

粮食供需平衡视角下虚拟水研究

—以陕西省商洛市为例

李梦,雷敏*,杨海娟*,罗佳丽,徐纳

西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127

摘要: 本文基于虚拟水理论与方法,对陕西省商洛市1990~2012年主要粮食作物的虚拟水含量和虚拟水总量进行了计算,并应用经验模态分解法(EMD)对粮食产量和虚拟水总量波动进行多时间尺度分析,以确定影响虚拟水总量中短期波动的最主要因素。从粮食需求量和粮食供给量两个方面对未来商洛市虚拟水消耗量进行预测与分析。研究结果表明:(1)从虚拟水的角度来看,玉米的节水效率最高,大豆和小麦次之,油菜的节水效率最低;(2)全生育期小麦的虚拟含水量最高,其次为玉米和大豆,油菜的虚拟水含量最少,且虚拟水总量的年际变化情况与各作物虚拟水总量波动趋势大致相同;(3)从EMD分析结果来看,粮食产量的中短期波动是影响虚拟水含量变化的主要控制因素;(4)基于满足当地人类发展的粮食需求量,2030年虚拟水总量将占当地水资源总量的18.92%,若基于粮食供给量的虚拟水总量2030年仅为10.87%,仍需调入的虚拟水总量将达到当地水资源总量的8.05%;(5)商洛市水资源充沛,但粮食自给率不高,仍需从其他地区调入含大量虚拟水的粮食作物来满足自身发展的需要,从虚拟水的角度来看,商洛市可以通过调整农作物的种植结构和粮食的调入结构来减少对虚拟水的调入。

关键词: 虚拟水;经验模态分解法;预测与分析

中图分类号: TU249.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)06-0828-07

Study on Virtual Water in Grain at a Perspective of the Balance between Supply and Demand

—A case in Shangluo City of Shaanxi Province

LI Meng, LEI Min*, YANG Hai-juan*, LUO Jia-li, XU Na

College of Urban and Environmental Science/Northwest University, Xi'an 710127 China

Abstract: Virtual and total amount of virtual water content of main grain crops in Shangluo City of Shaanxi Province during 1990-2012 were calculated with the theory and the method of virtual water. With the empirical mode decomposition method, the grain yield and total fluctuation of virtual water between 1990 and 2012 in Shangluo were analyzed in terms of multiple time scales and grain yield was concluded as the main factor of the short-term fluctuation of total virtual water. The future consumption of virtual water was forecasted and analyzed from two aspects of grain demand and supply in Shangluo City. The results showed that: (1) from the perspective of virtual water, the water-saving efficiency of crops in Shangluo in descending order were corn, soybean, wheat and rape; (2) the highest virtual water content during the whole growth period was wheat, followed by corn and soybeans, the rape was the lowest; (3) from the analytic results of EMD, the main factor of changes in virtual water content in Shangluo was short-term fluctuation; (4) based on the satisfaction of local grain demand for human development, the total virtual water would account for 18.92% of the total local water resources in 2030. Total amount of virtual water based on grain supply would account for 10.87% of the total water resources in 2030, which would need to be transferred to the total virtual water by 8.05% of the total local water resources; (5) the water resources were abundant in Shangluo City, but the grain self-sufficiency rate wasn't high. There was a large number of crops with plenty virtual water need to be transferred from other regions to meet the requirement of development. From the perspective of virtual water, the adjustment of crop planting structure of Shangluo City to reduce the amount of transferred virtual water is feasible.

Keywords: Virtual water; EMD; prediction and analysis

水资源问题是全世界普遍关注的重大问题,虚拟水作为水资源问题的一种研究思路,近年来正逐步成为学术界研究的热点。目前国际上公认的虚拟水的概念是生产商品和服务所需要的水资源的

收稿日期: 2016-05-9

修回日期: 2016-07-11

基金项目: 陕西省自然科学基金面上项目:秦岭山地国家森林公园旅游发展的环境效应及其对策(2014JM5205)

作者简介: 李梦(1991-),女,硕士研究生,主要从事人地关系与区域可持续发展研究. E-mail:lemonee123@163.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:xdleimin@126.com

