

山西省临汾市虚拟水动态变化研究与预测

梁瑞^{1,2}, 任志远^{1,2}, 李小燕^{2,3}

(1. 陕西师范大学 西北国土资源研究中心, 陕西 西安 710062; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 3. 陕西理工学院 历史文化与旅游学院, 陕西 汉中 723000)

摘要: 利用居民消费商品实际数量, 对山西省临汾市虚拟水消费量进行了计算, 并对研究区 1985—2010 年虚拟水消费量时空变化进行了分析。同时使用回归曲线拟合预测, 得出 2015 年以及 2020 年的虚拟水消费量。结果显示, 临汾市虚拟水消费量在 2010 年高达 $6.39 \times 10^9 \text{ m}^3$, 人均虚拟水消费量为 $1\,479.27 \text{ m}^3$ 。1985—2010 年临汾市的虚拟水消费量总体呈上升趋势, 各个县域中只有蒲县和大宁县的虚拟水消费量年均增长量为负; 空间分布状况为山区县虚拟水消费量年均增长较慢, 平川县虚拟水消费量年均增长较快; 在此基础上利用 GM(1,1) 模型对 2015 和 2020 年的人口数量进行预测, 然后基于回归模型对 2015 和 2020 年的虚拟水消费量进行了预测, 结果与 2010 年虚拟水消费量相比均增加的地区有临汾市、霍州市和隰县, 与 2010 年消费量基本持平的有古县, 其他县区预测结果均减少。

关键词: 水资源; 虚拟水; 回归模型; 临汾市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0312-05

中图分类号: F062.1

Dynamic Change of Virtual Water and Its Prediction in Linfen City of Shanxi Province

LIANG Rui¹, REN Zhi-yuan^{1,2}, LI Xiao-yan^{2,3}

(1. Center for Land Resources Research in Northwest China, Shaanxi Normal University, Xi'an,

Shaanxi 710062, China; 2. College of Tourism and Environment Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 3. School of History and Tourism, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

Abstract: Using the actual residential consumer goods consumption, the paper calculates the virtual water consumption in Linfen City of Shanxi Province and analyzes the spatial-temporal changes of variation of water consumption during 1985—2010. And then regression model was used to predict the virtual water consumption in 2015—2020. The results showed that the virtual water consumption reached at $6.39 \times 10^9 \text{ m}^3$ in total and $1\,479.27 \text{ m}^3$ per capita in 2010. The virtual water consumption showed a increasing trend in the past 26 years with the exception happen in Puxian and Daning County where the average annual growth of virtual water consumption is negative. As for the spatial distribution, the virtual water consumption grew less in mountainous areas than that in flat areas. Using GM (1,1) model the population and then the virtual water consumption of Linfen City in 2015 and 2020 was predicted. Comparing with data in 2010, the virtual water consumption would increase in Linfen, Huozhou and Xixian County while keep basically flat in Guxian County and decrease in the other counties.

Keywords: water resources; virtual water; regression model; Linfen City

我国北方城市的水资源供应量原本不足, 加之水环境恶化, 社会经济的快速发展以及人口的不断增加导致缺水现象更为严重。虚拟水概念的提出可以为

区域水资源得到合理利用且走可持续发展之路提供参考。现状虚拟水是国外 20 世纪 90 年代才提出的新概念, 是指生产产品和服务所需要的水资源。虚拟

收稿日期: 2012-09-18

修回日期: 2013-01-02

资助项目: 国家自然科学基金项目“西北黄土高原台塬区土地资源开发利用与生态安全动态分析”(41071057); 中央高校基本科研业务费专项基金项目(GK201101002)

作者简介: 梁瑞(1987—), 女(汉族), 山西省临汾市人, 硕士研究生, 主要从事国土资源与 GIS 研究。E-mail: liangrui_rui@163.com。

通信作者: 任志远(1953—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 教授, 博士生导师, 主要从事国土资源开发与生态环境评价研究。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn。

