

文章编号 1001-8166(2004)04-0577-08

虚拟水理论方法与西北4省(区)虚拟水实证研究

龙爱华¹,徐中民^{1,2},张志强³

(1.中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室,甘肃 兰州 730000;
2.鸟取大学干旱区土地研究中心,3390 滨坂 鸟取 680,日本;
3.中国科学院资源环境科学信息中心,甘肃 兰州 730000)

摘要 虚拟水是水资源管理研究中的新概念,是指生产商品和服务所需要的水资源数量,虚拟水战略是指缺水国家或地区通过贸易的方式从富水国家或地区购买水密集型产品(粮食)来获得本地水和粮食的安全。引入了虚拟水的概念,简要介绍了当前国际虚拟水研究进展和计算方法。同时结合西北地区的实际情况和资料的可获得性,计算了2000年新疆、青海、甘肃、陕西4省(区)居民消费的虚拟水数量和人均虚拟水消费情况,并分析了虚拟水战略对西北地区解决水资源短缺问题的政策涵义,最后分析了虚拟水战略的优劣,并提出了西北地区应用虚拟水战略的前景和有关措施。

关键词 虚拟水;虚拟水战略;虚拟水消费;西北地区

中图分类号 TV213 文献标识码 A

0 引言

水资源是人类生存和社会经济发展中最重要的基本要素和战略资源,水资源短缺是21世纪我国西北地区可持续发展面临的最主要问题之一。西北地区地处欧亚大陆腹地,气候干燥,降水量少,蒸发强烈,水资源短缺已成为地区经济发展和社会进步的最主要制约因素,同时也是导致该地区生态环境恶化的重要原因。随着西部大开发战略的实施,人口的增加、经济发展速度的加快和生态环境建设规模的扩大,需水量必然持续增加,缺水矛盾将更加突出。如何维持水资源这种最关键自然资源的可持续利用是西北地区发展过程中需要解决的一种重要战略问题。实现水资源可持续利用,维护国家的生态安全和水安全,必须创新水问题的研究思路和水资源管理机制。

1 虚拟水概念与虚拟水研究

1.1 虚拟水的概念

虚拟水是 Tony Allan^[1,2]教授1993年提出的新

概念,是指生产商品和服务过程中消费的所有水资源。作为产品生产的最基本要素之一,各种产品及服务中蕴涵着大量的水资源。如生产1kg粮食大约需要1~2t水资源,生产1kg奶酪和牛肉分别需要大约5~5.5t、16t的水资源^[3],根据William等^[4]最近的研究,生产重量2g的32兆计算机芯片需要消耗32kg的水资源。因此,虚拟水是产品中包含的水,它以虚拟的形式体现出来。虚拟水同时也被称为“嵌入”水和“外生”水^[3],后者指进口水密集型产品国家或地区使用了异地水资源。从定量的角度来定义虚拟水,有两种定义:

(1)从生产者角度将虚拟水含量定义为生产这种产品所实际利用的水资源数量。显然这种定义产品虚拟水含量依赖于该产品生产地的生产条件和水效益等因素。如在干旱地区生产1kg粮食可能需要比湿润地区高2~3倍的水资源。

(2)从消费者角度将一种产品的虚拟水含量定义为产品消费地生产这种产品所需要的水资源。该定义尽管忽略了由于自然条件的限制,即进口某种水密集型产品的国家或地区本身无法生产这种产品

收稿日期:2003-07-04;修回日期:2003-12-15

* 基金项目:国家自然科学基金重点项目“环境变化条件下干旱区内陆河流域水资源可持续利用研究”(编号:40235053);国家自然科学基金项目“基于环境经济帐户的可持续发展评价——以张掖地区为例”(编号:40201019)资助。

作者简介:龙爱华(1976-)男,湖南安仁人,博士研究生,主要从事水资源管理与生态经济研究。E-mail:zhlong@ns.izb.ac.cn

(如德国本土不能生产大米,我国北方无法生产芒果等),但该定义对考虑是否采用进口替代战略平衡缺水地区水资源赤字的决策者来说,十分必要,它告诉决策者采用某种产品进口替代战略情况下所能节约的本地水资源。

