

文章编号:1001-1498(2005)04-0446-05

青海共和盆地虚拟水消费及其在荒漠化防治中的应用

王学全, 卢琦*

(中国林业科学研究院林业研究所, 中国防治荒漠化研究和发展中心, 北京 100091)

摘要:虚拟水是指通过贸易方式从富水地区购买水密集产品(尤其是粮食)来获得本地水和粮食安全,将解决水短缺的途经扩展到社会经济系统。根据虚拟水概念,计算所得的2000年共和盆地城镇居民和农村居民人均年净消费的虚拟水分别为878.43、1105.61 m³,全社会全年消费的虚拟水数量和实际生产产品中的虚拟水含量分别为19633.61 ×10⁴、33073.57 ×10⁴ m³,分别是共和盆地水资源统计利用量21907.5 ×10⁴ m³的0.9、1.5倍多。虚拟水为共和盆地荒漠化防治与水资源保障提供了水管理措施。

关键词:共和盆地;虚拟水;荒漠化;水管理

中图分类号:S274.1 **文献标识码:**A

Virtual Water Consumption and Desertification Controlling in the Gonghe Basin, Qinghai Province

WANG Xue-quan, LU Qi

(Research Institute of Forestry; Chinese Research & Development Centre on Combating Desertification, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Virtual water strategy means regions whose water is scarce achieve their water security and food security by importing water-intensive products from those water is abundant, which expands the solution of water resources scarcity to the political-economic system. The particular linkage of population, food, and trade has been the masterstroke of virtual water strategy research. Using the methodology to assess the virtual water content in crop and livestock products, the paper analysed the virtual water content in product and circulating field in the Gonghe Basin. It calculates that the virtual water consumption for urban citizens is 878.43 m³, while for rural citizens is 1105.61 m³. The results showed that the total product-related and consumption-related virtual water amount was estimated to be 19633.61 ×10⁴ m³ and 33073.57 ×10⁴ m³ respectively, these are over 0.9 and 1.5 times to the statistical water use volume of 21907.5 m³. The research also discussed the political implications and potential applicability of virtual water associated with water security, economic benefit and consumption structure in the Gonghe Basin. Virtual water trade is an instrument to achieve water security and efficient water use.

Key words: Gonghe Basin; virtual water; desertification; water management

虚拟水是指生产商品和服务所需要的水资源数量,是以“虚拟”的形式包含在产品中的“看不见”的水。进口虚拟水的国家或地区使用了其他国家或地区的水。虚拟水使分析消费模式对于水资源利用的影响成为可能。可以计算国家或地区所有个人消费的物品及

服务包含的累积虚拟水量^[1]。虚拟水进口也被看做是水资源的一个来源,可用来缓解水资源压力。1993年Tony Allan^[2]提出虚拟水的概念,2002年12月在荷兰Delft举行了第一次关于虚拟水的国际会议,2003年在日本召开的“第三届世界水论坛”上对虚拟水贸易进行

收稿日期:2004-11-29

基金项目:国家“十五”攻关(2000BA517A09)项目资助内容

作者简介:王学全(1965—),男,汉,内蒙古武川人,副研究员,从事荒漠化防治和水资源研究工作

*通讯作者:Luqi@forestry.ac.cn

了专题讨论,认识到虚拟水对平衡地区和全球水资源安全的重要性。虚拟水研究在理论和实证应用方面都取得显著成果,虚拟水研究在国内尚处于起步阶段。徐中民等^[3]、程国栋^[4]引入虚拟水概念,计算了2000年甘肃省及西北各省生产和生活消费的虚拟水数量。本文计算了2000年共和盆地生产和消费的虚拟水含量,指出了虚拟水在共和盆地荒漠化防治中的应用。

