

# Dynamic Analysis of Water Ecological Footprint in Linfen City

Jia Han, Shifang Ren\*

Institute of Geographical Science, Taiyuan Normal University, Jinzhong Shanxi  
Email: 504867282@qq.com, \*ren74@126.com

Received: Nov. 16<sup>th</sup>, 2018; accepted: Nov. 30<sup>th</sup>, 2018; published: Dec. 7<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

According to the calculation results of water ecological footprint and water ecological carrying capacity, the sustainable utilization of water resources in Linfen city from 2006 to 2016 is analyzed, which combine with the water ecological deficit, the water ecological footprint of 10000-yuan GDP, the ecological pressure of water resources and the index of water resources sustainability, etc. The results show that there is an ecological deficit in the utilization of water resources in Linfen city every year, and the annual average is 0.226 hm<sup>2</sup>/cap. It shows that eco-economic systems are in an unsustainable state of development. However, according to the calculation results of the water ecological footprint of 10,000-yuan GDP and other indexes, the situation of water resources unsustainable development in Linfen city has a trend of improvement.

## Keywords

Water Ecological Footprint, Water Resource, Sustainable Development, Linfen City

---

# 临汾市水生态足迹动态分析

韩 佳, 任世芳\*

太原师范学院地理科学学院, 山西 晋中  
Email: 504867282@qq.com, \*ren74@126.com

收稿日期: 2018年11月16日; 录用日期: 2018年11月30日; 发布日期: 2018年12月7日

---

## 摘 要

根据临汾市水生态足迹与水生态承载力的计算结果, 结合水生态赤字, 万元GDP水生态足迹, 水资源生态压力

作者简介: 韩佳(1993-), 女, 山西忻州人, 硕士研究生, 研究方向资源评价与开发。

\*通讯作者。

文章引用: 韩佳, 任世芳. 临汾市水生态足迹动态分析[J]. 水资源研究, 2018, 7(6): 595-602.

DOI: 10.12677/jwrr.2018.76067

与水资源可持续指数等指标,对2006~2016年临汾市水资源可持续利用状况进行分析。结果显示,临汾市水资源利用每年都出现生态赤字,年平均达0.226 hm<sup>2</sup>/cap,表明生态经济系统处于不可持续的发展状态,但根据万元GDP水生态足迹等指标的计算结果来看,临汾市的水资源不可持续发展状况有改善的趋势。

## 关键词

水生态足迹, 水资源, 可持续发展, 临汾市

Copyright © 2018 by authors and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水是生命之源、生产之要、生态之基,区域社会经济的稳定发展离不开水资源的持续充足供给。水生态足迹的概念是在生态足迹概念的基础上产生的,指任何已知人口(一个人、一个城市或一个区域)在一定时间内所消费的产品和服务所需要的水资源用地面积[1]。临汾市是山西省下辖地级市,位于山西省西南部,临汾盆地纵贯临汾市中部,是山西省重要的粮棉基地之一,2016年国民生产总值为 $0.12 \times 10^8$ 元,占全省的9.29%。作为传统型工业城市,临汾市的支柱型产业如煤炭、钢铁及机械制造等均有赖于水资源的合理利用[2],水资源可持续利用的研究对于促进临汾市经济社会环境的发展具有十分重要的意义。

## 2. 研究方法

本文选取的水资源总量、各类型水资源消费量等数据来源于2006~2016年《山西省水资源公报》[3];人口数量及GDP等社会经济相关数据来源于2006~2016年《山西统计年鉴》[4]。按照黄林楠、谭秀娟在文献[1][6]中使用的计算模型及参考文献[7]中的水资源可持续指数指标,研究首先对临汾市11年间水生态足迹和水生态承载力进行分析计算,其中水生态足迹包括农业用水、工业用水、生活用水、城镇公共用水和生态环境用水五个子账户;然后从水生态赤字等方面对临汾市的水资源可持续利用做了评价[5]。

