

# 邢台市水资源生态足迹核算与预测研究

李玉平<sup>1</sup>, 王晓妍<sup>3</sup>, 朱琛<sup>2</sup>, 乔瑞波<sup>1</sup>

(1. 邢台学院 地理系, 河北 邢台 054001; 2. 河北师范大学

资源与环境科学学院, 石家庄 050016; 3. 邢台市第三十中学, 河北 邢台 054001)

**摘 要:**运用生态足迹理论和灰色预测 GM(1,1)模型等方法,对邢台市区 2001—2010 年的水资源生态足迹、水资源生态承载力进行计算,分析了水资源可持续发展状况,并对水资源生态赤字进行预测。结果表明,邢台市区水资源一直处于生态赤字状态,而且水资源生态赤字呈逐年增大的趋势,表明邢台市区水资源的利用与管理是不可持续的。尽管由于科学技术水平的提高和人们节水意识增强,水资源利用与管理正在逐渐趋于合理,但水资源仍处于生态赤字状态,意味着邢台市水资源在今后一定时期形势仍较严峻。因此,必须对邢台市水资源进行合理开发利用和科学管理,以促进邢台市区水资源可持续利用。

**关键词:**生态足迹; 水资源; 可持续利用; 邢台市区

**中图分类号:**TV213.9

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)03-0227-04

## Research for Calculation and Prediction of Water Resource Ecological Footprint in Xingtai City, Hebei Province

LI Yu-ping<sup>1</sup>, WANG Xiao-yan<sup>3</sup>, ZHU Chen<sup>2</sup>, QIAO Rui-bo<sup>1</sup>

(1. *Department of Geography, Xingtai University, Xingtai, Hebei 054001, China;*

*2. Institute of Resources and Environmental Science, Hebei Normal University,*

*Shijiazhuang 050016, China; 3. Xingtai NO. 30 Middle School, Xingtai, Hebei 054001, China)*

**Abstract:** Using the techniques of ecological foot-printing theory and gray forecasting model, we calculated the ecological footprint and ecological carrying capability of water resources from 2001 to 2010 in Xingtai City, analyzed the sustainable development of water resources and predicted the water resources ecological deficit. It shows that the water resources have always been in a state of ecological deficit and the water resources ecological deficit tends to increase annually. The data show that the water resources have been used and managed in an unsustainable manner, which demonstrates that the management of the water resources is becoming more and more reasonable with the development of science and technology and the strengthening awareness of water conservation. However, the state of water resources in Xingtai City has always been in the ecological deficit, which means that Xingtai will face a serious situation in the future. Therefore, the water resources must be exploit and used in the sustainable manner, and the sustainable development of water resources should be promoted in Xingtai City.

**Key words:** ecological footprint; water resources; sustainable utilization; Xingtai City

生态足迹是探讨人类持续依赖自然以及为保障地球的承载力,支持人类未来生存的一种可持续评价方法<sup>[1]</sup>,用于衡量人类对自然资源利用程度以及自然界为人类提供的生命支持服务功能<sup>[2]</sup>。由于生态足

迹的概念比较具体、形象,易于理解,其计算结果直观,计算方法可操纵性强,并具有区域可比性,可以较好地揭示自然和经济发展之间的关系,生态足迹已被全球广泛应用于区域可持续发展的评价<sup>[3-5]</sup>。水资源

收稿日期:2013-09-26

修回日期:2013-10-24

资助项目:河北省自然科学基金项目“生态足迹动态仿真及驱动因素与良性调控机制研究——以邢台市为例”(D2012108001);河北省高等学校科学研究计划项目“邢台市能源消费碳排放足迹的动态变化及能源利用结构优化对策研究”(ZD20132007)

作者简介:李玉平(1967—),女,河北省临西人,硕士,教授,主要研究方向为自然地理与资源环境、土地规划、土地评价及区域可持续发展。E-mail:ll-yuping@163.com