1.2 虚拟水研究进展及研究内容

自从 Tony Allan 提出虚拟水概念以来,虚拟水问题越来越受到全世界水资源管理决策者的关注,尤其在与水密集型的产品生产方面,全世界开展了大量的研究。2002 年 12 月第一次关于虚拟水的国际会议在荷兰代尔夫特(Delft)举行,紧接着 2003 年 3 月在日本召开的第三届世界水论坛上又对虚拟水贸易进行了专题讨论^[3]。由于人口增长是水资源问题的最原始驱动力,粮食作为人类的生活必需品携带有大量的虚拟水,是当前世界贸易中数量最大的商品,虚拟水研究主要围绕人口—粮食—贸易之间的关系展开。当前虚拟水研究的主要方向有:

(1) 产品虚拟水的量化研究。由于不同产品生产流程不同,复杂程度不一,尤其是涉及加工产品(一次加工、二次加工、三次加工)和副产品时,产品虚拟水含量研究计算十分复杂。但将不同产品虚拟水含量进行量化显然是十分重要的,它是理解虚拟水概念和作用的第一步,能为评价现有的水资源利用政策、制定合理的水资源利用战略,实现水资源可持续利用提供丰富的科学信息,具有重要的参考价值,因此产品虚拟水的量化是当前虚拟水研究的难点和热点。

(2) 食品安全与虚拟水战略研究。产品虚拟水量化并不是提出虚拟水概念的目的。虚拟水以“虚拟”的形式蕴涵在产品当中,其便于运输的特点使产品贸易变成了一种缓解局部水资源短缺的有用工具,因此缺水国家或地区可以通过贸易的方式从水富余的国家或地区购买水密集型产品(粮食)来获得水和粮食的安全,即应用虚拟水战略。尽管理论上贸易可以通过国际或区域市场进行,但由于接近全球或区域市场的机会、竞争环境对不同的国家或地区很难保持公平,同时存在供给不确定性和市场价格不稳定性等诸多影响因素,因此国家或地区能否应用虚拟水战略以及如何制定虚拟水战略下的应对措施和适应对策就成为虚拟水研究的中心问题。

(3) 虚拟水战略对水资源、生态、经济和社会文化的影响研究。虚拟水战略运用系统思考的方法找寻与问题相关的各种各样的影响因素,从扩大的问题域(problem shed)外找寻解决区域内部水资源问

题的应对策略,为水资源短缺地方的决策者提供了在更大范围的尺度上找寻缓解水资源短缺的新途径,因此非常有吸引力。相对于实体水贸易或远距离调水等英雄工程,虚拟水战略提供了水资源的一种替代供应方式,并且具有环境友好的特点,但可以预料的是,虚拟水战略和实体水转移一样会对水资源、生态,尤其是国家经济和社会文化产生深远的影响。这方面的研究在国际上刚刚开始,但必须进行全面的思考研究。

虚拟水研究在我国还很少,相关的研究也刚刚起步^[5]。我国幅员辽阔,水资源南北分布不均,东西差异很大,水资源问题是我国 21 世纪社会经济可持续发展的重要限制因素之一,尤其对地处欧亚大陆腹地、生态环境脆弱、水资源短缺的西北地区来说,水资源问题需要从系统思考的角度出发,立足全国统一的资源市场,发挥比较优势,实行跨越式发展战略,赶超东部经济发达地区,实现西北地区生态经济系统的可持续发展。虚拟水研究对西北地区乃至国家新时期生态环境和社会经济可持续发展都具有重要的理论和现实意义。

2 虚拟水的计算方法

虚拟水的计算同生态足迹的研究一样^[6,7],尝试采用账户的方式解释水资源在社会经济系统中的迁移转换。工业产品中的虚拟水含量与其复杂的生产流程紧密相关,目前还没有有效的解决办法。从当前的研究来看,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。

2.1 农作物产品虚拟水含量的计算

目前计算农作物产品虚拟水含量的方法主要有两种,一种是 Chapagain 等^[8]提出的研究不同产品生产树(production tree)的方法;另一种是 Zimmer 等^[9]基于对不同产品类型的区分的计算方法,这里主要介绍后者。

2.1.1 农作物产品虚拟水含量计算方法

农作物产品虚拟水含量具体的计算过程根据不同的产品分类而各有差异,可将农作物产品类型分为初级产品、加工产品、副产品及非耗水产品 4 种主要类型^[9]。

(1) 初级产品的虚拟水计算。首先计算气候因素影响下的参考作物需水(ET_0 , reference crop evapotranspiration),然后乘以作物系数 K_c (crop coefficient)得到调整的作物需水,最后通过单位面积作物需水(m^3/hm^2)除以该作物单位面积产量(t/hm^2 或

kg/hm²)得到单位质量初级产品的虚拟水含量(m³/t或m³/kg)。

(2) 加工产品的虚拟水计算。加工产品的虚拟水含量取决于加工过程中初级产品的投入比例,通常按照初级产品投入重量比例加权得到。同时,加工产品还需要考虑加工转化效率。如生产1kg菜籽油通常需要2~3kg的油菜籽,从而1kg菜籽油的虚拟水含量是1kg油菜籽的2~3倍。

