

陕西省 2003 年水资源足迹测评与分析

郭 斌,任志远

(陕西师范大学旅游与环境学院,陕西 西安 710062)

摘 要: 水足迹由于考虑了社会经济系统中的虚拟水消费量,较完整刻画了人类对水资源的真实占用和消费情况,为水资源的科学管理提供了一个崭新的视角。利用水足迹模型计算 2003 年陕西省全省资源水足迹和人均水足迹,结果表明:陕西省 2003 年的水足迹为 248.862 亿 m^3 、人均水足迹为 671.656 m^3 ,水资源集约利用度为 9.638 元/ m^3 ,2003 年陕西水资源压力指数为 331.4%。提出了降低水足迹以缓解水资源压力的几条途径,探讨了今后水足迹研究的方向。

关键词: 水足迹;虚拟水;虚拟水贸易;陕西省;2003 年
中图分类号: F323.213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0178-05

水是生命之源,是人类和一切生物赖以生存和发展的物质基础。随着人口数量的不断增长和社会经济的迅速发展,全球水资源供求矛盾日渐突出,水资源短缺已经成为许多国家和地区可持续发展的重要制约因素。我国是世界主要贫水国之一,人均水资源量为 2 200 m^3 ,只有世界平均水平 1/4,水资源相对匮乏。目前,水资源短缺已是我国西北地区 21 世纪可持续发展面临的最主要的瓶颈之一。为了使水资源开发利用维持在可持续的范围内,有必要核算人类对水资源的真实消费情况。国外 Hoekstra 和 Chapagain 等人的研究表明,人均水足迹相对较高(大于 0.2 万 m^3 /年)的国家主要有比利时和荷兰,人均水足迹中等(0.1 万 m^3 /年左右)的国家有日本、美国、墨西哥,人均水足迹相对较低(500 m^3 /年以下)的国家主要有中国、印度和印度尼西亚^[1]。国内龙爱华,徐中民等引入了水足迹的概念,介绍了水足迹的计算方法,并先后以西北 4 省、甘肃省和全国为对象,计算分析了 2000 年西北 4 省水资源足迹、甘肃省 2000 年的水资源足迹和 2000 年中国的水资源足迹^[2~4]。本文在总结前人对水足迹的概念和计算方法的基础上,对 2003 年陕西省水足迹进行了初步测算与分析,探讨了降低水足迹、缓解水资源压力的途径,讨论了水资源足迹对水资源管理的战略意义。

1 陕西水资源概况与数据来源

1.1 陕西水资源概况

陕西是一个水资源紧缺的省份,境内天然径流

量 $420.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水资源总量 $165.09 \times 10^8 \text{ m}^3$,总水资源量 $422.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅占全国水资源总量的 2% 左右。同时,水资源年内、年际分配和地域分布很不均衡。大气降水总量为 $1\,371 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中长江流域占全省总量的 46%,黄河流域占全省总量的 54%。降水年际变化在 350~1 600 mm,多年平均降水量为 676.4 mm。降水总趋势是,由南向北递减,由西向东递减,由山区向平原递减。陕北属干旱半干旱大陆性季风气候,区内多年平均降水量 450~600 mm,自南而北递减。降水多集中在夏季,多是暴雨形式。关中地处暖温带季风气候区的西部边缘,年均降水为 540~720 mm,水资源补给不足。7~9 月经流占全年的 60%~70%,且多以暴雨、淋雨形式出现,造成枯水季节缺水,丰水季节流失。陕南气候温和,雨量充沛,属亚热带气候。年均降水量约 900~1 600 mm,其中 7~9 月降水量占全年的 50%~65%。陕北高原比较大的水系有洛河、延河、秃尾河、无定河等,这些河流大致以北西—南东方向流经黄土地区注入黄河。关中平原主要河流为纵贯关中平原的渭河,其次为泾河和洛河,多年平均径流量分别为 $20.99 \times 10^8 \text{ m}^3$, $9.04 \times 10^8 \text{ m}^3$, $101.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。受降水的控制,年内地表径流集中在 6~9 月份,占全年径流的 60%。丰枯悬殊,含沙量大,且具有连旱连涝的特点。陕南主要河流有:丹江、汉江、嘉陵江。陕西省地下水天然资源量为 $161.1 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,而可开采量为 $55 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。陕北、关中和陕南地下水资源总量分别为 $28.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, $53.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, $79.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 分别占各地区水资源总量

