

# 广西水资源生态足迹时空分析

孙学颖, 唐德善

( 河海大学 水利水电学院, 南京 210098)

**摘要:** 采用水资源生态足迹模型, 定量计算和分析了广西 2008 年- 2012 年人均水资源生态足迹、水资源生态承载力、水资源生态盈余, 并对分析广西 14 个城市的人均水资源生态足迹、生态承载力情况。结果显示: (1) 广西人均水资源生态足迹指数近五年内没有大幅度的变化, 比较稳定保持在 1.06 hm<sup>2</sup>/人附近, 各年人均水资源生态足迹水平高低依次为 2010= 2011> 2012> 2008> 2009; 而人均生态承载力指数变化较大, 且均小于人均水资源生态足迹; (2) 只有柳州市和防城港市存在水资源生态盈余, 其他各市均存在水资源生态赤字, 平均赤字 0.56 hm<sup>2</sup>/人。面对水资源生态赤字问题, 广西需通过调整产业结构, 优化水资源配置, 实施水资源管理“三条红线”等措施, 提高水资源生态承载力, 减小生态赤字, 以达到水资源可持续利用的目的。

**关键词:** 广西; 水资源生态足迹; 生态承载力; 时空分析

**中图分类号:** TV213.4    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1672-1683(2015)01-0034-04

## Analysis of spatio-temporal characteristics of water resources ecological footprint in Guangxi

SUN Xue ying, TANG De shan

( College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The water resources ecological footprint model was used to calculate and analyze the water resources ecological footprint, water resources ecological carrying capacity, and water resources ecological profit and loss per capita in 14 cities of Guangxi Province from 2008 to 2012. The results showed that (1) the average water resources ecological footprint in Guangxi does not vary significantly and is about 1.06 hm<sup>2</sup> per capita. The water resources ecological footprints of different years are in a descending order of 2010= 2011> 2012> 2008> 2009. However, the water resources ecological carrying capacity per capita varies greatly and it is less than the water resources ecological footprint per capita; and (2) except for Liuzhou and Fangwugang, all the cities have water resources ecological loss with an average loss value of 0.56 hm<sup>2</sup> per capita. In order to solve the water resources ecological loss problem, industrial structure should be adjusted, and water resources management measures, such as “three red lines”, should be implemented. Through these approaches, water resources carrying capacity is improved and water resources ecological loss is decreased to achieve the purpose of water resources sustainable utilization.

**Key words:** Guangxi; water resources ecological footprint; ecological carrying capacity; spatio-temporal analysis

生态足迹是一种基于土地面积来度量可持续发展状况的研究方法。生态足迹模型具有综合性和直观性的特点, 实用性强, 适用范围广, 可操作性好, 近年来已经得到国内外学者的广泛使用。

本文在生态足迹理论<sup>[1-2]</sup>的基础上, 突出生态足迹模型中对水域账户<sup>[3]</sup>的描述, 拟建立水资源生态足迹模型, 对西南边疆地区广西 2008 年- 2012 年人均水资源生态足迹、人均水资源生态承载力以及人均水资源生态赤字动态变化进行时间上和空间上的评估, 分析影响水资源安全的影响因

素, 为未来广西水资源可持续利用的目标规划提供参考。

## 1 研究方法

### 1.1 水资源生态足迹

水资源生态足迹可以定义为一定人口和经济规模下维持水资源消费和自然资源进化所必须的水资源用地面积, 主要包括生活用水生态足迹、生产用水生态足迹和生态用水生态足迹三部分<sup>[4-6]</sup>。计算模型如下:

$$EF_x = N \cdot ef_x = N \cdot Y_x \cdot \left( \frac{W}{P_x} \right) \quad (1)$$

收稿日期: 2014-04-17    修回日期: 2014-11-04    网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1451.040.html>

作者简介: 孙学颖(1990-), 女, 内蒙人, 主要从事水资源系统规划与管理方面研究。E-mail: hhsunxueying@163.com

通讯作者: 唐德善(1955-), 男, 江苏泰州人, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源系统规划与管理方面研究。E-mail: tds808@163.com

式中:  $EF_x$  表示水资源生态足迹 ( $hm^2$ );  $ef_x$  表示人均水资源生态足迹 ( $hm^2/人$ );  $N$  表示总人口数;  $v_x$  表示水资源全球均衡因子;  $W$  表示人均消耗的水资源量 ( $m^3$ );  $P_x$  表示水资源全球平均生产能力 ( $m^3/hm^2$ )。

