

# 基于 GIS 的陕南水源区农产品虚拟水空间差异分析

邢海虹

(陕西理工学院 历史文化与旅游学院, 陕西 汉中 723000)

**摘 要:** 基于 GIS 支持, 采用 Renault 等的计算方法, 对 2010 年陕南水源区主要农产品虚拟水空间结构进行分析。结果表明: 三市间农产品虚拟水总量差异很大, 汉中市约 52 亿  $\text{m}^3$ , 安康约 37 亿  $\text{m}^3$ , 商洛约 23 亿  $\text{m}^3$ ; 汉中、安康虚拟水结构比较类似, 以猪肉(19%, 22%)、油料(21%, 22%)、稻谷(25%, 14%)为主, 商洛虚拟水结构与汉中、安康差异很大, 以猪肉、小麦、玉米为主(21%, 17%, 20%)。县域尺度上, 虚拟水总量、猪肉、油料、家禽、水果、蔬菜、稻谷虚拟水均表现出沿汉江河谷地带高, 向两侧山区递减, 南部大巴山区高于北部秦岭山区的特征; 玉米、小麦虚拟水丹江流域多于汉江流域; 奶类虚拟水更集中于区域中心市区及周边。传统习惯、地理条件、农业结构调整等是造成虚拟水空间差异的主要因素。

**关键词:** 经济地理学; 农产品虚拟水; GIS; 空间差异; 陕南

**中图分类号:** F323; TV211.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2013)05-0300-05

## Analysis on Spatial Difference of Agricultural Virtual Water in Water Source Area of Southern Shaanxi Province Based on GIS

XING Hai-hong

(Department of History and Tourism, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

**Abstract:** On the base of GIS support, with the calculation method of Renault, etc, the spatial difference of agricultural virtual water in water source area of southern Shaanxi Province in 2010 was analyzed. The results have shown that the gross volumes of virtual water among the three cities are quite different ( $5.2 \times 10^9 \text{ m}^3$  in Hanzhong,  $3.7 \times 10^9 \text{ m}^3$  in Ankang, and  $2.3 \times 10^9 \text{ m}^3$  in Shangluo); both Hanzhong and Ankang have similar virtual water structure, such as pork(19%, 22%), oil (21%, 22%), and rice (25%, 14%), while Shangluo is very unlike the former, e. g., pork(21%), wheat(17%), maize(20%). On county scale, the gross volume of virtual water, and all kinds of agricultural virtual water have shown the characteristics of higher volume along the valley area from which descend to mountainous area, and higher volume in the Daba mountain than that in the Qinling Mountain. The differences were mainly due to traditional customs, geographical conditions, agricultural structure adjustment. This paper put forward an agricultural space optimization scheme from the point of providing more water.

**Key words:** economic geography; virtual water of agricultural products; GIS; spatial difference; southern shaanxi

21 世纪水资源正在变成一种宝贵的稀缺资源。中国人均淡水资源量仅为世界平均水平的 1/4, 是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。中国水资源东、南水富, 西、北水少, 加剧缺水程度。农业是一个高耗水的生产过程, 水资源安全与粮食安全问题备受世界关注。“虚拟水”是英国学者约翰·安东尼·艾伦 1993 年提出的概念<sup>[1]</sup>, 指产品所含有的生产过程中消耗的水资源量。在世界范围内, 解决水资源问题总是依靠工程及技术手段<sup>[2-5]</sup>, 虚拟水则跳出传统的

“以水论水”的研究视野<sup>[6-9]</sup>, 虚拟水战略以“水—粮食—贸易”为轴心, 根据虚拟水的比较优势, 富水、贫水地区通过发展不同耗水型农业, 通过农产品进出口贸易, 就完成了水资源的重新配置<sup>[10-14]</sup>。陕南水源区水资源富足, 地区用水充裕, 但其承担南水北调跨区域水资源调配功能, 水资源有效利用关乎全国。同时陕南水源区地处秦巴山区, 经济落后, 农业占相当地位, 每年消耗水资源量巨大。作为一个承担全国水资源配置功能的富水地区, 根据农产品虚拟水调整农业