的61.92%,68.72%和 26.56%。

1.2 测评内容与数据来源

根据陕西省的实际情况和资料的可靠性,主要从四方面对陕西省 2003 年水足迹进行衡量:居民主要商品虚拟水消费量、净进口虚拟水消费量、生活实体水消费量、生态环境用水量。数据来源:《陕西统计年鉴(2004)》、《中国统计年鉴(2004)》。

2 研究方法 with 模型

2.1 研究方法

人类对水资源系统的影响是通过消费水资源提供的产品和服务产生作用的,如何真实地刻画这种作用大小和影响程度,可以从人类对水资源和水资源所提供的产品和服务的消费入手。任何已知人口(某个人、一个城市、一个区域或全球)的水足迹是生产这些人口所消费的所有资源所需要的水资源数量^[2]。产品和服务的生产一般都需要消耗一定的水量,生产 1 瓶白酒需要 240 kg 水,1 个鸡蛋需要消耗 340 kg 水,1 kg 羊肉需要耗水 18 000 kg、生产重量为 2 g 的 32 兆计算机芯片需要消耗 32 kg 的水量。这些在产品和服务生产过程中使用的水量称之为虚拟水。虚拟水以“看不见”的形式蕴藏在产品中,当人们消费这些产品的时候,实际上就是以虚拟水的形式消费了水资源^[3]。虚拟水的概念是由 Tony Allan 在 20 世纪 90 年代初提出来的。虚拟水不是真正意义上的水,因为它包含在产品中以虚拟的形式体现出来,消费者从产品中看不见水的影子。因此虚拟水又叫“嵌入水”和“外来水”,后者是指进口虚拟水的国家使用了非本国的水的事实^[5]。Wackernagel(1996)提出的生态足迹(ecological footprint)可以将区域的能源和资源消费转化为提供这种物质流所必须的各种生物生产类型的土地面积,并同区域能提供的生物生产土地面积进行比较,能定量判断一个区域的发展是否处于生态承载力的范围内。同样水足迹可以将区域人口消费的资源转化为提供资源所消耗的水资源数量,水足迹可以反映地区或国家对水资源的需求和占用情况。

2.2 水足迹的测算模型

一个国家或地区的水足迹^[4]:
$$WF = PVW expenditure + RW expenditure + ENV expenditure + NVWI expenditure \quad (1)$$
式(1)中:WF 为一个国家或地区的水足迹;PVW expenditure 为本地产品虚拟水消费;RW expenditure 为生活利用的实体水消费;NVWI expenditure 为净进口虚拟水消费量;ENV expenditure 为生态环境用

水。式(1)从理论上阐明了计算一个地区水足迹的方法,测算一个国家或一个地区的水足迹主要需要量化虚拟水消费量。由于产品消费的实物量比较容易获取,因此单位产品的虚拟水含量计算就成为水资源足迹衡量的核心。从目前的研究来看,由于工业产品虚拟水含量计算过于复杂并且实际的虚拟水含量一般较小通常忽略,农作物产品的虚拟水和动物产品的虚拟水计算是目前虚拟水计算中最主要的部分,也是水足迹衡量的关键。生态环境需水研究目前还处于摸索阶段,一般采用估算的办法。在全球经济一体化的影响下,一个国家或地区的实体水资源利用并不能真实地代表它对水资源的消费占用情况,衡量一个国家或地区对水资源的真实消费时,进口的虚拟水应该加到该国家或地区的水资源消费上,而出口的虚拟水应该从国家或地区的水资源消费中扣除。净进口虚拟水消费量(NVWI expenditure)指一个国家或地区所有进口产品的虚拟水含量减去所有出口产品的虚拟水含量。如果 $NVWI expenditure > 0$,表示该国或该地实质上消费了其他地区的水资源,反之,表明该国或该地实质上给其他国家或地区间接地提供了水资源。需要注意的是式(1)中的 $PVW expenditure$ 为本地产品虚拟水消费,即就是人们消费的产品都是国产或本区域生产的,在计算水足迹时就应该加上净进口产品的虚拟水含量,如果获得的资料是本区域居民实际消费的产品(消费的产品中可能有进口的),在计算水足迹时则没有必要再加上净进口产品的虚拟水含量,如果加,则计算重复。

2.3 与水足迹相关的评价指标

一个国家或地区的水资源压力指数(WSI)定义为该国或地区居民消费的水足迹(WF)与可更新水资源量(AW)的比值^[6]:

$$WSI = WF / AW \times 100\% \quad (2)$$

如果满足一个国家或地区居民消费所需产品和服务的需水量大于国家或地区可更新水资源量,那么该国家或地区的水资源压力指数可能大于 100%。水资源压力指数越大,说明该国家或地区面临的缺水状况越严重。