(3) 副产品的虚拟水可以采用不同的方法计算。按提供的所有副产品重量比例来分配虚拟水,如1kg棉花可以提供0.625kg的纤维和0.375kg的种子,纤维和种子的虚拟水含量就按照它们的重量比例分配;按提供副产品的价值量比例进行分配。这种方法在应用上经常被优先考虑,但是应该注意的是本身存在缺陷。由于经济价值随时空变化的,但副产品的经济价值通常比较低,经常又不能为其他的产品所替代;按营养均衡规律来进行分配。

(4) 非耗水产品。这类产品虚拟水含量的计算相当困难, Renault 推荐用该产品的替代品的虚拟水含量来衡量,或者运用营养物均衡规则,用有同样营养价值的替代产品中的虚拟水含量来代替^[8]。如通过计算提供同样能量和蛋白质的替代动物的虚拟水含量,估计得到海鱼虚拟水含量为5m³/kg^[9]。

2.1.2 农作物产品虚拟水含量计算的数学表达

几乎所有的农作物产品在生产过程中都要消耗水资源,生产农作物产品需要的水资源主要取决于农作物的类型、生长区域的自然地理条件、使用的灌溉系统及灌溉系统的管理方式等,因此农产品的虚拟水估计只是特定地点的一种粗略估计。如果农作物产品生产过程中水的消费主要是通过蒸发和蒸腾作用,对农作物来讲,农作物产品和水的消费之间的关系就相当清晰。但如果涉及到其它的过程,如对农作物产品加工处理和与其它农作物产品一起加工处理,就需要采用价值构成比例和产品重量比例因子来进行虚拟水含量计算。单一农作物产品虚拟水含量可以根据公式(1)计算:

$$v_{cn} = \frac{w_{cn}}{y_{cn}} \quad (1)$$

式中 y_{cn} 代表区域n作物c单位重量的虚拟水含量(m³/t); w_{cn} 指区域n作物c的需水(m³/hm²); y_{cn} 是区域n作物c的产量(t/hm²)。

作物需水(plant evapotranspiration)指作物在生长发育期间蒸发蒸腾所消耗的水资源量,通常采用联合国粮农组织FAO推荐的标准彭曼公式进行计

算。通常作物需水的影响因素主要包括气象因素(包括降水、气温、水气压、日照时数和风速)、作物类型(植物生理等)、土壤条件、种植时间等。农作物蒸发蒸腾所消耗的水量(crop evapotranspiration, ET_c)采用参考作物的需水ET₀乘以作物系数K_c进行计算:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

(2)式中ET₀通常参考适当的气象资料(气温、水气压、日照时数和风速资料)按照彭曼公式进行计算,主要考虑气象因素对作物需水的影响。K_c是作物系数,是区分作物下垫面与参考作物(reference crop)下垫面之间的差异而引入的一个系数,主要反映实际作物与参考作物表面植被覆盖与空气动力学阻力以及生理与物理特征的差异,通常用作物高度、土壤表面反射率覆盖层阻力和土壤蒸发4个区别于参考作物(草)特征的综合指标反映。参考作物的需水是用一个假想的作物参考面(作物高度12cm,一个固定的表面阻力系数70s/m,反射率为0.23,作物类型是草,全覆盖而且有充足的水)将各种各样气候条件的影响融合在参考作物需水的影响中,忽略作物类型、作物发育和管理措施等对作物需水的影响。根据联合国粮农组织的推荐可采用修正的标准彭曼公式计算ET₀^[10]:

$$ET_0 = \frac{0.408(R_n - G) + \frac{900}{T + 273}(e_a - e_s)}{1 + (1 + 0.34U_2)} \quad (3)$$

式中, ρ 是饱和水汽压与温度相关曲线的斜率(kPa/°C);ET₀是参考作物的蒸发蒸腾(mm·d);R_n是作物表面的净辐射(MJ/m²·d);G是土壤热通量(MJ/m²·d);T平均空气温度(°C);U₂是2m高的风速(m/s);e_a是饱和水汽压(kPa);e_s是实测水汽压(kPa);e_a - e_s是饱和水汽压与实测水汽压的差额(kPa);为湿度比常数(kPa/°C)。

