

DOI:10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2020.0031

刘玉邦,严雨男.成都市水生态足迹的时间分布特征及其影响因素[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(2):93-98. LIU Y B, YAN Y N. An analysis of time distribution characteristics of water ecological footprint and its influencing factors in Chengdu City[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(2):93-98. (in Chinese)

成都市水生态足迹的时间分布特征及其影响因素

刘玉邦¹, 严雨男²

(1. 成都理工大学 社会科学处, 成都 610059; 2. 成都理工大学 生态环境学院, 成都 610059)

摘要: 为了加强对成都市水资源可持续利用的规划与管理, 运用水生态足迹计算模型分析成都市 2000—2016 年水生态足迹变化, 并基于 LMDI 分解法分析成都市水生态足迹影响因素。结果显示, 成都市水资源总量生态足迹逐年增大, 2012 年以后略有下降; 农业用水在整个用水结构中占比最高, 生态足迹最高; 其次为工业用水、生活用水、生态用水占比。成都市 2000—2016 年水生态承载力先增大后降低, 水生态盈余(赤字)逐年增大, 万元 GDP 水生态足迹逐年下降, 水资源负载指数逐年提高。说明成都市水资源利用程度高、利用效率高, 但开发潜力小, 水资源供给压力依然巨大。从影响因素的结构分析来看, 经济因素发挥主导作用, 结构因素的抑制作用还未显现, 人口因素的促进作用不够显著, 技术因素的抑制作用显著。

关键词: 水生态足迹; LMDI 分解法; 水生态承载力; 水生态盈余(赤字); 水资源负载指数

中图分类号: TV213 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



An analysis of time distribution characteristics of water ecological footprint and its influencing factors in Chengdu City

LIU Yubang¹, YAN Yunan²

(1. Department of Social Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. School of Ecology and Environment, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: In order to strengthen the planning and management of sustainable water resource utilization, this paper used the water ecological footprint calculation model to analyze the changes of water ecological footprint and the relevant influencing factors based on LMDI decomposition method from 2000 to 2016 in Chengdu, City. The result showed that the ecological footprint of total water resources in Chengdu has an upward trend with a decline after the year 2012. Agricultural water accounted for the highest proportion in the entire water structure and the highest ecological footprint; followed by industrial, domestic, and ecological water. The ecological water carrying capacity of Chengdu firstly showed an increase in trend while a decrease from 2000 to 2016. The ecological water deficit and the water resources load index increased year by year, whereas the ecological water footprint of 10,000 yuan GDP decreased year by year. It was illustrated that Chengdu has a high degree and high efficiency of water resource utilization. However, its development potential was small, and the pressure on water supply was huge. From the structural analysis of the interfering factors, economic factors play a leading role, and the inhibitory effect of structural elements has not yet appeared. Besides, the promotion of demographic factors was not significant, while the inhibition of technological elements was significant.

Key words: water ecological footprint; LMDI decomposition method; water ecological carrying capacity; water ecological surplus

收稿日期: 2019-01-30 修回日期: 2019-08-17 网络出版时间: 2019-09-11

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.tv.20190911.1206.002.html>

基金项目: 国家统计局统计信息技术与数据挖掘重点开放实验室开放课题(SDL201708)

作者简介: 刘玉邦(1968—), 男, 河北衡水人, 副编审, 博士, 主要从事环境水文与水环境保护、编辑出版研究。E-mail: liuyb@cduet.edu.cn

通信作者: 严雨男(1995—), 女, 黑龙江七台河人, 主要从事水污染防治方面研究。E-mail: 739368406@qq.com

(deficit); water resources load index

成都市水资源总量较为丰富,基本能够满足人民生产和生活的需要。但随着经济和社会的不断发展以及人们对美好生活需求的提高,成都市水资源对经济社会可持续发展的制约作用也越来越大^[1]。基于可持续发展视角分析成都市水生态足迹及其影响因素具有重要意义。

