DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2015.03.24

基于 LMDI 法东莞市水资源生态足迹影响因素分析

方伟成, 孙成访, 郭文显 (东莞理工学院城市学院, 广东东莞 523419)

摘 要:水资源生态足迹是衡量水资源可持续发展的重要指标。研究东莞市水资源生态足迹现状,并应用 LMDI 法剖析水资源生态足迹影响因素。结果表明:2000-2011年间,东莞市水资源生态足迹整体上呈现先急速上升后 缓慢下降的趋势,经济效应是水资源生态足迹增长的主要推动因素,水足迹技术效应是抑制水资源生态足迹增长 的关键因素,水足迹结构效应和人口效应一定程度上助长水资源生态足迹的增长。

关键词:水资源; 生态足迹; 因素分析; LMDI

中图分类号:TV213.4 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2015)03-0115-03

Analysis of influence factor of water resources ecological footprint in Dongguan based on LMDI method

FANG Weicheng, SUN Chengfang, GUO Wenxian

(City College of Dongguan University of Technology, Dongguan 523419, China)

Abstract: The water resources ecological footprint is an important index to measure the sustainable development of water resources. The paper studied the situation of water ecological footprint and used LMDI method to analyze the factors that impact the water ecological footprint in Dongguan. The result showed that during the period of 2000 to 2011, the water ecological footprint of Dongguan presented a trend of first rapid rise and then slow decline. The economic effect is the main factor to promote the development of water ecological footprints. The water footprint technical effect is a key factor to restrain the growth of water ecological footprint. The effects of water footprint structure and population encouraged the growth of water ecological footprint to a certain extent.

Key words: water resources; ecological footprint; factor analysis; LMDI

1 研究背景

随着水资源短缺、水资源浪费、水体污染等问题 日益凸显,水资源可持续发展已经成为世界各国关 注的热点问题。由生态足迹的基础上发展而来的水 资源生态足迹,由于概念直观具体、操作性强、具有 可比性等优点,已经成为衡量水资源持续发展的重 要指标。近年来,国内外对水资源生态足迹的研究 成果不少,主要体现以下3个方面:一是针对水资源 生态足迹帐户,不同的学者对水资源生态足迹帐户 有不同的分类,有的学者分为生活用水足迹、生产用 水足迹和生态用水足迹^[1-2];有的分为蓝水、绿水和 灰水^[3];有的分为水产品生态足迹、淡水生态足迹 和水污染生态足迹^[4-5]。二是针对其计算方法。有 的学者在生态足迹模型的基础上建立水资源生态足 迹模型^[6-7];有的以"水量"为要素构建水生态足 迹^[8];有的引入"虚拟水"概念计算水足迹^[6],有的 运用投入产出方法计算水足迹^[7]。三是针对水资 源生态足迹的预测研究,其主要研究方法有:综合自 回归移动平均模型^[8]和系统动力学模型^[9]。综观 以往研究,目前对水资源生态足迹及其影响因素之 间关系研究甚少。

鉴此,本文利用 LMDI 分解模型对 2000 - 2011 年东莞市水资源生态足迹变化量进行分解分析,旨 在探讨影响水资源生态足迹的主要因素,为东莞市 水资源可持续利用与管理提供参考。

收稿日期:2014-11-27; 修回日期:2015-04-21

基金项目:东莞市 2014 年哲学社会立项课题阶段成果——东莞水乡经济区水污染源调查与治理机制研究(2014HZD02) 作者简介:方伟成(1981-),男,广东东莞人,硕士,讲师,主要从事环境科学与水污染治理教学研究。

2 研究区域与研究方法

2.1 研究区域概况

东莞市位于我国华南地区,面积 2 465 km²,地理 坐标为东经 113°31′~114°15′,北纬 22°39′~23°09′。 地势东南高、西北低,以丘陵台地、冲积平原为主。属 亚热带季风气候,雨量充沛,年均降水量为1 822 mm, 境内主要河流有东江南支流、东江北支流、石马河与 寒溪水,96%的城市面积属东江流域。东莞市境内年 均水资源总量为 22.98 亿 m³,截至 2011 年低,东莞市 常住人口为 822 万,人均年水资源量不足 300 m³,为 全国平均水平的 1/6,属于极度缺水地区。