一个国家或地区的水资源集约利用度(Water-intensive use of degrees, WIUD)定义为国内生产总值(GDP)与该国家或地区水足迹的比值:

$$WIUD = GDP / WF \quad (3)$$

WIUD 的大小放映了一个国家或者地区水资源利用的程度和的效率,它可以表现一个国家或地区经济发展所付出的水资源代价,水资源集约利用

度越大,说明该国或地区的水资源利用效率高,产生的经济效益高,反之,表明该国或地区的水资源利用效率低,产生的经济效益低。

3 测评结果与分析

3.1 主要商品虚拟水消费量计算

单位商品的虚拟水含量乘以该商品的实际消费量就是该商品虚拟水消费量,计算结果见表 1。

3.2 净进口虚拟水消费量的衡量

净进口虚拟水含量包括农产品净进口的虚拟水

含量和工业产品净进口的虚拟水含量两部分。其中农产品的虚拟水含量可根据 3.1 中的方法计算,由于工业产品的虚拟水含量较小,故本文忽略不记。2003 年陕西省实际进口的农产品数量很小,进口产品主要是工业原材料,高技术含量产品及与人民生活相关的各种轻工业产品,这与陕西作为农业大省,高新技术产业大省的地位相符合。经计算表明 2003 年陕西省的 $NVW\text{I} \text{ expenditure}$ 为-5.828 亿 m^3 。

表 1 陕西省 2003 年城乡居民生活消费虚拟水含量
Table 1 Virtual water consumption of residents in Shaanxi Province in 2003

产品消 费项目 Production	单位产品虚 拟水含量 ^[4] Virtual water (m^3/kg)	消费物质量 M-consumption [$\text{kg}/(\text{人}\cdot\text{a})$]		消费虚拟水量 W-consumption [$\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$]		年消费总虚拟水量 W-consump amount ($10^8\text{ m}^3/\text{a}$)		总计 Total (10^8 m^3)
		城镇居民 City	农村居民 Rural	城镇居民 City	农村居民 Rural	城镇居民 City	农村居民 Rural	
粮食	2.456	76.790	194.250	188.596	477.078	23.046	58.298	81.344
食用植物油	6.845	8.760	5.830	59.962	39.906	7.327	9.910	17.237
鲜菜	0.105	103.060	50.690	10.821	5.322	1.322	1.322	2.644
猪肉	3.561	12.790	5.070	45.545	18.054	5.565	4.483	10.048
牛肉	19.989	0.870	0.380	17.390	7.596	2.125	1.886	4.011
羊肉	18.005	1.200	0.580	21.606	10.443	2.640	2.593	5.233
家禽	3.111	4.420	1.500	13.751	4.667	1.680	1.159	2.839
鲜蛋	8.651	10.670	2.290	92.306	19.811	11.280	4.919	16.199
鱼虾	5.000	4.040	0.290	20.200	1.450	2.468	0.360	2.828
食糖	5.051	1.010	0.920	5.102	4.647	0.623	1.154	1.777
卷烟	5.040	31.280	38.820	157.651	195.653	19.265	48.585	67.850
白酒	3.071	1.100	0.640	3.378	1.965	0.413	0.488	0.901
啤酒	15.000	2.990	1.600	44.850	24.000	5.480	5.960	11.440
饮料	1.000	3.760	0.080	3.760	0.080	0.460	0.020	0.480
鲜瓜	0.921	19.350	9.730	17.821	8.961	2.178	2.225	4.403
鲜奶	2.201	18.400	1.140	40.498	2.509	4.949	0.623	5.572
糕点	4.157	4.500	1.160	18.707	4.822	2.286	1.197	3.483
棉布	16.212	0.680	0.560	11.024	9.079	1.347	2.254	3.601
总计	—	—	—	772.969	836.044	94.454	147.436	241.890

注:2003 年陕西省总人口为 3 705.20 万,其中城镇人口为 1 221.97 万,农村人口为 2 483.23 万,表中资料源于中国统计年鉴 2004、陕西统计年鉴 2004

3.3 生活实体水消费衡量

生活实体水消费包括实际生活用水和服务业用水。生活用水包括城镇居民生活用水和农村居民生活用水;服务业用水主要是第三产业用水和城镇公共用水。陕西省 2003 年各项用水总量为 75.0 亿 m^3 ^[7],其中农业用水为 50.7 亿 m^3 、工业生产用水为 13.0 亿 m^3 ,生活用水为 11.3 亿 m^3 。