梳理当前研究文献,关于水资源可持续利用评价的相关研究颇丰,其中用生态足迹定量分析水资源可持续发展的理论及方法在国内外得到较多关注。徐中民^[2]率先将生态足迹研究模型及方法引入国内水足迹及水资源利用研究领域,之后邢清枝^[3]应用生态足迹法分析陕北地区水资源可持续利用情况,孙博^[4]分析了辽宁省的水资源生态足迹,刘翠翠^[5]、张建龙^[6]探讨了水资源生态足迹的计算方法,卞羽^[7]分析了福建省水资源生态足迹,张志高^[8]分析了河南省安阳市的水资源生态足迹,张可云^[9]、王双涛^[10]计算了中国省域的水资源生态足迹。邓晓军^[11]、陈栋为^[12]基于水足迹计算方法对水资源开发利用和水生态承载力进行分析和评价,但未能揭示出水生态足迹变化的影响因素,水资源可持续利用评价指标及方法也需进一步丰富和完善。基于此,本文选择水生态足迹、水资源生态承载力、水生态盈余(赤字)、水资源负载指数等指标,对成都市水资源可持续利用进行评价;同时采用 LMDI 法对成都市水生态足迹影响因素进行结构性分析,以期对成都市水资源可持续利用规划与管理有所助益。

1 模型理论及方法

1.1 水资源生态足迹计算模型及方法

自 20 世纪 90 年代加拿大 William^[13]提出用生态足迹定量分析自然资源可持续发展的理论后,该方法在全球范围内得到了广泛应用。1999 年,徐中民^[3]将生态足迹研究模型理论及方法引入中国后,国内学者于航^[14]、李兴正^[15]、张一宁^[16]分别将该理论和方法应用于水资源可持续利用、水资源安全、生态环境评价等多个研究领域,并取得了丰硕的研究成果。其中,生态足迹模型和虚拟水理论相结合发展成水足迹模型,用于评价水资源的可持续利用。张媛媛^[17]研究认为,当前中国水资源生态足迹的评价和计算方法应作进一步改进,要对水资源生态足迹进行计算,就要对水资源进行账户的创建,这是水

资源生态足迹模型构建的基础。据此,水资源账户可描述为具有生产功能的水资源用地,从而建立起土地类型水资源用地。水资源账户核算对象主要可分为生活用水、生产用水(包括第一、第二、第三产业用水)、生态环境用水等。相关模型公式为

$$EF = \sum_{i=1}^4 EF_i \quad (1)$$

$$EF_i = N \times ef_i = \gamma \times \frac{W}{P_w} \quad (2)$$

式中: i 为水资源用水类型; EF_i 为第 i 种水资源应用类型的生态足迹, hm^2 ; N 为区域人口数量,人; ef_i 为第 i 种水资源类型的人均生态足迹, hm^2 ; W 为水资源消耗量, m^3 ; γ 为水资源全球均衡因子,依据王双涛^[10]研究文献其值可取为 5.19; P_w 作为水资源全球平均生产能力,依据王双涛^[10]研究文献其值可取为 $3\ 140\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 。

水生态承载力是指研究期内某研究区最大水资源供应量对该区资源、环境和社会可持续发展的支撑能力。按照水生态承载力的概念内涵,其值按式(3)计算

$$EC_w = N \times ec_w = 0.4 \times \varphi \times \gamma \times \frac{Q}{P_w} \quad (3)$$

式中: EC_w 为水资源生态承载力, hm^2 ; ec_w 为人均水资源生态承载力, hm^2 ; N 为人口数; φ 为区域水资源产量因子,其值可取 0.78; Q 为区域水资源总量, m^3 。依据方伟成^[18]研究文献,0.4 为在水资源总量中仅用于人类活动的系数。

万元 GDP 水生态足迹。万元 GDP 水生态足迹,即指某区域特定时段内水资源生态足迹与区域 GDP 的比值,其数值大小在一定程度上反映了用水效率,其值越小说明用水效率越高。其值按式(4)计算

$$\text{万元 GDP 水生态足迹} = EF / \text{GDP 总值} \quad (4)$$

水生态盈余(赤字)。依据方伟成^[18]研究文献,可用水生态盈余或水生态赤字用以表征一个地区水资源开发利用程度。计算公式为

$$\text{水生态盈余(赤字)} = EC_w - EF \quad (5)$$

水资源负载指数,体现了未来水资源开发潜力,也反映了区域水资源利用程度与经济发展水平和人口的关系。依据水资源负载指数分级标准,其值越大,水资源利用程度就越高,而未来水资源开发潜力则越小。其值按式(6)确定

$$c = k \frac{\sqrt{NG}}{Q} \quad (6)$$

式中: c 为代表水资源负载指数, N 为总人口,万人, G 为国内生产总值,亿元; Q 代表水资源总量,亿 m^3 ; k 为与降水有关的系数,依据成都市年降水情况其值可取 0.2。