是一种同时具有经济价值和社会价值的自然资源,对维持生态环境和进行社会生产具有不可替代的地位和作用<sup>[6-7]</sup>。针对传统生态足迹计算模型中对水资源的价值描述不足的问题,黄林楠等<sup>[8-14]</sup>建立了水资源生态足迹模型,用来评价区域水资源开发利用程度和可持续利用潜力,并已被广泛用于区域水资源的评价。本文用水资源生态足迹模型对邢台市 2001—2010 年间水资源生态足迹和生态承载力进行计算和分析,并对水资源生态赤字进行预测,以期为邢台市水资源开发利用和管理,实现水资源的可持续利用提供科学依据。

## 1 研究区概况

邢台市地处河北省南部,位于东经 113°45′—115°50′,北纬 36°45′—37°48′。东西长约 185 km,南北宽约 90 km,其面积 12 456 km<sup>2</sup>。东以卫运河为界与山东毗邻,西靠太行山与山西省相邻,南与邯郸市相连,北与石家庄、衡水市搭界。地势西高东低,西部为太行山地,向东逐渐过渡到丘陵区,东部为冲积平原区。属于暖温带大陆性季风气候,年日照实数 2 500~2 650 h。地貌形态复杂,古河床和沙丘岗坡呈条状分布,并形成许多封闭洼地<sup>[15]</sup>。多年平均水资源总量为 14.6 亿 m<sup>3</sup>,人均水资源占有量为 220 m<sup>3</sup>,相当于河北省平均水平的 70%,属严重缺水地区。邢台市区河川径流主要由大气降雨补给。近几年,由于降水补给河川径流和地下水量的减少,以地下水开采为主的缺水停工现象常有发生,郊区农业灌溉春旱期间“吊泵”现象更加频繁。为解决邢台市区水资源短缺,2004 年邢台市政府投资建成了“引朱济邢”地表水输水工程,引水量 5 000 万 m<sup>3</sup>,可保证市区的工业和生活用水<sup>[16]</sup>。邢台市区位于邢台市的西南部,是华北地区重要的工业、能源基地和京津冀地区的中心城市之一。邢台市地处环渤海经济区腹地,位于冀晋鲁豫四省要冲,是中原经济区的北方门户城市和连接东部沿海地区、华北地区和中原地区的重要交通枢纽城市。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

研究数据主要来自河北年鉴(2002—2011 年)<sup>[17]</sup>、河北经济年鉴(2002—2011 年)<sup>[18]</sup>、中国统计年鉴(2002—2011 年)<sup>[19]</sup>和邢台市水资源公报<sup>[20]</sup>。

### 2.2 研究方法

2.2.1 灰色预测模型 灰色预测模型是对某一指标的发展变化情况所作的预测,其预测的结果是该指标在未来各个时刻的具体数值。具体计算方法如下<sup>[21]</sup>。

首先,设原始数据  $X^{(0)}$  有  $n$  个值,即  $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), X^{(0)}(n)\}$ ,灰色预测模型 GM(1,1) 相应的微分方程为:  $\frac{dX^{(1)}}{dt} + \alpha X^{(1)} = \mu$ ,通过累加生成新序列  $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\}$ 。 $\alpha$  和  $\mu$  可利用最小二乘法求解。解得:  $\begin{bmatrix} \alpha \\ \mu \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_m$ ,求解微分方程,便可以得到预测模型:  $X^{(1)}(t+1) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha}]e^{-\alpha t} + \frac{\mu}{\alpha}$ ,  $t=0, 1, 2, \dots, n$ ,根据模型即可得到一组预测序列。

2.2.2 水资源生态足迹模型 根据水资源生态足迹的内涵和用水特性,将水资源利用水分分为生活用水、生产用水和生态环境用水三大类进行计算,具体计算步骤<sup>[8]</sup>如下:

水资源生态足迹:

$$EF_w = N \times ef_w = N \times \gamma_w \times (w/p_w)$$

式中:  $EF_w$ ——水资源总生态足迹(hm<sup>2</sup>);  $N$ ——人口总数;  $ef_w$ ——人均水资源生态足迹(hm<sup>2</sup>/cap);  $\gamma_w$ ——水资源的全球均衡因子,其取值为 5.19;  $W$ ——消耗的水资源量(m<sup>3</sup>);  $p_w$ ——水资源全球平均生产能力(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>),其取值为 3 140 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。