1 虚拟水计算方法

虚拟水量的测算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。工业产品由于生产流程复杂,虚拟水含量计算复杂,常被忽略。农作物产品和动物产品虚拟水含量是实证计算的主要部分。农作物产品耗水取决于农作物的类型、生长区域的自然地理条件、使用的灌溉系统及其管理方式等。农产品虚拟水估计只是特定地点的一种粗略估计。农作物产品耗水主要通过蒸发和蒸腾作用,计算相对简单,如涉及到其它过程如对农作物产品加工处理,就需要采用价值构成比例和产品质量比例因子进行虚拟水含量计算。单一农作物产品虚拟水含量计算公式:

$$V_{cn} = \frac{W_{cn}}{Y_{cn}}$$

式中: V_{cn} 为区域 n 作物 c 单位质量的虚拟水含量($m^3 \cdot t^{-1}$), W_{cn} 是作物需水($m^3 \cdot hm^{-2}$), Y_{cn} 是作物产量($t \cdot hm^{-2}$)。 W_{cn} 根据作物在生长发育期间的累积蒸发蒸腾水量 ET_c 来计算,采用联合国粮农组织(FAO)^[5]推荐的标准彭曼公式:

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

式中: K_c 为作物系数, ET_0 为参考作物蒸发蒸腾水量。根据联合国粮农组织(FAO)^[5]的推荐采用修正的标准彭曼公式计算:

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

1.1 农作物产品虚拟水含量的计算

农作物产品虚拟水含量计算采用不同产品类型进行分区的计算方法。根据 Zimmer^[6]和 Renault^[7]的研究,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(图1)。

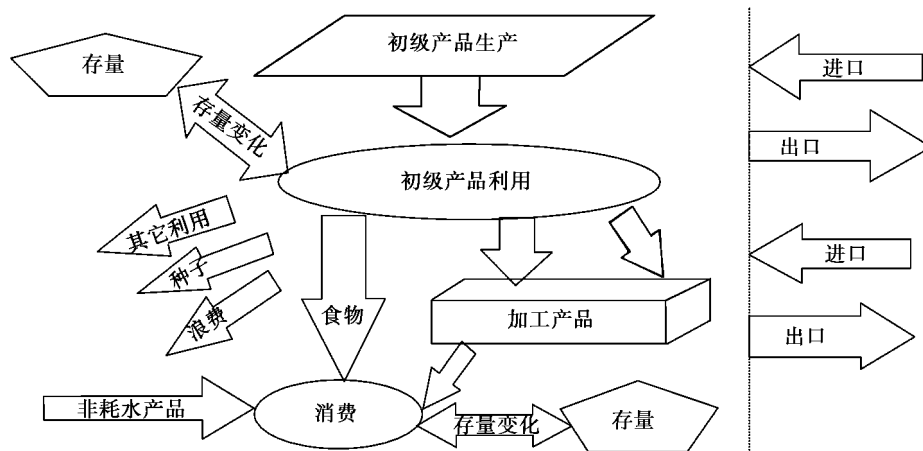


图1 农作物产品的生产流程图

(1)初级产品虚拟水计算: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。(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,按照初级产品投入重量比例加权得到。(3)副产品的虚拟水采用不同的方法计算:按提供所有副产品的重量比例来分配虚拟水;按提供副产品的价值量比例进行分配;按营养均衡规律来进行分配。(4)非耗水产品:将虚拟水与实际生产过程分离,采用营养均衡规律计算虚拟水含量。

1.2 动物产品虚拟水计算方法

动物产品的虚拟水含量依赖于动物的类型、动物的饲养结构和动物成长的自然地理环境(气候条件)。首先计算活动物对水资源的消耗,然后在不同的动物产品之间进行分配(图2)。