1.2 LMDI 指数分解法

指数分解法,是指将一个相对复杂的指标分解成若干个分析与实行均较为简单的子指标,之后对每一个子指标进行分析。LMDI 法能有效解决分解过程中出现的残差和“0”值问题,普遍应用于解决实际问题当中^[24]。基于 LMDI 分解法构造水生态足迹指数分解模型的过程为

$$ef_t = \sum_{i=1}^4 ef_{it} = \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it}}{ef_t} \cdot \frac{ef_t}{y_t} \cdot \frac{y_t}{p_t} \cdot p_t \quad (7)$$

$$\Delta ef_t = ef_t - ef_0 = \sum_{i=1}^4 s_{it} i_t \gamma_t p_t - \sum_{i=1}^4 s_{i0} i_0 \gamma_0 p_0 = \quad (8)$$

$$\Delta ef_s + \Delta ef_i + \Delta ef_\gamma + \Delta ef_p$$

式(8)中, $s_{it} = \frac{ef_{it}}{ef_t}$, $i_t = \frac{ef_t}{y_t}$, $\gamma_t = \frac{y_t}{p_t}$ 。其中, ef_t 为第 t 时期水生态足迹, hm^2 ; y_t 为第 t 时期国内生产总值,万元; ef_{it} 为第 t 时期第 i 类水生态足迹, hm^2 ; p_t 为第 t 时期的常住人口,万人; s_{it} 为第 t 时期第 i 类水资源利用占总水资源生态足迹的比重,为结构因素; i_t 为第 t 时期单位 GDP 水生态足迹,为技术因素; γ_t 为第 t 时期人均 GDP,为经济因素; p_t 为人口因素; Δef_t 代表总水生态足迹变化量, hm^2 ; ef_t 、 ef_0 为第 t 年和基准年的水生态足迹, hm^2 ; Δef_s 、 Δef_i 、 Δef_γ 、 Δef_p 分别为水生态足迹结构因素、技术因素、经济因素和人口因素所引起的水生态足迹变化量, hm^2 。

利用 LMDI 分解法对上述各式进行分解,得出

$$\Delta ef_s = \ln \frac{s_{it}}{s_{i0}} \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it} - ef_{i0}}{\ln ef_{it} - \ln ef_{i0}} \quad (9)$$

$$\Delta ef_i = \ln \frac{i_t}{i_0} \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it} - ef_{i0}}{\ln ef_{it} - \ln ef_{i0}} \quad (10)$$

$$\Delta ef_\gamma = \ln \frac{\gamma_t}{\gamma_0} \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it} - ef_{i0}}{\ln ef_{it} - \ln ef_{i0}} \quad (11)$$

$$\Delta ef_p = \ln \frac{p_t}{p_0} \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it} - ef_{i0}}{\ln ef_{it} - \ln ef_{i0}} \quad (12)$$

2 成都市水生态足迹时间分布特征分析

2.1 数据来源

本文所涉评价指标,包括生活用水、生产用水(农业用水量、工业用水量)、生态用水、水资源消耗量等指标数值采自 2000—2016 年《成都市水资源公

报》;本文所涉经济指标及社会发展指标,包括地区国内生产总值、常住人口、人口总数等,采自 2000—2016 年《成都市国民经济与社会发展统计公报》;水生态承载力、万元 GDP 水生态足迹、水生态盈余、水资源负载指数、各类型用水生态足迹,则根据本文中式(1)–(6)计算获得;各计算公式中的常数项,参考王双涛的研究文献和成都市实际情况给出。

2.2 成都市水生态足迹的时间分布特征

按照本文式(1)至式(6)分别计算成都市 2000—2016 年水生态足迹、水生态承载力、万元 GDP 水生态足迹、水生态盈余(赤字)、水资源负载指数,计算结果见图 1 至 5。

