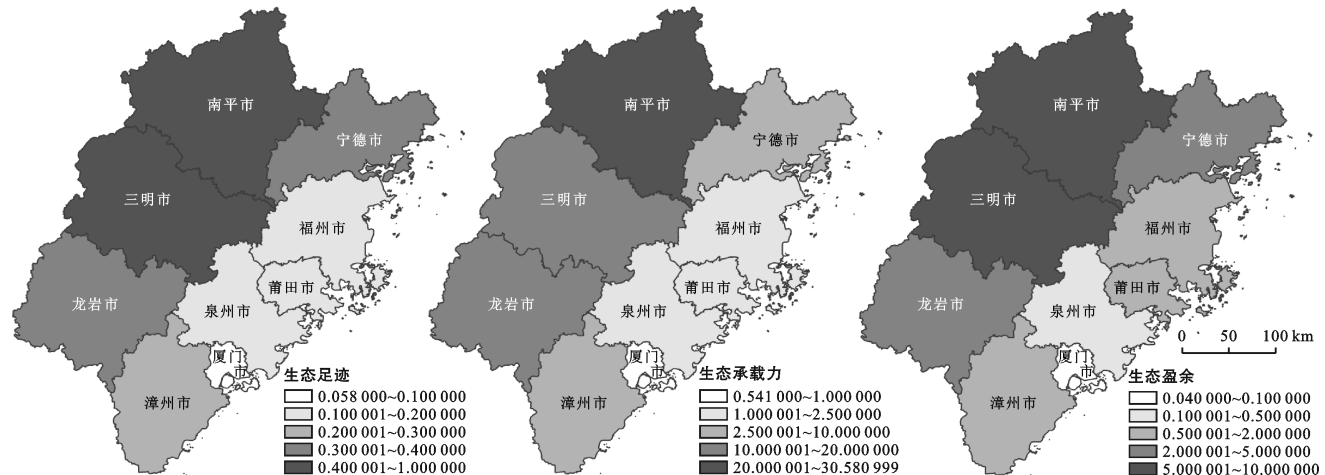


图 5 福建省各个市水资源人均空间分布

## 4 结论与展望

(1) 自 2010—2019 年福建省人均水资源生态足

迹基本呈现缓慢下降的趋势,从 2010 年  $0.907 \text{ hm}^2/\text{人}$  降到 2019 年  $0.696 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。其中农业水资源生态足迹所占比重最高,达  $46.41\%$ ,生态环境生态足迹所

占比最低,为8.43%。受多种因素,尤其是降水影响,福建省人均水资源承载力年际变化较大,2010—2019年水资源生态承载力变幅有4倍之多。受水资源生态承载力影响,福建省水资源虽处于盈余状态,但年际变化较大,变化幅度在1.829~10.047 hm<sup>2</sup>/人之间。福建省水资源生态指数最小值为0.663,最大值为0.928,远大于0.5,说明目前福建省水资源状态相对较好。福建省水资源比较丰富,在目前阶段下水资源可以保证。近几年,随着福建省经济快速发展,人口迅速增长,在全球气候剧烈变化的情况,若不注意水资源合理利用,福建省依然有水资源紧张的风险。

(2) 2010—2019年福建省万元GDP水资源生态足迹呈现稳步下降趋势,表明近几年福建省水资源利用效率明显提高,但也表明对水资源的自然条件相对依赖。

(3) 从福建省2010—2019年水资源生态足迹格局上来看,福建省水资源流量资本可以满足经济社会的生活生产需求,现阶段水资源利用在福建省水资源承载力范围之内。水资源生态足迹和水资源生态盈余空间差异明显,福建省西部地区水资源状况明显好于东部沿海地区。水资源足迹广度波动范围在1以下,并呈下降趋势,说明福建省水资源生态足迹格局相对较高,目前阶段,水资源承载能够满足本地经济发展。随着经济发展,东部沿海地区,水资源生态承载情况将引起重视。

#### [参 考 文 献]

- [1] 朱光磊,赵春子,朱卫红,等.基于生态足迹模型的吉林省水资源可持续利用评价[J].中国农业大学学报,2020,25(9):131-143.
- [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] Wackernagel M, William E R. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island, B C: New Society Publishers, 1996.
- [4] 李培月,钱会,吴健华,等.银川市2008年水资源生态足迹研究与分析[J].南水北调与水利科技,2010(1):69-71.
- [5] 范晓秋.水资源生态足迹研究与应用[D].南京:河海大学,2005.
- [6] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法的理论解析[J].中国人口·资源与环境,2006,16(6):69-78.
- [7] Hoekstra A Y. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis [J]. Ecological Economics, 2009,68(7):1963-1974.
- [8] Stoeglehner G, Edwards P, Daniels P, et al. The water supply footprint (WSF): A strategic planning tool for sustainable regional and local water supplies [J]. Journal of Cleaner Production, 2011,19(15):1677-1686.
- [9] 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.
- [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] Wang Shuo, Yang Feng-lin, Xu Ling, et al. Multi-scale analysis of the water resources carrying capacity of the Liaohe Basin based on ecological footprints [J]. Journal of Cleaner Production, 2013,53(15):158-166.
- [12] 方恺,李焕承.基于生态足迹深度和广度的中国自然资源利用省际格局[J].自然资源学报,2012,27(12):1995-2005.
- [13] 方恺.生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标[J].生态学报,2013,33(1):267-274.
- [14] 丁华,邱卫国.基于生态足迹的上海市水资源生态承载力评价[J].人民长江,2013,44(15):19-21.
- [15] Veldkamp T I E, Wada Y, Aerts J, et al. Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century [J]. Nature communications, 2017,8(1):1-12.
- [16] 路瑞,赵琰鑫.基于水资源生态足迹的黄河流域水资源利用评价[J].人民黄河,2020,42(11):48-52.
- [17] 李赫龙,林佳,苏玉萍,等.福建省水资源生态足迹时空差异及演变特征[J].福建师范大学学报(自然科学版),2015,31(6):109-117.
- [18] 雷艳杰.福建省经济增长与产业结构关系实证研究[J].哈尔滨学院学报,2018,39(11):62-65.
- [19] 焦士兴,王安周,陈林芳,等.河南省水生态足迹测度及其驱动效应分析[J].水文,2020,40(1):91-96.
- [20] 雷亚君,张永福,张敏惠,等.新疆水资源生态足迹核算与预测[J].干旱地区农业研究,2017,35(5):142-150.
- [21] 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.
- [22] 孙才志,张智雄.中国水生态足迹广度、深度评价及空间格局[J].生态学报,2017,37(21):7048-7060.
- [23] 胡美娟,周年兴,李在军,等.南京市三维生态足迹测算及驱动因子[J].地理与地理信息科学,2015,31(1):91-95.
- [24] 门宝辉,蒋美彤.基于生态足迹法的水资源承载力研究[J].南水北调与水利科技,2019,17(5):29-36.