### 1.2 水资源生态承载力

水资源生态承载力是指某一区域在某一具体时间序列内,能够供给的最大水资源量能够保证该区域社会、环境以及资源可持续发展的能力<sup>[4,9]</sup>。一个地区的水资源总量包括一个地区的地下水资源和地表水资源,并且扣除重复计算的部分。但是多年研究结果表明,一个区域的水资源开发利用如果超过 30%~40%,就可能引起该区域生态环境的恶化,因此一个区域的水资源承载力中必须至少扣除 60% 用于维持生态环境<sup>[4,9]</sup>。水资源生态承载力计算模型如下:

$$EC_x = N \cdot ec_x = 0.4 \cdot \Psi \cdot v_x \cdot \left( \frac{Q}{P_x} \right) \quad (2)$$

式中,  $EC_x$  表示水资源生态承载力 ( $hm^2$ );  $ec_x$  表示人均水资源生态承载力 ( $hm^2/人$ );  $N$  表示总人口数;  $\Psi$  表示区域水资源产量因子;  $v_x$  表示水资源全球均衡因子;  $Q$  表示水资源总量;  $P_x$  表示水资源全球平均生产能力 ( $m^3/hm^2$ )。

### 1.3 水资源生态赤字与盈余

水资源生态足迹对于水资源可持续利用的衡量,主要是通过水资源生态赤字/水资源生态盈余来表示,其大小等于水资源生态承载力减去水资源生态足迹。当核算地区水资源生态足迹大于水资源生态承载力时,即出现水资源生态赤字;当核算地区水资源生态足迹小于水资源生态承载力时,则出现水资源生态盈余<sup>[7]</sup>。

## 2 实例分析

广西壮族自治区面积 23.67 万  $km^2$ ,地理位置介于东经 104°26' - 112°04',北纬 20°54' - 26°24' 之间,北回归线横贯全区中部。南临北部湾,面向东南亚,西南与越南毗邻,东邻粤、港、澳,北连华中,背靠大西南,地势由西北向东南倾斜。

广西气候温暖湿润,大部分地区降雨量在 1 300~2 000 mm 之间,但由于受冬、夏季风的交替影响,降水量季节变化不均,干湿季分明。4月-9月为雨季,其降水量占全年降水量的 70%~85%,容易发生洪涝灾害;10月-翌年3月为干季,降水量仅占年降水量的 15%~30%,干旱少雨,易引发森林火灾。

广西河流众多,分属珠江、长江、红河、滨海四大流域的五大水系。全区河流总长约 3.4 万 km;水域面积约 8 026  $km^2$ ,河流水量丰富,季节性变化大;水流湍急,落差大;河岸高,河道多弯曲、多峡谷和险滩;河流含沙量少。

### 2.1 模型参数确定

本文对水资源生态足迹模型中参数的确定<sup>[8]</sup>方法如下。

(1) 水资源全球平均生产能力。水资源平均生产能力即多年平均产水模数,是用来描述区域内水资源生产能力的指标。根据全球多年统计数据得出,全球产水模数为 3 140  $m^3/hm^2$ 。

(2) 区域水资源产量因子。产量因子是将各地区同类生物生产性土地转换成可比面积的参数,计算公式如下

$$\Psi = \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

式中:  $\Psi$  表示区域水资源产量因子;  $P$  表示区域单位面积产水量,即水产模数 ( $m^3/hm^2$ );  $P_0$  表示水资源全球平均生产能力 ( $m^3/hm^2$ )。

(3) 水资源全球均衡因子  $v_x$ 。水资源全球均衡因子的计算方法是全球水资源用地的平均生物生产能力除以全球所有各类生物生产性土地面积的平均生物生产力。本研究采用的是黄林楠等<sup>[9]</sup>根据 WWF2001 计算得出的水资源均衡因子,为 5.19。

### 2.2 广西水资源生态足迹时间分析

根据《广西水资源公报》<sup>[10]</sup>及《广西统计年鉴》<sup>[11]</sup>中的数据,广西 2008 年-2012 年水资源情况见表 1。

表 1 广西各年水资源情况

年份	人均用水量/ $m^3$							总计	水资源产量因子
	总量/ $m^3$	农田灌溉	林牧渔牲畜	工业	建筑服务	居民生活	生态环境		
2008	2282.5	384.91	62.03	107.36	17.53	60.68	11.48	644	3.06
2009	1484.3	368.11	56.61	111.55	17.73	61.28	11.72	627	1.99
2010	1823.6	382.01	59.10	119.95	18.87	63.51	11.55	655	2.44
2011	1350.6	376.72	56.80	122.01	19.99	65.13	11.35	652	1.81
2012	2087	395.74	58.76	110.45	26.56	52.04	6.46	650	2.79