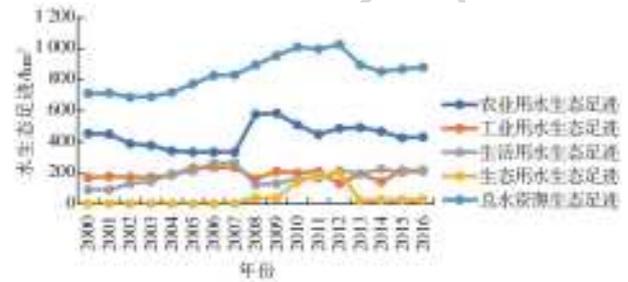


图 1 2000—2016 年成都市水生态足迹

Fig. 1 Chengdu's water ecological footprint from 2000 to 2016

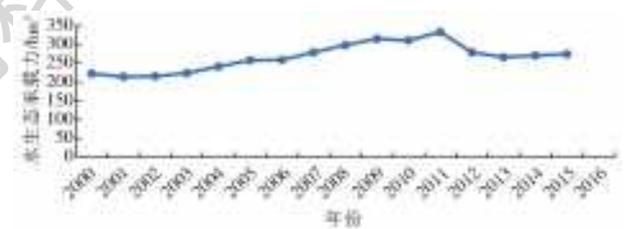


图 2 2000—2016 年成都市水生态承载力变化

Fig. 2 Changes of water ecological carrying capacity in Chengdu from 2000 to 2016

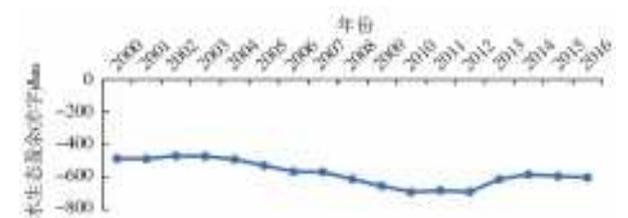


图 3 2000—2016 年成都市水生态盈余(赤字)变化

Fig. 3 Changes in water ecological surplus (deficit) in Chengdu from 2000 to 2016

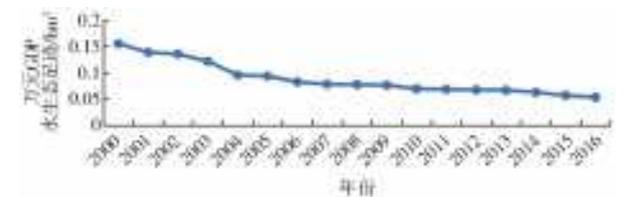


图 4 2000—2016 年成都市万元 GDP 水生态足迹

Fig. 4 Water ecological footprint of RMB 10,000 GDP in Chengdu from 2000 to 2016

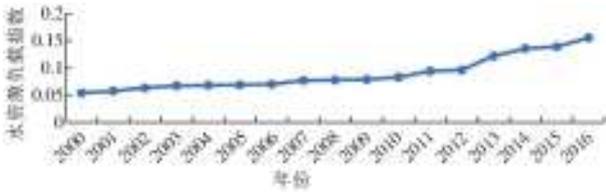


图 5 2000—2016 年成都市水资源负载指数变化

Fig. 5 Changes in water resources load index of Chengdu City from 2000 to 2016

从图 1 来看,成都市生产用水占比较高,其中农业用水比例高于工业用水,研究期内年用水量最高达到 35.2 亿 m^3 ,占当年总用水量的 61%,年均值用水量为 26.33 亿 m^3 。以 2008 年为分界点,2008 年以前的生态用水并未作纳入用水统计类型;2008 年以后,生态用水量作为单独的用水类型进行统计,其值逐年增大,增加趋势比较平缓。

其次,水资源总量的生态足迹呈现出先增大后变小的特点。2000—2012 年逐年增大,2012 年达到最高的 1 024 万 hm^2 。2013—2014 年呈小幅下降。2015—2016 年又小幅上升。在四类用水的水生态足迹中,农业用水生态足迹最高,年均值达到 435.28 万 hm^2 ,平均占比 52%,2009 年达到最高。其次为工业、生活和生态用水生态足迹。