### 2.1. 水生态足迹模型

水生态足迹的计算公式为:

$$EF_w = N \times ef_w = N \times r_w \times (W/P_w) \quad (2-1)$$

式中:  $EF_w$  为水资源总生态足迹(hm<sup>2</sup>);  $N$  为人口数;  $ef_w$  为人均水生态足迹(hm<sup>2</sup>/cap);  $r_w$  为水资源全球均衡因子,取5.19 [1];  $W$  为人均消耗的水资源量(m<sup>3</sup>);  $P_w$  为水资源全球平均生产能力(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>),取3140 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> [1]。

### 2.2. 水生态承载力的计算模型

基于水生态足迹的理论,水生态承载力是指一定时期内某区域水资源开发利用对该区域经济—社会—生态系统发展的支撑能力,其计算公式[1]为:

$$EC_w = (1 - 60\%) \times r_w \times \psi \times Q / P_w \quad (2-2)$$

式中:  $EC_w$  为水生态承载力(hm<sup>2</sup>);  $r_w$  为水资源全球均衡因子,取5.19 [1];  $\psi$  为区域水资源产量因子,由区域产水模数与中国单位面积产水量( $29.46 \times 10^2$  m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)的比值,再除以中国的水资源产量因子(0.94)所得[1];  $Q$  为计算区域内水资源总量(m<sup>3</sup>);  $P_w$  为水资源全球平均生产能力(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>),取3140 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> [1]。

### 2.3. 水资源可持续利用评价指标

#### 1) 水生态赤字

将区域内水生态足迹和水生态承载力相比较, 得出水生态赤字和水生态盈余结果[6], 其计算公式为:

$$Erd = EC_w - EF_w \quad (2-3)$$

式中:  $Erd > 0$  表示水资源生态盈余, 此时区域水资源可持续利用;  $Erd < 0$  表示水资源生态赤字, 此时区域水资源不可持续利用。

#### 2) 万元 GDP 水生态足迹

万元 GDP 水生态足迹是指区域水资源总生态足迹( $EF_w$ )与区域国内生产总值(GDP)的比值[6], 其计算公式为:

$$\text{万元GDP水生态足迹} = EF_w / \text{GDP} \quad (2-4)$$

式中: 万元 GDP 数值越大, 水资源利用效率越低, 越不可持续利用; 数值越小, 水资源利用效率越高, 越可持续利用。

#### 3) 水资源生态压力指数

水资源生态压力指数( $EPI_w$ )是由区域水生态足迹( $EF_w$ )除以水生态承载力( $EC_w$ )所得[6], 其计算公式为:

$$EPI_w = EF_w / EC_w \quad (2-5)$$

式中: 当  $0 < EPI_w < 1$  时, 表明该区域水资源供给量大于消费量, 水资源利用处于可持续利用状态; 当  $EPI_w = 1$  时, 表明该区域水资源供需平衡, 水资源可持续利用处于临界状态; 反之, 当  $EPI_w > 1$  时, 水资源为不可持续利用;  $EPI_w$  越大, 水资源利用越不可持续。

#### 4) 水资源可持续指数

水资源可持续指数( $SI_w$ )是指一定时期某区域可持续供给的水资源总量满足该区域人类社会经济活动对水源的需要程度, 以此来评价区域水资源可持续发展利用程度[7]。其计算公式为:

$$SI_w = EC_w / (EF_w + EC_w) \quad (2-6)$$

式中:  $0 < SI_w < 1$ ,  $SI_w$  值越大, 表明水资源可持续利用程度越高, 即水资源利用处于可持续状态; 反之, 则水资源可持续利用程度越低, 即水资源利用处于不可持续状态。0.5 即为水资源可持续利用与不可持续利用的临界点。

## 3. 水资源生态足迹和生态承载力分析

### 3.1. 临汾市水生态足迹计算

根据 2006~2016 年山西省水资源公报中农业用水、工业用水、城镇公共用水、生活用水和生态环境用水数据, 临汾市各水生态足迹子账户计算结果见表 1。

**Table 1.** Each sub account of water ecological footprint of Linfen in 2006-2016 years (Unit:  $\times 10^4 \text{ hm}^2$ )