水不是真正意义的水,而是以“虚拟”的形式包含在产品中的看不见的水。水足迹是指基于虚拟水概念的基础上,表示为“在一定的物质生活标准及技术水平下,生产某区域特定人口消费的产品和服务所需的水资源数量,它既包括人类生活中所必须的各种食物、日常用品以及直接消耗的水资源,也包括为人类提供生态系统服务和功能的生态环境资源”^[1]。目前,虚拟水成为国内研究的热点话题,袁野等^[2]对北京市城乡居民和不同收入阶层居民食物消费虚拟水含量进行研究,王建源等^[3]采用自上而下的算法对山东省虚拟水进行分析。吴燕等学者^[4-5]从生态足迹和水足迹的角度对北京市居民食物消耗水资源进行研究,谭秀娟^[6]对重庆市直辖以来水足迹做出研究,以上学者研究结果表明,研究区水资源消耗量均呈增长趋势,根据当地的水资源总量、水资源万元 GDP 以及水资源承载力等指标衡量,该地区水资源都比较紧缺。虚拟水及水资源对一个地区的经济社会发展起着至关重要的作用,不仅制约一个地区的经济生产而且阻碍人们的生活,因此要提高人们对水资源的忧患意识,节约用水。

多数学者关注大尺度区域的分析对比^[7-9],对小尺度县域虚拟水研究较少,本研究选取临汾市作为研究对象,以居民商品的实际消费情况为基础,对临汾市及县区虚拟水消费量进行计算,并对 2015 和 2020 年虚拟水消费量作出预测,以期使政府及公众对临汾市水资源可持续发展状况有客观的认识,旨在说明能源重工业中小城市虚拟水的消费状况,解决研究区的水资源短缺,供需矛盾,水资源污染及管理不合理等一系列问题。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

临汾市位于山西省中南部,东有太岳山及中条山,西有吕梁山,两山之间为临汾盆地。介于北纬 35°23′—36°57′,东经 110°22′—112°34′。临汾市总面积 20 294 km²,共 1 市辖区、14 个县及 2 个县级市,分别为尧都区、曲沃县、翼城县、襄汾县、洪洞县、古县、安泽县、浮山县、吉县、乡宁县、蒲县、大宁县、永和县、隰县、汾西县、侯马市和霍州市。临汾市地处半干旱、半湿润温带大陆性季风气候区,四季分明,雨热同期。2010 年水资源总量为 7.73×10⁸ m³,其中地表水资源总量 5.10×10⁸ m³,地下水资源总量 7.26×10⁸ m³,降水总量 9.37×10⁹ m³,且降水具有时空分布不均匀的特点,从时间上来看,降雨主要集中在 8 月份,冬季水汽缺乏,气温低而干燥;夏季是主要降雨

季节,气温高而湿润。从空间上来看,该市年降水量总体趋势是山区大,平川小。水资源总量的分布上,在行政区划上的体现为乡宁县水资源总量最多,尧都区次之,侯马市水资源量最少。2010 年临汾市地区生产总值为 8 901 440 万元,其中第二产业生产总值为 5 192 778 万元,占总产值的 58.33%。除此之外,临汾市煤炭资源丰富,再加上劳动力数量多,以能源重工业为主,经济发展相对较快,同时给环境、资源带来了巨大压力。

1.2 数据来源

使用的统计数据为 1985—2010 年临汾市及县区居民消费商品实际数量,来自《临汾市统计年鉴(2006—2011)》,《临汾“十五”》,《山西省统计年鉴(2001—2010 年)》,《水资源公报(2008—2010 年)》,《临汾市水资源综合规划报告》。临汾市 DEM 数据来自国际科学数据平台。

1.3 研究方法

由 DEM 数据分析可知,临汾市根据高程和坡度的差异,将高程在 1 000 m 以下,坡度在 5°以下的县区划分为平川县;高程大于 1 000 m,坡度大于 5°的县区划分为山区县。由此得出临汾市的平川县为尧都区、洪洞县、襄汾县、曲沃县、侯马市、翼城县,山区县为永和县、隰县、大宁县、蒲县、吉县、乡宁县、汾西县、霍州市、古县、安泽县、浮山县。