水资源生态承载力:是指某一区域在某一具体历史发展阶段,水资源最大供给量可供支持该区域资源、环境和社会可持续发展的能力,即水资源对生态系统和经济系统良性发展的支撑能力<sup>[8]</sup>。

$$EC_w = N \times ec_w = 0.4 \times \varphi \times \gamma_w \times Q/p_w$$

式中:  $EC_w$ ——水资源承载力(hm<sup>2</sup>);  $N$ ——人口总数;  $ec_w$ ——人均水资源承载力(hm<sup>2</sup>/cap); 一区域水资源承载力中必须至少扣除 60% 用于维持生态环境,在水资源承载力的计算中必须按上述原则扣除维持生态环境的水资源量。因此,在计算水资源承载力时,要乘以系数 0.4;  $\varphi$ ——水资源产量因子,邢台市水资源产量因子为邢台市水资源平均生产能力与世界水资源平均生产能力的比值,计算结果为 0.40;  $Q$ ——水资源总量(m<sup>3</sup>)。

水资源生态赤字:将区域内水资源生态足迹和生态承载力相比较,就会得出水资源生态赤字或盈余,该指标可用来判断研究区域内水资源的可持续利用情况<sup>[8,11]</sup>。

$$\text{水资源生态赤字(盈余)} = EC_w - EF_w$$

当  $EC_w < EF_w$  时,为水资源生态赤字,表明邢台市区水资源处于不可持续状态;当  $EC_w = EF_w$  时,为水资源生态平衡,或  $EC_w > EF_w$  时,为生态盈余,这是有利于水资源可持续发展的。

3 结果与分析

3.1 邢台市水资源生态足迹、承载力及生态赤字(盈余)计算

依据上述方法,计算结果见表 1。表 1 数据显示,2001—2010 年邢台市区水资源生态足迹虽有波动,但总体呈下降趋势。2001 年水资源生态足迹为 0.029 2 hm<sup>2</sup>/人,到 2004 年水资源生态足迹增至 0.032 5 hm<sup>2</sup>/人,到 2010 年降至为 0.020 4 hm<sup>2</sup>/人,10 a 间生态足迹减少了 0.008 8 hm<sup>2</sup>/人。其中生产用水足迹大于生活用水,2005 年农业用水达到了最高峰,然后逐渐减少,研究期内工业用水先增后减,林

业用水先减后增,城镇用水出现波动,但大体也是减少;只有生活用水是呈上升趋势。以上变化趋势是因为工业、农业、林业用水技术的改进,资源的合理利用,用水量逐渐减少;生活用水呈现增加趋势主要是因为城市人口增长、居住和生活水平提高引起的。

邢台市人均水资源承载力也是基本呈下降趋势,从 2001 年的 0.002 2 hm<sup>2</sup>/人降至 2010 年的 0.001 3 hm<sup>2</sup>/人。在一定程度上水资源承载力受限于水文、气象、植被等自然资源因素,市区的水资源主要来自大气降水,水资源量具有随时间分布的不均匀性特点。研究期内,大气降水的减少是水资源承载力下降的主要原因<sup>[22-23]</sup>。

表 1 邢台市水资源人均生态足迹计算结果 hm<sup>2</sup>/人

年份	人均生产用水足迹			人均生活用水足迹		水资源生态足迹	水资源承载力	生态赤字(盈余)
	农业用水	工业用水	林业用水	城镇公共用水	居民生活用水			
2001	0.0052	0.0182	0.0005	0.005	0.0003	0.0292	0.0022	-0.0270
2003	0.0048	0.0212	0.0005	0.0047	0.0003	0.0315	0.0034	-0.0281
2004	0.0052	0.0213	0.0004	0.0053	0.0003	0.0325	0.0025	-0.0300
2005	0.008	0.019	0.0004	0.0026	0.0013	0.0313	0.0021	-0.0292
2008	0.0078	0.0103	0.0001	0.0002	0.0032	0.0216	0.0017	-0.0199
2009	0.0067	0.0118	0.0002	0.001	0.0048	0.0245	0.0015	-0.0230
2010	0.0059	0.0097	0.0003	0.0002	0.0043	0.0204	0.0013	-0.0191

