

基于水资源生态足迹模型的山西省水资源可持续性研究

Analysis of waster sustainability issue on the basis of Water Ecological Footprint Model

杜轶¹ 张治国² 张勇² 郭汉清³ (1.山西农业大学资源环境学院, 山西 太谷 030801; 2.山西省水土保持科学研究所, 山西 太原 030013; 3.山西农业大学林学院, 山西 太谷 030801)

摘 要 基于水资源生态足迹模型, 结合水资源生态赤字、水资源生态压力指数、水资源利用效率指数, 分析了山西省 2003~2012年水资源生态足迹变化趋势和水资源可持续利用状况。结果表明, (1) 2003~2012年山西省人均水资源生态足迹整体上呈缓慢增长趋势, 人均水资源生态承载力总体上变化幅度比较平缓, 导致人均水资源生态赤字的变化趋势与人均水资源生态足迹的变化趋势基本相同; (2) 2003~2012年山西省水资源开发利用效率虽逐年提高, 但水资源的开发利用处于不安全状态。

关键词 水资源生态足迹; 水资源生态承载力; 水资源生态压力; 水资源利用效率; 山西省

免责声明 本文仅代表作者个人观点, 与中国 21 世纪议程管理中心、中国可持续发展研究会及联合国均无关。

Disclaimer: This brief was submitted through the Administrative Centre for China's Agenda 21 (ACCA21), Ministry of Science and Technology, China, and the Chinese Society for Sustainable Development (CSSD). The views and opinions expressed are those of the author(s) and do not necessarily represent the views of, and should not be attributed to, the Secretariat of the United Nations, the ACCA21 or the CSSD. Online publication or dissemination does not imply endorsement by the United Nations. For further information, please contact Mr. Sun Xinzhang (sunxzh@acca21.org.cn)

1 引言

“山西之长在于煤, 山西之短在于水”, 水资源的短缺已成为山西省社会经济持续发展的制约因素之一。然而, 目前山西省正处于社会经济转型时期, 毫无疑问, 社会经济的持续发展对水资源的持续利用也将提出更高的要求。因此对山西省水资源持续利用的研究也成为迫在眉睫的研究课题。

基于此, 本文采用水资源生态足迹模型对山西省 2003~2012 年的水资源生态足迹、生态承载力进行测算, 结合水资源生态赤字、水资源生态压力指数、水资源利用效率指数, 分析这 10 年间山西省水资源可持续利用状况。

一些学者们在对生态足迹评价时, 将水资源纳入到生态足迹的计算中, 补充生态足迹理论水资源账户的不足^[1,2,3], 将水资源用地作为生态足迹账户中的第七类土地类型^[4,5]。

2 研究方法

2.1 水资源生态足迹模型

基于生态足迹理论的内涵, 水资源生态足迹可理解为在人类生产生活与维持自然生态发展的过程中, 将消

耗的水资源量转化为相应账户的水资源用地面积^[4]。

计算中, 将水资源账户划分为生活用水、生产用水和生态环境用水三大类型。水资源账户的计算模型如下^[4,6]:

$$WEF = N \sum_{i=1}^3 wef_i = N \sum_{i=1}^3 \gamma \frac{AW_i}{AP} \quad (1)$$

式(1)中, WEF 为水资源总生态足迹 (hm²); N 为区域人口总数 (人); i 为水资源类型, wef_i 为第 i 类水资源类型的人均水资源生态足迹 (hm²/cap); γ 为全球水资源均衡因子, 取 5.19^[4]; AW_i 为第 i 类水资源的人均消耗水资源量 (m³); AP 为水资源全球平均生产能力, 取 3140 m³/hm²^[4]。

2.2 水资源生态承载力模型

基于生态足迹理论的内涵, 水资源生态承载力可理解为某区域在特定历史发展阶段, 水资源的最大供给量可支持该区域资源、环境和社会 (生产、生活和生态) 可持续发展的能力, 即水资源对生态系统和经济系统良性发展的支撑能力^[4,6]。其计算模型如下:

$$WEC = N \times wec = 0.4 \times \left(\frac{Q}{AP} \right) \times \gamma \times \varphi \quad (2)$$