通过统计临汾市居民主要商品消费量,计算商品消费水资源的需求量,即临汾市居民虚拟水的消费量^[10],其算法采用王新华的简单算法^[11],虚拟水等于研究区居民对商品的消费数量乘以该种商品单位质量所含的虚拟水得到。计算中所涉及的商品数量均为历年居民对商品的实际消费数量,因此该研究区商品的净进出口量中的虚拟水无需计算^[12]。

水足迹的计算方法有两种:一种是自上而下的计算方法,该方法是从生产者的层面,对农业用水,工业用水,生活用水以及进出口贸易的虚水量求和得到。另一种是自下而上的计算方法,该方法是从消费者的角度出发,对居民消费商品的虚拟水(单位商品中所含的虚拟水乘以商品的水量求和)、工业用水、生活用水以及生态需水求和得到^[13]。本研究只对第 2 种方法中的虚拟水进行研究分析。即:

$$WF = \sum_{i=1}^n n_i p_i \times VWP_i \quad (1)$$

式中:WF——虚拟水消费量; P_i ——第 i 种商品消费量; VWP_i ——第 i 种产品的单位产品的虚拟水含量; n ——商品的种类数目。

虚拟水资源的消费量与人类生产生活有着密切

关系,人类生活水平的提高,人口数量的增长都会直接影响虚拟水消费量的变化,利用 GM(1,1)模型对临汾市及各个县区的人口数量进行预测^[14],在虚拟水消费量、人口数量基础上,选择多种回归分析进行比较,如线性回归、二次项回归、指数分布回归、对数回归、逆模型回归及 Logistic 回归等多种方法,最终选取模拟虚拟水消费量的效果最佳的方程进行模拟。

2 结果与分析

2.1 主要商品虚拟水消费量计算

商品的虚拟水含量是单位商品的虚拟水含量乘以该商品的消费的物质的量。根据临汾市统计年鉴,选取主要消费商品种类:粮食、猪牛羊肉、水果、蔬菜、烟叶、棉花、油料作物、禽蛋、鲜奶等商品种类进行计算。根据公式(1),得临汾市及县区居民消费各种商品的虚拟水消费量。主要商品的单位产品的虚拟水含量参照 Chapagain 等人^[15-18]的研究成果。由于 1985—2010 年的数据繁多,计算过程比较复杂,为节省篇幅,仅以 2010 年计算为例,计算结果详见表 1。

表 1 临汾市 2010 年居民生活消费虚拟水含量

| 消费项目 | 单位产品虚拟水含量/ (m ³ ·kg ⁻¹) | 消费物质量/ 10 ³ kg | 消费虚拟水量/ 10 ⁸ m ³ | 人均消费虚拟水 (m ³ /人) |
|------|---|------------------------------|---|--------------------------------|
| 粮食 | 2.456 | 2 016.69 | 49.53 | 1 147.44 |
| 猪牛羊肉 | 3.561 | 113.85 | 4.05 | 93.83 |
| 水果 | 0.921 | 379.56 | 3.50 | 80.91 |
| 蔬菜 | 0.101 | 854.06 | 0.90 | 19.96 |
| 烟叶 | 5.040 | 2.22 | 0.11 | 2.55 |
| 棉花 | 10.000 | 4.58 | 0.46 | 10.59 |
| 油料作物 | 6.854 | 21.48 | 1.47 | 34.07 |
| 禽蛋 | 3.550 | 83.25 | 2.96 | 68.40 |
| 鲜奶 | 2.201 | 42.24 | 0.93 | 21.52 |
| 总和 | — | — | 63.91 | 1 479.27 |