3.4 生态环境用水衡量

利用中国工程院重大咨询项目“西北地区水资

源配置生态环境建设和可持续发展战略研究(生态环境卷)”中西北六省区生态需水估算中的陕西一项,具体数值为 1.50 亿 m^3 。由于国内对生态环境需水的研究处在起步性阶段,这一结果是依据目前有限的资料和宏观分析方法对陕西省生态需水量的一个初步估算,还存在一定的不确定性^[8]。

3.5 2003 年陕西省水足迹计算结果

根据 3.1—3.4 的计算结果,我们得到陕西省 2003 年的水足迹为 248.862 亿 m^3 ,人均水足迹为

671.656 m³,净进口虚拟水消费量为-5.828 亿 m³ (表明 2003 年陕西省给其他地区输出了虚拟水)、生活实体水消费量为 11.300 亿 m³、生态环境用水量为 1.500 亿 m³。各项分类列于表 2。

表 2 2003 年陕西全省虚拟水消费和总的水足迹
Table 2 Total water footprint account and virtual water consumption of shannxi Province in 2003

主要农产品虚拟水消费量(10 ⁸ m ³)	241.890
生活实体水消费量(10 ⁸ m ³)	11.300
净进口虚拟水量(10 ⁸ m ³)	-5.828
生态环境需水量(10 ⁸ m ³)	1.500
总水足迹(10 ⁸ m ³)	248.862
人均水足迹(m ³)	671.656

通过上面的计算可知:生活实体水资源消费(11.3×10⁸ m³)仅占总水足迹的 4.5%;居民主要农产品虚拟水消费量(241.890×10⁸ m³),占总足迹的 97.2%,总水足迹占陕西水资源总量(255.43×10⁸ m³)的 97.4%,主要农产品虚拟水消费量是当年用水总量(75.0×10⁸ m³)的 3.2 倍,主要农产品虚拟水消费量远远高于实际统计的水资源消费量,且占到总水足迹的 97%之多。其主要原因有:① 统计资料提供的的水资源利用量通常仅包括地表水和地下水的消费部分,而虚拟水计算方法还包括了直接被植物利用(不产生径流)的部分降雨、土壤水和空气凝结水,同时对天然放牧的畜牧业生产来说,动物消费的牧草耗水并没有包括在水资源利用的统计量中。② 动物产品具有储水作用。对一年生以上的动物,动物活体和动物产品实际包括了多年的水资源消耗的累积。③ 由于水足迹中“生态环境需水量”一项是一个估算值,还具有一定的不确定性,可能造成水足迹偏低的结果。④ 本研究中在计算居民消费品虚拟水含量时,忽略了工业产品的虚拟水含量,虽然工业产品虚拟水含量一般较小通常忽略,但却造成总水足迹偏低。2003 年陕西全省生产总值(GDP)为 2 398.58 亿元,水资源集约利用度为 9.638 元/m³。即就是消耗 1 m³ 的水资源可以创造 9.638 元的经济效益,我国东部、中部和西部的平均水资源集约利用度分别为 45.249、25.510 和 15.503 元/m³。可见陕西的水资源集约利用度与东部沿海发达地区相比,还存在明显的差距,与西部平均水平也有一定的差距。2003 陕西水资源压力指数为 331.4%,表明陕西面临严重的水压力,缺水状况比较严重,这一结果符合中国水利部近日发布的《2004 年中国水资源公报》,在中国最缺水的十个省市中,陕西排名第 2。

4 结论与讨论

随着全球经济一体化和地区间日益频繁的经济贸易,常规的水资源衡量方法已经不能真实地反映一个地区的实际用水情况,必须转变思路,转换角度引入新的方法和理论,虚拟水概念为衡量地区水资源消费利用提供了一个新思路,基于虚拟水消费的水足迹衡量为定量分析人类对水资源的实际占用提供了一个崭新的视角。本文利用水足迹模型,计算了 2003 年陕西省的水足迹和人均水足迹。陕西省 2003 年的水足迹为 248.862 亿 m³、人均水足迹为 671.656 m³、水资源集约利用度为 9.638 元/m³,2003 陕西水资源压力指数为 331.4%。引入水足迹和虚拟水消费的概念可以清楚的看到目前水资源面临的压力。水足迹概念的提出给管理者提供了决策依据,将有利于和谐社会和节约社会的构筑。