式(2)中： WEC 为水资源生态承载力(hm^2)； N 为区域人口总数(人)； wec 为人均水资源生态承载力(hm^2/cap)； Q 为区域水资源总量(m^3)； AP 为水资源全球平均生产能力(m^3/hm^2)； γ 为全球水资源均衡因子； φ 为区域水资源的产量因子。

据研究，一个国家和地区的水资源承载力中60%用于维持生态环境^[7]，因此在水资源生态承载力计算中乘以系数0.4。

2.3 水资源可持续利用评价指标

2.3.1 人均水资源生态赤字与生态盈余

将区域内水资源消耗产生的生态足迹和生态承载力相比较，得出水资源生态赤字和水资源生态盈余，此指标可用来判断研究区域内水资源的可持续利用情况^[3,6]。

$$wes = wec - wef \quad wed = wef - wec \quad (3)$$

公式(3)中， wes 为人均水资源生态盈余； wed 为人均水资源生态赤字； wef 为人均水资源生态足迹； wec 为人均水资源生态承载力。

2.3.2 水资源利用效率

水资源利用效率可利用万元GDP水资源生态足迹值来衡量。万元GDP水资源生态足迹是指区域水资源总生态足迹(WEF)与区域国内生产总值(GDP)的比值^[3,6]，其计算公式为：

$$\text{万元GDP水资源生态足迹} = WEF / GDP \quad (4)$$

万元GDP水资源生态足迹值越高，表明水资源利用效率越低；反之，则利用效率越高。

2.3.3 水资源生态压力指数

水资源生态压力指数($WEPI$)是指某地区水资源生态足迹(WEF)与水资源生态承载力(WEC)的比率，可衡量水资源生态安全性^[3,6]，其计算公式为：

$$WEPI = WEF / WEC = wef / wec \quad (5)$$

$WEPI$ 值越大，说明该区域水资源安全受到的威胁就越大。当 $0 < WEPI < 1$ 时，表明该区域水资源开发利用处于安全状态，具有进一步开发利用的空间；当 $WEPI = 1$ 时，表明该区域水资源供需均衡，水资源利用达到最大值，水资源安全处于状态；当 $WEPI > 1$ 时，表明该区域水资源消费量大于供给量，水资源开发利用处于不安全状态。

3 山西省水资源可持续性分析

3.1 研究区概况

山西省位于黄河中游，黄土高原东部，华北平原西侧，北以外长城与内蒙古自治区接壤，西隔黄河与陕西省相望，东面和南面倚太行山与河北、河南省毗连。南北介于北纬 $34^{\circ} 34.8' \sim 40^{\circ} 43.4'$ 之间，长约550 km，最大距离为615 km；东西介于东径 $110^{\circ} 14.6' \sim 114^{\circ} 33.4'$ 之间，宽约300 km，最大距离为380 km。全省总土地面积为1562.7万 hm^2 ，约占全国总面积的1.63%。

全省河流众多，但以季节性河流为主。共有大小河流1000余条，分属黄河、海河两大水系。黄河流域在山西省境内的面积有97138 km^2 ，占全省总面积的62%，海河流域在山西省境内的面积为59133 km^2 ，占全省总面积的38%。

山西省是全国水资源贫乏省份之一。根据山西省第二次水资源评价成果，1956~2000年全省多年平均水资源量为123.8亿 m^3 ，人均占有量不足全国平均水平的1/5，相当于世界人均占有水量的4.3%；亩均占有水量只有全国的9.3%。山西地下水资源储量约93.1亿 m^3 ，但可采水资源只占45%，且多分布于盆地边缘及省境四周。

3.2 数据来源

本文采用的水资源总量、各类型水资源消费量等数据来自《山西省水资源公报》(2003~2012年)；人口数量及GDP数据来自《山西统计年鉴》(2003~2012年)。