2.2 临汾市虚拟水消费量变化

2.2.1 临汾市虚拟水消费量时间变化 图 1 给出 1985—2010 年临汾市虚拟水消费量变化曲线及线性趋势。由图 2 可见,研究区的虚拟水消费量整体呈增长趋势,年均增长量为 $7.93 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ 。在 0.001 置信水平下,临汾市的虚拟水消费量与年份的相关性显著,相关系数为 0.744。从年际变化上来看,虚拟水消费量一直波动上升,1987,1991,2001 和 2005 年达到了波谷,其中 1987 年达到最小值,1990,1996 和 2004 年为峰值,2005 年之后基本保持上升趋势,2010 年达到最大值。而研究区的人均消费量,与虚拟水的消费总量呈同步增减趋势。

由图 2 临汾市平川县(6 个)虚拟水消费量变化曲线可知,洪洞县、襄汾县、尧都区、翼城县、曲沃县从 1985—2010 年间,虚拟水消费量呈总体增长趋势,其年均增长量依次为 0.19,0.12,0.08,0.06 和 0.12 m³/a,侯马市虚拟水消费量保持基本不变。图 3 为部分山区县的虚拟水消费量变化曲线,选取部分变化有代表的县区。从图 3 可以看出,浮山县、安泽县自 1985—2010 年虚拟水消费量保持曲折上升,其年均增长量为 0.05 和 0.04 m³/a。乡宁县在 1987 和 2005 年达到波谷,在 1996 年到达最大值,在 2005 年之后变化比较平稳,与 1987—2004 年相比虚拟水消费量减少,永和县和大宁县在 1985—2010 年虚拟水消费量保持平稳,增幅较小,2004 年之后永和县的虚拟水消费量增长量大于大宁县。