**表 1.** 2006~2016 年临汾市各水生态足迹子账户(单位:  $\times 10^4 \text{ hm}^2$ )

年份	农业用水生态足迹	工业用水生态足迹	城镇用水生态足迹	生活用水生态足迹	生态用水生态足迹	总用水生态足迹	人均用水生态足迹
2006	61.88	21.77	2.29	10.77	0.85	97.56	0.235
2007	72.94	20.77	2.54	10.68	0.96	107.89	0.259
2008	65.37	18.79	2.38	11.81	1.00	99.35	0.237
2009	65.93	15.70	1.70	12.19	0.78	96.30	0.228
2010	69.60	17.53	1.75	12.93	6.24	108.05	0.250

Continued

2011	81.79	17.02	4.60	15.36	5.37	124.14	0.286
2012	74.43	18.71	3.90	14.53	5.33	116.90	0.268
2013	76.59	19.14	3.24	15.36	4.89	119.22	0.272
2014	75.97	15.54	2.66	15.81	4.03	114.01	0.258
2015	78.89	16.59	2.37	16.98	5.09	119.92	0.270
2016	83.14	15.20	2.52	17.49	5.76	124.11	0.278
平均	73.32	17.89	2.72	13.99	3.66	111.59	0.258

由表 1 和图 1 可知, 2006~2016 年的 11 年间, 临汾市水生态足迹总体上呈不断增长趋势, 表明水资源利用量和对水资源的需求均在增加中。其中, 2009~2011 年阶段增长迅速, 增长幅度为 28.91%。2011~2016 年在波动中基本保持稳定趋势。

由图 2 可以看出, 各子账户中, 农业用水生态足迹研究期均值占总水资源生态足迹的 65.70%, 工业用水和生活用水的生态足迹分别占总水资源生态足迹的 16.03%和 12.54%, 生态环境用水和城镇公共用水生态足迹均值占总水生态足迹的 3.28%和 2.44%。农业用水生态足迹占的比重最大, 表明农业用水是临汾市水资源利用的主要部分, 对水资源生态环境产生的影响也最大。