2 共和盆地 2000 年虚拟水消费计算和分析

采用参考作物法^[1]计算农产品虚拟水含量。我国在作物需水量的研究方面做了大量的工作,已经绘制

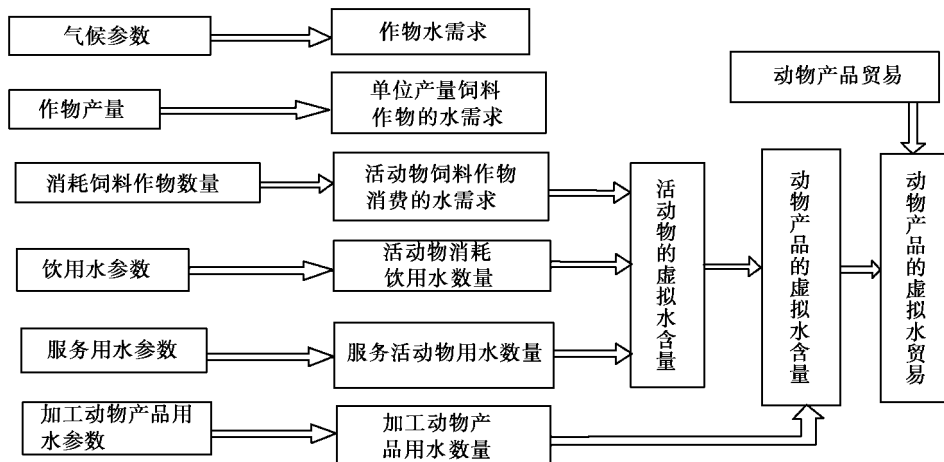


图 2 动物产品虚拟水计算流程^[11]

了逐月参考作物需水量等值线图和主要作物需水量等值线图,并广泛开展有关作物系数的研究测定工作,积累了丰富资料^[8-10]。根据共和气象站的观测资料和土壤条件,求得参考作物蒸发蒸腾水量 $ET_0 = 587.3 \text{ mm}$ 和作物系数 $K_c = 0.77$ 。青海省乐都的试验结果表明,春小麦全生育期需水量 452.5 mm ,产量 $6\ 156 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,灌溉水利用系数采用 0.4 ,春小麦虚拟水含量为 $1.84 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。计算单一农作物初级产品生产的虚拟水含量,然后根据有关统计资料,获得单位土地面积的平均产量和加工效率,最后得到单位最终产品的虚拟水含量。动物

产品虚拟水含量采用 Chapagain 等^[11] 根据 FAO 和世界贸易组织 (WTO) 提供的资料,按照贡献度大小对世界 100 多个国家估算中有关中国部分的估算结果。2000 年共和盆地城乡居民生活消费虚拟水和生产的农作物产品及动物产品中的虚拟水含量见表 1。2000 年共和盆地城镇居民和农村居民人均年净消费的虚拟水分别为 878.4 、 $1\ 105.6 \text{ m}^3$,该区全年消费的虚拟水数量和实际生产产品中的虚拟水含量分别为 $19\ 633.61 \times 10^4$ 、 $33\ 073.57 \times 10^4 \text{ m}^3$,是共和盆地水资源统计利用量^[12] (实体水) $21\ 907.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的 0.9 和 1.5 倍多。

