

文章编号:1002-980X(2007)04-0085-05

# 虚拟水、虚拟水贸易理论研究综述

董桂才

(安徽财经大学 国际经济贸易学院, 安徽 蚌埠 233041)

**摘要:**相对于水价和用水技术能够提高水资源在当地的配置效率,虚拟水贸易则可以提高水资源在全球范围内的配置效率。虚拟水从水资源生产率较高的国家流向水资源较低的国家意味着在全球层次上水资源的节约。因此,国家之间、洲际之间虚拟水贸易被看作提高全球水资源利用效率和缺水国家获得水安全的一个有力工具。

**关键词:**虚拟水;虚拟水贸易;水安全

**中图分类号:** F062.2 **文献标志码:** A

水,特别是清洁淡水,是特殊、稀缺的经济物品。这对水政策制定者来说意味着水短缺、水过量和水质恶化等问题可以用经济学的方法来解决。如何衡量由产品交易引起的水资源的隐性转移迫切需要一种合适的概念和工具,虚拟水正是满足这种需要而产生的。

## 1 虚拟水的概念

许多商品和服务的生产都需要消耗一定的水资源,所谓虚拟水(Virtual Water)是指生产商品或服务时所耗费的水资源量。虚拟水是“看不见”的水,是以一种无形的方式寄存在实物形态的商品之中的。比如生产1吨小麦大约需要1000立方米水资源,而生产1吨牛肉则需要大约需要1.3万立方的水资源。英格兰伦敦大学的Tony Allan教授于1993年的一次研讨会上提出了虚拟水的概念,用来指粮食产品的虚拟水含量<sup>[1]</sup>。由于粮食生产需要大量的水资源,那些位于干旱半干旱地区的国家存在着巨额的水赤字,而这些水赤字又与粮食的进口紧密相关,因此M. J. Haddadin认为虚拟水贸易就象是连接全球各国的连通器,通过粮食的出口与进口水资源从丰富的国家流向稀缺的国家,就象石油从中东流向世界一样。正是从虚拟水进口对进口国家来说是外来的这样一种事实,而且虚拟(Virtual)一词在现代社会特别是在高科技领域用的太普遍,因此M. J. Haddadin建议将虚拟水称为外来水(Exogenous Water)<sup>[2]</sup>。

在经济学中,一种产品具有多种用途,那么该产品投入某种用途后就失去了投入其它用途的机会,因而产生机会成本。投入粮食生产的水资源也可以投入到工业和服务业的生产中,因而也存在机会成本问题。农业科学的研究表明,不同的农作物所需要的耗水量是不一样的。因而经济学与农业科学的结合意味着,虚拟水概念追求合理的水资源管理,在综合考虑供求各方面因素的基础上优化水资源的配置。

## 2 虚拟水的计量方法

任何虚拟水研究的前提和基础是实现产品和服务中虚拟水的量化,由于各种产品的特性不同以及各地区气候环境和生产技术的差异,不同产品、不同地区生产的相同产品的虚拟水含量是有差异的。由于农业用水占全球用水总量的80%左右,因此农产品的虚拟水含量是虚拟水计算的主要部分。目前,计算农产品虚拟水含量的方法主要有两种:一种是Chapagain和Heekstra提出的研究不同产品生产树(production tree)的方法<sup>[3]</sup>;另一种是Zimmer和Renault基于对不同产品类型进行区分的计算方法<sup>[4]</sup>。

### 2.1 基于产品生产树方法的虚拟水计算

#### 2.1.1 初级农作物虚拟水含量的计算方法

要计算农作物的虚拟水含量,必须知道农作物的需水量(CWR)。假设作物本身所含的水分可以忽略不计,因此作物需水量即是作物在生长发育期

收稿日期:2006-11-17

基金项目:安徽省教育厅人文社科和高校青年教师资助项目(2005sk078, 2005jqw048)

作者简介:董桂才(1972-),男,安徽临泉人,安徽财经大学国际经济贸易学院讲师,研究方向:农产品贸易。

间的累积蒸发蒸腾量( $E_t$ )。影响作物需水量的主要因素有:降水、气温、风速、日照、水气压和作物类型、种植时间、土壤条件等,其数值为:

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

式中  $E_t$  为作物蒸发蒸腾量;  $K_c$  为作物系数,反映实物作物相对于参考作物的覆盖度和表面糙率等的差异,是实际作物与参考作物的物理和生理等各种因素的综合反映。在计算  $ET_0$  时,忽略了作物类型、作物发育和管理措施等因素对作物需水量的影响。可根据联合国粮农组织(FAO)推荐的彭曼-孟蒂斯(Penman-Monteith)公式计算。该公式见相关参考文献。

值得注意的是基于彭曼-孟蒂斯(Penman-Monteith)公式,联合国粮农组织已经开发出了在 Windows 操作系统下运行的 CropWat 模型软件,只要输入气候参数和作物参数,软件可自动输出该作物的需水量。CropWat 模型软件可以在联合国粮农组织的网站([www.FAO.org](http://www.FAO.org))上下载。

Heekstra 和 Hung 正是利用 CropWat 模型和联合国粮农组织数据库中的作物需水量和作物产量数据,计算在不同国家每种农作物的虚拟水含量。其计算公式如下:

$$SWD(n, c) = CWR(n, c) / CY(n, c)$$

式中  $SWD(n, c)$  为在国家  $n$  中,作物  $c$  的虚拟水含量,立方/吨;  $CWR(n, c)$  为每公顷作物在生长期内的需水量,立方/公顷;  $CY(n, c)$  为每公顷作物的产量,吨/公顷。

### 2.1.2 动物产品的虚拟水含量计算

动物产品的虚拟水含量主要依赖于动物的类型、饲养结构和动物成长的自然环境条件,计算比较复杂。一般采用 Chapagain 和 Heekstra 提出的产品“生产树”(production tree)的方法进行计算。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。活动物虚拟水含量是指动物从生命开始到生命结束的时期内,动物生存生长所消耗的所有水量,包括饲料所含的虚拟水、饮用水以及清洁用水等。饲料消费中的虚拟水包括饲料作物的虚拟水和混合饲料作物的实体水。饲料作物虚拟水含量按照不同饲料作物的构成比例(重量)加权计算,单一作物的虚拟水含量采用前面介绍过的彭曼-孟蒂斯(Penman-Monteith)公式计算。概括来说,动物产品的虚拟水含量就是动物从出生、成长直至变为产品的过程中每个环节的用水量之和。

## 2.2 基于对不同产品进行分类的虚拟水计算

根据 Zimmer 和 Renault 的研究,农作物产品虚拟水含量的具体计算过程根据不同的产品分类而有所差异。Zimmer 和 Renault 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。

### 2.2.1 初级产品的虚拟水含量

首先,利用考虑气候影响因素计算的参考作物需水量乘以作物系数进行调整,得到单位面积作物需水量,然后通过单位面积作物需水量除以单位面积作物产量得到单位质量初级产品的虚拟水含量。该环节与上文介绍的 Chapagain 和 Heekstra 所使用的方法是相同的。

### 2.2.2 加工品的虚拟水含量

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 1 公斤菜子油需要 2 至 3 公斤油菜籽,从而 1 公斤菜子油的虚拟水含量是 1 公斤油菜籽的 2 至 3 倍。

### 2.2.3 副产品的虚拟水含量可以采用不同的方法计算

①按提供所有副产品的重量比例来分配初级产品的虚拟水。如 1 公斤棉花可以提供 0.625 公斤的纤维和 0.375 公斤的棉籽,则 1 公斤棉花的虚拟水就按照纤维和棉籽的重量比例进行分配。②按提供副产品的价值量比例分配。这种方法经常被优先考虑,但也存在缺陷,主要问题是产品的经济价值往往随着时间和空间的不同而具有波动性,从而为虚拟水的分配带来困难。③按照等量营养价值原则来进行估计。

### 2.2.4 非耗水产品的虚拟水含量的计算相当困难

目前提出的方法是将虚拟水与实际生产过程相分离,通常采用等量营养价值原则来进行估计。如海产品和鱼的虚拟水含量估计为 5 立方/公斤,是通过计算提供同样能量和蛋白质的替代动物产品的虚拟水含量得到的。

