

虚拟水贸易影响水安全及粮食安全研究综述

田贵良

(河海大学商学院,江苏南京 211100)

摘 要:全球气候变化加剧,国内粮食主产区水安全趋于严峻进而影响国家粮食安全。从气候变化影响水安全、粮食安全的研究文献出发,梳理了虚拟水贸易对农业水资源优化的战略意义,总结当前依据虚拟水贸易战略实现气候变化条件下区域水量平衡的社会水循环研究思潮。认为应明确将“虚拟水要素”纳入水平衡概念模型,进一步挖掘虚拟水贸易战略对冲气候变化风险的潜力,构建虚拟水贸易的实政策,拓展保障地区水安全、粮食安全的非工程途径。

关键词:气候变化;虚拟水贸易战略;水平衡;水安全;粮食安全

中图分类号:F746.18 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4970(2014)01-0056-05

一、研究背景

1. 国内粮食主产区水安全趋于严峻进而影响国家粮食安全

气候变化问题从 20 世纪 80 年代以来受到全世界的广泛关注。粮食生产作为借助自然体的一种社会活动,除受到各种社会经济环境和政策因素的影响外,还受到气候变率、极端气候事件等各种自然因素影响。因此,气候变化引发的粮食安全问题自然而然地被广泛、深入研究和探讨,1994 年,Resenzweig 等^[1]就在《Nature》上发表文章讨论全球气候变化的粮食安全问题。

我国粮食主产区在国家粮食安全战略中扮演举足轻重的地位和作用,然而,随着全球气候变化的加剧,太阳辐射、热量、水分等气候资源都发生了明显变异,这将直接影响到农业生产,进而对国家的粮食安全带来威胁。根据部分学者估计,气候变化对粮食主产区生产的影响主要表现为降水反常及极端天气增多,尤其是气候变化对我国粮食主产区农业旱灾时空格局产生了深刻影响,旱灾风险甚至大于水灾风险,成为影响我国粮食供给安全的主要因素之一。1949 年以来,我国农田受旱面积年均约 2270 万 hm^2 ,约占灾害面积的 60%,因旱灾年均减产粮食 154.1 亿 kg ^[2]。面对频发的干旱事件及其带来的严重损失,国家粮食主产区的功能却完全暴露在风险

之中,一旦干旱事件发生,受干旱影响的粮食主产区在国家粮食安全中的应有地位和作用将无法得到相应发挥,可以想象,如果干旱灾害波及范围较广、程度较重,将会给国家粮食安全带来严重威胁。

2. 虚拟水贸易是整合全球市场的粮食安全风险规避途径

1993 年英国伦敦大学亚非研究院 Tony Allan 教授^[3-5]首次提出虚拟水(Virtual Water, VW)的概念,由于其研究视角和研究方法的新颖性、在分析、研究区域水资源安全问题上的独特阐释力和应用价值,引起了相关领域专家、学者的广泛关注和研究, Tony Allan 教授本人也因提出虚拟水的概念获得 2008 年斯德哥尔摩水奖。虚拟水起初专指农产品生产所需要的水资源,后逐步推广到所有的商品和服务,即生产某种商品和服务所需要的水资源被称为该商品和服务对应的“虚拟水”。如 1 kg 小麦的虚拟水含量大约为 1~2 t , 1 kg 奶酪和牛肉的虚拟水含量分别为 5~5.5 t 和 16 t ^[6]。商品和服务的国际(区际)贸易也自然伴随着水资源的国际(区际)流动,因此,虚拟水概念的重要价值主要体现在虚拟水贸易(Virtual Water Trade, VWT)上, VWT 是指缺水国家(地区)将虚拟水的思想应用于生产和贸易策略的制定,在水资源禀赋条件下设置合理的用水结构、进行恰当的贸易选择,提倡从富水国家或地区购买水资源密集型产品,并出口水资源节约型产品,从而在

收稿日期:2013-06-15
基金项目:国家自然科学基金项目(41001377);国家自然科学基金项目(51279058)
作者简介:田贵良(1982—),男,江苏睢宁人,副教授,博士,从事水资源经济研究。