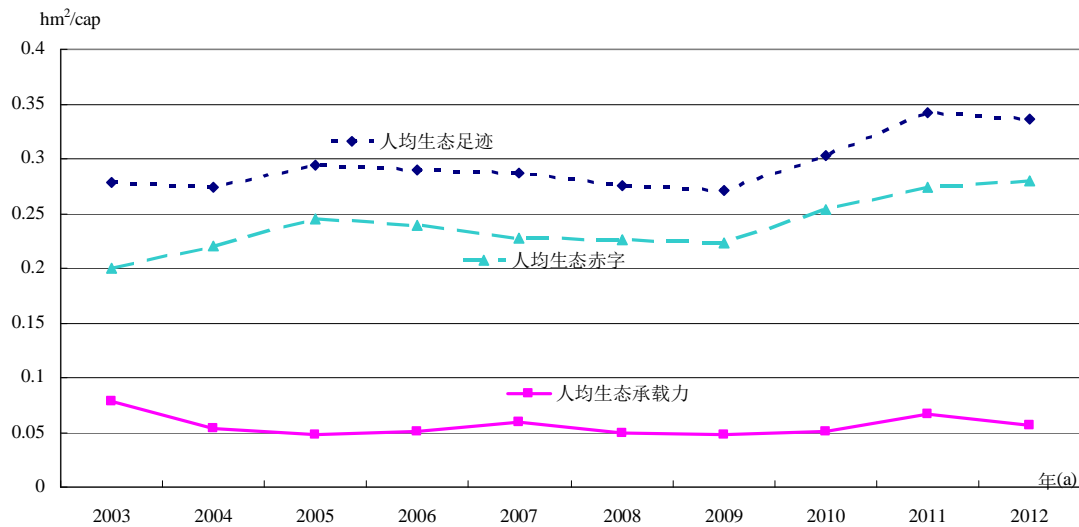


图1 山西省 2003~2012 年人均水资源生态足迹、生态承载力、生态赤字的变化趋势图

3.3 人均水资源生态足迹、生态承载力和生态赤字动态分析

从图1中不难看出：（1）山西省2003~2012年的人均水资源生态足迹整体上呈缓慢增长趋势，从2003年的0.2781 hm²/cap 上升到2012年的0.3360 hm²/cap，年均增长率为2.08%。但是，2003~2009年的人均水资源生态足迹变化幅度较平缓，均未超过0.30 hm²/cap，而

2010~2012年的人均水资源生态足迹有了较大幅度的增长，超过了0.30 hm²/cap，3年年均增长率达到了3.59%。

（2）除了2003年的人均水资源生态承载力较大外，2004~2012年的人均水资源生态承载力变化幅度比较平缓。（3）山西省2003~2012年的人均水资源生态赤字的变化趋势与人均水资源生态足迹的变化趋势基本相同，整体呈上升趋势，年均增长率达到了4.00%。