2.2 研究方法

2.2.1 水资源生态足迹模型 基于生态足迹的内涵, 考虑到东莞市水资源的利用现状,将水资源利用分为 农业用水、工业用水、生活用水、生态环境用水等4大 类,用于表征水资源对经济、社会与生态环境的支撑能 力。鉴于此,水资源生态足迹计算公式^[1]如下:

$$wf = \sum_{i=1}^{4} wf_i = \sum_{i=1}^{4} \gamma q_i ap \tag{1}$$

式中: *i* 为水资源类型; *wf* 为水资源总生态足迹,万 hm²; *wf_i* 为第 *i* 类水资源生态足迹,万 hm²; γ 为水 资源均衡因子,取 5. 19^[1]; *q_i* 为第 *i* 类水资源消耗 量,m³; *ap* 为水资源平均生产能力,m³/hm²,取 3 140 m³/hm^{2[1]}。

2.2.2 指数分解模型 指数分解方法是定量分析 事物变化特征及其因素的影响作用。目前,最常用 的指数分解方法是对数平均迪氏指数法(LMDI)、拉 氏指数和迪氏指数法。与拉氏指数和迪氏指数法相 比,LMDI 法既消除了分解残差项,又解决了零值问 题,具有良好的准确性和聚合性,已被广泛应用于能 源、碳排放与经济发展的研究中。本文借鉴 Kaya 恒 等式和能源因素分解的方法^[10],运用 LMDI 法构建 水资源生态足迹指数分解模型如下:

$$wf_{\iota} = \sum_{i} wf_{i\iota} = \sum_{i} \frac{wf_{i\iota}}{wf_{\iota}} \cdot \frac{wf_{\iota}}{y_{\iota}} \cdot \frac{y_{\iota}}{p_{\iota}} \times p_{\iota} = \sum_{i} s_{i\iota}i_{\iota}r_{\iota}p_{\iota}$$
(2)

$$\Delta w f_i = w f_i - w f_0 = \sum_i s_{ii} i_i r_i p_i - \sum_i S_{i0} i_0 r_0 p_0$$

= $\Delta w f_s + \Delta w f_i + \Delta w f_r + \Delta w f_p$ (3)

其中, $s_{ii} = wf_{ii}/wf_i$, $i_t = wf_t/y_t$, $r_t = y_t/p_t$ 式中: wf_{ii} 为第 t 时期第 i 类水资源的生态足迹, 万 hm²; wf_t 为第 t 时期水资源总生态足迹, 万 hm²; y_t 为第 t 时期国内生产总值 GDP, 万元; p_t 为第 t 时期 常住人口数(人); s_{ii} 为第t时期第i类水资源利用占 水资源总生态足迹比重,代表水足迹结构效应; i_i 为 第t时期单位 GDP 水资源生态足迹,代表水足迹技 术效应; r_i 为第t时期人均 GDP,代表经济效应; p_i 代 表人口效应; Δwf 为水资源总生态足迹变化量,万 hm²/a; wf_i 、 wf_0 分别是第t年和基准年的水资源生 态足迹量,万 hm²; Δwf_s , Δwf_i , Δwf_p 分别是水 足迹结构因素、水足迹强度因素、人均 GDP 因素和 常住人口因素引起的水足迹变化量(万 hm²/a)。

利用 LMDI 加和分解方法对(3) 式进行分解,结果如下:

$$\Delta w f_{s} = \ln \frac{s_{it}}{s_{i0}} \sum_{i} \frac{w f_{it} - w f_{i0}}{\ln w f_{it} - \ln w f_{i0}}$$
(4)

$$\Delta w f_i = \ln \frac{i_t}{i_0} \sum_i \frac{w f_{ii} - w f_{i0}}{\ln w f_{ii} - \ln w f_{i0}}$$
(5)

$$\Delta w f_r = \ln \frac{r_t}{r_0} \sum_{i} \frac{w f_{ii} - w f_{i0}}{\ln w f_{ii} - \ln w f_{i0}}$$
(6)

$$\Delta w f_{p} = \ln \frac{p_{t}}{p_{0}} \sum_{i} \frac{w f_{ii} - w f_{i0}}{\ln w f_{ii} - \ln w f_{i0}}$$
(7)

分解效应若为正数,则表明该因素具有推动作用,否则,表明该因素具有抑制作用。

2.2.3 数据来源 本文研究数据来源于 2000 - 2011 年的《东莞市水资源公报》和《东莞市统计年鉴》。其中,GDP采用以 2000 年为基期的不变价格 计算而得,以剔除价格波动的影响。