数量^[1,2]。本文中所述的虚拟水含量专指生产 1 t 农产品所需要的水资源的数量,虚拟水总量是指某地区生产某类农产品所需要的水资源总量。伦敦大学艾伦教授^[1]首次提出虚拟水的概念并将其应用到以色列的水资源研究中,并指出以色列可通过粮食的进口减少对国内水资源的消耗,从而缓解本国水资源压力。Efrat Hadas^[3]等以情景思维的方式论述了以色列的决策者要从长期粮食安全的角度来考虑进口含有大量虚拟水的农产品。Qianbin Zhao^[4]等将虚拟水水资源安全、气候变化和粮食安全联系在一起,并指出气候变化对粮食安全有益,还可以帮助改善水资源短缺的现状。Jing Liu^[5]等的研究表明在河套灌区种植模式的改变不仅可以获得更多的经济回报,而且可以减少水资源的消耗量,但种植模式的选择仍需考虑粮食安全和其他约束性条件。

21 世纪初虚拟水概念及相关理论被引入我国^[6],徐中民等^[7]根据在我国干旱区的实践经验指出了虚拟水理论的局限性并阐述了实施虚拟水战略的关键,孙才志等^[8-10]分析研究了我国粮食贸易中虚拟水的流动格局和成因,邹君等^[11]运用指标体系评价方法探究了我国不同区域虚拟水研究和实践的发展方向,并对未来我国虚拟水流动格局提出了建议。纵观国内外虚拟水的相关研究,不难发现关于虚拟水的相关研究存在以下特征:在研究尺度上,主要以国家或者省域为尺度的研究为主^[12,13],而以市域尺度作为研究区的较少;在研究内容上,关于虚拟水的研究多集中在对不同产品虚拟水含量的计算上^[13,14],对虚拟水总量年际波动相关研究几乎没有;在影响因素分析方面,多集中在对虚拟水贸易的影响因素分析^[15,16],对虚拟水波动的影响因素及波动周期的研究鲜有涉及;在 EMD 方法在地理学的应用上,主要集中在对粮食产量波动周期及影响因素分析上^[17,18],对虚拟水不同尺度波动周期及影响因素的研究在国内较少涉及。

商洛市位于陕西省东南部,属于暖温带半湿润季风气候,境内四季分明,雨热同季,干湿分明,境内河网纵横交错,是我国南水北调工程的重要的水源涵养地,也是关中地区一道重要的生态屏障,生态环境优美,但因为境内地形复杂,农业发展较为落后。本文选取陕西省商洛市为研究区,将虚拟水研究扩展到水资源充沛地区,从市域层面上对商洛市虚拟水变化情况进行研究,将 EMD 方法应用于 1990 年以来商洛市虚拟水总量波动的多尺度分析,旨在揭示虚拟水总量多尺度波动周期及其主要影响因素,并从粮食供需平衡的角度对商洛市的虚拟水进行研究,从而为缓解商洛市的水粮矛盾提供一定的理论依据。

1 研究方法 with 数据处理

1.1 研究方法

1.1.1 主要粮食作物虚拟水的计算 目前学术界关于农产品虚拟水的量化方法主要有两种:一种是 Zimmer 和 Renault 基于对不同产品类型进行区分计算的方法^[19];一种是 Chapagain 和 Hoekstra 提出的研究不同产品生产树的方法^[2]。本文采用的是前者,即利用标准彭曼公式计算气候因素影响下的参考作物潜在蒸散量 ET_0 (如公式 1),乘以作物系数 K_c (作物系数 K_c 是根据不同作物的生长特性利用分段单值平均系数法^[20]将 FAO 推荐的标准作物系数修正所得)得到单位面积作物需水量 (m^3/hm^2),再通过单位面积作物需水量除该作物单位面积产量 (t/hm^2)即可得到单位质量农作物的虚拟水含量 (m^3/t),最后用单位质量农作物的虚拟水含量乘以某类作物的产量即为某作物的虚拟水总量 (m^3)。

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

其中: ET_0 为参考作物潜在蒸散量,单位是 mm/d; Δ 是蒸汽压力曲线斜率,单位是 kPa/°C; R_n 是冠层作物表面的净辐射量,单位是 MJ/(m²·d); G 是土壤热流密度,单位是 MJ/(m²·d); γ 是湿度计常数,单位是%; T 是平均每天空气在 2 m 高度处的气温,单位是 °C; U_2 是 2 m 高处的平均风速,单位是 m/s; e_s 是饱和水气压,单位是 kPa; e_d 是实际水气压,单位是 kPa; $e_s - e_d$ 是饱和水气压与实际水气压之差,单位是 kPa。

1.1.2 经验模态分解方法 EMD (Empirical Mode Decomposition) 即经验模态分解法,是美国国家宇航局美籍华人黄鹄^[21] (N.E.Huang) 于 1998 年提出的一种新型自适应信号时频处理方法,特别适