再次,从农业用水生态足迹与水资源总量的生态足迹的比较来看,其变化趋势大致相同,从 2000—2007 年逐年下降,2007 年达到最低值 332.39 万 hm^2 ,2008 年以后迅速上升,2009 年达到最高的 581.81 万 hm^2 ,以后又逐渐下降。另外,工业用水生态足迹和生活用水生态足迹均呈现出上升趋势,第三产业用水逐年增加,反映出成都市产业结构的不断优化。生态用水生态足迹的增加,反映了成都市生态环保意识的增强。

图 1 所示结果总体反映了成都市水资源可持续开发利用情况。成都市 2012 年创建节水型城市、2013 年开展水生态文明城市建设试点,严格落实“三条红线”,严格落实“四项制度”,控制用水总量,提高用水效率,加强水资源循环利用,加强水生态文明建设,用水效率和效益均有较大提高。

图 2 显示,成都市水生态承载力从 2000—2012 年逐年提高,并于 2012 年达到最高,但在 2012 年以后出现逐年下降趋势。这需要给予充分重视,要不段优化产业结构,注重水资源循环利用,提高水资源生态承载力。

从图 3 的结果分析,2000—2012 年水生态赤字逐年增大,显示出经济发展和人口增长对水资源需求的压力。2012 年以后,成都市创建节水型城市和

开展水生态文明城市建设试点,落实最严格的水资源管理制度,水生态赤字又小幅下降。生活用水量的增加在一定程度上加大了水生态赤字。

从图 4 可知,成都市万元 GDP 水生态足迹是持续下降的,从 2000 年的 0.540 8 hm^2 下降到 2016 年的 0.072 1 hm^2 ,说明成都市用水效率是逐年提高的。虽然人口和经济增长会导致人均水资源生态足迹增大,但产业结构的优化和节水环保技术的提高、生态意识的增强,使用水效率和用水效益大大提高,万元 GDP 用水生态足迹持续下降。

从图 5 所示结果分析,成都市水资源负载指数是逐年上升的,说明成都市经济社会发展对水资源的开发利用程度很高,但未来开发利用潜力下降,导致水资源开发难度增加,水资源供给压力增大。要充分利用多种水源,优化水资源供给结构。对成都而言,除加强对地表水资源的有效开发利用以外,加强对雨水资源的集蓄利用也是未来水资源开发的优先方向,同时要降低地下水资源的开采量,提升污水处理和水循环利用能力。

3 基于 LMDI 法的成都市水生态足迹影响因素分析

按照 LMDI 指数分解方法对成都市 2000—2016 年水生态足迹影响因素进行结构性分析,所得结果见图 6。

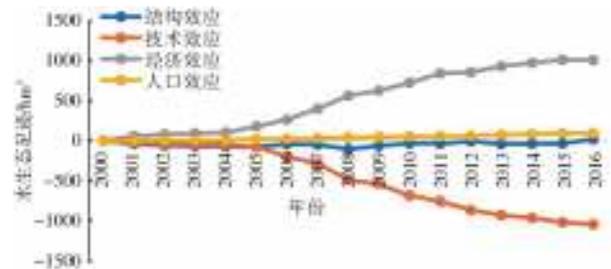


图 6 2000—2016 年成都水生态足迹分解因素

Fig. 6 Decomposition effect of Chengdu's water ecological footprint from 2000 to 2016

由图 6 可知,经济因素在 2000—2016 年成都市水生态足迹增长中发挥着主导作用,数值逐年增大,2016 年达到 1 006.10 万 hm^2 。从成都市历年 GDP 的增速来看,经济的快速增长拉动了对水资源的高需求。

从结构因素的变化趋势来看,2000—2016 年期间,结构因素也呈现上升趋势,但变化比较平缓,说明结构因素对水生态足迹的抑制作用并没有显现出来,总体上成都市水生态足迹结构基本合理,这得益于成都市多年推动的供给侧结构改革和产业结构优化。

人口因素对水生态足迹增长也具有一定促进作用,但从变化趋势图上来看,作用并不显著,从2000—2016年成都市总人口的增长趋势比较平缓。人口因素对水生态足迹增长的促进作用远远不及经济因素。