结构,一方面为实体“南水北调工程”节约更多水源,另一方面通过虚拟水贸易,完成虚拟意义上的“南水北调”任务,在努力担负全国水资源配置功能的同时,获得相应的经济收益,对于经济落后、农业比重高的陕南水源区来说具有重要价值。

1 研究区概况

陕南水资源总量 314.58 亿 m<sup>3</sup>,人均拥有水资源量是全国的 1.8 倍,是全省的 2.43 倍,凭借丰富的水资源,陕南成为南水北调和引汉济渭工程的重要水源区。陕南水源区涉及汉江流域上游、丹江流域,地处我国南北过渡、东西交替的秦巴山区,“两山夹一谷”,“南低北高”是基本的地貌特征。汉江谷地地势平坦,土壤肥沃;两侧宽谷浅丘地带,地势起伏较大,土地利用方式多变;浅山和中山地区,地势复杂,森林覆盖率高。北部秦岭地势总体高于南部大巴山地势,秦岭从山阳往东,地势逐渐降低,主要为低山丘陵地貌。丘陵山地区沟壑纵横,水系密布,沿河谷发育众多大大小小的盆地、坝子,是农业布局的重要区域。陕南地处北纬 31°—34°,东经 105°—112°,属于亚热带湿润气候型,年降雨量 700~1 300 mm,年平均气温 12~15℃,年有效积温 3 500~4 500℃,水热组合优异,利于植被生长。虽然地处山区,耕地资源数量少(农业人均耕地面积 0.157 hm<sup>2</sup>,且 50%以上为坡耕地),但良好的水热组合使自汉代以来,此区山间盆地一直是重要的粮食基地。

2 方法与数据

2.1 农作物产品虚拟水确定方法

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 Renault 和 Zimmer 基于对不同产品类型区分的计算方法,另一种是 Hoekstra 和 Chapagain 提出的研究不同产品“生产树”的方法<sup>[15-16]</sup>。国内虚拟水含量确定多采用第一种方法,计算公式如下:

$$D_{n,c}=W_{n,c}/Y_{n,c} \tag{1}$$

式中: $D_{n,c}$ —— $n$ 区域 $c$ 作物的虚拟水含量(m<sup>3</sup>/t);  
 $W_{n,c}$ —— $n$ 区域 $c$ 作物的需水量(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>),可通过 $n$ 区域 $c$ 作物的蒸发蒸腾水量确定; $Y_{n,c}$ —— $n$ 区域 $c$ 作物的产量(t/hm<sup>2</sup>)。

$$ET_c=K_c\times ET_0 \tag{2}$$

式中: $ET_c$ —— $C$ 作物的蒸发蒸腾水量; $K_c$ ——作物系数; $ET_0$ ——参考作物蒸发蒸腾水量,可根据粮农组织(FAO)推荐的标准彭曼公式计算,计算公式参见文献[12]。

可以看出,这种方法确定的虚拟水量是一种粗略的估计,主要依据气象气候资料进行。陕南水源区在自然地理上属于一个气候区,受大范围气候条件的影响,内部水热差异较小<sup>[17]</sup>,因此同种作物单位面积全生育期需水量的差异较小。本研究参考已有的研究成果<sup>[15]</sup>,获得陕南农作物单位虚拟水含量(表 1)。

2.2 动物产品虚拟水确定

计算动物产品虚拟水含量需要动物类型、饲养结构、成长环境和加工用水等数据,涉及资料繁多且获取不易,因此一般采用 Chapagain 等对世界单位重量动物产品的虚拟水含量估算中有关中国的结果<sup>[15]</sup>,陕南主要动物产品虚拟水见表 1。

