

# 虚拟水贸易在我国粮食安全问题中的应用

马 静<sup>1</sup>, 汪党献<sup>1</sup>, A. Y. Hoekstra<sup>2</sup>, 夏海霞<sup>3</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100044; 2. UNESCO - IHE Institute for Water Education, 2601 DA Delft, The Netherlands;  
3. 中国水利报社, 北京 100053)

**摘要:** 借助虚拟水的概念, 分析以粮食为载体的虚拟水国际、区际流量关系, 以勾勒我国虚拟水贸易的基本格局。通过对未来我国在不同粮食发展战略下的粮食供需情况, 确定我国粮食进口基本规模, 对未来我国虚拟水贸易格局进行展望。分析结果表明, 1999 年我国北方通过粮食贸易向南方地区输出的虚拟水量达到 184 亿 m<sup>3</sup>。我国北方地区以有限的水资源在支持其他区域发展、确保国家粮食安全方面发挥了不可替代的作用。未来 30 年中国将面临新增粮食需求 1.4 亿~2.0 亿 t 的巨大压力, 在保持较高自给水平的前提下, 我国虚拟水贸易的格局不会发生重大变化。外流域调水工程是保障国家粮食安全, 维护社会稳定, 促进可持续发展和造福中国人民的重大举措。虚拟水战略可作为跨流域调水的补充, 在保障缺水地区水安全方面发挥重要作用。

**关键词:** 虚拟水; 粮食安全; 区域; 贸易

**中图分类号:** P32      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-6791(2006)01-0102-06

中国的粮食问题, 已成为世人瞩目的热点问题, 正如世界银行在《2020 年的中国》<sup>[1]</sup>一书中所阐述的那样, “中国是否能够依靠自己养活她的人民, 这个问题不仅对于中国, 对全球都至关重要。中国在全球粮食生产和消费中占据了巨大的份额, 其贸易额的微小变动所引起市场和粮价的变动将影响世界的任何地方。”水是农业生产的基本要素之一, 近年来水资源短缺已经成为制约我国社会经济可持续发展的主要瓶颈。在一个 70% 左右的粮食产量来自于灌溉农田的国家<sup>[2]</sup>, 水资源的短缺不仅会威胁中国的粮食安全, 制约社会经济的持续发展, 也会对世界粮食安全产生冲击。虚拟水概念的引入为分析和研究粮食安全问题提供了一种新思路。

## 1 虚拟水的概念及特点

虚拟水<sup>[3]</sup>是由英国学者 Tony Allan 在 20 世纪 90 年代初首次提出的新概念, 后经不断完善, 目前较为精确的定义为: 在生产的产品和服务中所需要的水资源数量, 被称为凝结在产品和服务中的虚拟水量。虚拟水是一个重要的概念<sup>[4]</sup>, 它将水与产品特别是农产品生产联系起来, 强调农产品的生产不仅来自于淡水资源, 也来自于土壤水。其次, 它是一个扩展的概念, 通过贸易, 实现水资源在国家或地区间的交换。

虚拟水的主要特征为<sup>[5]</sup>: 非真实性。顾名思义, 虚拟水不是真实意义上的水, 而是虚构的水, 是以虚拟的形式包含在产品中的“看不见”的水; 社会交易性。虚拟水是通过商品交易即贸易来实现的, 没有商品交易或服务就不存在虚拟水; 便捷性。由于实体的水贸易即跨流域调水距离较长、成本高昂, 这种贸易在具体操作上具有较大困难, 而虚拟水以“无形”的形式附存在产品与服务中, 相对于跨流域调水而言, 其便于运输的特点使其成为提高全球或区域水资源效率, 保障缺水地区水安全的有效工具。长久以来, 人们已经无意识的利用虚拟水贸易作为有效手段来解决国家或地区的粮食安全和水安全问题。以水资源极度匮乏的中东地

收稿日期: 2004-08-11; 修订日期: 2004-11-20

基金项目: 荷兰国家公共卫生与环境研究院资助项目

作者简介: 马 静(1973-), 女, 北京人, 中国水利水电科学研究院高级工程师, 硕士, 主要从事水资源规划领域研究。

E-mail: majing 06 @hotmail.com

区为例，该地区每年靠粮食贸易产生的虚拟水量相当于尼罗河每年流入埃及的水量<sup>[3]</sup>。

## 2 虚拟水的应用思路

应用虚拟水概念的基本思路为：分析我国通过粮食进出口、国内各区域间的调入、调出带来的以粮食为载体的虚拟水国际、区际水资源量的关系，以勾勒出我国虚拟水贸易的基本格局。通过对未来我国在不同粮食发展战略下的粮食供需情况，确定我国粮食进口基本规模，对未来我国虚拟水贸易格局进行展望。