技术因素对成都市水生态足迹增长有较显著的抑制作用,2000—2016年呈现出逐年下降趋势,其值由2001年的一24.77万 hm^2 下降到一1046.97万 hm^2 。可见,提高水资源开发利用技术,提高用水效率,仍是成都市水资源可持续开发利用的主攻方向。

4 结 语

成都市2000—2016年总用水生态足迹是逐年上升的,2012年以后又有小幅下降,2012年作为成都市创建节水型城市和申报水生态文明城市试点年份,相应采取了一系列节水措施,因而成为变化节点。在四类用水的水生态足迹中,农业用水占比最高,最高量达到35.2亿 m^3 ,均值用水26.33亿 m^3 。生态用水自2008年作为单独统计类型逐年增加,反映出成都市生态意识和水资源可持续利用观念的增强。

2000—2016年成都市水生态承载力逐年提高,2012年以后出现短期下降,水生态盈余(赤字)逐年增大,经济、生活、生态用水压力逐年增大,导致赤字逐年增加。其中,2012年仍为变化节点。

从实证分析结果来看,成都市万元GDP水生态足迹呈现逐年下降趋势,反映了成都市水资源利用效率越来越高,这和成都市大力实施的产业结构优化升级和成都市水生态文明建设和水资源开发利用技术提高是分不开的。

成都市水资源负载指数逐年升高,由2000年的0.0537升至2016年的0.1554。说明成都市水资源开发利用程度逐年提高,但水资源开发潜力下降。优化水资源供给结构、加强对雨水资源的集蓄利用是今后成都市优先发展方向。

从水生态足迹影响因素分解结果来看,经济因素对水生态足迹增长发挥主导作用;结构因素对水生态足迹的抑制作用还未显现;人口因素对水生态足迹增长有促进作用,但还不够显著;技术因素对水生态足迹有显著抑制作用。

参考文献(References):

[1] 熊娜娜,谢世友.成都市水资源生态足迹及承载力时空演变研究[J].西南大学学报(自然科学版),2018,41

- (6):124-131. (XIONG N N, XIE S Y. Study on spatial and temporal evolution of water resources ecological footprint and carrying capacity in chengdu city[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2018, 41(3): 124-131. (in Chinese)) DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.06.019.
- [2] 徐中民,张志强,程国栋,等.中国1999年生态足迹计算与发展能力分析[J].应用生态学报,2003,14(2):280-285. (XU Z M, ZHANG Z Q, CHENG G D, et al. China's 1999 ecological footprint calculation and development capability analysis[J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 14(2): 280-285. (in Chinese)) DOI: 10.13287/j.1001-9332.2003.0064.
- [3] 邢清枝,任志远,王丽霞,等.基于生态足迹法的陕北地区水资源可持续利用评价[J].干旱区研究,2009,26(6):793-798. (XING Q Z, REN Z Y, WANG L X, et al. Evaluation of sustainable utilization of water resources in Northern Shaanxi based on ecological footprint method[J]. Arid Zone Research, 2009, 26(6): 793-798. (in Chinese)) DOI:10.13866/j.azr.2009.06.013.
- [4] 孙博,王海俊.基于辽宁省的水资源生态足迹分析[J].黑龙江水利科技,2018,46(8):12-18. (SUN B, WANG H J. Analysis of water resources ecological footprint based on Liaoning Province[J]. Heilongjiang Hydraulic Science and Technology, 2018, 46(8): 12-18. (in Chinese)) DOI:10.14122/j.cnki.hskj.2018.08.005.
- [5] 刘翠翠.城市水生态足迹模型的研究[J].山东工业技术,2017(10):228-229. (LIU C C. Study on urban water ecological footprint model[J]. Shandong Industrial Technology, 2017(10): 228-229. (in Chinese)) DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2017.10.199.
- [6] 张建龙,冯慧敏.基于生态足迹法的山西省水资源承载能力研究[J].黑龙江大学学报,2013,4(1):61-65. (ZHANG J L, FENG H M. Research on water resources carrying capacity of Shanxi Province based on ecological footprint method[J]. Journal of Engineering of Heilongjiang University, 2013, 4(1): 61-65. (in Chinese)) DOI:10.13524/j.2095-008x.2013.01.005.
- [7] 卞羽,洪伟,陈燕,等.福建水资源生态足迹分析[J].福建林学院学报,2010,30(1):1-5. (BIAN Y, HONG W, CHEN Y, et al. Analysis of ecological footprint of Fujian water resources[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2010, 30(1): 1-5. (in Chinese)) DOI: 10.13324/j.cnki.jfcf.2010.01.001.
- [8] 张志高,丁浩,庞菲菲.安阳市水资源生态足迹与生态承载力研究[J].陕西水利,2017,32(4):16-19. (ZHANG Z G, DING H, PANG F F, et al. Study on ecological footprint and ecological carrying capacity of