根据广西各年用水情况,绘制水资源生态足迹的账户构成图(图 1),可以看出,生产用水(包括农田灌溉用水、工业用水、林牧渔牲畜用水和建筑服务业用水)是总水资源生态足迹的主要贡献者,占总水资源生态足迹的 80% 以上,其中,农田灌溉用水大大超过工业用水,占生产用水生态足迹的 50% 以上。生活用水水资源生态足迹占总水资源生态足迹的 15% 左右,各年间波动不大。生态用水水资源生态足迹则仅占总水资源生态足迹 1.8% 左右。

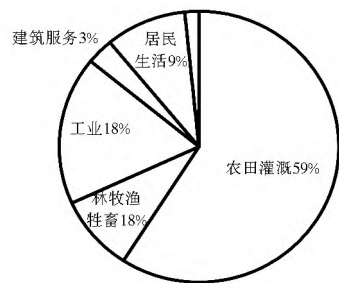


图 1 水资源生态足迹账户构成

Fig. 1 Configuration diagram of water resources ecological footprint

根据水资源生态足迹理论模型计算广西各年人均水资源生态足迹以及人均水资源生态承载力,结果见图 2。可以看出,在核算期内,广西人均水资源生态足迹指数没有大幅度的变化,比较稳定保持在 1.06  $hm^2/人$  附近,各年人均水资源生态足迹水平高低依次为 2010=2011>2012>2008>2009;而在核算期内,人均生态承载力指数变化较大,最大差额达到 0.6  $hm^2/人$ 。分析认为,造成广西人均水资源生态承载力变化较大的主要原因是水资源量的时间分布不均,即不同年份的水资源生态承载力受限于该地区的水文、气象、植被

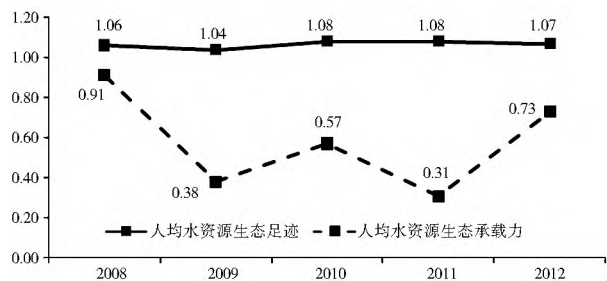


图 2 人均水资源生态足迹与人均生态承载力

Fig. 2 water resources ecological footprint and ecological carrying capacity per capita

表 2 各市水资源平均情况

Tab. 2 Water resources situation in 14 cities

城市	南宁市	柳州市	桂林市	梧州市	北海市	防城港市	钦州市
人均用水量/ $m^3$	571.8	589.8	941.4	532.4	733.8	704.8	499.4
水资源总量/亿 $m^3$	120.4	204.84	296.72	115.78	34.52	81.88	86.9
水资源产量因子	1.68	3.51	3.4	2.93	3.33	4.21	2.56
城市	贵港市	玉林市	百色市	贺州市	河池市	来宾市	崇左市
人均用水量/ $m^3$	795.6	464.4	573	806.8	488.2	1079.6	570.4
水资源总量/亿 $m^3$	75.96	126.94	155.3	109.22	199.92	98.7	98.78
水资源产量因子	2.28	3.16	1.36	2.95	1.9	2.35	1.81

表 3 各市人均水资源生态足迹、生态承载力及生态赤字

Tab. 3 Water resources ecological footprint, ecological carrying capacity, and ecological profit and loss per capita

城市	南宁市	柳州市	桂林市	梧州市	北海市	防城港市	钦州市
人均水资源生态足迹	0.95	0.97	1.56	0.88	1.21	1.16	0.83
人均水资源生态承载力	0.19	1.32	1.32	0.68	0.46	2.62	0.38
人均水资源生态赤字	0.76	-0.35	0.24	0.2	0.75	-1.46	0.45
城市	贵港市	玉林市	百色市	贺州市	河池市	来宾市	崇左市
人均水资源生态足迹	1.32	0.77	0.95	1.33	0.81	1.78	0.94
人均水资源生态承载力	0.22	0.39	0.36	0.94	0.62	0.61	0.5
人均水资源生态赤字	1.1	0.38	0.59	0.39	0.19	1.17	0.44