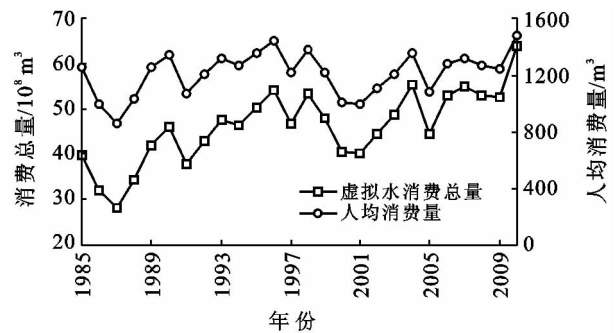


图 1 临汾市虚拟水消费量情况

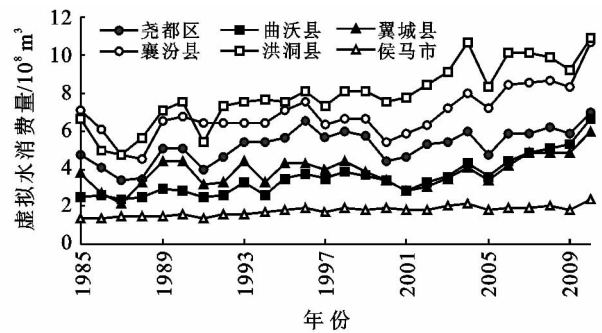


图 2 临汾市各平川县区虚拟水消费量变化曲线

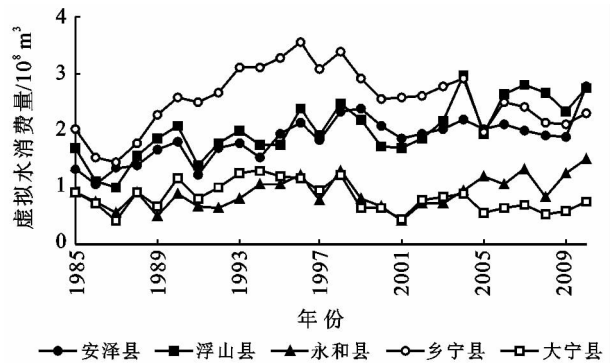


图 3 临汾市各山区县区虚拟水消费量变化曲线

2.2.2 临汾市虚拟水消费量空间变化 基于 ArcGIS 9.3 平台,首先对临汾市行政图的照片进行矢量化,添加附属性信息,然后将每个县的年均增长量添加为对应县域图斑的属性值,将该字段属性信息以渐变色和柱状图分别在图中表示,最后以专题地图的形式输出。图 4 给出临汾市各个县域 1985—2010 年的虚拟水消费总量年均变化趋势,1985—2010 年,大宁县、蒲县虚拟水消费量年均增长为负,其中大宁县年均减少的量为 $0.011 \text{ m}^3/\text{a}$,蒲县减少量为 $0.002 \text{ m}^3/\text{a}$ 。永和县、隰县、汾西县、霍州市、古县、安泽县、吉县、乡宁县及侯马市的年均增长在 $0.011 \sim 0.038 \text{ m}^3/\text{a}$ 之间。浮山县的年均增长量为 $0.05 \text{ m}^3/\text{a}$,翼城县的年均增长为 $0.057 \text{ m}^3/\text{a}$,尧都区的年均增长为 $0.08 \text{ m}^3/\text{a}$ 。曲沃县、襄汾县年均增长为 $0.12 \text{ m}^3/\text{a}$,洪洞县年均增长为 $0.19 \text{ m}^3/\text{a}$ 。从空间上看,山区县虚拟水消费量年均增长量较小,甚至出现负增长,如大宁县、蒲县为负增长。而平川区县虚拟水的消费量年均增长量相对较大,以城区尧都区为核心,周边的洪洞县、襄汾县、翼城县、浮山县、曲沃县年均增长速度相对其他山区县较快,其中洪洞县年均增长量最大。由此可以看出研究区县域的经济增长状况直接影响该县虚拟水消费量的多少,平川县交通便利,受到城区的带动作用大,平川县的企业相对较多,因此经济发展快,人们的生活水平提高的速度快,虚拟水的消费年均增长量也较大。

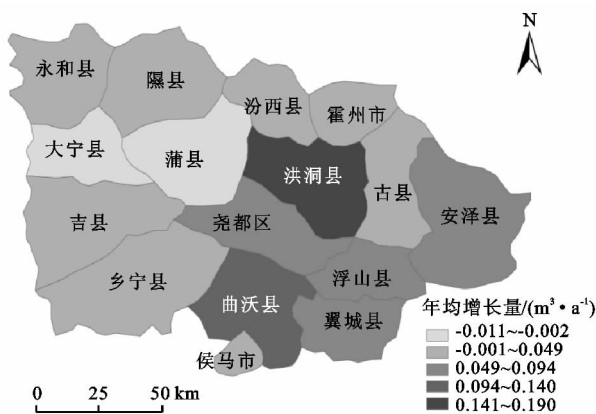


图 4 临汾市县域虚拟水消费量年均增长量变化

2.3 临汾市虚拟水消费量预测

从水足迹的角度出发,水资源短缺会极大影响区域内粮食生产和安全,由图 1 可知,临汾市居民虚拟水消费总量呈增多趋势,由于人们对肉类及奶类制品消费量的增多,随着人们生活水平的提高,消费结构的变化,肉类和奶类在饮食中的比例提高,研究区居民生产生活对水资源的消费量增大。除此之外,人口

数量的增长,对商品的消费量增多,对该地区虚拟水消费的增长的影响更为直接。基于 1985—2010 年虚拟水消费量和人口数量的基础上,经回归方程的多次拟合比较分析,选取一元二次回归方程拟合预测该地区及各个县区虚拟水的消费量(表 2)。