- water resources in Anyang City[J]. Shaanxi Water Resources, 2017, 32(04): 16-19. (in Chinese) DOI: 10.16747/j.cnki.cn61-1109/tv.2017.04.008.
- [9] 张可云,傅帅雄,张文彬. 基于改进生态足迹模型的中国 31 个省级区域生态承载力实证研究[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1084-1089. (ZHANG K Y, FU S X, ZHANG W B. Empirical study on the ecological carrying capacity of 31 provincial level regions in China based on improved ecological footprint model[J]. Geographical Science, 2011, 31(9): 1084-1089. (in Chinese) DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2011.09.009.
- [10] 王双涛,李王成,李晨,等. 基于 LMDI 法的宁夏水资源生态足迹影响因素分析[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(24): 84-87. (WANG S T, LI W C, LI C, et al. Ecological footprint in Ningxia based on LMDI Method[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 24(24): 84-87. (in Chinese) DOI: 10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2018.24.040.
- [11] 邓晓军,谢世友,王李云,等. 城市水足迹计算与分析——以上海市为例[J]. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(1): 62-68. (DENG X J, XIE S Y, WANG L Y, et al. Calculation and analysis of urban water footprint; Taking Shanghai as an example[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2008, 3(1): 62-68. (in Chinese) DOI: 10.19687/j.cnki.1673-7105.2008.01.009.
- [12] 陈栋为,陈晓宏,孔兰. 基于生态足迹法的区域水资源生态承载力计算与评价——以珠海市为例[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2224-2229. (CHEN D W, CHEN X H, KONG L. Calculation and evaluation of regional water resources ecological carrying capacity based on ecological footprint method; Taking Zhuhai City as an example[J]. Journal of Eco-Environment, 2009, 18(6): 2224-2229. (in Chinese) DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2009.06.032.
- [13] GARRY W, MCDONALD, MURRAY G, et al. Ecological Footprints and interdependencies of New Zealand and regions[J]. Ecological Economics, 2004, 222(1): 49-67. (in New Zealand) DOI: 10.1016/j.ecolecon.2004.02.008.
- [14] 于航,何俊仕. 基于改进生态足迹的朝阳市水资源可持续利用研究[J]. 湖北农业科学, 2017, 58(5): 841-844. (YU H, HE J S. Study on sustainable utilization of water resources in Chaoyang City based on improved ecological footprint[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 58(5): 841-844. (in Chinese) DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2017.05.011.
- [15] 李兴正,林爱文,杨倩,等. 基于生态足迹的中国水资源生态承载力供需平衡分析[J]. 湖北农业科学, 2015, 35(20): 5008-5014. (LI X Z, LIN A W, YANG Q, et al. Analysis of supply and demand balance of China's water resources ecological carrying capacity based on ecological footprint[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 35(20): 5008-5014. (in Chinese) DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2015.20.021.
- [16] 张一宁,张颖. 基于生态足迹的盐池县荒漠化治理工程可持续性效果分析[J]. 市场研究, 2019(3): 45-46. (ZHANG Y N, ZHANG Y. Analysis of sustainability effect of desertification control project in Yanchi County based on ecological footprint[J]. Marketing Research, 2019(3): 45-46. (in Chinese) DOI: 10.13999/j.cnki.scyj.2019.03.018.
- [17] 张媛媛. 基于三维生态足迹模型的唐山市水资源承载力研究[J]. 陕西水利, 2019(1): 23-26. (ZHANG Y Y. Study on water resources carrying capacity of Tangshan City based on three-dimensional ecological footprint model[J]. Shaanxi Water Resources, 2019(1): 23-26. (in Chinese) DOI: 10.16747/j.cnki.cn61-1109/tv.2019.01.007.