表 1 陕南水源区主要农产品用水效率类型划分

用水效率类型	产品名称	单位产品虚拟水含量/ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	单位水价值/ (元·m <sup>-3</sup> )	2001—2010 产量年均 增长率%
高	蔬菜	135	32.22	10.08
	水果	1376	5.10	47.50
	玉米	1000	3.60	3.69
中	奶类	2201	6.15	14.30
	猪肉	3561	6.52	6.69
	家禽	3111	4.05	4.36
	小麦	1400	2.71	-2.18
低	稻谷	2000	2.70	-0.66
	植物油	6194	1.89	192.38
	牛肉	19989	2.30	11.89
	大豆	3200	1.43	-2.72

2.3 虚拟水比较优势计算方法

单位水价值<sup>[10]</sup>是衡量农产品生产过程水资源利用效率的标准,计算公式为:

$$U_{n,c}=P_c/D_{n,c}$$

式中: $U_{n,c}$ ——单位水价值; $P_c$ ——单位农产品市场价格; $D_{n,c}$ ——单位农产品虚拟水含量; $n$ ——某区域; $c$ ——某农产品。

2.4 数据与处理

本研究作物播种面积及产量来源于《陕西省统计年鉴》(2001—2010)、《中国区域统计年鉴》(2001—2010)、《汉中市统计年鉴》、《安康市统计年鉴》、《商洛市统计年鉴》等统计资料。根据所采集农作物产品产量数据,与表 1 单位农产品虚拟水含量进行运算得到该类农作物虚拟水总量数据。单位农产品价格数据来自于对汉中市农贸批发市场的调研,根据单位农产品价格与单位虚拟水含量计算单位水价值。

3 结果与分析

3.1 虚拟水总量空间差异分析

陕南水源区三市间农产品虚拟水总量差异很大。汉中 51.77 亿 m<sup>3</sup>,安康 37.13 亿 m<sup>3</sup>,商洛 22.96 亿 m<sup>3</sup>,

分别占陕南水源区虚拟水总量的百分比为:汉中(46%)最高,安康(33%)次之,商洛(20%)最低。

县域尺度上,虚拟水总量空间差异表现为河谷地带区县最高,向两侧山地区区县递减;南部大巴山区区县高于北部秦岭山区区县(图 1)。反映出“两山加一谷”及“南低北高”宏观地形特征对虚拟水分布的影响。汉中盆地面积广阔,是虚拟水高值区县集中分布区,如南郑、城固、洋县、西乡、勉县等。安康盆地面积相对狭小,虚拟水高值区县集中但数量较少,只有汉滨、旬阳两个区县。虚拟水中值区县广泛分布于南部大巴山区,如宁强、镇巴、紫阳、岚皋、平利、白河,北部秦岭山区较少,主要位于东部低山丘陵地带。虚拟水比较低的区县则主要分布于北部秦岭山区,如略阳、佛坪、留坝、宁陕、柞水,南部大巴山区则只有镇坪一个县虚拟水很低。

3.2 虚拟水结构空间差异分析

汉中与安康虚拟水结构比较类似,商洛与其他两

市虚拟水结构差异很大(图 2)。以比重较高的猪肉、油料、稻谷、小麦 4 类农产品为例,猪肉虚拟水比重比较均衡,商洛(21%)、汉中(19%)、安康(22%);油料虚拟水比重差异较大,汉中(21%)和安康(22%)比较一致,商洛(7%)相对较低;稻谷虚拟水比重差异很大,汉中(25%),安康(14%),商洛仅有(1%);小麦,玉米虚拟水则主要在商洛(17%,20%),汉中(5%,5%)、安康(9%,7%)比重较低。