表 1 2000 年共和盆地生产和城乡居民消费的虚拟水含量

产品 项目	单位产品虚 拟水含量 ⁷⁾ / ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	消费数量/ ($\text{kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)		产品消费虚拟 水含量/($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)		虚拟水消 费总计 ⁵⁾ $\times 10^4$ / m^3	实际 产量 /t	生产产品 虚拟水含量 $\times 10^4/\text{m}^3$
		(1) ⁶⁾	(2) ⁶⁾	(1) ⁶⁾	(2) ⁶⁾			
粮食	2.63 (1.84) ¹⁾	99.18	258.00	260.84	678.54	10 381.47	16 720	3 076.48
食用植物油 ³⁾	6.194	10.34	10.20	64.05	63.18	1 204.96	9 686	2 279.81
鲜菜	0.135	100.23	40.50	13.53	5.47	152.17	1 018	13.74
猪肉	3.561	12.96	8.80	46.15	31.34	683.89	1 196	425.90
牛肉	19.989	3.46	5.00	69.16	99.95	1 713.42	3 494	6 984.16
羊肉	18.005	9.90	6.80	178.25	122.43	2 659.62	9 709	17 481.05
家禽	3.111	4.39	0.50	13.66	1.56	102.09	35	10.89
鲜蛋	8.651	8.23	0.80	71.20	6.92	516.75	29	25.09
鱼虾	5.000	4.74	0.30	23.70	1.50	161.57	1 000	500.00
食糖	1.805	1.89	1.20	3.41	2.17	48.60	0	0.00
烟草(盒) ²⁾	5.052	27.70	12.14	13.99	6.13	163.59	0	0.00
白酒	3.288	5.95	5.00	1.96	1.64	33.09	0	0.00
啤酒	15.000	1.96	0.68	29.40	10.20	308.80	0	0.00
饮料	1.000	0.82	0.42	0.82	0.42	10.37	1.60	0.16
鲜瓜	1.376	39.59	6.70	54.48	9.21	446.38	349	48.02
鲜奶	2.079	11.62	20.60	24.16	42.83	701.37	10 716	2 227.86
糕点	4.157	1.20	0.10	4.99	0.42	35.31	1	0.42
棉布/ m^4 ⁴⁾	9.776	0.24	1.11	4.69	21.70	310.16	0	0.00
合计				878.43	1 105.61	19 633.61		33 073.57

注:1) 括号内为原粮虚拟水含量,括弧外为净粮食虚拟水含量,单位质量原粮产出净粮食比为 0.7 ;2) 每包卷烟折算成烟叶 0.1 kg ,实际生产产量为烟叶产量;3) 油料产出植物油折算系数是 0.38 ;4) 1 m 棉布折算成棉花纤维 2 kg ;5) 2000 年共和盆地城镇人口为 $59\ 948$ 人,农村居民人口为 $129\ 952$ 人;6) (1) 为城镇居民,(2) 为农村居民

生产产品的虚拟水含量大于实际所消费的虚拟水数量,从表1可以看出:(1)共和盆地农牧业生产结构以畜牧业为主导产业,粮食不能自给,粮食消费虚拟水的总量是粮食生产虚拟水含量的3.4倍;(2)粮食的虚拟水总量计算中包含了土壤水,这部分虚拟水量未统计在实体水资源利用量中,这与共和盆地粮食生产主要以旱地为主,主要消耗土壤水的实际情况也相符,因此生产产品虚拟水含量高于实体水资源利用量;(3)从动物产品的虚拟水计算来看,动物产品有储水功能,牛羊肉类动物产品消费的虚拟水总量和实际产品虚拟水含量分别为 $4\,373 \times 10^4$ 、 $24\,465 \times 10^4 \text{ m}^3$,分别占各自水总量的22.2%、74.0%,共和盆地畜牧业以自然放牧为主,动物产品的虚拟水含量包含了土壤水,未统计在实体水资源利用量中;(4)生产产品中有部分虚拟水以贸易的形式输入和输出,由于缺乏地区贸易数据,没有考虑。

共和盆地2000年生产产品中含 $33\,073.57 \times 10^4 \text{ m}^3$ 虚拟水,城乡居民消费 $19\,633.61 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的虚拟水资源,这部分虚拟水资源是可以通过贸易流通的。在社会人口不断增长和经济规模不断扩大的流域或地区尺度上,解决水资源短缺问题已经不仅限于本地实体水资源的利用,随着经济合作加深,农产品贸易将成为缓解区域水资源短缺的新途径。