表 2 临汾市及各个县区虚拟水消费量一元二次回归方程拟合

| 县区 | 常数项 | 一次项系数 | 二次项系数 | R^2 |
|-----|-------------------------|---------|--------|-------|
| 临汾市 | 1.467×10^9 | 5 603 | -0.001 | 0.673 |
| 尧都区 | -1.513×10^8 | 1 678 | -0.001 | 0.462 |
| 侯马市 | -1.013×10^8 | 1 939 | -0.003 | 0.768 |
| 霍州市 | -5.710×10^9 | 46 322 | -0.088 | 0.579 |
| 曲沃县 | 6.505×10^9 | -64 327 | 0.165 | 0.768 |
| 襄汾县 | 3.506×10^9 | -14 619 | 0.018 | 0.462 |
| 翼城县 | -3.110×10^6 | 1 737 | -0.001 | 0.182 |
| 洪洞县 | 7.786×10^8 | -2 255 | 0.003 | 0.748 |
| 古县 | -1.204×10^8 | 3 344 | -0.006 | 0.252 |
| 安泽县 | -3.376×10^9 | 85 800 | -0.512 | 0.657 |
| 浮山县 | -1.340×10^{10} | 208 893 | -0.800 | 0.460 |
| 吉县 | -1.323×10^9 | 27 905 | -0.131 | 0.435 |
| 乡宁县 | -3.545×10^9 | 38 267 | -0.095 | 0.723 |
| 蒲县 | -1.597×10^9 | 36 801 | -0.169 | 0.280 |
| 永和县 | 7.200×10^8 | -30 121 | 0.229 | 0.227 |
| 大宁县 | -8.784×10^8 | 13 673 | 0.001 | 0.055 |
| 隰县 | -3.095×10^9 | 69 216 | -0.361 | 0.585 |
| 汾西县 | -9.39×10^8 | 15 472 | -0.057 | 0.128 |

基于 1985—2010 年临汾市及各个县区的人口数量,利用灰色 GM(1,1)模型对 2015 和 2020 年人口数量进行预测,再利用 2015 和 2020 年临汾市人口数量,依据上述一元二次回归方程,对临汾市及其 17 个县区 2015 和 2020 年虚拟水消费量进行预测。结果详见表 3。

3 结论

(1) 时间上,临汾市居民商品虚拟水消费量在 1985—2010 年呈曲折上升趋势,人均虚拟水消费量与虚拟水总量呈同步上升趋势。县区中,只有大宁县和蒲县的年均虚拟水消费量呈下降趋势,其他各县区年均消费量呈缓慢上升趋势。

(2) 空间上,山区县虚拟水消费量增长量较小,平川县虚拟水消费量增长较大。尤其是以城区尧都区为核心的县区虚拟水消费增长量较大。从研究结果看,经济发展快,人口数量多的县区,虚拟水消费量较大,增长较快。

(3) 预测结果看,临汾市及各个县区 2015 和 2020 年的虚拟水消费量与 2010 年的消费量相比较,

均增长的地区有临汾市、霍州市、隰县,预测结果均减少的地区有尧都区、侯马市、曲沃县、襄汾县、翼城县、洪洞县、安泽县、浮山县、吉县、乡宁县、蒲县、大宁县、汾西县,预测结果与 2010 年消费量基本持平的为古县。该预测结果为临汾市的水资源可持续发展提供可靠的理论依据。

表 3 临汾市及各个县域虚拟水消费量预测值

| 区县 | 2015 年人口数量/ 万人 | 2015 年虚拟水消费量/ ($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$) | 2020 年人口数量 (万人) | 2020 年虚拟水消费量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$) |
|-----|-------------------|---|--------------------|---|
| 临汾市 | 436.2 | 68.842 | 440.6 | 67.450 |
| 尧都区 | 79.6 | 5.508 | 80.4 | 5.514 |
| 侯马市 | 24.8 | 1.861 | 25.0 | 1.870 |
| 霍州市 | 30.2 | 2.536 | 30.5 | 2.323 |
| 曲沃县 | 24.3 | 6.164 | 24.5 | 6.488 |
| 襄汾县 | 51.3 | 7.430 | 51.8 | 7.627 |
| 翼城县 | 33.4 | 4.655 | 33.7 | 4.793 |
| 洪洞县 | 77.5 | 8.322 | 78.2 | 8.491 |
| 古县 | 9.3 | 1.387 | 9.4 | 1.409 |
| 安泽县 | 8.4 | 2.186 | 8.5 | 2.178 |
| 浮山县 | 13.5 | 2.207 | 13.6 | 2.107 |
| 吉县 | 10.9 | 1.623 | 11.0 | 1.615 |
| 乡宁县 | 23.9 | 1.743 | 24.1 | 1.597 |
| 蒲县 | 6.5 | 0.811 | 6.6 | 0.957 |
| 永和县 | 10.6 | 1.002 | 10.7 | 1.189 |
| 大宁县 | 6.7 | 0.422 | 6.8 | 0.576 |
| 隰县 | 10.8 | 1.697 | 10.9 | 1.605 |
| 汾西县 | 14.7 | 1.038 | 14.9 | 1.011 |