因此,特定单位农产品虚拟水含量计算首先根据计算地区的气候参数,计算参考作物的蒸散发量,然后经过作物系数的修正,得到作物生长期间的蒸散发和作物水需求,再根据作物单位面积产量,由公式(1)得到单位质量作物产品的虚拟水含量,最后考虑加工效率得到单位质量最终产品的虚拟水含量。

2.2 动物产品虚拟水含量

动物产品的虚拟水含量主要依赖于动物的类型、动物的饲养结构和动物成长的自然地理环境(气候条件),计算比较复杂。其计算首先需要确定活动物对水资源的消耗,然后再在不同的动物产品

之间进行分配^[9]。

2.2.1 活动物虚拟水含量的定义和计算方法

动物虚拟水含量定义为动物从母体分离出来到其生命结束的时期内,动物生存生长所消耗的总水量,包括饲料所含的虚拟水、饮用水、动物饲舍清洁等耗水。饲料消费中的虚拟水包括饲料作物中所包含的虚拟水和混合饲料作物所需的实体水两部分内容。饲料作物中不同成分作物的虚拟水含量采用前面介绍的标准彭曼公式计算,然后按照饲料作物中不同饲料作物的构成比例(重量),加权得到饲料作物虚拟水的含量。

2.2.2 动物产品虚拟水含量计算

计算不同动物产品的虚拟水含量需要将活动物的虚拟水含量在动物产品间进行分配。因此将产品按状态进行划分,直接由活动物提供的产品称为第一类动物产品,如奶牛提供的牛奶、畜体和皮等。第一类产品经进一步加工变成第二类动物产品,如奶酪、黄油、加工肉和香肠等。第一类动物产品的虚拟水含量包括活动物的虚拟水和为得到不同的第一类初级产品加工所需要的水资源量。为在不同的第一类产品间分配活动物的虚拟水含量和加工需水,引进了产品比例因子(product fraction)和价值比例因子(value fraction)来计算。产品比例因子定义为从活动物得到的不同第一类动物产品的数量比例。如一头奶牛 500 kg,宰杀后得到 300 kg 的畜体,则畜体的生产比例因子为 0.6。价值比例因子为第一类产品的市场价值与所有第一类产品市场价值总和的比例。活动物的虚拟水和加工需水可以按这两类因子在不同的第一类产品之间进行分配。第二类动物产品的虚拟水由部分第一类产品的虚拟水和加工用水构成,第二类初级产品间用水的分配可以采用同第一类动物一样的产品比例因子和价值比例因子进行分配。按照同样的方法可以计算第三、四类动物产品的虚拟水分配。需要注意的是应该避免重复计算,如不能将一头奶牛的虚拟水含量全部先分给牛奶,再分给肉类产品,同时也要注意的是不要忽略一些重要的产品。

3 西北 4 省(区)2000 年虚拟水消费计算与分析

西北地区深处内陆,大部分地区气候干燥,雨雪稀少,水资源贫乏,平均径流深只有 47mm^[11]。水资源与人口、耕地的地区分布极不均衡,有相当一部分水资源分布在地势高寒、自然条件较差的人烟稀

少地区及无人区,而人口密集、经济发达的绿洲地区水资源却十分有限。2000 年西北地区总用水量 771.97 $\times 10^8 \text{ m}^3$, 水资源的开发利用率为 36.4%,高出全国平均水平 16 个百分点,已经接近国际上公认的水资源合理开发利用率不超过 40% 的警戒线,水资源开发利用的总量限制十分突出。同时由于过度开发、不合理配置和管理落后等原因,经济用水挤占生态用水,绿洲萎缩、湖泊干涸、河道断流、土壤沙化、河床淤积及地地下沉等生态环境问题日益加剧,水资源问题已经成为 21 世纪西北地区社会经济发展的主要限制因子之一。对消费的虚拟水资源进行定量估算,将有助于认清西北地区水资源多方面的利用情况,有助于制定缓解水资源短缺的对策和措施,实现水资源的持续利用管理。