保障经济发展和改善人们生活的前提下,实现水资源的有效节约和高效配置,进而达到水安全的目标^[7]。

气候变化将极力挑战我国实现粮食安全的目标,增大传统单独依靠工程、技术途径实现粮食安全的难度,贸易流通具有部分补偿气候变化引发农业冲击的潜力,因此,国际(或区际)虚拟水贸易显然将在面临气候变化的当今世界实现粮食安全努力中发挥重要作用。针对气候变化的粮食安全政策和规划设计不能独立于国家(区域)自身,虚拟水贸易旨在提高世界粮食系统整体适应力,作为粮食主产区应对水问题的辅助措施,能够有力适应气候变化,有效规避传统途径中粮食安全风险。

二、虚拟水贸易保障水安全及粮食安全的研究脉络

1. 气候变化挑战水安全与粮食安全

气候因子直接影响作物生长,杜灵通等^[8]研究了宁夏植被覆盖动态变化及与气候因子的关系,丑洁明等^[9]用中国8个农业区域不同作物资料和粮食总量资料以及相应的气象资料,定量评估了气候变化对粮食产量的影响,回归检验结果显示二者关系非常显著。此外,气候变化引起的水安全问题也是影响粮食安全的关键要素之一,必要的水分条件是粮食生产的前提,针对影响粮食安全的水量波动,梁川等^[10]采用数理统计方法,分别对长江源区的降水和河川径流的年内、年际和年代际的多尺度时间变化规律进行了分析,并从距平值上探讨了各站的降水量和径流量的空间分布,研究气候变化条件下的水资源安全问题。夏军^[11]在气候变化对水资源影响方面做了大量研究,提出变化环境下水资源脆弱性评估理论体系和一般性公式,并实证得出,气候因素对流域水资源的脆弱性影响明显。针对气候变化影响水安全进而影响粮食安全的趋势,史文娇^[12]强调应通过优化农业生产管理模式以适应气候变化。农业生产和贸易模式的改变在很大程度上体现为虚拟水贸易战略,因此,马静、汪党献等^[13]指出,虚拟水贸易可作为跨流域调水的补充,在保障缺水地区的粮食安全方面发挥重要作用。柳文华、赵景柱等^[14]同时也提出用虚拟水贸易解决我国粮食安全问题,提高我国对气候变化引发水问题的调适能力。

2. 虚拟水贸易促进农业水资源优化

虚拟水贸易战略带来了区域水资源利用的空间拓展,是实现水资源可持续利用的重要战略选择,是区域水资源管理和规划的新途径,尤其对用水第一大户农业部门的水资源优化作用更为明显。Wheida

和 Verhoeven^[15]结合利比亚的水资源现状说明了虚拟水贸易在水资源管理中的重要作用;Esther V^[16]通过计算安达卢西亚粮食作物的虚拟水含量指出进口水密集型农产品可以节约本地区的水资源。

虚拟水理论除跨区域实现水资源高效配置外,也从水资源类型上促进区域农业水资源优化配置,大量研究通过计算得出农业产品虚拟水含量的主要成分,如蓝水和绿水、地表水和地下水资源的含量,既可以在区域上优化农业种植结构,又可以在时间上优化产业品种。降水形成地表水和地下水的部分称为蓝水,即地表径流和地下径流。降水下渗到非饱和土壤层中用于植物生长的水称为绿水,是垂向进入大气的不可见水^[17]。Aldaya 等^[18-19]指出应该提倡虚拟绿水贸易,因为绿水的机会成本要低于蓝水;Chapagain 和 Hoekstra^[20]分别从生产者和消费者的角度计算了水稻中的虚拟蓝水、绿水、灰水(被污染过的水)含量。王新华等^[21]也指出传统用水量指标仅仅考虑了地表水和地下水使用量(蓝水),忽略了对人类生产贡献巨大的绿水资源。

在国内,虚拟水贸易理论是由程国栋院士2003年首次引入的^[22],程院士指出水在社会经济系统的运动除实体水外,还有大量“蕴含”在产品中并通过贸易体现的虚拟水。此后国内学者开展了对虚拟水贸易理论、方法以及实证的深入研究。其中,田贵良在专著《虚拟水贸易论》中对虚拟水贸易理论进行了系统研究^[23],徐中民、龙爱华等^[24]结合甘肃省的实际情况,初步估计得到2000年甘肃省生产产品和城乡居民消费产品中的虚拟水含量,结果显示生产和消费中的虚拟水量均高于实体水资源利用量。虚拟水理论的应用主要集中于优化农业种植结构和贸易结构,马忠等^[25]编制完成实物水供给使用表并运用于张掖市,结果显示种植业用水比例过高,蔡振华、沈来新等^[26]运用单区域投入产出方法计算并分析了甘肃省1997、2002和2007年第一产业、第二产业和第三产业部门的虚拟水强度和虚拟水贸易强度,指出第一产业不仅是虚拟水强度最高部门,也是虚拟水净出口最大部门,并建议甘肃适当调整贸易格局,合理控制虚拟水出口。