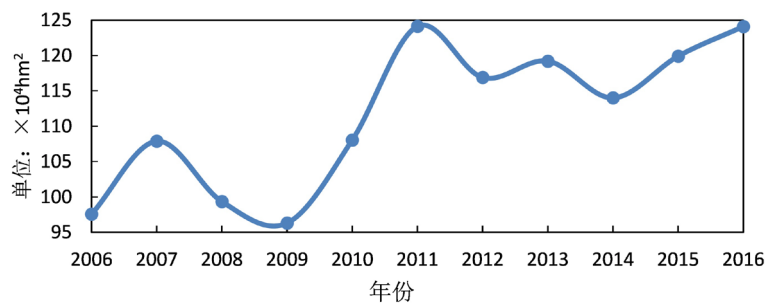


Figure 1. Change of water ecological footprint  
图 1. 水生态足迹变化图

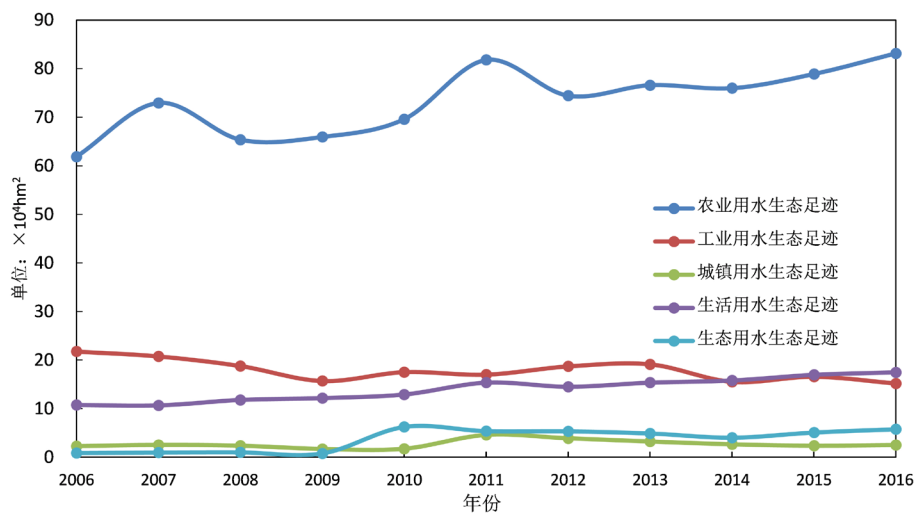


Figure 2. Changes in sub accounts of water ecological footprint  
图 2. 各水生态足迹子账户变化图

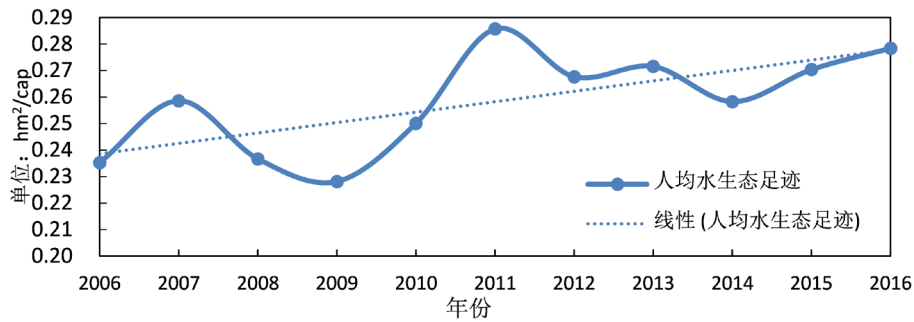


Figure 3. Change chart of per capita water ecological footprint  
图 3. 人均水生态足迹变化图

由图 3 可知, 近 11 年来临汾市的人均水生态足迹总体呈现波动上升的趋势。2009 年达到最低点, 为 0.228  $\text{hm}^2/\text{cap}$ , 之后在 2011 年达到最大值, 为 0.286  $\text{hm}^2/\text{cap}$ 。2016 年比 2006 年的人均水生态足迹增加了 18.30%, 虽然 2007~2009 及 2011~2014 年间有所下降, 但总体来说降幅较小, 变化趋势较平稳。

### 3.2. 水生态承载力计算

图 4 显示, 11 年间临汾市人均水生态承载力总体保持平稳发展趋势, 2016 年较 2006 年增长了 9.38%。研究期最小值为 2010 年的 0.016  $\text{hm}^2/\text{cap}$ , 最大值为 2013 年 0.067  $\text{hm}^2/\text{cap}$ 。2013 年后, 人均水生态承载力数值有所下降, 2015 年降至 0.018  $\text{hm}^2/\text{cap}$ , 比 2013 年下降了 73.13%。2006~2016 年间人均水生态承载力的最大值与最小值之间仅相差 0.051  $\text{hm}^2/\text{cap}$ , 总体来说变化较小, 呈现平稳发展趋势。

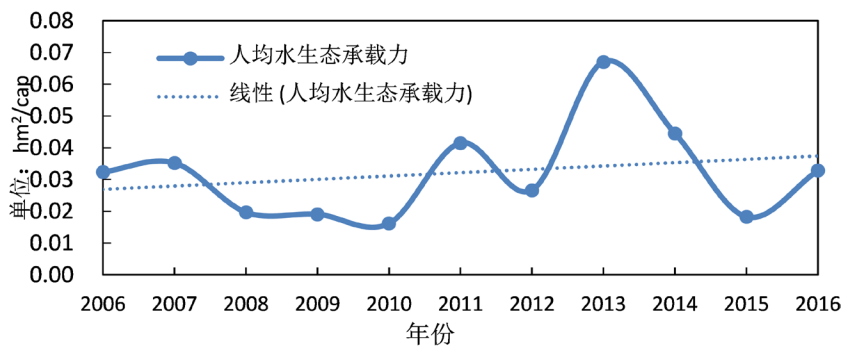


Figure 4. Change of per capita water ecological carrying capacity  
图 4. 人均水生态承载力变化图