3.1 西北 4 省(区)2000 年虚拟水消费计算

根据西北地区的实际情况并考虑资料的可获得性和可比性,选择新疆、青海、甘肃和陕西 4 省(区)2001 年统计年鉴中城乡居民年均消费的主要产品数量进行计算^[12-15]。虚拟水计算主要分为初级农作物产品和动物产品计算两部分。其中单位农产品虚拟水含量计算主要依据敦煌、民勤、兰州、天水、榆林、都兰、乌鲁木齐、吐蕃、塔城等 20 个地区气象站的气象资料和土壤条件(提取于 FAO 的 CLIMATE 数据库和 CROP 数据库 <http://www.fao.org>),首先计算单一单位面积农作物生产的虚拟水消费量(蒸发蒸腾量),然后根据统计资料^[12-15],获得单位土地面积各农作物产品平均产量,最后考虑加工效率确定单位质量最终产品的虚拟水含量。获得计算动物产品虚拟水含量需要的数据很多,但这些数据通常难以获得,这里采用 Chapagain 等^[6]根据 FAO 和世界贸易组织提供的数据资料对世界 100 多个国家单位动物产品包含的虚拟水估算中的中国部分估算结果。需要指出的是,同虚拟水相比较,最终产品中的实体水和加工过程中所需要的实体水总是忽略的(如西红柿中的水)。

计算表明,2000 年西北 4 省(区)总的虚拟水消费为 549.13 $\times 10^8 \text{ m}^3$, 人均 637.78 m^3 /(人·年)和 1 747 L/(人·天)(其中,2000 年西北 4 省区的人口状况参见文献^[16];白酒、啤酒生产的需水数据参见文献^[17,18])。从表 1 可以看出,青海、新疆两省(区)人均虚拟水消费与甘肃、陕西两省存在较大差异,主要原因是前者畜牧业比较发达,牛、羊肉消费远远高于后者。从虚拟水消费总量看,除新疆外,青海、甘肃和陕西 3 省生活虚拟水消费量分别是

表1 2000年西北4省区居民虚拟水消费

Table 1 Virtual water consumptions of citizen living in northwest China in 2000

	城镇居民年	农村居民年	城镇居民天	农村居民天	全社会人均	全社会生活	当年用水
	虚拟水消费 $m^3/(人 \cdot 年)$	虚拟水消费 $m^3/(人 \cdot 年)$	虚拟水消费 $L/(人 \cdot 天)$	虚拟水消费 $L/(人 \cdot 天)$	消费虚拟水 $L/(人 \cdot 天)$	消费虚拟水 $L/(人 \cdot 天)$	总量 $(10^8 m^3)$
新疆	747.2	657.2	2 047	1 800	1 884	1.32.36	480.0
青海	870.4	893.6	2 385	2 448	2 426	45.87	27.6
甘肃	637.7	692.2	1 747	1 896	1 861	173.98	119.7
陕西	558.7	540.3	1 531	1 480	1 497	196.92	54.9
平均	645.9	634.3	1 769	1 738	1 747	549.13	682.2

当年用水总量的1.66、1.45和3.59倍,大大高于统计利用量。其主要原因是:

(1) 由于统计难易问题,一般统计的实际水资源利用量通常仅包括地表水和地下水利用部分,而虚拟水计算方法下的虚拟水消费还包括了直接被植物利用但不产生径流的部分降雨、土壤水和空气凝结水,而这部分水量对半干旱区和雨养农业区(陕西省的部分地区)的农作物生产具有极其重要的作用。如在甘肃省东部、北部和南部部分区域的庆阳、平凉、陇南、定西等旱地粮食生产地区,作物生产主要依靠天然降水和土壤水。根据2001年甘肃水利的《甘肃水资源公报》,2000年这些地区粮食生产面积占甘肃省的74.14%^[14],但农业用水仅占全部农业用水的(统计部分)13.39%,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) 受家养畜禽等饲养方式的影响。我国有很大一部分的猪肉、家禽生产是用作物和家庭生活的残余物喂养的,因此这部分动物的虚拟水含量可能与家庭消费农产品的虚拟水量进行了重复计算,但从计算结果看,这部分动物产品占虚拟水消费总量的份额较小,对整个消费量的影响不大。

(4) 食品消费调剂的影响。这3个省份的人均粮食占有量在全国处于较低的水平,粮食消费(包括食品)部分需要从外省调入,从虚拟水的角度,相当于“进口”,增加了虚拟水消费。

(5) 新疆农业生产条件相对较好,是我国的商品棉基地和糖料作物商品生产区,农产品除出口外,很大一部分通过国内贸易形式进入全国消费市场,从而表现为农业用水大于消费的农产品虚拟水量。