以中国大陆 31 个省、市、自治区（未包括台湾、香港和澳门）为研究区域。31 个省、市、自治区根据传统的区划分为北方和南方两个一级区。在此基础上，按照地理位置、气候条件、农业生产状况以及与传统区域划分模式保持一致的原则，参考农业部软科学委员会办公室<sup>[6]</sup>有关研究成果进一步细分为 8 个二级区，其中北方地区包括华北、东北、黄淮海和西北，南方地区包括东南、长江中下游地区、华南和西南（表 1）。选取 1999 年为现状水平年。

表 1 区域划分

一级区	二级区	省、市、自治区
北方	华北	北京、天津、山西
	东北	内蒙、辽宁、吉林、黑龙江
	黄淮海	河北、河南、山东、安徽
	西北	陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆
南方	东南	上海、浙江、福建
	长江中下游地区	江苏、湖北、湖南、江西
	华南	广东、广西、海南
	西南	重庆、四川、贵州、云南、西藏

## 3 以粮食为载体的虚拟水贸易基本格局

### 3.1 中国粮食生产的区域格局

南方地区自古就是我国传统的农产品主产区，“两湖熟，天下足”这句话形象地反映了南粮北运的历史格局。然而，这种格局至 20 世纪 80 年代末 90 年代初开始发生变化。“南粮北调”逐渐由“北粮南运”所取代。

表 2 中的数据显示，1978 - 1990 年，我国南方的粮食产量均占全国总产量的 50 % 以上。从 1991 年开始，北方地区粮食产量不断攀升，在全国的比例逐渐超过南方地区，1995 年达到 51 %，到 1999 年上升至 53 % 左右。

表 2 我国南北方粮食产量<sup>[7]</sup>

Table 2 Grain production of North and South in China

	区 域	1978 - 1980 年	1981 - 1985 年	1986 - 1990 年	1991 - 1994 年	1995 年	1999 年	增长率 / % (1978 - 1999 年)
产量 / 10 <sup>4</sup> t	北 方	142	165	193	224	238	268	3.1
	南 方	177	206	216	221	229	240	1.5
	全 国	319	371	409	445	467	508	2.2
百分比 / %	北 方	44.5	44.5	47.2	50.3	51.0	52.8	
	南 方	55.5	55.5	52.8	49.7	49.0	47.2	
	全 国	100	100	100	100	100	100	

我国粮食生产格局在区域上的变化，生产重心由南向北转移，是多重因素共同作用的结果。首先，南方地区，特别是东南和华南地区是我国经济最发达的地区，区内长江三角洲、珠江三角洲是我国改革开放的桥头堡和我国经济的繁荣地带。经济发展城市化进程，带动了第二、第三产业的发展。基础设施建设和城市规模的扩张，使得大量耕地被占用，农村劳动力相应的向其他产业转移，这一系列原因导致粮食总产的提高相对较缓慢。其次，随着人民生活水平的提高，人们对农产品的消费量也呈快速增长趋势，饮食结构也相应的发生了改变，带动了粮食消费总量的快速增长。第三，对农产品需求量的增长，也激发了农民的积极性，以满足不断扩

大的市场需求。因此在土地、光、热条件较好的东北、黄淮海和长江中下游平原，农产品产量不断攀升。第四，与我国国民经济的总体布局密切相关。

### 3.2 中国农产品供需平衡

马静等<sup>[8]</sup>分析了我国31个省、市、自治区的1999年主要农产品的生产、消费情况，结果表明我国1999年主要农产品在全国范围基本实现了供需平衡，但在区域上差别较大。北方地区供大于求，各类农产品出现较大剩余，南方地区需大于供，农产品的供应出现巨大缺口，其中粮食缺口达到2200万t。联合国统计处PC-TAS数据库的资料显示，1999年我国粮食进口达到450万t，出口达到420万t，净进口30万t。减除粮食的国际贸易量外，南方地区从北方地区调入了1700万t粮食以弥补缺口(表3)。

### 3.3 粮食作物的虚拟水含量的计算

粮食作物的虚拟水含量因品种及产地的不同而有所区别。粮食作物的虚拟水量主要是其实际蒸散发量，由联合国粮农组织(FAO)推荐的Penman-Monteith公式计算。按照国家统计局<sup>[9]</sup>对粮食的定义，粮食除包括稻谷、小麦、玉米、高粱、谷子及其他杂粮外，还包括薯类和豆类。本文利用FAO Penman-Monteith公式计算了全国31个省、市、自治区10种主要粮食作物的虚拟水含量，按品种分为谷物、豆类和薯类，按产量进行加权平均，得到粮食作物的平均的虚拟水含量。我国主要粮食作物的虚拟水含量的计算结果显示(表4)，我国粮食的平均虚拟水含量为1.0 m<sup>3</sup>/kg，由于气候条件、农业生产条件的差异，我国北方地区粮食作物的虚拟水含量普遍高于南方地区。