用于非线性非平稳信号的分析处理。该方法的关键是经验模态分解，它能使复杂信号按照其数据自身的时间尺度（频率）波动进行信号的逐级分离，产生不同特征尺度的数据序列，每个序列称为本征模态函数（Intrinsic Mode Function, IMF），IMF 分量包含在原始信号中所含有的特征信息量，R 则是原数据序列的趋势分量。每个 IMF 分量具有如下特征：（1）从全局特性来看，极值点数和零点数据相等或者至多相差一个；（2）分别连接其局部极大值和局部极小值所形成的两条包络线的均值在任意一点处为零。EMD 分解过程实际上是将原始数据序列分解为各种不同特征波动的叠加。

1.1.3 灰色 GM (1,1) 模型 灰色系统理论是 20 世纪 80 年代由我国邓聚龙教授提出的一种数学方法，可用来解决小样本的信息不完备系统的复杂问题，已广泛应用于社会、经济、生态和人口数量预测等领域。而灰色 GM (1,1) 模型是灰色系统理论中应用最广泛的一种灰色动态预测模型，该模型由一个单变量的一阶微分方程构成，主要用于复杂系统某一主导因素特征值的拟合和预测，以揭示主导因素变化规律和未来发展变化态势。本文主要借助此方法对未来商洛市的人口趋势量预测。

1.2 数据来源

本文所使用的数据来自 1990~2013 年商洛市统计年鉴。计算作物需水量所需的逐日气象数据（主要包括日平均气温（℃）、平均最低气温、平均最高气温、10 m 高处风速（m/s）、日照时数（h）、相对湿度（%）、平均水汽压等 7 个指标）主要来自中国气象数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)以及中国气象局国家气象信息中心。

2 结果分析

2.1 商洛市虚拟水含量及虚拟水总量变化分析

根据当地的实际情况，选取种植结构比例和耕地面积较大的农作物—小麦、玉米、大豆和油料，计算出各主要农作物的虚拟水含量（图 1）。1990~2012 年商洛市主要农作物虚拟水含量变化趋势大致相同，其多年平均虚拟水含量由高到低依次为油菜 6171 m³/t，大豆 2880 m³/t，小麦 1779 m³/t，玉米 1480 m³/t，其中油菜的虚拟水含量年际波动幅度较大，大豆和玉米的虚拟水含量相对平稳，小麦的虚拟水含量变化较小且态势平稳，各主要农作物的虚拟水含量均在 1995 和 1997 年达到峰值，整体趋势平稳。经查阅当地相关文献，1995 和 1997 年商洛市出现极端干旱气候，粮食作物大幅度减产。此外，油菜的虚拟水含量 2000 年以来虚拟水含量大幅度降低，这跟 2000 年前后油菜品种改良使油菜单位面积产量大幅度上涨有关。

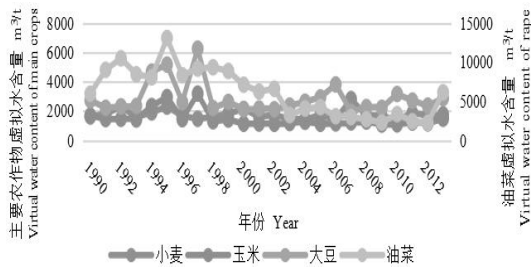


图 1 1990~2012 年商洛市主要农作物虚拟水变化
Fig.1 The virtual water changes of main crops in Shangluo City from 1990 to 2012

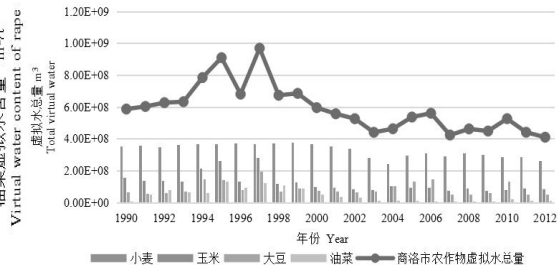


图 2 1990~2012 年商洛市主要农作物虚拟水总量变化
Fig.2 Total virtual water changes of main crop in Shangluo City from 1990 to 2012

商洛市各主要农作物的虚拟水总量变化如图 2 所示，排除极端气候变化的影响，商洛市油菜的虚拟水含量最高，其次是大豆和小麦，玉米的虚拟水含量最低，说明玉米种植节水效率最高，大豆和小麦次之，油菜最低。从整体上来看，商洛市主要农作物的虚拟水总量变化不大，不同类型的作物虚拟水总产量和单位虚拟水含量有相互趋近的趋势。从作物类别来看，小麦的虚拟水总量年际波动趋于平稳，玉米、大豆和油菜的虚拟水总量波动幅度较大。由此可见，油菜的单位面积全生育期的需水量高于其他三种作物，但是由于小麦和玉米的单位面积产量和种植面积明显高于油菜和大豆，所以最终表现为小麦全生育期内耗水量最高而油菜的耗水量最少。