3 荒漠化防治的虚拟水应用

3.1 荒漠化地区粮食安全

共和盆地是中国自然生态脆弱区,也是荒漠化发展严重地区^[13]。共和盆地水资源短缺,加之不合理开发,内陆河流域水资源开发利用率达48%,下游断流,尾间湖干涸,是环境恶化的主因。虚拟水战略通过水-粮食-贸易体现,通过进口虚拟水(粮食)来缓解区域水资源供需压力。中国总体粮食安全有保障,由于生产条件和效率差异,区域粮食供需没有必要自给。2002年青海省粮食总产9.6亿kg,2003年粮食消费总需求为19.15亿kg,产需缺口为9.55亿kg^[14],要从省外调入,相当于调入水资源17.6亿 m^3 ,占实体水资源使用量的65%。对外省粮食的依赖程度已由20世纪90年代的20%提高到现在的50%。依据现行退耕还林补助政策测算,2004—2010年全省退耕补助粮累计供应量将达35亿kg,等于调入水资源64.4亿 m^3 。青海省粮食需求呈增长趋势,虚拟水贸易对缓解区域水资

源压力发挥了作用。

3.2 增加荒漠化地区的经济实力

湿润地区生产单位产品所需要的水资源数量比干旱地区少,水资源利用的负外部性小,提供水密集型产品给干旱区,节约干旱区实体水资源。虚拟水贸易能有效配置和利用区域水资源。

共和盆地气候干旱,考虑工农业经济效益差额,概算共和盆地虚拟水战略效益,如从外地调入盆地城镇居民消费粮食的50%,节约下来的水资源用于发展工业或其他效益高的行业,共和盆地GDP总量可增加13.4%以上(表2)。因此,采用虚拟水战略,将有限的水资源投入生产效益高的工业和优势行业的发展,可增强区域经济能力和财政支付能力;同时减少居民对本区粮食的需求,有利于缓解区域的水资源紧缺压力和生态环境压力,为荒漠化防治提供条件,实现区域生态经济系统可持续发展。

表2 2000年青海共和盆地虚拟水不同模式效益测算

虚拟水模式	节约虚拟水 ($\times 10^4 \text{ m}^3$)	效益概算
模式A:进口粮食生产总量的全部,并将节约下来的水资源用于工业生产	3 076.48	净增效益为53 203万元,国内生产总值增加53.6%
模式B:进口城镇居民消费粮食总量的1/2,并将节约下来的水资源用于工业生产	781.85	净增效益为13 300万元,国内生产总值增加13.4%
模式C:进口粮食消费总量的全部,并将节约下来的水资源用于工业生产	1 563.7	净增效益为26 600万元,国内生产总值增加26.7%

注:GDP增加比例为进口粮食节水所增加的效益与2000年GDP的比率,增加效益部分的计算方法为将“进口”粮食节约的水资源用于工业生产所产生的效益减“进口”粮食成本和放弃该部分农业用水的农业增加值。

3.3 改善荒漠化地区生产结构和消费模式

过度放牧和开垦是共和盆地荒漠化的原因。从共和盆地虚拟水的实证分析来看,牛羊肉生产对水资源系统的影响最大,每年牛羊肉生产相当于 $24\,456 \times 10^4 \text{ m}^3$ 虚拟水,而每年牛羊肉消费只有 $4\,373 \times 10^4 \text{ m}^3$;其次是粮食消费,每年的消费总量相当于消费了 $10\,381 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的虚拟水,而每年粮食生产只有相当于 $3\,076 \times 10^4 \text{ m}^3$ 虚拟水。农牧业生产和消费结构性的差异就是通过虚拟水来平衡的(图3)。

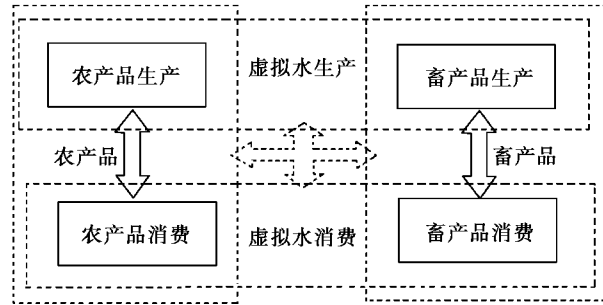


图3 共和盆地虚拟水互补和转移

3.4 荒漠化防治工程

退耕还林(草)工程是荒漠化防治的重要措施。利用粮食库存较多的有利条件,对退耕还林(草)地区农民给予了一定的钱粮补贴,是虚拟水在荒漠化防治中的应用。退实体水给林(草),战略储备生态用水;共和盆地经济实力弱,实施虚拟水战略有一定困难,利用国家粮食补贴政策,促进区域经济结构战略性调整,培育自身实施虚拟水战略的经济实力。