表3 1999年中国粮食平衡表<sup>[8]</sup> 10<sup>6</sup>t

地区	供需缺口	净进口	净调入
北方	36.8	- 4.2	- 17.1
南方	- 21.6	4.5	17.1
全国	15.2	0.3	0.0

表4 我国主要粮食作物的虚拟水含量 m<sup>3</sup>/kg

地区	粮食	谷物	豆类	薯类
北方	1.1	1.0	3.2	0.7
南方	0.9	0.8	2.5	1.0
全国	1.0	0.9	3.0	0.9

### 3.4 我国虚拟水贸易基本格局

联合国统计处关于我国农产品贸易资料和Chapagain和Hoekstra<sup>[10]</sup>对于农产品虚拟水含量的计算成果。计算结果显示1999年中国通过农产品贸易进口而产生的虚拟水的净进口量达到90亿m<sup>3</sup>，其中粮食虚拟水净进口量达到85亿m<sup>3</sup>，占到总量的93%，无疑，粮食是我国农产品虚拟水贸易的主体。

在扣除粮食的国际贸易量后，粮食短缺地区的供求缺口即被认为由粮食盈余区的调入来填补。其相应的虚拟水含量被认为是在区域间的虚拟水交换量。在进行二级区间虚拟水流量分析时，鉴于粮食区域间交换的复杂性，本文进行如下假设：

在考虑粮食的国际贸易量后，不能自给的二级区首先从同为一级区的临近二级区调入粮食。因此粮食不能自给的二级区首先从同为一级区的临近二级区调入虚拟水。

在考虑粮食的国际贸易量和同为一级区调入后，仍不能自给的二级区从其他一级区调入粮食，调出量在调出的二级区间进行平均分配。相应的，其虚拟水的调出量即为粮食调出量乘以调出区粮食作物平均的虚拟水含量。

基于以上假设，对我国区域间以粮食为载体的虚拟水流量关系进行计算(表5)。计算结果显示，1999年在扣除虚拟水的国际贸易量外，我国南方地区通过粮食的交换从北方地区调入的虚拟水量达到了184亿m<sup>3</sup>。在8个二级区间，虚拟水的流向是：东北、黄淮海、长江中下游平原为虚拟水净调出区，其中黄淮海地区的虚拟水调出量最大，它向华北、东南、华南共调出176亿m<sup>3</sup>的虚拟水，东北地区向东南、华南共调出92亿m<sup>3</sup>的虚拟水，长江中下游平原向西南地区调出12亿m<sup>3</sup>的虚拟水；其他5个二级区为净调入区，其中华北、东南和华南为主要的调入地区。

表 5 以粮食为载体的区域间虚拟水流量关系矩阵  
Table 5 Matrix of virtual water flows between regions condensed in grain

进口	出口								虚拟水区域净调入量	虚拟水国外净进口量	虚拟水净进口量合计
	西南	华北	黄淮海	东北	西北	长江中下游	东南	华南			
华北		8.4							8.4	5.7	14.1
黄淮海	- 8.4					- 4.7	- 4.5		- 17.6	- 6.4	- 24.0
东北						- 4.7	- 4.5		- 9.2	- 5.8	- 15.0
西北									0.0	1.4	1.4
长江中下游								- 1.2	- 1.2	- 0.2	- 1.4
东南		4.7	4.7						9.4	6.4	15.8
华南		4.5	4.5						9.0	6.2	15.2
西南					1.2				1.2	1.2	2.4
全国									0.0	8.5	8.5

## 4 中国粮食供求分析

### 4.1 粮食需求预测

国内外众多学者对中国未来粮食需求量进行了预测，主要采用人均指标法进行预测。由于中国巨大的人口基数，人均需求的微小变动就会引起总量的巨大变化。目前能够达成一致的预测结果认为，在 2030 年中国人口增长到 16 亿时，人均粮食需求量将达到 400 ~ 450 kg，即粮食总需求量将由 5 亿 t 增长到 6.4 亿 ~ 7.2 亿 t。若在完全自给的情况下，未来 30 年中国将面临新增粮食产量 1.4 亿 ~ 2.0 亿 t 的巨大压力。