## 2.3 虚拟水含量的两个属性

对于任何产品,其虚拟水含量都具有两个属性。一个是从生产者的角度,将虚拟水含量定义为实际生产单位产品所耗费的水量。使用这种定义计算的产品虚拟水含量依赖于产品生产地的生产条件和用水效率等因素。如在干旱地区生产 1 公斤粮食可能需要比湿润地区高 2 至 3 倍的水资源量。另一个是,从消费者的角度,将虚拟水假设为在产品消费地

生产这种产品所需要的水量。后者忽略了在现实状况下消费地并不生产该产品,甚至由于其它条件的制约根本无法生产。但是,对考虑采用进口替代和平衡区域水资源赤字的决策者来说,该定义方法非常重要,它告诉决策者采用进口替代所能节约的水

资源量及对平衡区域水资源赤字的作用程度。日本的 Oki et al 在计算世界及日本的虚拟水贸易时采用的就是该方法<sup>[5]</sup>。通常情况下,从消费者角度计算的虚拟水含量要高。

表 1 由不同作者估计的部分产品的虚拟水含量 单位:立方/吨

	Hoekstra 和 Hung *	Chapagain 和 Hoekstra *	Zimmer 和 Renault **	Oki et al ***
小麦	1,150	—	1,160	2,000
大米	2,656	—	1,400	3,600
玉米	450	—	710	1,900
土豆	160	—	105	—
大豆	2,300	—	埃及, 2,750	2,500
牛肉	—	15,977	13,500	20,700
猪肉	—	5,906	4,600	5,900
家禽	—	2,828	4,100	4,500
蛋	—	4,657	2,700	3,200
牛奶	—	865	790	560
奶酪	—	5,288	—	—

\* 该数据代表全球平均水平

\*\* 除非另有说明,指加利福尼亚的数据

\*\*\* 日本的数据

### 3 国家之间的虚拟水贸易

Heokstra 和 Hung 认为,相对于水价和用水技术能够提高水资源的使用效率,以及通过把水资源重新配置到更高价值的产品生产上而提高水资源在当地的配置效率,虚拟水贸易则可以提高水资源在全球范围内的配置效率。虚拟水从水资源生产率较高的国家流向水资源较低的国家意味着在全球层次上水资源的节约。如果一个国家出口水资源密集型产品,它就是以虚拟的形式出口水资源。通过这种方法,一些国家支持着另外一些国家的水需求。这对水资源稀缺型的国家,通过进口水资源密集型产品,代替国内生产,获得水安全是很有吸引力的。因此,国家之间、洲际之间虚拟水贸易被看作提高全球水资源利用效率和缺水国家获得水安全的一个有力工具。

#### 3.1 虚拟水贸易的计量

由国家间的贸易(特别是粮食贸易)所产生的虚拟水流动是当前虚拟水研究的一个热点。其中最为系统、最有影响力的是荷兰国际水文和环境工程研究所(IHE)支持下,Chapagain 和 Heokstra 对世界上 100 多个国家由粮食和动物产品贸易引起的虚拟水流动的研究。其研究结果不仅给出了这些国家的虚拟水进出口量,而且还描述了其相互之间的虚拟水流向。Heokstra 和 Hung 以及 Chapagain 和 Heokstra 的研究表明在 1995—1999 年期间,全球的虚拟水贸易量大约为  $1040 \times 10^9$  立方/年。其中农作物虚拟水贸易占 67%,动物及动物产品虚拟水贸易占 23%,工业品虚拟水贸易占 10%(表 2)。1995 年全球农业灌溉用水大约为 25,000 亿立方,2000 年为 26,000 亿立方,再加上作物对雨水的利用,全球农作物的水利用量估计达到 54,000 亿立方/年。这就意味着全球粮食生产用水的 13% 不是

表 2 IHE 估计的国家间虚拟水贸易(1995—1999)

全球虚拟水贸易(从出口国的角度)	数量(10 亿立方/年)	百分比(%)
与农作物相关的贸易	695	67
与动物及动物产品相关的贸易	245	23
与工业品相关的贸易	100	10
合计	1040	100