3 结果与分析

3.1 东莞市水资源生态足迹现状分析

从总体上看(图1),东莞市水资源生态足迹呈现先急速上升后缓慢下降的变化过程,但是整体上呈现增长趋势,年均增长率达4.53%。以2007年为分界点,2000-2007年水资源生态足迹突飞猛进,由2000年的239.57万hm²快速增长到2007年的374.70万hm²,年均增长率达8.06%。2007-2011年水资源生态足迹有所回落,由2007年的374.70万hm²缓慢下降到2011年的359.00万hm²,年均下降率达1.05%。究其原因,则是2008年始,东莞市政府加强节水型社会建设,制定一系列节水计划与措施,致使水资源生态足迹有所下降。

从构成来看,工业用水足迹整体上呈现先上升 后下降的态势,与水资源生态足迹曲线呈现高度相 似性,从 2000 年的 78.84 万 hm² 急速增长到 2007 年的 192.56 万 hm²,然后下降到 2011 年的 154.21 万 hm²,年均增长率达 8.69%,年均占东莞市水资源 生态足迹比例为45.03%,可见,工业用水是东莞市 水资源生态足迹的主要构成。生活用水足迹整体上 呈现稳步增长,从2000年的70.58万hm²增长到 2011年的164.46万hm²,年均增长率达12.09%, 年均比重为28.87%;农业用水足迹总体呈现先下 降后稳定的趋势,从2000年到2004年呈现急速下 降态势,2005年到2011年呈稳定状态,年均比重为 12.35%;生态环境用水足迹总体呈现缓慢增长趋 势,虽然年均比重为3.47%,但是,年均增长率达 37.51%,表明东莞市正在加大生态环境的改善。

3.2 东莞市水资源生态足迹因素分解分析

为了进一步探讨水资源生态足迹影响因素,以 2000 年为基年,运用 LMDI 法对东莞市水资源生态 足迹变化进行因素分解。由图 2 可知,经济发展效 应、人口效应和水足迹结构效应对东莞市水资源生 态足迹的增长起到正效应,水足迹技术效应起到负 效应。

经济发展效应是东莞市水资源生态足迹增长的 主要因素。2000-2007年间,经济发展效应呈直线 增长,2008年受金融危机的影响,东莞市经济增长 有所缓慢,水资源生态足迹有所下降,导致2008-2009年间经济发展效应增长缓慢。2009年后,经济 发展效应又恢复持续增长。总体上,2000-2011 年,经济发展效应呈现增长态势,水资源生态足迹增 长400.35万hm²,累计贡献率达到344.3%。这主 要因为东莞市经济高速发展,特别是工业的发展,对 水资源消费和依赖性不断增加,从而在整体上加速 水资源生态足迹快速增长。

人口效应是东莞市水资源生态足迹增长的重要因素。2000-2011年,人口效应呈现不断上升趋势,导致水资源生态足迹增长71.77万hm²,累计贡献率达到60.09%。2000-2005年,由于东莞市年均人口增长率较小,为0.35%,对水资源生态足迹增长的影响不大。2006年后,东莞市年均增长28.21万人,年均人口增长率为4.30%,比同时期的水资源生态足迹增长率(1.22%)增加许多,致使人口效应呈现上升趋势。

水足迹结构效应对东莞市水资源生态足迹增长 起到一定的作用。水足迹结构效应从 2000 年的 0.09万 hm² 增长到 2011 年的 1.88 万 hm²,累计贡 献率为 1.59%,呈现持续增长的态势。水足迹结构 效应虽然对促进水资源生态足迹增长的效果不太明 显,但是,对水资源生态足迹增长的抑制作用没有充 分发挥出来。水足迹结构的不合理,特别是工业部 门对水资源的消费与依赖,一定程度上引起水资源 生态足迹的增长。

水足迹技术效应对抑制东莞市水资源生态足迹 增长起到关键作用。2000-2011年间,水足迹技术效 应呈现显著的负效应,水足迹逐年减少,到2011年累 计减少354.57万hm²,累计贡献率达到-296.88%。 可见,水足迹技术效应很大程度上抑制东莞市水资源 生态足迹的增长,但是其抑制作用远远比不上经济发 展效应与人口效应引起的拉动作用,从而导致东莞市 水资源生态足迹整体上呈现增长趋势。