2.2 商洛市虚拟水总量波动的时序序列 EMD 分析

由于商洛市 1990~2012 年的虚拟水总量数据变化是非线性非平稳的, 故 EMD 的方法对其有一定的适用性。对虚拟水总量的逐年变化数据进行 EMD 分解后得到 2 个 IMF 分量及趋势量 R (图 3), 表 1 是各个 IMF 分量及其趋势量 R 的方差贡献率。各 IMF 分量表示不同尺度的变化, 每个 IMF 分量只是一个窄波段的信号。IMF1 分量表示的是一个周期为 3 年的波动, IMF2 分量的周期是 10 年, 从方差贡献率来看, 且商洛市的虚拟水总量的波动以 10 年周期为主, 趋势项 R 则表示自 1990 年以来商洛市虚拟水总量不断下降, 并逐渐趋于平稳。

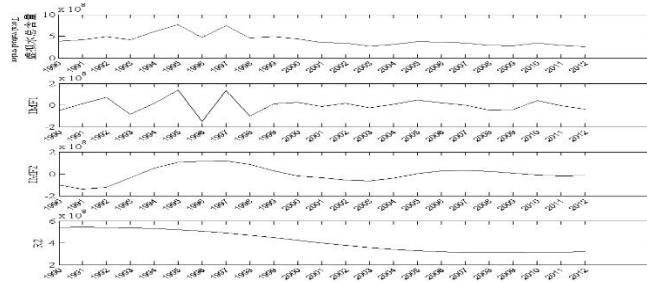


图 3 商洛市虚拟水总量变化的 IMF 分量及其趋势量 R
Fig.3 IMF and residual trend R of total virtual water changes in Shangluo City

备注:虚拟水总量单位 m^3 Note:The unit of total amount of virtual water is m^3

表 1 不同 IMF 分量的方差贡献率

Table 1 Variance contribution by IMF 1-2

项目 Project	IMF1	IMF2	R
平均周期 Average period (年)	3	10	∞
方差贡献率 Variance contribution(%)	47.36	52.64	

2.3 商洛市主要粮食作物总产量的波动分析

影响虚拟水总量的因素很多, 如虚拟水含量、粮食产量、作物需水量、粮食单产等, 由虚拟水总量的计算过程可知影响虚拟水总量最直接、最主要的因素为虚拟水含量和粮食总产量。本文仅对虚拟水总量影响最大的粮食产量进行 EMD 分析 (如图 4), 分解后得到 2 个 IMF 分量及趋势量 R 。由表 2 可知, IMF 1 分量表示的是准 3~4 年的周期性振荡, IMF 2 表示的是准 9.5 年周期性波动, 趋势项 R 则表示 1996 年以来, 商洛市的粮食产量不断增长, 尤其是 2000 年以来粮食产量逐渐趋于稳定, 且从方差贡献率来看, 粮食产量的波动周期以 3 年为主。现有研究认为中国粮食产量普遍存在 3~4 年左右的短周期波动^[22], 这与商洛市粮食产量的 EMD 方法分解出来的 IMF1 分量的周期是一致的。IMF2 分量表示的准 9.5 年的周期能更直观的体现商洛市粮食产量中时间尺度上的波动情况。

与图 3 对比可知, 粮食产量和虚拟水总量的原始数据系列在 95 年和 97 年一个达到极大值而另一个则达到极小值, 其余部分波形不一致。但二者的 IMF1 分量都是周期为 3~4 年的周期性震荡, 且虚拟水总量的 IMF1 分量与粮食产量波动的 IMF1 分量的峰谷基本吻合, 波形一致, 粮食产量的波动和虚拟水总量的波动基本同步。因此可以认为商洛市虚拟水总量的准 3 年尺度的波动主要受粮食产量波动的控制。同时将两者的 IMF2 分量进行对比, 二者都可以近似看作一个周期为 10 年的波动, 粮食产量的 IMF2 分量和虚拟水总量的 IMF2 分量峰谷相反, 但波形、振幅、峰谷接近, 可认为粮食产量的波动是影响商洛市虚拟水总量的准 10 年周期波动的主要控制因素。因而粮食产量的波动可看作是是影响商洛市虚拟水总量变化的主要控制因素。