由表 1 还可以看出,2001—2010 年邢台市的水资源生态赤字呈波动状态且为负值,从 2001 年的-0.027 0 hm<sup>2</sup>/人降至 2004 年的-0.030 0 hm<sup>2</sup>/人,又增至 2010 年的-0.019 1 hm<sup>2</sup>/人。2001—2004 年生态赤字持续上涨,由于当时人们不注意水资源合理利用,缺乏生态保护观念,而且耗水量大的工业多,农业生产又常大水漫灌,造成水资源浪费,生态赤字严重。2005—2010 年,水资源生态赤字逐年增大,但还是处于生态赤字状态,说明邢台市的水资源利用情况正在趋向于合理,同时说明邢台市水资源的集中和综合利用率有待开发新的技术,邢台市区水资源不足以承载邢台市区的工业、农业、生活等用水。

3.2 邢台市水资源生态赤字(盈余)的预测

根据计算结果,采用灰色预测 GM(1,1)模型对邢台市未来的水资源生态赤字(盈余)进行预测,其预测结果是该指标在未来各个时刻的具体数值。具体计算方法在此不再赘述,可参考相关文献<sup>[21]</sup>,预测公式如(1)—(2),预测结果如图 1 所示。

$$x^{(1)}(t+1)=0.36793e^{(-0.082352t)}-0.39493 \quad (1)$$

$$x^{(0)}(t)=x^{(1)}(t)-x^{(1)}(t-1) \quad (2)$$

式(1)是预测的基础公式,由(1)式对一次累加生成数列的预测值代入式(2)可以求得原始数据的还原值。

预测结果显示,生态赤字 2011 年为-0.020 92 hm<sup>2</sup>/人,以后逐年增至到 2019 年的-0.015 05 hm<sup>2</sup>/人,意味着在科学技术水平提高和人们节水意识增强的基础上,邢台市水资源综合合理利用水平提高,水资源生态足迹呈下降趋势,水资源承载力水平呈上升趋势。但水资源仍处于生态赤字状态,今后一定时期形势仍较严峻,在利用过程中有待提高节水技术和意识。

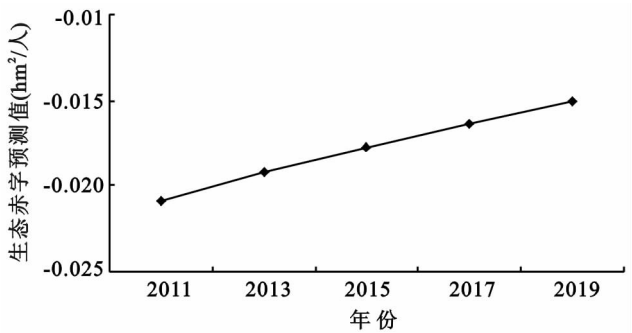


图 1 邢台市水资源生态赤字/盈余预测

由于本次研究的年限比较长,某些年份数据暂时缺失,且一时难以获得。但本次研究只是分析大概趋势,而且数据本身处于波动状态,并且出现转折点的数据全部包括在其中,计算结果不影响总体生态足迹的变化趋势。本次研究只分析了市区水资源生态足迹,没有分析全市域水资源生态足迹。在计算邢台市

区水资源生态足迹过程中没有考虑生态用水的生态足迹,随着经济社会的发展,生态用水将是一个不容忽视的问题,水污染造成的环境损失以及治理水污染的投入对于区域可持续发展是一个严峻的挑战。