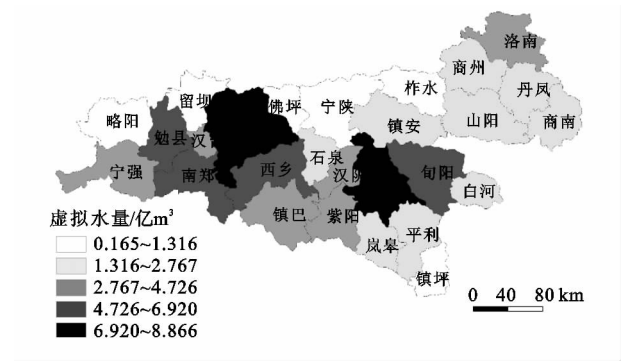


图 1 2010 年陕南分区县虚拟水总量

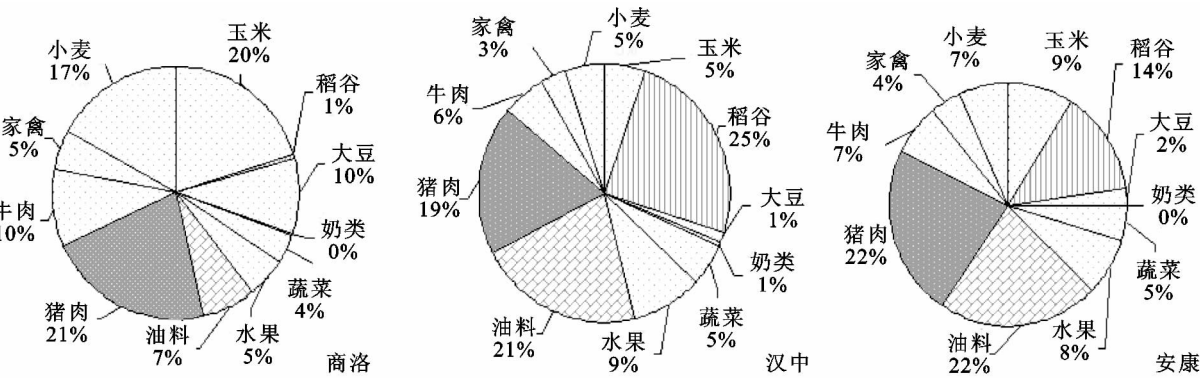


图 2 2010 年陕南三市虚拟水比例

各类农产品虚拟水均表现出河谷地带高,向两侧山区递减的特征;南部大巴山区高于北部秦岭山区的特征明显(图 3)。猪肉、油料虚拟水空间分布比较类似,主要分布于汉江河谷和大巴山的宽谷浅丘地带的区县,如高值区为汉中、安康盆地的区县,中值区主要包括谷地和南部丘陵地带的区县,反映出这两类农产品对地形要求比较低的特点。稻谷、蔬菜、水果虚拟水空间分布比较类似,主要分布于两大盆地区,反映出种植需水量大的特点,对地形和农业技术要求高的特点。家禽虚拟水分布比较分散,盆地、山地区县都有高值分布,如盆地区的汉台、城固、洋县、勉县、汉滨等,山地区的略阳、宁强、旬阳、白河等县,反映出其较强的适应性。奶类虚拟水分布尤为集中,主要集中于三大区域中心及汉台周边区县。

3.3 基于可调水量的农业空间结构调整<sup>[18]</sup>

发展单位虚拟水量小、单位水价值高的农产品,一方面可以提供更多的实体调水量,另一方面可以输

出更多的虚拟调水量,同时区域还可通过农产品贸易获取最大利益,是农业用水效率最高的情景。根据水资源利用效率(表 1),考虑地理条件、种植传统等因素对农业生产的影响,从为提供更多可调水量,增强区域收入角度出发,陕南水源区农业空间结构调整或可采用如下方案。

(1) 谷地、盆地区。水源充足,地势低平,适合发展各种农业类型。但从提供更多调水量角度,结合区域传统,汉中、安康更适宜种植蔬菜、水果、水稻,商洛更适宜种植蔬菜、水果、小麦。油菜属于水分利用效率低的类型,可退出盆地、谷地区。生猪、奶类属于水分利用效率中等型农业,在谷地盆地区可与沼气等项目结合,减少水污染引起的更多水消耗。