用于国内消费而是用于出口(以虚拟的形式)。表 3 为世界农产品虚拟水出口与进口最多的 10 个国家,

比较来看,虚拟水的出口国都是水资源丰富的国家,而虚拟水的进口国则是水资源稀缺的国家。

表 3 IHE 估计的农产品虚拟水出口与进口最多的 10 个国家(1995—1999)

国家	虚拟水净出口量(10 亿立方)	国家	净进口量(10 亿立方)
美国	758.3	斯里兰卡	428.5
加拿大	272.5	日本	297.4
泰国	233.3	荷兰	147.7
阿根廷	226.3	韩国	112.6
印度	161.1	中国	101.9
澳大利亚	145.6	印度尼西亚	101.7
越南	90.2	西班牙	82.5
法国	88.4	埃及	80.2
危地马拉	71.7	德国	67.9
巴西	45	意大利	64.3

以 Renault 和 Zimmer & Renault 为代表的 WWC 和 FAO 的研究表明,2000 年全球虚拟水贸易大约在  $1340 \times 10^9$  立方。其中,植物性虚拟水贸易占 60%,鱼和海产品占 14%,动物产品占 13%,肉类产品占 13%。与 IHE 的研究相反,该研究是从进口国的角度来估计产品的虚拟水含量的。

日本的研究团队则分别从进口国和出口国两个角度来估计全球的虚拟水贸易。从出口国的角度来估计,他们的研究结果是全球的虚拟水贸易在  $683 \times 10^9$  立方左右。该数字比 IHE 的研究结果要低,其原因可能是有些产品日本的研究团队没有计算进来。从进口国的角度来估计,全球的虚拟水贸易则在  $1138 \times 10^9$  立方/年。由于同样的原因,该数据也小于 WWC-FAO 的研究。

以上三项研究应该被看作是相当保守的。因为我们很难说他们的研究彻底、详尽、无遗漏地囊括了所有应该被包括的产品类型。虽然仅仅是一个初步的、粗略的估计,但是考虑到他们的研究是相互独立的,而且所使用的方法、数据来源以及假设条件也不尽相同,我们仍然可以说他们的结论是相当接近的。

### 3.2 虚拟水贸易战略的应用研究

虚拟水贸易战略是指贫水国家或地区通过贸易的方式从富水国家或地区购买水资源密集型产品(尤其是粮食)来获得水和粮食的安全。虚拟水贸易战略从系统的角度出发,运用系统思考的方法找寻与问题相关的不同影响因素,从问题范围之外找寻解决内部问题的应对策略,提倡出口高效益水资源商品,进口本地没有足够水资源生产的粮食产品,通过贸易的形式最终解决水资源短缺和粮食安全问题。虚拟水战略为水资源供需矛盾的解决提出了一

个新的思路。

虽然虚拟水概念在描述一个水资源禀赋一定的国家参与国家分工、从事国际贸易的收益和机会时是非常有帮助的,但是 Wichelns 认为虚拟水概念本身并不具有可操作性。尽管虚拟水贸易对缺水国家实现粮食安全是有吸引力的,但是一个国家在实施虚拟水贸易战略时不能仅仅考虑粮食安全,还要考虑国家安全、经济发展、人民生活水平提高等目标。在评估一个国家的生产和贸易机会时,不仅要考虑该国的水资源,还要考虑农业生产所需要的其它资源,如土地、劳动力和资本等。在存在一种或数种资源限制的情况下,仅仅考虑水资源的优化配置并不能使国家的福利最大化<sup>(6)</sup>。Turton 把一个国家的水需要量、经济实力、农业用水效率和工业用水效率作为该国水政治学(Hydro-political)的关键变量。这些变量中经济实力是最重要的,它们的不同组合决定一个国家实施虚拟水贸易战略的潜力。一个国家要在国际市场上购买虚拟水(主要是粮食)来平衡本国的水资源预算,就必须有能力取得足够和稳定的外汇,而这种能力则来源于该国工业部门在全球的竞争力。用水效率是指某部门(如农业)用水量占总用水量的比例和该部门的 GDP 占总 GDP 的比例之比。它反映一个国家水资源的配置效率。一般来说,农业部门用水多,而对 GDP 的贡献小,而工业部门用水少,却对 GDP 的贡献大。因此,农业部门的用水效率低而工业部门的用水效率高。在水资源贫乏国家,把农业用水重新配置到工业部门会提高水资源的配置效率,获得更多的经济利益<sup>(7)</sup>。