笔者在综合分析有关成果的基础上认为，2030 年我国人均粮食需求量将维持在 425kg 左右，届时，我国粮食总需求将达到 6.8 亿 t。结合 1999 年各省粮食人均消费量的资料和各省区有关规划纲要对人口指标进行预测的成果，对我国各省、市、区粮食需求总量进行预测。汇总结果认为，由于我国今后南北方人口的分布不会发生太大变化，因此粮食需求的格局同现状相比也将相对比较稳定，即南方地区的需求量达到 3.6 亿 t，占全国需求总量的 53%，北方为 3.2 亿 t，占全国的 47%。

### 4.2 粮食供需平衡

中国的粮食供给能力和粮食供求缺口到底有多大？目前社会各界对此问题展开了热烈的研究与讨论。本文结合中国各区域水资源条件设置不同方案进行分析与探讨。可供选择的粮食供求战略主要为：

(1) 本国自给战略 为保障国家粮食安全，中国主要依靠自己的力量解决粮食需求增长问题。只有在国内供给无法满足的情况下，才依靠国际市场进行调剂；

(2) 区域自给战略 以 8 个二级区为基本单元，每个单元以保障区内的粮食需求为目标，只有在区域不能自给的情况下，才依靠进口进行调剂；

(3) 粮食进口战略 为缓解资源环境压力，未来中国粮食需求短缺主要依靠国际市场通过进口解决。

综合分析认为，进口战略不符合我国国情，对世界市场的冲击较大。世界银行有关资料显示<sup>[1]</sup>，世界粮食市场的贸易额近几年来一直徘徊在 2.0 亿 t 左右，预计也不会有快速增长，如果中国一旦完全依赖国际市场解决其粮食问题，不仅威胁自身的国家安全，也会对其他低收入国家的粮食供求造成冲击。区域自给战略实际上是切断了各地区间的贸易联系，隔绝地区间的供求关系。这不利于我国各区域间进行优势互补。国家自给战略具有较大的现实可行性。鉴于此，本文以国家自给战略作为我国未来粮食发展的基本战略。

为考虑水资源的制约，将水资源作为约束条件，设定两种情景——无水约束和有水约束。无水约束情景(方案 A)假定粮食生产不考虑水资源条件，即仅以光、热、土地为充分条件；有水约束情景(方案 B)假定在水资源匮乏的地区其粮食生产仅维持在现有的水平。在此以水资源开发利用程度(取水量与水资源总量的比例)为评价指标，水资源开发利用程度大于 40% 的地区认为是水资源极度匮乏地区。

各方研究<sup>[6]</sup>认为，中国的粮食产量在 2030 年可以达到 6.5 亿 t 左右，但这是在保证对农业、水利的高投

入,在体制、机制上不断深化改革的基础上,付出较大代价而取得。同时,我国北方地区作为粮食主产区的格局不会改变。以此作为分析依据,以1999年我国各地区粮食生产情况以及耕地资源状况为基础,结合已有研究成果<sup>[6,11]</sup>对我国8大区域的粮食供求进行平衡分析。

供需平衡分析结果表明(表6),水资源条件对我国粮食生产和供需缺口有显著影响,说明我国粮食生产受水资源条件影响较大。在国家自给战略的指导下,在不考虑水资源的条件下,我国的粮食供求基本可以实现平衡,粮食供求缺口为2400万t,仅为需求总量5%;在考虑水资源约束的条件下,缺口达到5200万t,不到需求总量10%。尽管10%的粮食需求靠进口加以解决,而且也不是一个小数目,但由于它是一个渐进的过程,国际市场将有足够的时间去调整和准备<sup>[11]</sup>。

表6 2030年粮食供求平衡表

10<sup>6</sup>t

Table 6 Grain supply and demand of China in 2030

地区	方案A				方案B		
	需求量	产量	从其他二级区调入	进口	产量	从其他二级区调入	进口
北方	317	329	-12	0	301	0	16
南方	360	324	12	24	324	0	36
全国	677	653	0	24	625	0	52

## 5 虚拟水贸易格局展望

根据粮食的进口规模,可对我国2030年虚拟水贸易量进行预测。2030年,在中国实施粮食国家自给战略的指导下,中国通过粮食贸易调入的虚拟水贸易量约在216亿~500亿m<sup>3</sup>。区域间,北方地区向南方地区输出虚拟水量将在130亿m<sup>3</sup>左右。8个二级区中,北方地区的黄淮海和东北地区依然是虚拟水的净调出区,华北、东南和华南为净调入区。虚拟水贸易的基本格局未发生重大转变(表7)。