从表 3 可以看出,位于广西东北部的桂林市、贺州市、贵港市以及来宾市的人均水资源生态足迹指数最大,位于南部的北海市以及防城港市人均水资源生态足迹指数较大;与东北部和南部地区相比,位于西部的河池市、百色市、崇左市以及南宁市的人均水资源生态足迹指数较小,而位于东部的梧州和玉林人均水资源生态足迹指数最小,该地区人均水资源生态足迹指数偏大的原因是人均消耗的水资源量大。

从表 3 可知,位于南部的防城港市的人均水资源生态承载力指数最大,大于其人均水资源生态足迹指数两倍,说明其水资源量比较充足,能够满足其市各方面用水;位于北部的柳州市人均水资源生态承载力也略大于人均水资源生态足迹,存在生态盈余;其他各市的人均水资源生态承载力指数均小于人均水资源生态足迹指数。其中南宁市人均水资源生态承载力指数较小的主要原因是人口基数太大,南宁市占据广西总面积的 9.58%,水资源量占广西总水资源量的 6.67%,但是人口确占广西总人口的 13.6%;同样地,来宾市、贵港市、百色市、钦州市以及崇左市的人均水资源生态承载力指数也较人均水资源生态足迹指数偏小很多,是因为这几个市的水资源量较少,人口数量较大,且人均用水量较大;

等自然条件。2008 年为近几年中的典型丰水年,所以该年水资源生态承载力最高,达到了 0.91  $hm^2$ /人,因此水资源生态赤字较小,为 0.15  $hm^2$ /人;其余各年均均在 0.5  $hm^2$ /人左右波动,最高为 2011 年,达到 0.77  $hm^2$ /人。总体上来看,广西地区的水资源生态足迹均大于生态承载力。

### 2.3 广西水资源生态足迹空间分析

根据《广西统计年鉴》<sup>[10]</sup>及《广西水资源公报》<sup>[11]</sup>,广西 2008 年-2012 年各市水资源平均情况见表 2。

根据水资源生态足迹理论模型计算广西各市人均水资源生态足迹、生态承载力以及生态赤字,结果见表 3。

北海市人均水资源生态承载力较小,是因为北海市土地面积小,天然降水量少,水资源总量有限,并且北海市主要发展的旅游业占据了部分水资源;位于东北部的桂林市、河池市、贺州市、玉林市以及梧州市的人均水资源生态承载力指数与人均生态足迹指数之间的差异不大,但也存在水资源生态赤字,水资源生态安全也处于稍不安全状态。

表 3 中,只有位于北部的柳州市和南部的防城港市存在水资源生态盈余,其他各市均存在水资源生态赤字,平均赤字 0.56  $hm^2$ /人,其中水资源生态赤字最小城市为河池市 0.19  $hm^2$ /人,最大城市为来宾市 1.17  $hm^2$ /人,

## 3 结论与建议

(1) 广西水资源量随时间分布不均匀,导致人均水资源生态承载力小于人均水资源生态足迹,即水资源生态承载力受限于该地区的水文、气象、植被等自然条件。为缓解这一问题,可以在节约生产用水的同时,发展绿色生态产业,将水资源的利用向生态用水偏移,这样不仅可以提高用水效率,也可以保障该地区的保水能力,减小自然因素对于水资源生态承载力的影响。

(2) 根据广西各市人均水资源生态足迹分析结果, 东部和南部的人均水资源生态足迹指数较大, 主要原因是人均消耗水资源量大。针对这一问题, 从生活用水、生产用水以及生态用水三方面考虑, 各市应该实行严格的水资源管理“三条红线”, 控制用水总量、用水效率以及纳污总量控制。

(3) 根据广西各市人均水资源生态承载力分析结果, 南宁市人均水资源生态承载力指数较小的主要原因是人口基数太大, 因此政府应该严格控制南宁市人口数量, 引进先进的节水设备, 提高生产用水效率, 减少人均用水量; 来宾市、贵港市、百色市、钦州市以及崇左市的人均水资源生态承载力指数较小的原因是水资源量较少、人口数量较大且人均用水量较大, 因此政府可以通过引导工业布局 and 产业结构调整, 鼓励发展用水效率高的高薪技术产业, 来提高工业用水重复利用率和工艺节水水平, 对于不可改变的耗水量大的企业实行梯级水价收费方式, 严格控制用水总量; 北海市人均水资源生态承载力较小的原因是土地面积小、天然降水量少、水资源总量有限, 并且北海市主要发展的旅游业占据了大量水资源, 因此该市应尽可能的发展绿色生态旅游, 减少水资源的流失; 位于东北部的桂林市、河池市、贺州市、玉林市以及梧州市的人均水资源生态承载力指数与人均生态足迹指数之间的差异不大, 只要在原有水资源供需的基础上, 实施水资源管理“三条红线”, 将可以使该地区的水资源处于可持续发展状态。