3. 保障区域水量平衡,有助实现水安全和粮食安全

考虑虚拟水贸易的水量平衡理论实质上是一种社会水循环思维,如尚海洋^[27]认为虚拟水管理就是水资源社会化管理的一个典型例子,王浩、龙爱华等从社会水循环的概念演变入手,探讨社会水循环的科学定义及其内涵,提出社会水循环的动力机制,并指出气候变化是“自然-社会”二元水循环耦合研究

的关键联结点^[28]。虚拟水贸易背后自然伴随着水资源的流动,进而影响区域水量平衡,Naota 等^[29]依据 ICOLD 提供的世界范围内的水坝供水量,将蓝水进一步细分为河水、中等水坝水、非再生以及非过境水 3 种,然后利用运用物理、水文和人类学原理建立的 H08 模型计算出了 2000 年全球 5 种农作物和 3 种畜产品的虚拟水交易量。Mark 等^[30]计算了 1998 年到 2004 年间尼罗河流域各个国家间农产品的虚拟水贸易,以及虚拟水贸易对尼罗河水量平衡的影响。Kuishuang Feng 等^[31]评估了我国黄河虚拟水贸易对水量的影响,结果显示,虚拟水贸易使得黄河流域实体水潜在地源源不断向国内其他区域输送。Mao Xufeng 等^[32]构建“生态网络模型”测算虚拟水贸易背后伴随的实体水转移,并以白洋淀流域为例分析其对实体水平衡的影响,实证发现虚拟水贸易向外输送了白洋淀流域 32% 的实体水资源。上述研究均表明,虚拟水贸易本质上隐含着水资源要素的跨区域转移,因此,忽略水资源禀赋境况的贸易模式会给水系统带来压力,相反,从区域水资源状况出发,有针对性调整产业结构和贸易结构,则有助于从广义水资源视角实现水安全,并通过贸易流通保障粮食安全。

三、虚拟水贸易战略与水安全、粮食安全研究的分析与展望

全球气候变化加剧,出于粮食安全问题的战略重要性,越来越多的学者关注变化环境下粮食主产区农业生产问题,这其中一小部分学者从变化环境下的水问题入手研究其对粮食安全的影响,但更多关注的是实体水资源,虚拟水概念的提出,突破了水资源研究围绕“实体水”本身展开的观念束缚,拓展了水资源研究的领域,改变了过去一直将水资源供需平衡置于宏观层面的状况,从静态的类型和结构研究转向动态的过程和机制研究,为从深层次上探讨水资源问题提供了新的思路。

尽管国内外许多学者已开始意识到虚拟水对实体水系统存在的影响,以及统筹研究“虚拟水-实体水循环”的必要性和迫切性,也在若干相似研究思路取得了一定进步,但迄今为止,广义水资源循环研究学科的理论体系仍远未建立,广义水资源循环中的虚拟水理念在我国当前仍是一个全新的概念和创新研究领域,当前虚拟水贸易理论的研究成果多属于定性论述和概念介绍,虚拟水的实际应用尚处于经济上无形,政治上无声的状态,尤其是社会经济领域的虚拟水贸易如何影响区域实体水系统?影响的程度如何?虚拟水贸易如何与工程、技术措施协

调解决我国水问题? 目前这些问题国内外学术界研究尚不够深入。

针对国内外现有研究成果,笔者认为尚需要进一步明确的研究方向有以下四个:

1. 应明确地将“虚拟水要素”纳入水量平衡概念模型

传统的水量平衡概念模型为:

$$P = I + ET + R$$

式中: P 为时段降水量; I 为时段入渗补给地下水水量; ET 为时段蒸发量; R 为时段径流量。

在一定区域范围内,如果以地表为载体,综合考虑地表水、地下水情况,总来水量包括降水总量、入境水量、外调水量、地下水开采量、河川基流等;总消耗量包括降水入渗、蒸发总量、稳定水体入渗、人工用水渗漏、出境入海水量;河、湖、库蓄变量为剩余量。区域“实体水”系统结构示意图如图 1 所示。