4 结语

共和盆地是荒漠化严重发展地区。共和盆地经济结构以畜牧业为主,在财力相对薄弱的条件下,生产和消费的虚拟水平衡主要依靠农业和畜牧业互补关系来实现,即以一定数量的畜产品形式的虚拟水余额来弥补粮食消费形式的虚拟水不足。

共和盆地农牧业以自然经济为主,旱作农业是主体,灌溉耕地少,畜牧业生产以放牧业为主,天然草场是牲畜饲料的主要来源。从虚拟水概念出发,一方面农牧业最大限度地利用了降水资源,农牧业产品中包含了大量的天然水资源;另一方面由于过渡放牧,草原植被受到严重破坏,载畜量下降,处于不可持续状态;农业的旱作垦耕土地,在共和盆地干旱气候条件下,极易导致土地沙化。农牧业的粗放经营是共和盆地荒漠化的主要原因,农牧业产品中包含生态用水,农牧业生产挤占生态用水。

共和盆地农业发展方向是灌溉农业。提高耕地灌溉率,应当作为降低共和盆地生态压力的重要指数。完善灌溉渠系,改善引水输水的工程设施,减少蒸发渗漏损失,提高水利用效率。改变畜牧业增长方式,减轻天然草场载畜压力。通过饲草料基地建设,改善牧区生产生活条件,提高畜牧业生产力水平和抗灾能力,使草原畜牧业从靠天养畜向舍饲、集约化方向发展。提高畜产品商品率和附加值,增强区域

经济实力,为完成虚拟水贸易提供保障。

参考文献:

- [1] Hoekstra A Y, Hung P Q. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade [A]. Value of Water Research Report Series No. 11 [M]. Delft: IHE Publication, 2002: 33 ~ 60
- [2] Allan J A. 'Virtual Water': A long term solution for water short Middle Eastern economies [A]. Paper presented at the 1997 British Association Festival of Science, Roger Stevens Lecture Theatre [M]. University of Leeds, Water and Development Session, 1997: 14 ~ 45
- [3] 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
- [4] 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
- [5] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements [A]. FAO Irrigation and Drainage Paper 56 [C]. Rome, 1998: 8
- [6] Hoekstra A Y. Virtual water trade: an introduction [A]. In: Hoekstra A Y, Virtual Water trade. Value of Water Research Report Series (No. 12) [M]. Delft: IHE Publication, 2003
- [7] Wackernagel M, Rees W. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island, B C, Canada: New Society Publishers, 1996: 55 ~ 70
- [8] 陈玉民,郭国双. 中国主要农作物需水量等值线图研究 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993: 77 ~ 90
- [9] 陈玉民,郭国双. 中国主要作物需水量与灌溉 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995: 107 ~ 166
- [10] 中国灌溉排水发展中心. 黄河流域大型灌区节水改造战略研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002: 30 ~ 45
- [11] Chapagain A K, Hoekstra A Y. Virtual water trade: a quantification of virtual water between nations in relation to international trade of livestock and livestock products [M]. Delft: IHE Publication, 2003: 49 ~ 76
- [12] 王学全. 青海共和盆地水资源承载能力研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2004: 23 ~ 40
- [13] 卢琦. 中国沙情 [M]. 北京: 开明出版社, 2000: 25 ~ 32
- [14] 庄琴学. 浅析青海省粮食安全问题 [J]. 攀登, 2003, 22(4): 70 ~ 72