本文在水资源生态足迹计算过程中, 仅考虑了生产用水(包括农田灌溉用水、工业用水、林牧渔牲畜用水和建筑服务业用水)、生活用水、以及生态用水三个方面, 没有考虑水污染带来的水资源生态足迹。随着城市化的发展, 水污染带来的水资源生态足迹势必是成为水资源生态足迹账户中的重要组成部分。所以在今后的研究中, 还需要综合实际情况选择水资源账户组成部分, 使得分析结果更合理、更科学, 更能够真水的反应核算区的水资源安全情况。

#### 参考文献(References):

- [1] MATHIS W, WILLIAM E R. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996: 3-34.
- [2] GERNOT S, PETER E. The water supply footprint(WSF): A strategic planning tool for sustainable regional and local water supplies[J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 19: 1677-1686.
- [3] 范晓秋. 水资源生态足迹研究与应用[D]. 南京: 河海大学, 2005. (FAN Xiaohu. Study on the principle of water resources ecological footprint and applical in Jiang su province[D]. Nanjing: Hehai University, 2005. (in Chinese))
- [4] 张义. 基于生态足迹模型的河池市水资源可持续利用评价[J]. 南水北调与水利科技, 2013(11): 4: 26-30. (ZHANG Yi. Assessment of Sustainable utilization of water resources In Hechi City based on ecological footprint model[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013(11) 4: 26-30. (in Chinese))
- [5] 方国华, 罗乾, 黄显峰, 等. 基于生态足迹模型的区域水资源生态承载力研究[J]. 水电能源科学, 2011, 10(29): 12-14. (FANG Guohua, LUO Qian, HUANG Xianneng, et al. Based on emergy theory analysis for benefit of agricultural irrigation[J]. Water Resources and Power, 2011, 10(29): 12-14. (in Chinese))
- [6] 王文国, 何明雄, 潘科, 等. 四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J]. 自然资源学报, 2011, 9(26): 1555-1565. (WANG Wenwen, HE Mingxiong, PAN Ke, et al. Analysis of spatio-temporal characteristics of water resources ecological footprint and ecological carrying capacity in Sichuan Province[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 9(26): 1555-1565. (in Chinese))
- [7] 王宁, 粟晓玲. 陕西关中地区水资源生态足迹与生态赤字研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(3): 221-227. (WANG Ning, SU Xiaoling. Ecological footprint and deficit of water resources in Guanzhong, shanxi. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed, 2013, 4(3): 221-227. (in Chinese))
- [8] 张帅, 董泽琴, 王海鹤, 等. 基于生态足迹改进模型的均衡因子与产量因子计算——以某市为例[J]. 安徽农业科学, 2010, 39(14): 7496-7499. (ZHANG Shuai, DONG Zeqing, WANG Haihe, et al. Calculation of equivalence factor and yield factor based on modified ecological footprint model[J]. Journal of Anhui Agri. Sci, 2010, 38(14): 7496-7498. (in Chinese))
- [9] 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). (HUANG Linnan, ZHANG Weixin, JIANG Cuiling, et al. Ecological footprint method in water resources dssessment[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3). (in Chinese))
- [10] 广西水利厅. 广西水资源公报(2008-2012)[R]. 广西: 广西水利厅, 2008-2012. (Water Conservancy Bureau of Guangxi. Guangxi Water Resources Bulletin 2008-2012[R]. Guangxi: Water Conservancy Bureau of Guangxi, 2008-2012. (in Chinese))
- [11] 《广西统计年鉴》编委会. 广西统计年鉴(2009-2013)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009-2013. (Statistical Yearbook of Guang Xi Editorial Board. Guangxi Statistical Yearbook (2009-2013)[M]. Beijing: China Statistics Press, 2009-2013. (in Chinese))
- [12] 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, 98. (XU Shan, XIA Lihua, CHEN Zhibin, et al. Analysis of sustainable utilization of water resources in Guangdong province based on ecological footprint theory[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(5): 11-15, 98. (in Chinese))
- [13] 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, 8(1): 69-71. (LI Peiyue, QIAN Hui, WU Jianhua, et al. Study and analysis of water resources ecological footprint of 2008 in Yinchuan city[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(1): 69-71. (in Chinese))
- [14] 谭秀娟, 郑钦玉. 我国水资源生态足迹分析与预测[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3559-3568. (TAN Xiujuan, ZHENG Qinyu. Dynamic analysis and forecast of water resources ecological footprint in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3559-3568. (in Chinese))