表7 2030年虚拟水净调入量预测

10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>

Table 7 Projection of net virtual water import in 2030

地区	方案A			方案B		
	从其他二级区调入	进口	总量	从其他二级区调入	进口	总量
北方	-13.2	0.0	-13.2	0.0	17.6	17.6
南方	13.2	21.6	34.8	0.0	32.4	32.4
全国	0.0	21.6	21.6	0.0	50.0	50.0

## 6 结 论

我国南方地区由于需大于供,粮食供应出现较大缺口。在通过国际市场进行调节的同时,每年从北方地区调入大量粮食以满足需求。1999年,南方地区通过粮食贸易从北方净调入的虚拟水量达到了184亿m<sup>3</sup>。其中一半来自东北地区,一半来自属于南水北调东中线供水范围的黄淮海地区。由此可见,我国黄淮海和东北地区,以有限的水资源,不仅承载了本地区的发展,在支持其他区域,确保国家粮食安全方面发挥了不可替代的作用。因此,满足这一地区水资源需求对于保障国家粮食安全意义重大。

在目前及将来虚拟水区域关系不发生根本性变化的情况下,外流域调水工程不仅是解决我国北方地区水资源短缺的有效途径,也是维护社会稳定,促进社会经济可持续发展和造福中国人民的重大举措。

未来中国只有依靠自己的力量来解决自己的粮食问题。在保持较高的粮食自给水平的前提下,适当扩大农产品贸易,提高虚拟水的国际调入量,以缓解水资源短缺状况。虚拟水战略,可以作为跨流域调水的补充,在保障缺水地区水安全和我国粮食安全方面发挥重要作用。

致谢：本文研究获得荷兰国家公共卫生与环境研究院(Dutch National Institute of Public Health and the Environment (RIVM))的资助，在此深表谢意。

### 参考文献：

- [1] World Bank. China 2020:Development challenges in the new century[M]. Washington D C: World Bank, 1997. 61 - 69.
- [2] Brown L R, Halweil B. China s water shortage could shake world food security[EB/OL]. <http://www.worldwatch.org/pubs/mag/1998/114/>, 2004. 7.
- [3] Hoekstra A Y. Virtual water: An introduction[A]. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade-Value of Water Research Report Series No 12[C]. The Netherlands: IHE, 2003. 13 - 23.
- [4] 张敦强. 虚拟水:缓解我国水短缺的新途径[J]. 中国水利, 2004(8):24 - 26.
- [5] 钟华平, 耿雷华. 虚拟水与水安全[J]. 中国水利, 2004(5):22 - 23.
- [6] 农业部软科学委员会办公室. 粮食安全问题[M]. 北京:中国农业出版社, 2002. 25 - 28, 118 - 122.
- [7] 朱 洁, 聂振邦, 马晓河, 等. 21世纪中国粮食问题[M]. 北京:中国计划出版社, 1999. 25.
- [8] 马 静, 汪党献, Hoekstra A Y. 虚拟水贸易与跨流域调水[J]. 中国水利, 2004(13):37 - 39.
- [9] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 - 2000[R]. 北京:中国统计出版社, 2000. 402.
- [10] 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]. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade-Value of Water Research Report Series No. 12[C]. The Netherlands: IHE, 2003. 25 - 47.
- [11] 石玉林, 卢良恕. 中国农业需水与节水高效农业建设[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2001. 438 - 457.

## Application of the virtual water trade to China's grain security

MA Jing<sup>1</sup>, WANG Dang-xian<sup>1</sup>, A. Y. Hoekstra<sup>2</sup>, XIA Hai-xia<sup>3</sup>

(1. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

2. UNESCO - IHE Institute for Water Education, 2601 DA Delft, The Netherlands; 3. China Water Press, Beijing 100053, China)

**Abstract :** China's grain issue already become s a hot topic in the world. This paper attempts to use the concept of the virtual water as a tool to analyze the virtual water flows with grain between China and other nations, as well as between the regions within China. Based on the grain supply and demand under the different development strategies in the future, the paper identifies the grain trade scale and makes a prospect for the virtual water trade condensed in grain. The result shows that North China exports a virtual water flow of 18.4 billion m<sup>3</sup> to South China in 1999, which indicates North China plays an import role in ensuring China's grain security and socio-economic development. In the future China will face with the big pressure of the rapid growth in grain demand. To ensure the national grain security China has to depend on herself to solve the grain issue. To keep the high level of the grain self-sufficiency, the inter-basin water transfer project is not only an effective way to prevent North China from suffering water crisis but also an important strategy to ensure the country's grain security, keep the social stability and promote sustainable development. In the meantime, the virtual water trade can be as a supplement to ensure water security in water scarce region.

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