水足迹的大小与很多因素有关。随着生产力的不断发展,各种高新技术在农业、工业上的应用,尤其是节水灌溉措施在农业上的应用,水足迹总体上成下降的趋势。最后提出几点降低水足迹的措施,第一,加强宣传,培养全社会公民的节水意识;第二,适当调整产业结构,压缩高耗水、低效益的传统农业产业,扶持低耗水、高效益产业的发展,推动经济结构的战略转型;第三,探索并实施与虚拟水战略相适应的粮食流通体制和机制,设立专项基金用于补贴粮食进口和调入所需资金,对区域粮食调入和消费给予一定的政策补贴;第四,加大财政转移支付力度,建立健全社会保障体系,当退耕还林还草、实施虚拟水战略管理给农民造成收益下滑、农村剩余劳动力增加等不利影响时,以相应的就业保障体系和就业促进政策,减轻农民的经济负担、增加农民的收入。第五,改变消费结构、倡导合理消费模式。

由于水足迹的理论和方法目前还处于不成熟阶段,仍有一些问题尚待进一步完善。工业产品虚拟水的计算、生态环境用水的量化需要进一步的研究;目前的研究大多为静态,单区域的研究,有必要在时间尺度和空间尺度上分析水足迹的差异和变化;需要分析虚拟水贸易的增加对区域经济、环境、社会、文化和政治产生的影响以及分析消费模式,特别是日常饮食结构对区域或国家的水足迹会产生的影响。可以预见的是水足迹理论的出现必将对水资源的科学管理产生革命性的影响。

参 考 文 献:

[1] 王新华,张志强,龙爱华,等.虚拟水研究综述[J].中国农村水利水电,2005,(1),27-30.

[2] 龙爱华,徐中民,张志强,等.甘肃省 2000 年水资源足迹的初步估算[J].资源科学,2005,27(3):123—129.

[3] 王新华,徐中民,龙爱华.中国 2000 年水资源足迹的初步计算分析[J].冰川冻土,2005,27(5):774—780.

[4] 龙爱华,徐中民,张志强.西北四省 2000 年的水资源足迹[J].冰川冻土,2003,25(6):692—700.

[5] 程国栋.虚拟水——中国水资源安全战略的新思路[J].中国科学院院刊,2003,(4):260—265.

[6] 王新华,徐中民,李应海.甘肃省 2003 年的水足迹评价[J].自然资源学报,2005,20(6):909—915.

[7] 中国统计局.陕西统计年鉴 2004[M].北京:中国统计出版社,2004.

[8] 刘昌明,王礼先,夏军,等.西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究(生态环境卷)[M].北京:科学出版社,2004.108—220.

[9] 中国统计局.中国统计年鉴 2004[M].北京:中国统计出版社,2004.

[10] 唐克旺,王浩,王研.生态环境需水分类体系探讨[J].水资源保护,2003,(5):5—8.

Evaluation and analysis on water footprint of Shaanxi Province 2003

GUO Bin, REN Zhi-yuan

(Collage of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Water footprint means the total quantity of water resource that maintains the consumption of certain crowd of one country (district) under certain living standard. Because of considering virtual water volume of consumption of social economic system, the footprint portrayed the mankind's true possession and consumption situation of water resource, and offered a brand-new visual angle for scientific management of water resource. The meaning of the virtual water contributes to improving people's warred consciousness to water resource, to the consumption mode that advocates being economized on water and gives the important strategic inspiration in water resource management. Using water footprint model, the total water footprints and per person water footprint of Shaanxi Province in 2003 have been calculated. The result showed that the water footprint of Shaanxi Province in 2003 was 24,886,200,000 m³. The per person water footprint was 671.656 m³. Several ways for reducing the water footprint have proposed in order to alleviate the water resource pressure. The future study direction of water footprint has been discussed.

Keywords: water footprint; virtual water; virtual water trade; Shannxi Province; year of 2003

(上接第 150 页)

NO₃⁻-N deep migration in loess layer of non-saturated zone under irrigation condition

KANG Yin-hong, MA Yao-guang, WANG Qiao-huan

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil NO₃⁻-N was measured in Weibei Loess soil under irrigation condition. The deep irrigation of NO₃⁻-N concentration was measured in 10m scope in the ultra root level with time changing. It quantitatively analyzed and discussed the migration flux and velocity. The result showed that the scale of soil water migration velocity in the minipore permeation is 44~65 mm/d, the velocity in preferential flow is up to more than 450 mm/d. NO₃⁻-N concentration is accumulated as a peak strip influenced by irrigation, fertilizer and crop absorption. The peak strip moves on and its average velocity is 56.3 mm/d. Under higher irrigation quota in the winter, the crops cannot absorb extra urea. The NO₃⁻-N absorbed in upper layer leaches largely, and the 50% urea moves to the lower root zone with the pore water. Consequently it becomes the source of deep soil and ground water pollution.

Keywords: irrigation; Loess layer; non-saturated zone; NO₃⁻-N; deep migration