虚拟水含量计算的影响因素很多,目前的虚拟

水计算还只是一种粗略估计。需要指出的是,在计算过程仅仅考虑了统计资料中所提供的主要的消费产品项目和消费数量,同时暂时没有考虑城乡居民消费的工业产品所包含的虚拟水(尽管可能很少),因此上面的计算结果仍然是一种保守估计。但是,虚拟水计算结果向我们定量地揭示了社会对水资源的真实消费状况,通常它们数量巨大却难以为人们认识,更重要的是,这部分水资源是可以流通的,这一点显然为水资源管理决策者的措施选择增加了新的内容和决策信息。虚拟水的计算内容和计算结果表明,从水资源真实消费角度出发的虚拟水衡量挑战了传统水资源消费利用的统计方法。

3.2 虚拟水战略对解决西北地区水资源短缺问题的政策涵义

3.2.1 平衡水赤字,实现水安全和粮食安全的有力工具

对水资源短缺的西北地区而言,水资源安全和粮食安全始终休戚相关,水资源短缺影响粮食安全,片面追求粮食安全下的水资源过度开发利用不仅威胁西北地区脆弱的生态环境,而且对水资源带来很大的安全隐患。虚拟水贸易可以作为一种调节工具,可间接增加水资源紧缺地区的水资源供应,从而维护区域或国家的水资源安全和粮食安全。由于进入社会经济系统流通的虚拟水可以通过贸易的方式相互调剂,考虑到当前社会经济一体化趋势的加强,西北地区可以通过从富水省份进口虚拟水来平衡区域水资源利用赤字,缓解区域水资源压力。从粮食安全看,2000年中国的粮食综合生产能力达到 $4.62 \times 10^8 t$ 的水平,1998年和1999年也达到了 $5 \times 10^8 t$ 的水平,1995年以后我国人均粮食占有量开始接近世界平均水平,1990年以来中国粮食库存平均水平为22.01%,高于世界平均值17.59%;目前的自给率为99%左右,这一水平虽低于欧美主要粮食生产国,但已接近世界平均水平。1996年以来,我国贸

易顺差稳步增长,有从国际市场上购买粮食食品的外汇支付能力^[19]。因此,在宏观上中国的粮食比较安全,能够自给。

从政治角度来看,中国这样的大国粮食安全应该靠自给,但是区域粮食安全与国家粮食安全是有差别的。但就一个国家内部地区的粮食安全而言,由于生产条件、生产效率的差异较大,则没有必要完全自给。区域经济一体化为地区间粮食安全和供需平衡提供了新途径,自从国家提出实施以退耕还林(草)工程为核心的生态环境建设以来,西北地区大面积的退耕对西北地区粮食生产有较大的影响。据封志明等^[20]的预测估计,2010年青海、甘肃、陕西粮食无法实现自给,以人均粮食400 kg、425 kg和450 kg为需求标准,则供需逆差分别为 374.9×10^4 t、 551.2×10^4 t和 727.5×10^4 t,立足本省资源实现长期的粮食供需平衡难度很大,需要从外省调入粮食。

虚拟水战略为从全国粮食的供求状况格局中解决地区粮食安全问题提供了可能。依靠虚拟水战略,从国内粮食生产富足的省份进口粮食,实现地区粮食供给平衡,有效地利用外部资源,可以更好地保证区域内农业生产条件较好地区的粮食生产,缓解自身水资源的紧缺压力,平衡区域水资源开发利用赤字,实现区域水资源的可持续利用。

3.2.2 提高资源利用效益的调节工具

根据国际贸易理论,一个国家或地区应该出口自身有相对比较优势的产品,而进口自身存在比较劣势的产品来谋求自身效益的最大化。通常富水国家或地区水资源比较富足,降水丰富,生产单位产品所需要的灌溉水量比贫水国家或地区要少,单位水资源生产的机会成本较低,水资源利用的负外部性相对较小,从经济角度看,富水国家或地区提供水密集型产品给贫水国家或地区不但可以实现缺水地区实体水资源的节约,同时还会提高全球和国家(地区)间水资源利用效益。如法国生产1 kg玉米的虚拟水含量是 0.6 m^3 ,而埃及是 1.12 m^3 ,因此从法国出口1 kg玉米给埃及可以节约 0.52 m^3 的水^[3]。西北水资源紧缺地区运用虚拟水战略,从国内粮食生产富足的省份进口粮食实现地区间粮食的供给平衡,将挤占的生态用水释放还给生态环境建设的用水需求,将有限的水资源从生产效益低的粮食生产行业转移到效益较高的工业或其它特色行业的生产,可以更好地保证区域内农业生产条件较好地区的粮食生产,不但可以缓解缺水地区自身水资源的紧缺压力和生态压力,而且从区域角度,虚拟水战略