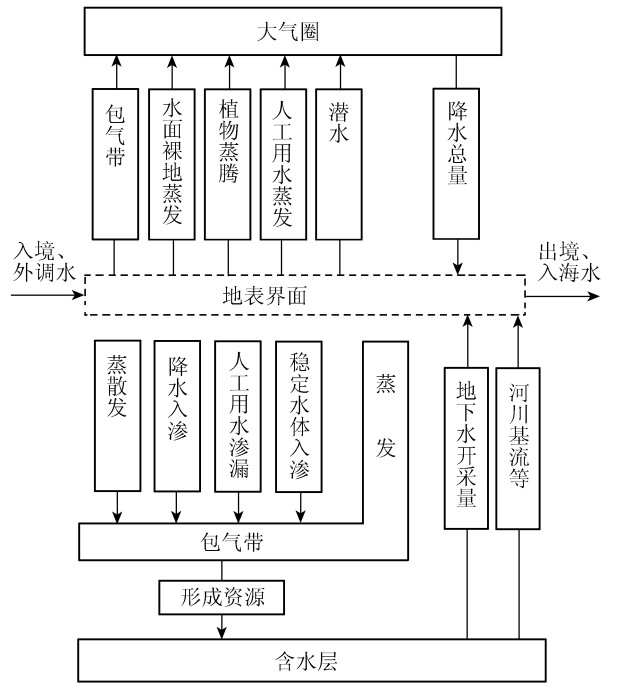


图 1 区域“实体水”系统结构示意图

可见,传统水量平衡模型是基于封闭区域系统(虽然考虑了入境和出境水量,但区域间更为广泛的物质贸易活动及其伴随的水资源流动没有纳入计算),且主要考虑“实体水”平衡,实际上,任何区域均是开放的,广义水资源包括实体水和虚拟水,从广义水资源的角度,产品尤其是粮食产品贸易(即本文中的“虚拟水贸易”)将打破区域的水量平衡,其中虚拟水进口,对于缺水地区或者干旱事件发生,可直接看作为该区域水量平衡方程中增加了等量的降水,而粮食主产区的虚拟水出口,实质上也就等同于粮食主产区向外界输出了粮食整个生产周期所需的水资源量,正如刘宝勤等^[33]所提出的虚拟水是一种

新的水资源观。

2. 应科学评价虚拟水贸易战略对水安全、粮食安全的影响

虚拟水贸易战略是从水资源需求端寻求缓解缺水地区水资源压力的途径,是水资源需求管理的重要内容 and 有效措施,虚拟水贸易战略强调量水而行、以水定产,倡导区域水资源禀赋与产业结构的协调发展,这也是遵从区域水资源实际的一种科学发展模式。虚拟水贸易战略的交易对象是凝结着整个生产周期水资源需求量的实实在在产品,对于缺水地区来说,进口虚拟水含量较高的水资源密集型产品,实际上相当于节省了该产品全生产链所需要的水资源,因此,虚拟水贸易战略对于保障缺水地区水安全具有积极的意义。然而,虚拟水含量较高的粮食产品对于一个国家来说又具有特殊的意义,粮食生产涉及一个国家的粮食安全问题,通常任何国家都不可能将粮食供给完全依赖于其他国家,以防政治上受制于人,同时,仅仅考虑水资源要素的产业发展选择,往往也难以与土地要素、劳动力要素、气候因素、历史习惯因素等协调,上述两方面也是虚拟水贸易战略受质疑和存在理论缺陷的根本原因所在。因此,科学评价虚拟水贸易战略对区域水安全和粮食安全的影响,对于评估虚拟水贸易战略的适用性和实际可操作性具有重要的意义,而研究虚拟水贸易战略对粮食安全的影响应分别从国家层面和区域层面来进行,通常国家层面的影响要远高于区域间,对于气候条件迥异的多区域国家,未来研究国内跨区域虚拟水贸易则具有更为广阔的应用空间。