(2) 山区。用水困难,耕作不便,适合发展低耗水、不要求平坦地形的特色果蔬,如核桃、柿子、板栗、木耳、香菇等。中高耗水型农业在山区可以选择散养家禽、猪畜等传统养殖类型,既适应市场需求变化提

供绿色产品, 同时也能减少水资源消耗。

(3) 丘陵区。介于上述两种类型之间, 可种植适

合低坡地、水资源利用效率较高的玉米、薯类等农作物类型, 养殖业可以散养为主。

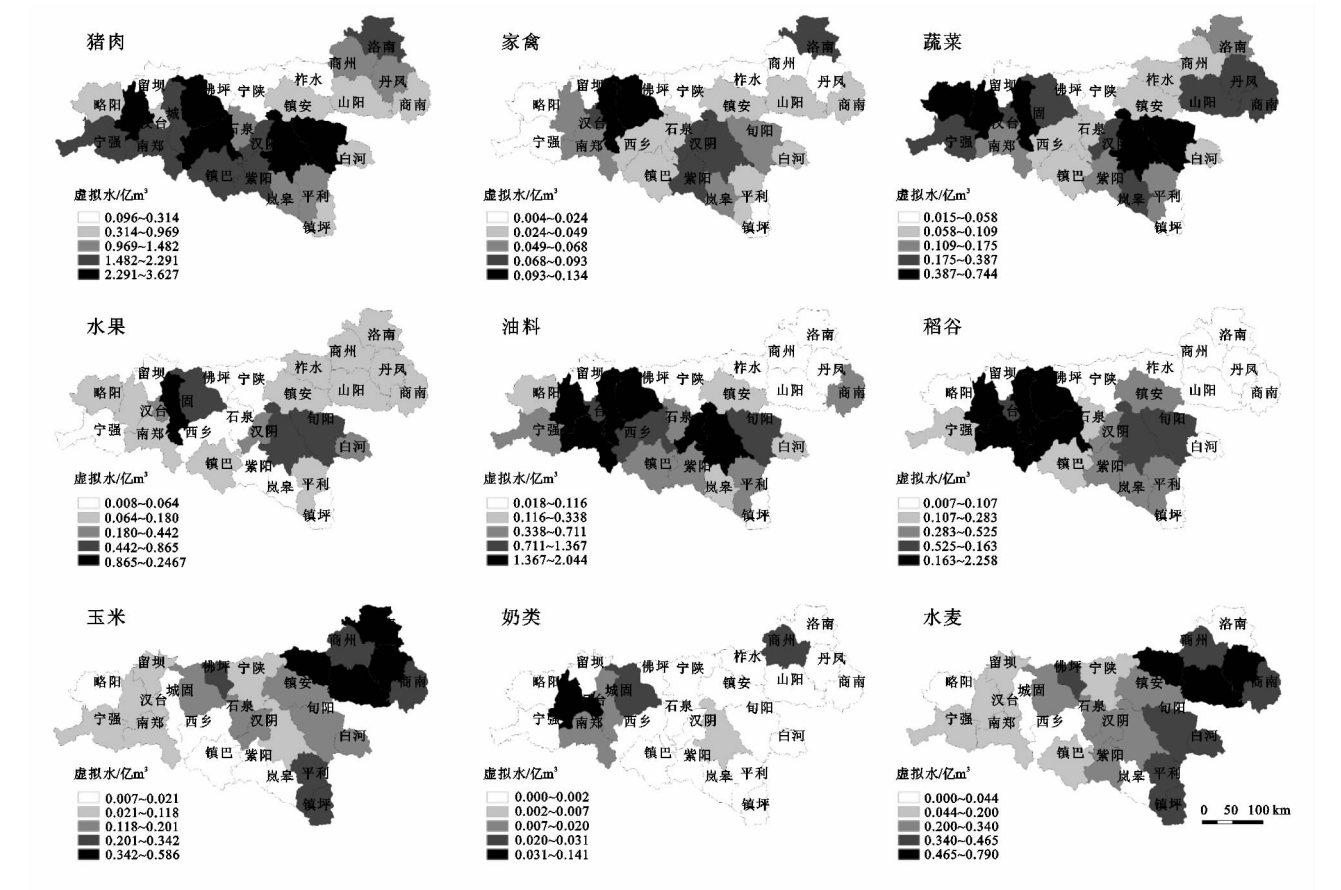


图 3 2010 年分区县主要农作物虚拟水空间格局

## 4 虚拟水空间差异的原因

### 4.1 传统习惯的影响

汉中、安康、商洛三市中, 汉中、安康主属汉江流域, 被秦岭、大巴山南北加持, “蜀道难, 难于上青天”的交通条件使其与外部隔绝, 内部习惯相近。商洛主属丹江流域, 位于秦岭东延的低山丘陵地带, 与关中联系较为便利, 在饮食、种植习惯上更接近于关中。“秦岭一条线, 南吃大米北吃面”<sup>[19]</sup>。汉中和安康的饮食结构, 主食以大米为主, 面粉次之, 杂粮如玉米、豆类作为调剂, 因此稻谷是汉江河谷地带众多盆地、坝子的传统农作物。食米则必讲究饭菜搭配, 因此家家有菜园, 户户喜食肉。由于饮食习惯与农业传统的影响, 汉中、安康农产品虚拟水结构类似, 米、油、肉、菜比重较高。

商洛人的饮食结构相比就较为简明: “面(或米)食为主, 瓜菜辅之, 肉类点缀”<sup>[20]</sup>。在商洛, 主食有面食、米饭(局限于水源充足地的富裕人家)和包谷三大类, 人们粗茶淡饭, 以饱为足, “饭不够, 菜来凑”, 房屋前后或地头种少许蔬菜是为了添补粮食的不足。虽