## 4. 临汾市水资源可持续利用评价分析

### 4.1. 水生态赤字动态分析

图 5 显示, 临汾市 11 年间人均水生态足迹均大于人均水生态承载力, 因此水资源利用每年都出现生态赤字现象。2006 年水生态赤字最小, 为 0.203  $\text{hm}^2/\text{cap}$ , 2015 年水生态赤字最大, 为 0.252  $\text{hm}^2/\text{cap}$ , 2016 年比 2006 年水生态赤字增长了 21.18%, 总体来说临汾市水生态赤字在波动中保持比较稳定的变化趋势。

### 4.2. 万元 GDP 水生态足迹动态分析

由图 6 可以看出, 2006~2016 年间, 临汾市的万元 GDP 水生态足迹数值总体呈下降趋势。2006 年, 临汾市万元 GDP 水生态足迹需求为 0.166  $\text{hm}^2$ , 至 2016 年降为 0.103  $\text{hm}^2$ , 减少了 37.95%。万元 GDP 的计算结果表明临汾市水资源开发利用的不可持续发展状态正在改善, 在经济社会发展中水资源利用效率得到了一定程度的提高。

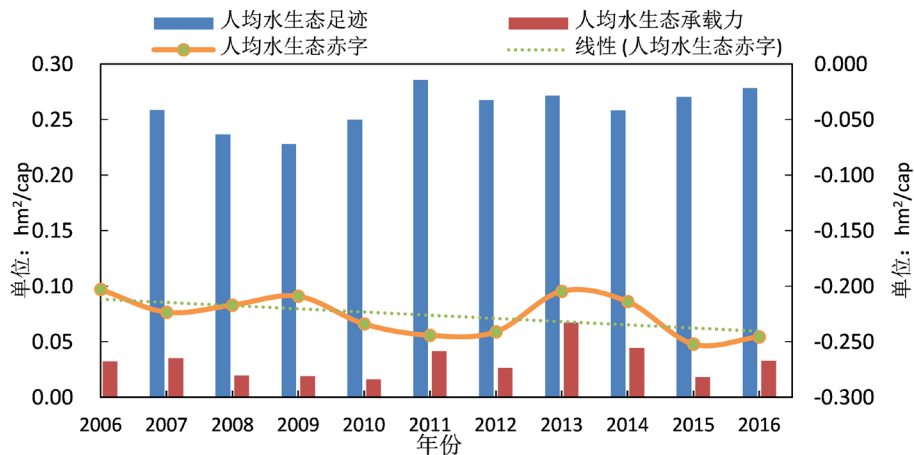


Figure 5. Per capita water ecological footprint and water ecological carrying capacity as well as changes in water ecological deficit