3. 应进一步挖掘虚拟水贸易战略对冲气候变化风险的潜力

当前,受虚拟水理论的影响,水循环理论研究的一种可喜变化是学者们逐渐从广义水资源的角度评价区域水资源,如韩宇平等^[34]以虚拟水和广义水资源为切入点,基于对区域虚拟水生产、消费与水资源之间的关系分析,建立了由经济压力指数和社会压力指数构成的区域水资源承载状态评价指标体系。然而,虚拟水理论的魅力在于,粮食产品虚拟水含量的测算结果不是一成不变的,而是随着气候因子的变化发生相应改变,并运用这种账户方式揭示水资源在社会经济系统中的迁移转换。比如日照强度不高的丰水年相比于日照强烈的枯水年,前者粮食产品虚拟蓝水量将大大低于后者,那么,相应枯水年的虚拟水贸易策略应作出调整,以对冲气候变化带来的水安全风险,因此,日照强烈的枯水年应进一步压缩耗水量巨大的作物品种种植规模,进而缩小其出口规模,缓解气候变化对该年度实体水系统的压力。

4. 应更多关注粮食主产区的气候变化、水量平衡与虚拟水贸易三者内在逻辑机理

(1) 虚拟水贸易战略的关注对象应在粮食主产区

虚拟水贸易战略立论的初衷在于帮助以粮食产品出口为主的缺水地区调整粮食产品贸易结构,从而缓解水资源短缺问题,粮食产品是典型的水资源密集型产品,而粮食主产区肩负着国家粮食安全的重任,向国内甚至国外输出粮食产品,是虚拟水的净输出地区。在我国,由于地区经济发展差异,历史上形成的“南粮北调”粮食生产格局逐渐被“北粮南运”所取代,北方的粮食主产区通常水问题较为突出,这些地区常年输出的虚拟水量十分巨大,在一定程度上加剧了地区水资源短缺,虚拟水贸易战略研究并非改变这些粮食主产区的功能,但对于我国这样的大国,国内区域间虚拟水贸易的适当调整,从而缓解粮食主产区的水压力,是应该加以研究的。

(2) “气候变化”、“水量平衡”与“虚拟水贸易”三者内在逻辑关系紧密

气候变化与虚拟水贸易二者是影响区域水量平衡的两股对冲力量,前者是客观影响,后者是主观响应和应对,气候变化影响区域水量平衡已经有了一定研究,但虚拟水贸易如何影响水量平衡还没有得到规范性研究,但这种影响却非常值得关注,近年来的研究表明,全球贸易对地区水资源系统产生的影响至少与气候变化对地区水资源系统产生的影响相当^[35],而中东和北非地区每年通过粮食贸易进口的虚拟水量相当于从尼罗河每年流入埃及的径流量^[5]。如此可观的虚拟水流量使人们认识到,在人类活动作用下,水循环除自然途径外,还存在着另外一种方式或机制,即由全球贸易所产生的“虚拟水资源流”,Turton 等^[36]在研究中也提出,我们过去所说的水循环过程在内涵上已经不再是单纯的自然水文循环,而增添了社会经济性质的若干层次。因此,在气候变化的环境下,研究虚拟水的基础理论和方法,构建虚拟水贸易的实政策,进一步拓展地区保障水量平衡的途径,在当前显得尤为重要和迫切。

参考文献:

- [1] RESENZWEIG C E, PARRY M L. Potential impact of climate change on food supply [J]. Nature, 1994, 367: 133-138.
- [2] 孙才志,张翔. 基于信息扩散技术的辽宁省农业旱灾风险评价 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2008 (4) : 507-510.
- [3] ALLAN J A. 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.
- [4] ALLAN J A. Virtual water: a strategic resource: global solutions to regional deficits[J]. Groundwater,1998(4): 545-546.
- [5] ALLAN J A. Virtual water-the water,food,and trade nexus useful concept or misleading metaphor? [J]. Water International, 2003,28(1):106-113.
- [6] RINAUDO J D, STROSSER P, RIEU T. Linking water market functioning, access to water resources and farm production strategies: example from pakistan [J]. Irrigation and Drainage Systems,1997,11(3):261-280.
- [7] 田贵良. 虚拟水战略的经济学解释:比较优势理论的一个分析框架[J]. 经济学家,2008(5):39-47.
- [8] 杜灵通,田庆久. 宁夏植被覆盖动态变化及与气候因子的关系[J]. 中国沙漠,2012,32(5):1479-1485.
- [9] 丑洁明,董文杰,封国林. 定量评估气候变化影响经济产出的方法[J]. 科学通报,2011,56(10):725-727.
- [10] 梁川,侯小波,潘妮. 长江源高寒区域降水和径流时空变化规律分析[J]. 南水北调与水利科技,2011,9(1): 53-59.
- [11] 夏军,邱冰,潘兴瑶,等. 气候变化影响下水资源脆弱性评估方法及其应用[J]. 地球科学进展,2012,27(4):443-451.
- [12] 史文娇,陶福祿,张朝. 基于统计模型识别气候变化对农业产量贡献的研究进展[J]. 地理学报,2012,67(9):1213-1222.
- [13] 马静,汪党献,Hoekstra A Y. 虚拟水贸易在我国粮食安全问题中的应用[J]. 水科学进展,2006,17(1):102-107.
- [14] 柳文华,赵景柱,邓红兵,等. 水:粮食贸易:虚拟水研究进展[J]. 中国人口·资源与环境,2005,15(3): 129-134.
- [15] WHEIDA E,VERHOEVEN R. The role of “virtual water” in the water resources management of the Libyan Jamahiriya[J]. Desalination,2007(205):312-316.
- [16] ESTHER V. Water trade in Andalusia. Virtual water: An alternative way to manage water use [J]. Ecological Economics,2007(63):201-208.
- [17] FALKENMARK M, ROCKSTROM J. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2006, 132(3):129-132.
- [18] ALDAYA M M, ALLAN J A, HOEKSTRA A Y. Strategic importance of green water international trade [J]. Ecological Economics,2010(69):887-894
- [19] ALEAYA M M, MARTÍNEZ P, LIAMAS M R. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: reflections from the Mancha Occidental Region, Spain[J]. Water Resource Management, 2010 (24): 941-958.
- [20] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives [J]. Ecological Economics, 2011(70):749-758.
- [21] 王新华,龚爱民,文俊,等. 基于水足迹的云南省楚雄州水资源利用评价[J]. 中国农村水利水电,2010(7): 1-5.
- [22] 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.
- [23] 田贵良. 虚拟水贸易论[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [24] 徐中民,龙爱华,张志强. 虚拟水的理论方法及在甘肃省的应用[J]. 地理学报,2003,58(6):861-869.
- [25] 马忠,王苗苗. 张掖市实物水供给使用表的编制:SEEAW 的初步应用[J]. 水利经济,2012,30(6):11-14.
- [26] 蔡振华,沈来新,刘俊国,等. 基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究[J]. 生态学报,2012,32(20):6481-6488.
- [27] 尚海洋,张志强. 石羊河流域武威市水资源社会化循环评估[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(7):57-62.
- [28] 王浩,龙爱华,于福亮,等. 社会水循环理论基础探析 I :定义内涵与动力机制[J]. 水利学报,2011,42(4): 379-387.
- [29] NAOTA H, INUZUKA T, KANAE S, et al. An estimation of global water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model [J]. Journal of Hydrology, 2010 (384):232-244.
- [30] MARK Z, ALLAN J A , MOHIELDEEN Y. Virtual water ‘Flows’ of the Nile basin, 1998-2004: A First approximation and implication for water security [J]. Global Environmental Change, 2010(20):229-242.
- [31] KUIHUANG F, SIU Y L, GUAN Dabo, et al. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach[J]. Applied Geography, 2012, 3 (2): 691-701.
- [32] MAO Xufeng, YANG Zhifeng. Ecological network analysis for virtual water trade system: A case study for the Baiyangdian Basin in Northern China [J]. Ecological Informatics, 2012(10):17-24.
- [33] 刘宝勤,封志明,姚治军. 虚拟水研究的理论、方法及其主要进展[J]. 资源科学,2006,28(1):120-126.
- [34] 韩宇平,雷宏军,潘红卫,等. 基于虚拟水和广义水资源的区域水资源可持续利用评价[J]. 水利学报, 2011,42(6):729-736.
- [35] HOEKSTRA A Y. Virtual water trade between nations: A global mechanism affecting regional water systems [J]. IGBP Global Change News Letter,2002(54):2-4.
- [36] TURTON A, Head. Getting back to basics: the hydrological cycle revisited from a virtual water perspective [EB/ OL]. [2005-09-05]. [http://www.siw.org/waterweek2003/Workshop%207%20Oral\(28\).htm](http://www.siw.org/waterweek2003/Workshop%207%20Oral(28).htm).