图 1 2000-2011 年东莞市水资源生态足迹变化趋势及其组成

图 2 2000-2011 年东莞市水资源生态足迹因素分解

4 结 语

随着经济、社会和生态环境的发展,东莞市水资 源生态足迹总体上呈现增长趋势,其中工业用水足 迹是东莞市水资源生态足迹的主要组成部分,占 45.03%,其次是生活用水足迹占 28.87%,而农业 用水足迹和生态环境用水足迹所占比例较少。

在水资源生态足迹影响因素分析方面,经济发展 效应是导致水资源生态足迹增长的主要原因,这主要 是东莞经济结构仍然以工业为主,以工业发展带动经 济发展的模式必然消耗大量水资源;水足迹技术效应 是降低水资源生态足迹的关键因素;而人口效应与水 足迹结构效应一定程度上促进水资源生态足迹的增 长。基于此,东莞在大力发展经济的同时,要充分考

(下转第123页)

- [17] Wels C, Cornett R J, Lzaerte B D. Hydrograph separation: A comparison of geochemical and isotopic tracers [J]. Journal of Hydrology, 1991, 122(1-4):253-274.
- [18] Mazvimavi D, Meijerink M J, Stein A. Prediction of base flows from basin characteristics: a case study from Zimbabwe[J]. Hydrological Science Journal, 2004, 49 (4): 703-715.
- [19] 左海凤,武淑林,邵景力,等.山丘区河川基流 BFI 程序 分割方法的运用与分析——以汾河流域河岔水文站 为例[J].水文,2007,21(1):69-71.
- [20] Pettyjonh W A, Henning R. Preliminary estimate of ground-water recharge rates, related stream – flower and water quality in Ohio[R]. Columbus, Ohio, United States: Ohio State University Water Resources Center, 1979.
- [21] Sloto R A, Crouse M Y. HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis[R]. U. S. Geological Survey Water – Resources Investigation Report, 1996.
- [22] Eckhardt K. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods
 [J]. Journal of Hydrology, 2008, 352(1-2):168-173.

(上接第117页)

虑水资源的稀缺性和节水的重要性,进一步调整产 业结构,逐步降低工业在产业结构中的比重,同时继 续通过清洁生产、节能降耗、回收利用等技术,减少 水资源利用强度,提高水资源利用效率。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 莫明浩,王学雷,任宪友,等.湖北省洪湖市生态足迹与水足迹动态分析[J].中国人口·资源与环境,2009,19
 (6):70-74.
- [3] Chapagain A K, Hoekstra A Y, Savenije H H G. Water saving through international trade of agricultural products [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2006, 10(3):455-468.
- [4] 洪辉. 基于生态足迹法的西安市水资源生态足迹研究

- [23] 杨 蕊,王 龙,韩春玲.9 种基流分割方法在南盘江上游 的应用对比[J]. 云南农业大学学报,2013,28(5): 707-712.
- [24] Nathan R J, McMahon T A. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis [J]. Water Resources Research, 1990, 26(7):1465 1473.
- [25] Eckhardt D K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation [J]. Hydrological Processes, 2005, 19 (2):507-515.
- [26] Aronld J G, Allen P M, Muttiah R, et al. Automated baseflow separation and recession and recession analysis techniques[J]. Ground Water, 1995, 33(6):1010-1018.
- [27] 林凯荣,张文华,郭生练. 流量过程线分割的新方法 应用分析[J]. 水文,2006,26(4):15-20.
- [28] Aronld J G, Allen P M. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1999,35(2):411-424.
- [29] 雷泳南,张晓萍,张建军,等.自动基流分割法在黄土高 原水蚀风蚀交错区典型流域适用性分析[J].中国水 土保持科学,2011,9(6):57-64.

[D]. 西安:西安建筑科技大学,2007.

- [5] 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.
- [6] 赵红飞,方朝阳. 基于虚拟水消费的郑州市水足迹计 算[J]. 水电能源科学,2010,28(2):30-31+60.
- [7] 蔡振华,沈来新,刘俊国,等. 基于投入产出方法的甘肃 省水足迹及虚拟水贸易研究[J]. 生态学报,2012,32
 (20):6481-6488.
- [8] 吴志峰,胡永红,李定强,等.城市水生态足迹变化分析 与模拟[J].资源科学,2006,28(5):152-156.
- [9] 潘华玲. 慈溪地表水环境整治研究[D]. 金华:浙江师范 大学,2010.
- [10] 孙志威,廖红英,宋雨燕.基于对数平均迪氏指数法的 天津市能源消费碳排放分解分析[J].环境污染与防 治,2011,33(1):83-86+91.