亦每家每户必养肥猪, 却也是要从年头吃到年尾, 相比汉中、安康“食必兼肉”要大为逊色。因此商洛虚拟水中, 米、肉、油较少, 而小麦、玉米较多。

### 4.2 地理条件的影响

南北交汇的特殊地理位置, 使这里物种兼南北, 饮食原料种类繁多, 鱼稻饮食文化与麦粟饮食文化在这里兼种并华, 多样的物种也为多样化经营提供了条件, 三地都没有占绝对优势的虚拟水类型, 反映出农业多样化的特征。同时三市间虚拟水结构的差异也是南北交汇过渡位置的影响, 汉中、安康以鱼稻饮食文化为主, 稻谷虚拟水比例高, 影响到肉、油等虚拟水比例。安康以麦粟饮食文化为主, 小麦、玉米虚拟水比例高。

陕南水源区地形复杂, 山地、丘陵、盆地均有, 地形对于可用水源、耕作条件的便利程度造成影响, 从而影响到不同地形条件下的农业类型和虚拟水分布。盆地、谷地区农业条件优越, 是虚拟水分布的高值区; 低山丘陵地带农业条件较差, 但物种多样, 山珍特产众多, 是虚拟水分布的中值区; 中高山地带耕作极为不便, 农业类型单一, 是虚拟水分布的最低值区。虚

拟水空间分布上河谷地带高,向两侧山地递减,大巴山高于秦岭山地均是地形影响的结果。

陕南的汉中、安康气候条件方面具有明显的南方地区特征,地处北暖温带和亚热带气候的过渡带,雨量充沛,气候湿润。商洛气候属于暖温带半湿润季风气候,热量与降雨量都低于汉中、安康。市域尺度上汉中、安康虚拟水结构相似,与商洛差异大主要是受到气候因素的重要影响。中国季风气候的特征是由东南向西北递减,在秦巴山区南部大巴山高于北部秦岭,影响到农业生产,虚拟水分布上南部大巴山区高于北部秦岭山区成为必然。