图 5. 人均水生态足迹和水生态承载力与水生态赤字变化图

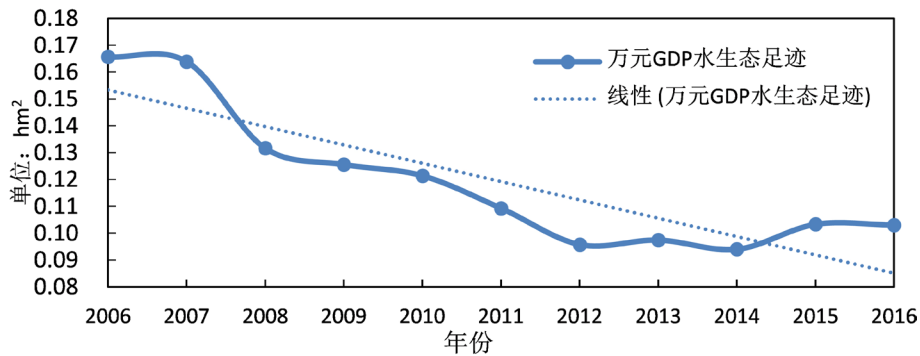


Figure 6. Change of water ecological footprint of 10000-yuan GDP

图 6. 万元 GDP 水生态足迹变化图

### 4.3. 水资源生态压力动态分析

研究期内临汾市的水资源生态压力指数在 4.0 以上。根据水资源生态压力指数标准可知，临汾市 11 年间水资源开发利用均处于不安全状态。由图 7 可以看出，水资源生态压力指数波动较大，2010 年达到最大值 15.436，较 2006 年上升了 112.65%，到 2013 年是研究期最低点，为 4.048，比 2010 年减少了 73.78%。在研究期间，2016 年较 2006 年的水资源生态压力指数相对增加了 16.71%，总体而言变化不大，但由趋势线可以看出，研究期内水资源生态压力指数呈现微弱的减小趋势，说明临汾市的水生态压力有逐渐缓解的发展趋势。

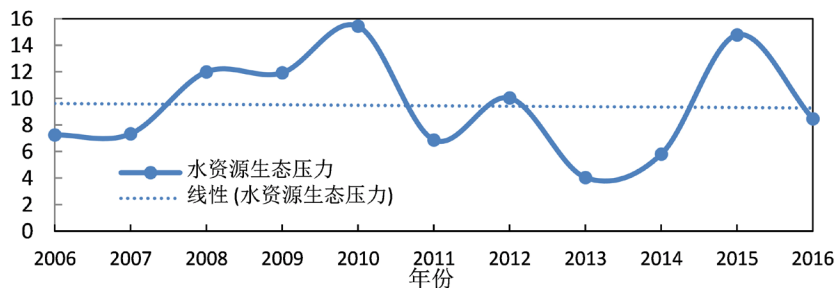


Figure 7. Change of water resources ecological pressure

图 7. 水资源生态压力变化图

#### 4.4. 水资源可持续指数

根据标准, 可持续指数处于 0~0.5 时, 水资源为不可持续利用, 数值越小, 水资源利用效率越低, 越不可持续利用。临汾市 2006~2016 年间水资源可持续指数均在 0.5 以下, 表明近 11 年来临汾市水资源利用均为不可持续利用状态。

图 8 显示, 在研究期内, 2016 年比 2006 年的水资源可持续指数减少了 12.40%, 最小值为 2010 年的 0.061, 2013 年达到最大值, 为 0.198, 比 2010 年增长了 224.59%。由趋势线看出, 总体而言, 水资源可持续指数有微弱的上升趋势, 表明临汾市水资源利用效率有逐渐提高的迹象, 不可持续发展状态正逐渐改善。

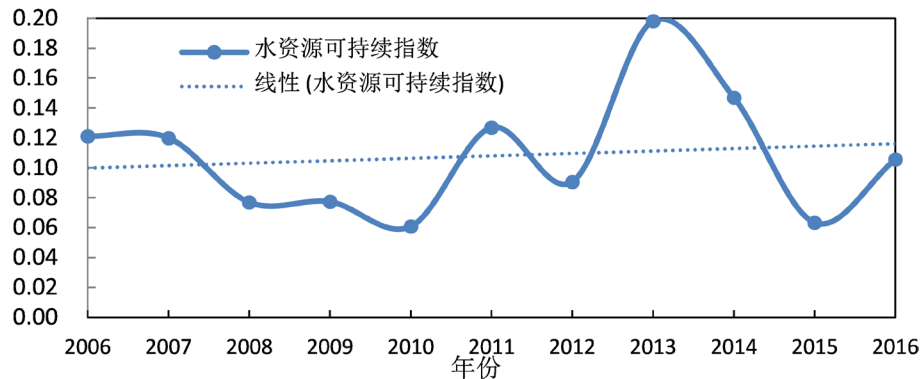


Figure 8. Change index of water resources sustainability index  
图 8. 水资源可持续指数变化图