从消费者的角度出发,临汾市居民虚拟水消费量的增多,是由于人们对肉类及奶类制品等消费量的增多。随着城市化的不断推进,人们收入增加,对含虚拟水量大的商品消费增加,必将导致商品虚拟水消费总量的上升。在饮食结构上,居民对蔬菜、奶蛋的消费量增加,生产单位物质量的蔬菜奶蛋所需的水资源远大于生产相同物质量的粮食作物,因此在人们调节饮食结构的同时,无形之中增加了对水资源的消耗量,在此倡导人们在满足营养平衡的原则上,适当地改变消费模式和消费结构,平衡饮食结构,使之更节水。

虚拟水消费量的增加,导致现状水资源不能满足人们生产生活的需要,加上人们生活水平的提高,人口数量的增长,为达到水资源的可持续发展,在日常生产生活中,从水足迹的角度考虑,人们消费的虚拟水、生活用水、工业用水、生态需水 4 个方面合理用水,从宏观上把握使之水资源承载力最大,提高科技

水平水资源的万元 GDP 达到最大值,使水资源得到可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] 傅春,陈炜,欧阳莹.环鄱阳湖区生态足迹与经济产业发展关系的实证研究[J].长江流域资源与环境,2011,20(12):1520-1524.
- [2] 袁野,胡聃.北京市食物消费虚拟水含量研究[J].环境科学与技术,2011,34(6):399-403.
- [3] 王建源,冯建设.2006 年山东省虚拟水分析[J].干旱区地理,2010,33(5):763-768.
- [4] 吴燕,王效科,逯非.北京市居民食物消耗生态足迹和水足迹[J].资源科学,2011,33(6):1145-1152.
- [5] 王艳阳,王会肖,蔡燕.北京市水足迹计算与分析[J].中国生态农业学报,2011,19(4):954-960.
- [6] 谭秀娟.重庆市直辖以来水足迹研究[D].重庆:西南大学,2010.
- [7] 邹君,杨玉蓉,毛德华,等.中国虚拟水战略区划研究[J].地理研究,2011,29(2):254-262.
- [8] 孙才志,陈丽新,刘玉玉.中国省级间农产品虚拟水流动适宜性评价[J].地理科学,2011,30(4):612-621.
- [9] 邹君,杨玉蓉,黄翅勤,等.中国区域虚拟水战略优势度评价[J].地理科学,2009,29(1):78-82.
- [10] 张金萍,刘俊阁,郭兵托.郑州市居民虚拟水消费灰色关联分析及趋势预测[J].节水灌溉,2011(10):29-32.
- [11] 尚海洋,陈克恭,徐中民.甘肃省 1992—2005 年城镇不同收入群体的虚拟水消费特征[J].资源科学,2009,31(3):406-412.
- [12] 陈颢,任志远,郭斌.陕西省近 10 年来水资源足迹动态变化研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(3):43-48.
- [13] 甘蓉蓉,陈娜姿.人口预测的方法比较:以生态足迹法、灰色模型法及回归分析法为例[J].西北人口,2010,31(1):57-60.
- [14] 李正,王军,白中科,等.贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测[J].地理科学进展,2012,31(5):577-583.
- [15] 孙才志,张蕾.基于分形的中国地均农畜产品虚拟水规模分布的时空演变研究[J].地理科学,2009,29(3):402-408.
- [16] 朱一中,夏军,王纲胜.张掖地区水资源承载力多目标情景决策[J].地理研究,2005,24(5):732-740.
- [17] Hoekstra A, Hung P. Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade[R]. Value of Water Research Report Series, 2002:27-29.
- [18] Chapagain A, Hoekstra A. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products [EB/OL]. (2002-09) [2010-12-23]. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>.