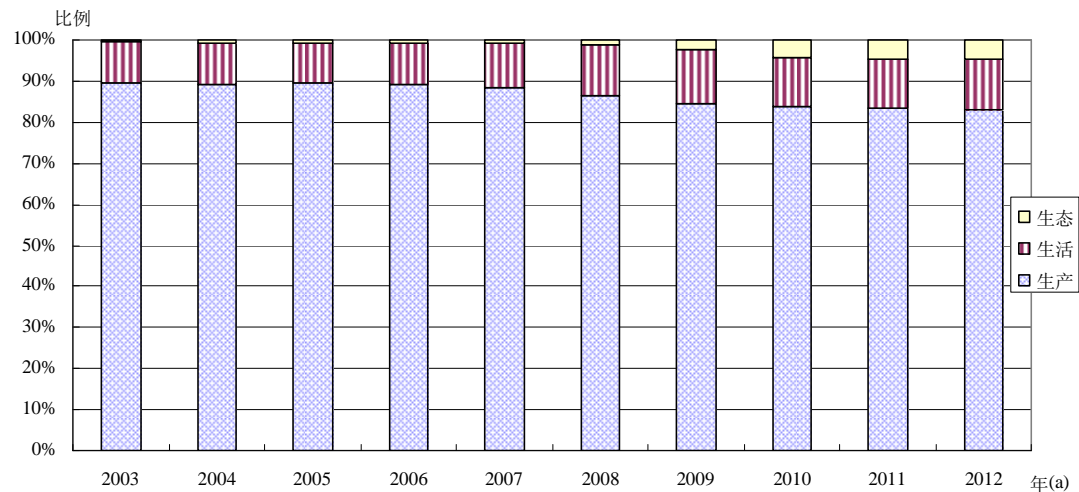


图2 山西省 2003~2012 年人均水资源生态足迹构成的变化趋势图

图2反映了山西省2003~2012历年人均水资源生态足迹组分构成的及其变化趋势。可看出：（1）历年的人均水资源生态足迹组分构成中，生产消费的人均水资源生态足迹比重最大，均达80%以上；其次是生活消费的人均水资源生态足迹的比重。（2）从构成组分所占的比重变化

趋势分析，生产消费的人均水资源生态足迹比重呈下降趋势，10a所占的比例下降了6.74%，而生活、生态消费的人均水资源生态足迹的比重呈逐渐上升趋势，分别上升了2.80%和3.95%。

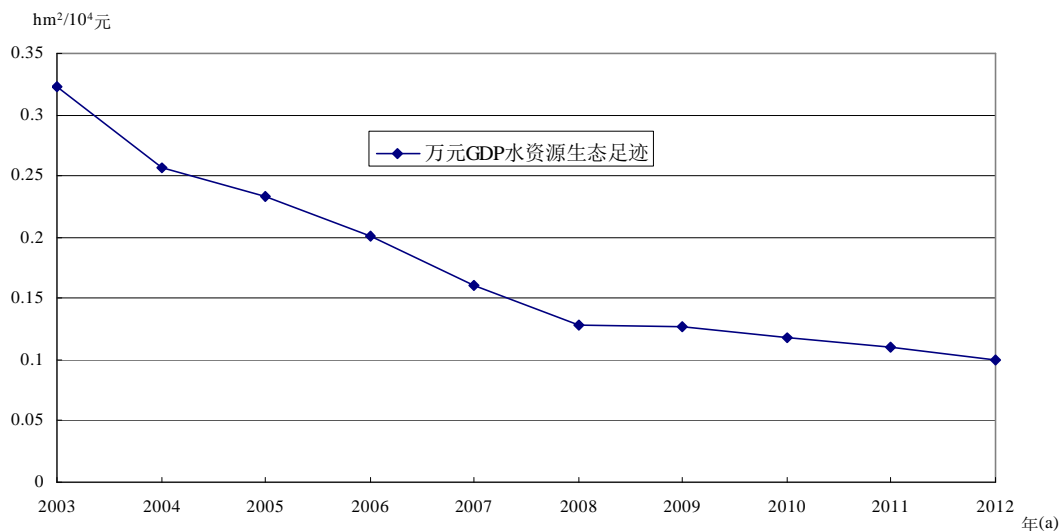


图3 山西省 2003~2012年水资源利用效率变化趋势图

3.4 水资源利用效率分析

图3反映了山西省2003~2012年水资源利用效率的变化趋势。很显然，万元GDP水资源生态足迹呈下降趋势，年均下降率为6.90%，表明这10年间山西省的水资源利用效率逐年提高。

3.5 水资源生态压力指数分析

图4反映出山西省2003~2012年水资源生态压力不容乐观，期间的生态压力指数整体呈波动上升趋势，且远远大于1，说明山西省这10年的水资源开发利用处于不安全状态。