## 5. 结论

研究分析表明, 11 年间临汾市人均水生态足迹总体上呈不断增长趋势, 人均水生态承载力则总体保持平稳发展状态, 表明临汾市社会经济发展中对水资源的需求在不断增加。各子账户中农业用水生态足迹占总水资源生态足迹比重高, 且有上升趋势, 说明临汾市内农业用水的效率还有待提高, 工业用水生态足迹占总水资源生态足迹比重位居第二, 且有下降趋势, 说明工业用水效率在逐渐提高。

研究期水生态足迹总体上远大于水生态承载力, 因此出现水生态赤字现象, 水资源生态压力指数及水资源可持续指数均显示临汾市整体上存在较严重的水资源不可持续利用和水资源生态环境不安全状态。11 年间临汾市人均水生态承载力呈现缓慢增长趋势, 且万元 GDP 水生态足迹呈下降趋势表明这种水资源利用不可持续情况和水生态压力的恶化正在改善。为了保持并促进这一趋势的发展, 在今后的发展中, 应加强水资源开发利用控制、用水效率控制与水功能区限制纳污红线管理[8], 大力发展节水、治污等高新技术[6], 全面推进节水型社会建设。

## 基金项目

山西省研究生教育创新项目“基于水生态足迹的汾河流域水资源可持续性及其生态补偿研究”(SYYSJSJC-1807); 山西省软科学研究项目(2017041032-1)。

## 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.  
HUANG Linnan, ZHANG Weixin, JIANG Cuilin, et al. Ecological footprint method in water resources assessment. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1279-1286. (in Chinese)
- [2] 梁青芳, 杨宁宁, 董洁, 耿雅妮, 张军. 基于 FAHP-PP 模型的临汾市水资源可持续利用能力评价[J]. 河南科学, 2018,

- 36(5): 760-764.  
LIANG Qingfang, YANG Ningning, DONG Jie, GENG Yani and ZHANG Jun. Ability of sustainable utilization of water resources evaluation in Linfen based on FAHP-PP. *Henan Science*, 2018, 36(5): 760-764. (in Chinese)
- [3] 山西省水利厅. 山西省水资源公报: 2006~2016 年[R]. 山西: 山西省水利厅, 2006-2016.  
Shanxi Provincial Water Conservancy Department. Shanxi water resources bulletin: 2006-2016. Shanxi: Shanxi Provincial Water Conservancy Department, 2006-2016. (in Chinese)
- [4] 山西省统计局. 山西统计年鉴: 2006~2016 年[R]. 北京: 中国统计出版社, 2006-2016.  
Shanxi Bureau of Statistics. Shanxi statistical yearbook: 2006-2016 [R]. Beijing: China Statistics Press, 2006-2016. (in Chinese)
- [5] 杜轶. 基于水资源生态足迹模型的山西省水资源可持续性研究[A]. 中国人口·资源与环境 2014 年专刊——2014 中国可持续发展论坛. 中国可持续发展研究会, 2014: 3.  
DU Yi. Study on water resources sustainability of Shanxi Province based on ecological footprint model of water resources. *China Population, Resources and Environment 2014 Special Issue—2014 China Sustainable Development Forum*. Chinese Society for Sustainable Development, 2014: 3. (in Chinese)
- [6] 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. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3559-3568. (in Chinese)
- [7] 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, 56(5): 841-844.  
YU Hang, HE Junshi. Study on sustainable utilization of water resources in Chaoyang City based on improved ecological footprint. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56(5): 841-844. (in Chinese)
- [8] 申昱. 临汾市水资源可持续利用对策探讨[J]. 山西水利, 2012, 28(5): 16-17.  
SHEN Yu. Discussion on sustainable utilization of water resources in Linfen City. *Shanxi Water Resources*, 2012, 28(5): 16-17. (in Chinese)