提高了单位水资源的利用效益;从全国角度,也必将促进全国水资源的充分利用和利用效率的提高。

4 结语与建议

虚拟水概念和虚拟水战略将水资源问题引入社会经济系统,拓展了解决水资源短缺问题的方案选择集。由于距离的限制,实体水贸易通常运输成本高昂,实际运作十分困难,因此虚拟水战略日益引起了缺水地区管理层的重视,并开始在水资源战略管理中应用^[3]。对于水资源紧缺的地区来说,虚拟水贸易提供了一种替代供应方式,并且不会产生恶劣的环境后果,能较好的减轻局地水资源紧缺的压力。

水资源短缺是我国西北地区21世纪面临的最主要的生态环境和社会经济问题之一。2003年程国栋等关于国家自然科学基金重点项目“环境变化条件下干旱区内陆河流域水资源可持续利用研究”(40235053)专题项目“虚拟水”的研究报告表明,水资源越紧缺单位农产品需要的水资源越多,水资源的机会成本越大。实证计算表明,在大部分生产条件恶劣、农业生产力并不发达的西北地区社会经济系统中,存在着和消费了大量的产品虚拟水,产品的可流通性和地区生产条件的差异性为西北地区应用虚拟水战略提供了可能。虚拟水战略关键是粮食问题,对西北干旱地区而言,其核心是水资源在经济系统和生态系统间的可持续利用问题。西北地区水资源紧缺、生态环境脆弱,尤其是甘肃、青海等省份农业生产能力较低,片面追求区内粮食自给会进一步加大生态环境的压力,威胁水资源安全。因此虚拟水战略非常适合作为西北地区水资源紧缺地区的一项现实战略措施,即通过贸易的形式实现缺水地区水资源和粮食的安全。

当然虚拟水也不是一种解决水问题的灵丹妙药。实际应用虚拟水战略非常复杂,受许多其它因素的影响。采用虚拟水战略尽管可以从宏观角度平衡水的赤字,但是另外也会引起粮食安全(如粮食进口出现问题)等涉及国家或地区稳定的一些问题^[20];另一方面,由于接近全球或区域市场的机会和竞争环境对不同的国家或地区很难保持公平,同时还因为供给不确定性和市场价格不稳定性的存在,一个国家或地区如果对贸易过分依赖就会增加经济发展受制于人的风险,威胁粮食安全,如果没有采取合适的应对措施时可能导致新的环境压力。因此建议国家大力加强虚拟水战略研究,认真探讨虚拟水相关理论问题及应用问题,建立基于虚拟水战

略的区域政策保障体系 改革粮食流通体制 对西北干旱区粮食外调给予一定的政策倾斜 加大财政转移支付力度 对西北地区应用虚拟水战略后的产业结构调整 and 产业发展给予政策优惠、扶持 同时积极创新水资源管理体制 对西北地区逐步实施虚拟水战略管理 最终实现西北地区经济增长、粮食安全、生态安全和水资源安全的协调发展。

参考文献(References):