#### 4 需要进一步研究的问题

产品虚拟水含量的科学计算;虚拟水贸易的社会资源适应性能力研究;虚拟水贸易战略对国家或地区的水资源、生态、经济和社会文化的影响;虚拟水贸易战略及其相应的区域政策保障体系;虚拟水贸易战略与水资源管理体制的转变等。

#### 参考文献

- [1] J A ALLAN. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible [C]// *Priorities for Water Resources Allocation and Management*. London: ODA, 1993, 13-26.
- [2] J A ALLAN. Virtual Water - the water, food, and trade nexus useful concept or misleading metaphor[J]. *Water International*, 2003, 28(1), 106-113.
- [3] CHAPAGAIN A K, HEOKSTRA A Y. Virtual Water Trade, a Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Trade of Livestock and Livestock Product [C] // Heokstra A. Y. *Virtual Water Trade, Proceedings of the International Expert Meeting on*

*Virtual Water Trade, Research Report Series IHE Delft, the Netherlands*, 2003, 25-47.

- [4] ZEMMER D, RENAULT D. Virtual Water in Food Production and Global Trade, Review of Methodological Issues and Preliminary Results [C] // Heokstra A. Y. *Virtual Water Trade, Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Research Report Series IHE Delft, the Netherlands*, 2003, 93-109.
- [5] OKI T, SATO M, KAWAMURA A, KANAE S, MUSAIAKE K. Virtual Water Trade to Japan and in the World [C] // Heokstra A. Y. *Virtual Water Trade, Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Research Report Series IHE Delft, the Netherlands*, 2003, 221-243.
- [6] DENNIS WICHELS. The Role of Virtual Water in Efforts to Achieve Food Security and Other National Goals, with a Example from Egypt [J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 49, 131-151.
- [7] TURTON A R. A Strategic Decision-makers Guide to Virtual Water [M]. African Water Issues Research Unit (AWIRU), Centre for International Political Studies (CIPS). Pretoria, Pretoria University, 2001, 126-139.

### The Review of Virtual Water and Virtual Water Trade

DONG Gui-cai

(Anhui University of Finance and Economics, Bengbu Anhui 233041, China)

**Abstract:** While pricing and technology can be means to increase local water use efficiency, virtual water trade between nations can be a instrument to increase "global water use efficiency". Virtual water trade from a nation where water productivity is relatively high to a nation where water productivity is relatively low implies that globally real water savings are made. If one country exports the water-intensive product to another country, it exports the water in virtual form. In this way some countries support other countries in their water needs. For water-scarce countries it could be attractive to achieve water security by importing water-intensive products instead of producing all water-demanding products domestically. Therefore virtual water trade between nations and even continents could be used as a instrument to improve global water use efficiency and to achieve water security in water-poor regions of the world.

**Key words:** virtual water; virtual water trade; water security

(上接第 77 页)

- [6] 周超. 长三角产业结构趋同化问题的探讨[J]. *江南论坛*, 2005(7).
- [7] 张晔, 刘志彪. 产业趋同: 地方官员行为的经济分析[J]. *经济学家*, 2005(6).

- [8] 王玉清, 朱文晖, 张玉斌. 从竞合角度看两大三角洲的区域经济整合[J]. *经济理论与经济管理*, 2004(4).

### Benefits Share Mechanism for the Two-level Behavior Main Bodies in Yangtze Delta Area

LI Qing-hua, WANG Wen-ping

(School of Economics & Management, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The key problem of integration in Yangtze delta area is benefits allocation and harmonization. Rubinstein set up a bargain model for offer-counteroffer. The model has three implications, First, it is about discount coefficient; Second, it is about first move advantage and second move advantage; finally, it is about accept principle as soon as. Based on the model, the paper studies the benefits share mechanism of Yangtze Delta area, and thinks that there are two-level behavior main bodies including the government and the firm. It is important for integration of Yangtze Delta area to build the consultation mechanism between governments and co-operation mechanism between firms.

**Key words:** yangtze delta area; behavior main bodies; benefits share mechanism; bargain model