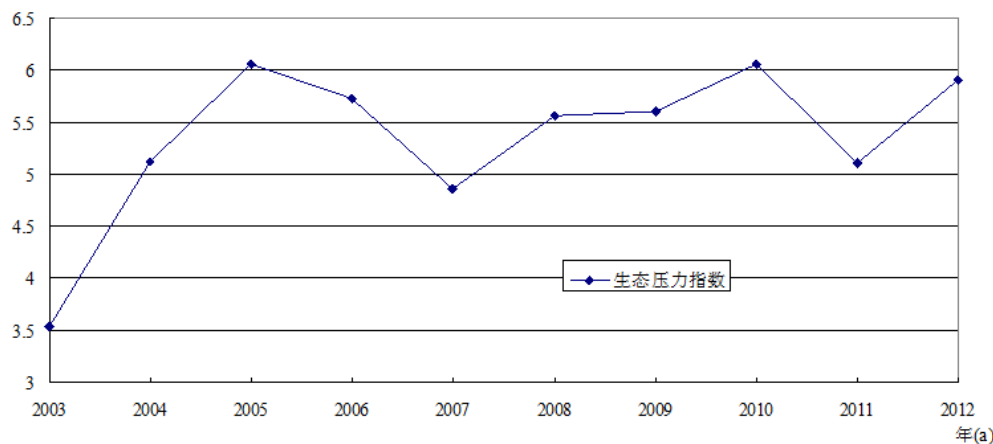


图4 山西省2003~2012年水资源生态压力指数变化趋势图

4 结论与讨论

4.1 通过对山西省2003~2012年人均水资源生态足迹、生态承载力的计算分析，得出该区域人均水资源呈生态赤字状态，且呈上升趋势发展。其原因可能在于：

(1) 社会经济的快速发展，人口的增长，良好生态环境的需求，均会带来对水资源消费需求的增大；(2) 山西省水资源的平均生产力水平相对较低，导致人均水资源生态承载力的计算结果不高；(3) 10年间山西省人均水资源生态承载力变化幅度比较平缓，导致人均水资源生

态赤字的变化趋势与人均生态足迹的变化趋势基本相同。

4.2 万元GDP水资源生态足迹值反映了山西省2003~2012年的水资源利用效率逐年提高，但是水资源的开发利用仍处于不安全状态。建议(1)提高行为水资源保护的意识，将节约、集约用水变成一种自觉行为；

(2)发挥水利工程的功能，采取水土保持措施，改善水资源的开发利用状况，提高水资源的承载力。

参考文献

- [1]胡永红, 吴志峰, 李定强, 等. 基于 ARIMA 模型的区域水生态足迹时间序列分析[J]. 生态环境, 2006, 15 (1): 94-98.
- [2]刘鑫, 雷宏军, 晏清洪, 等. 基于生态需水量的城市水生态足迹研究[J]. 人民黄河, 2008, 30 (6): 41-43.
- [3]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.
- [4]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.
- [5]张义. 基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析[J]. 资源科学, 2013, 35 (8): 1601-1610.
- [6]方伟成. 基于水资源生态足迹模型的东莞市水资源可持续性研究[J]. 水电能源科学, 2014, 32 (1): 25-28.
- [7]张岳. 中国水资源与可持续发展[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000: 2-3.
- [8]杜轶. 基于生态足迹的山西省可持续发展能力分析[D]. 山西农业大学, 2005.
- [9]山西省统计局编. 山西统计年鉴 (2003~2012 年) [R]. 北京: 中国统计出版社, 2003-2012.
- [10]山西省水利厅. 山西省水资源公报 (2003~2012 年) [R]. 山西: 山西省水利厅, 2003-2012.

作者简介: 杜轶, 硕士, 讲师, 主要从事土地资源利用与可持续发展研究。E-mail: okokhere@sina.com。

通讯作者: 张治国, 高级工程师, 主要从事水土资源可持续利用研究。

基金项目: 山西省水利科学技术研究项目 (晋水财务 [2013]303); 山西农业大学科技创新基金项目 (20132-15)。