## 4 结论

通过水资源生态足迹模型和生态承载力模型,计算得到邢台市区人均水资源生态足迹和水资源生态承载力,通过水资源生态赤字(盈余)灰色模型预测,分析邢台市水资源综合利用的发展趋势。结果显示:(1) 2001—2010年邢台市水资源生态足迹总体呈下降趋势。2001年水资源生态足迹为 $0.029\ 2\ \text{hm}^2/\text{人}$ ,到2010年降为 $0.020\ 4\ \text{hm}^2/\text{人}$ ,10 a间生态足迹减少了 $0.008\ 8\ \text{hm}^2/\text{人}$ 。其主要原因为工业、农业、林业用水技术的改进,资源的合理利用,用水量逐渐减少;邢台市水资源承载力也是基本呈下降趋势,从2001年的 $0.002\ 2\ \text{hm}^2/\text{人}$ 降至2010年的 $0.001\ 3\ \text{hm}^2/\text{人}$ 。其主要原因为区域内降水量的减少;2001—2010年邢台市的水资源生态赤字呈波动状态且为负值,从2001年的 $-0.027\ 0\ \text{hm}^2/\text{人}$ 增至2010年的 $-0.019\ 1\ \text{hm}^2/\text{人}$ 。由于科学技术水平的提高和人们节水意识增强,水资源利用与管理正在逐渐趋于合理。(2)生态赤字预测结果为2011年的 $-0.020\ 92\ \text{hm}^2/\text{人}$ ,以后逐年增至2019年的 $-0.015\ 05\ \text{hm}^2/\text{人}$ 。水资源的可持续水平逐渐趋向合理,但水资源仍处于生态赤字状态,今后一定时期形势仍较严峻。

综上所述,邢台市区水资源利用情况一直处于不可持续状态,所以今后应进一步开发新技术做好水资源管理,促进水资源合理利用与开发。其具体措施一方面优化水资源配置,防止水质污染,实行全面节水;另一方面充分发挥现有的各种引蓄水工程的作用,南水北调中线工程实施,是解决邢台市水资源危机的根本措施<sup>[22-23]</sup>。

### 参考文献:

[1] 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.  
[2] 李培月,钱会,吴建华,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.  
[3] 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.  
[4] 王书华,毛汉英,王忠静.生态足迹研究的国内外近期进展[J].自然资源学报,2002,17(6):776-782.  
[5] 魏晓燕,夏建新,吴燕红.基于生态足迹理论的调水工程移民生态补偿标准研究[J].水土保持研究,2012,19(5):214-222.  
[6] 陈晨,夏显力.基于生态足迹模型的西部资源型城市可持续发展评价[J].水土保持研究,2012,19(1):197-201.  
[7] 邱寿丰,朱远.2000—2008年福建省生态足迹和生态承载力计算:基于国家生态足迹账户计算方法[J].生态经济,2010(11):169-782.  
[8] 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.  
[9] 张青峰,王力,邵明安,等.长武县水资源承载力分析计算与评价[J].水土保持研究,2009,16(6):88-91.  
[10] 赵国华,翟国静,何平,等.廊坊市区域现状水资源承载力分析[J].水土保持研究,2009,16(1):245-249.  
[11] 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):3560-3568.  
[12] 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.  
[13] 邱微,樊庆铎,赵庆良,等.黑龙江省水资源生态承载力计算[J].哈尔滨工业大学学报,2010,42(6):1000-1003.  
[14] 卢琼,张象明,仇亚琴.水资源核算的水循环机制研究[J].水利经济,2010,28(4):1-4.  
[15] 成淑敏,高阳,杨卓祥,等.基于能值分析的城市生态经济系统研究:邢台市为例[J].生态经济,2012(3):44-47.  
[16] 李东海,封晨辉,高守忠,等.邢台市水资源现状与可持续利用对策[J].南水北调与水利科技,2009(2):53-56.  
[17] 河北年鉴编委会.河北年鉴[M].石家庄:河北年鉴社出版社,2002—2011.  
[18] 河北省人民政府.河北经济年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002—2011.  
[19] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002—2011.  
[20] 邢台市水务局.邢台市水资源公报[M].河北邢台:邢台水务局出版社,2002—2011.  
[21] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:37-69.  
[22] 吴丽英.邢台市水资源供需平衡问题分析及对策研究[J].地下水,2010,32(2):123-128.  
[23] 赵文双,姜亮,商彦蕊.农业旱灾系统恢复过程的资源影响分析[J].水科学与工程,2011(3):24-26.