- [1] Allan J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible [A]. In: ODA, Priorities for Water Resources Allocation and Management [C]. ODA, Londra, 1993. 13-26.
- [2] Allan J A. Overall perspectives on countries and regions [A]. In: Rogers P, Lydon P. Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses [C]. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1994. 65-100.
- [3] Hoekstra A Y. Virtual water trade: An introduction [A]. In: Hoekstra A Y ed. Virtual Water trade: Proceeding of the international Expert Meeting on Virtual Water Trade [C]. Value of Water Research Report Series No 12, February: IHE Delft, 2003. 13-23.
- [4] Williams E D, Ayres R U, Heller M. The 1.7 kilogram microchip: Energy and material use in the production of semiconductor devices [J]. Environmental Science and Technology, 2002, 36(24): 5504-5510.
- [5] Cheng Guodong(程国栋). Virtual water—a strategic instrument to achieve water security [J]. Bulletin of the Chinese Academy Sciences(中国科学院院刊), 2003(4): 260-265 (in Chinese).
- [6] Xu Zhongmin(徐中民), Zhang Zhiqiang(张志强), Cheng Guodong(程国栋). The calculation & analysis of ecological footprints of Gansu province in 1998 [J]. Acta Geographica Sinica(地理学报), 2000, 55(5): 607-616 (in Chinese).
- [7] Zhang Zhiqiang(张志强), Xu Zhongmin(徐中民), Cheng Guodong(程国栋), et al. The calculation & analysis of ecological footprints of 12 provinces in western China [J]. Acta Geographica Sinica(地理学报), 2001, 56(5): 699-710 (in Chinese).
- [8] Chapagain A K, Hoekstra A Y. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products [A]. In: Hoekstra A Y ed. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade [C]. Value of Water Research Report Series No 2, IHE Delft, 2003. 49-76.
- [9] Renaud D. Value of virtual water in food: principles and virtues. In: Hoekstra A Y, ed. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade [C]. Value of Water Research Report Series No 2, IHE Delft, February, 2003. 77-91.
- [10] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Smith M. Crop evapotranspiration guidelines for Computing Crop Water Requirements [R]. FAO irrigation and drainage paper 56. Rome, 1998.
- [11] Zhang Xuefeng(张学峰), Wang Neixi(王内), Peng Bo(彭勃), et al. Problems of water resource and ecological environment of Northwest China and its countermeasures [J]. People's Yellow River(人民黄河), 2001, 23(3): 15-17 (in Chinese).
- [12] National Bureau of Statistics of China(国家统计局). Xinjiang Statistical Yearbook 2001 [M]. Beijing: China statistics Press, 2001 (in Chinese).
- [13] National Bureau of statistics of China(国家统计局). Qinghai Statistical yearbook 2001 [M]. Beijing: China statistics Press, 2001 (in Chinese).
- [14] National Bureau of Statistics of China(国家统计局). Gansu Yearbook 2001 [M]. Beijing: China statistics Press, 2001 (in Chinese).
- [15] National Bureau of Statistics of China(国家统计局). Statistical Yearbook of Shaanxi 2001 [M]. Beijing: China statistics Press, 2001 (in Chinese).
- [16] National Bureau of Statistic of China(国家统计局). Statistical Yearbook of China 2001 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001 (in Chinese).
- [17] Shen Yifang(沈怡芳). Pilot study of wine industry adjustment [J]. Journal of Brewage(酿酒), 1999, (4): 13-15 (in Chinese).
- [18] Wang Yan(王彦), Luo Zhongzhi(罗忠志), et al. Predigestion calculation of water use in beer production [J]. Journal of Brewage(酿酒), 1999, (4): 27 (in Chinese).
- [19] Zhang Li-fu(张立富), Zhang Jin-mei(张锦梅), Liu ying(刘颖). Problems on food security of China [J]. Economics of agriculture(农业经济), 2002, (3): 39-40 (in Chinese).
- [20] Feng Zhim in(封志明), Zhang Pengtao(张蓬涛), Song yu(宋玉). Food security: the impact of land conservation from farmland to forest of grassland on grain production in Northwest China [J]. Journal of Natural Resources(自然资源学报). 2002, 17(3): 299-306 (in Chinese).
- [21] Xu Zhongmin(徐中民), Long Aihua(龙爱华), Zhang Zhiqiang(张志强). Virtual water consumption calculation and analysis of Gansu province in 2000 [J]. Acta Geographica Sinica(地理学报), 2003, 58(6): 861-869 (in Chinese).

THEORY AND METHOD OF VIRTUAL WATER : A CASE STUDY OF NORTHWEST CHINA

LONG Ai-hua¹ , XU Zhong-min² , ZHANG Zhi-qiang³

(1. State key laboratory of frozen soil engineering , CAREERI , CAS , Lanzhou 730000 , China ;

2 . Arid Land Research Center , Tottori University , 1390 Hamasaka , Tottori 680 , Japan ;

3 . Scientific Information Center for Resources and Environment , CAS , Lanzhou 730000 , China)

Abstract : the water used in the production process of an agricultural or industrial product is called the "virtual water" contained in the product , and virtual water strategy means countries or regions whose water is scarce achieve their water security and food security by importing water-intensive products from those whose water is abundant. As an attractive instrument to water scarce countries , virtual water has received more and more attention and been applied to relieve the pressure on the nation's own water resource and solve food scarcity. The paper introduced the concept of virtual water first , then the framework of virtual water research and in advance , then illustrated the virtual water content calculation methods of kinds of products. As a case , the paper calculated the virtual water consumption of the very four provinces according to the actual situations and the accessibility of data in northwest China in year 2000 . Some discussions were conducted , especially the policy implications of virtual water strategy for northwest arid China . The paper ended with some summaries and suggestions such as strengthening the virtual water research , establishing the regional policy supporting system , innovating the water management mechanism s , applying the virtual water strategy in some potential regions gradually , and so on .

Key words : Virtual water ; Virtual water strategy ; Virtual water consumption ; Northwest China .