### 4.3 农业结构调整的影响

陕南水源区山区居多,耕作困难、交通不便、信息不灵,农业现代化的进程较慢,粮食作物比重较高(70%)。但近10 a来,农业结构调整的趋势增强,随着蔬菜、水果、油料、猪肉、家禽、奶类等农产品在饮食结构中的增加,这些农业类型呈现快速增长趋势,但从水利用效率来看,这种调整存在不合理的成分(表1),如油菜属于水利用效率极低的类型,2001—2010年却以年均192%的速度快速增长,势必对水源区可调水量造成影响。不同农业类型用水条件不同、规模效益不同、机械化程度不同,因此对地形要求不同,在盆地谷地、丘陵低山、高中山区根据农作物的不同比较优势,形成不同的农业格局,影响到虚拟水的空间分布。

## 5 结论

(1) 陕南水源区三市间虚拟水总量差异很大;河谷地带区县虚拟水总量最高,向两侧山地区区县递减;南部大巴山区区县高于北部秦岭山区区县。

(2) 汉中、安康虚拟水结构比较类似,商洛虚拟水结构与汉中、安康两市差异很大;各类农产品虚拟水均表现出河谷地带区县高,向两侧山区区县递减的特征,南部大巴山区区县高于北部秦岭山区县的特征明显。

(3) 传统习惯、地理条件、农业结构调整等是造成虚拟水空间差异的主要原因。

### 参考文献:

[1] 刘宝勤,封志明,姚治君.虚拟水研究的理论、方法及其主要进展[J].资源科学,2006,28(1):120-127.

[2] Hoekstra Y. Perspectives on Water: A Model-based Exploration of the Future[M]. Utrecht: International Books,1998.

[3] Kemper W D, Koch E J. Aggregate Stability of Soils from Western United States and Canada[M]. Washington: Agricultural Research Service,1966.

[4] 靳军英,袁玲.虚拟水在我国水资源优化配置中的应用[J].西南师范大学报,2011,36(4):205-209.

[5] 王新华,张志强,龙爱华,等.虚拟水研究综述[J].中国农村水利水电,2009(1):27-30.

[6] 白映万,王开录.石羊河流域水资源保护与可持续利用对策[J].水土保持研究,2005,12(4):253-255.

[7] 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.

[8] 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,2003,18(4):260-265.

[9] 邓晓军,谢世友,崔天顺,等.南疆棉花消费水足迹及其对生态环境影响研究[J].水土保持研究,2009,16(2):134-138.

[10] 李素娟.虚拟水与山东省农业产业结构优化[D].山东泰安:山东农业大学,2007.

[11] 李志云.虚拟水与虚拟水战略研究[J].水科学与技术,2008(6):14-15.

[12] 李元寿,贾晓红,鲁文元.西北干旱区水资源利用中的生态环境问题及对策[J].水土保持研究,2006,13(1):217-220.

[13] 周俊菊,石培基.虚拟水及其在缓解区域水资源短缺中的应用研究[J].生态经济,2008(9):22-29.

[14] 赵健民,李靖.基于“虚拟水”理论的农业水资源利用效率研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2009.

[15] 肖玲,肖巧艳.陕西省农产品虚拟水时空变异分析[J].干旱区资源与环境,2010,21(10):104-108.

[16] Zimmer D, Renault D. Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results[C]//Hoekstra Y. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Delft: UN-ESCO-IHE,2003.

[17] 李小燕.陕南降水变化时空差异分析[J].陕西理工学院学报:自然科学版,2012,28(5):74-78.

[18] 时启军,付强,李天霄.基于投影寻踪技术的区域种植结构调整[J].水土保持研究,2009,16(6):215-219.

[19] 巫其祥.琐谈陕南饮食文化[J].烹调知识,2004(8):24-25.

[20] 黄元英,李继高,郇科祥.商洛饮食文化刍论[J].商洛师范专科学校学报,2002,16(3):1-4,10.