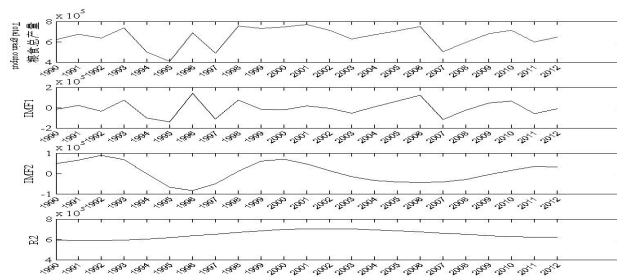


图 4 商洛市粮食产量变化的 IMF 分量及其趋势量 R
Fig.4 IMF and residual trend R of grain output changes in Shangluo City

备注:粮食总产量单位: t Note: The unit of total grain output is ton

表 2 不同 IMF 分量的方差贡献率
Table 2 Variance contribution of IMF 1-3

项目 Project	IMF1	IMF2	R
平均周期 Average period (年)	3.17	9.5	∞
方差贡献率 Variance contribution(%)	69.58	30.42	

2.4 不同视角下商洛市虚拟水总量的预测与分析

基于虚拟水的相关理论与方法,从粮食需求量和粮食供给量两个方面对未来商洛市的虚拟水总量进行预测,试图分析商洛市未来虚拟水对水资源的消费情况。

2.4.1 基于粮食需求量的虚拟水总量预测与分析 国家食物与营养咨询委员会提出中国食物发展的阶段性目标,到 2010 年达到基本小康社会,其中人均占有粮食达到 391 kg;预计到 2020 年全面达到小康社会,其中人均粮食占有量达到 437 kg;2030 年达到向富裕阶段过渡的水平,其中人均粮食占有量达到 472 kg,食物质量安全能够保证居民健康生活水平^[23]。根据阶段性目标以及商洛市粮食生产与食物消费的现状与趋势,综合推算未来商洛市人口发展的人均粮食需求在 2012 年为 400 kg,2020 年为 420 kg,2030 年为 450 kg,因此假设商洛市的水资源总量保持其多年平均水资源量不变,并按照已确立的粮食需求量则可以得到表 3(不考虑生活用水和工业用水)。

利用 GM(1,1)对其未来的人口趋势量进行预测,其结果如表 3 所示,可以看出基于人口发展的粮食需求量逐年增长,假如本地区的粮食自给率为 100%,那么虚拟水总量也将随着粮食需求量的增长大幅度增长,2020 年和 2030 年虚拟水总量将达到 8.21 和 9.15 亿 m³。此时虚拟水总量占水资源总量的百分比分别为 16.97%和 18.92%,可见随着社会的不断发展人类对粮食的需求量不断增长,虚拟水总量也随之在逐年增加,而水资源剩余量将不断的减少,本地区水资源安全的压力也越来越大。需注意的是这是不考虑人类生活用水和工业用水的情况,随着工业化进程的加快以及环境污染的影响特别是水污染的影响,可利用的水资源量将不断的减少。

表 3 基于粮食需求量的虚拟水总量与水资源剩余量对比情况表

Table 3 Comparison of the total amount of virtual water and water resource consumption based on grain demand

项目 Project	2012	2020	2030
人均粮食需求量 Per capita grain demand (kg)	400	420	450
人口趋势量 Population trends (10 ⁴)	248.8	256.28	267.17
粮食需求量 Grain demand (10 ⁴ t)	99.5	107.6	120.2
虚拟水总量 Total virtual water (10 ⁸ m ³)	7.58	8.21	9.15
水资源剩余量 Residual water resources (10 ⁸ m ³)	40.79	40.16	39.22
虚拟水总量占水资源总量的百分比 Total virtual water account for total water resources (%)	15.67	16.97	18.92

备注:水资源剩余量=水资源总量-虚拟水消耗量. Note: Residual water resources= Total amount of water resources -Virtual water consumption.

2.4.2 基于粮食供给量的虚拟水总量预测与分析 以对粮食产量分解的各 IMF 分量为 BP 神经网络预测方法的输入数据,并对其进行预测,对各预测结果求和即可得到粮食产量的预测值,结果如表 6。从未来粮食的供给量来看,截止 2012 年底,若人均粮食需求量为 400 kg 时,商洛市的粮食持有量远远不能满足人口发展的需要,供需缺口为 35.2 万 t,粮食自给率仅为 64.62%,此时可以通过从陕西省其他粮食充足的地区调入一定数量的粮食来缓解本地区的粮食压力。从中长期来看,至 2020 年 2030 年的粮食产量分别为 67.68 和 69.14 万 t,结合表 4 可知,这仍不能满足商洛市未来人口发展,但同时这是以不断挖掘耕地资源的最大粮食生产潜力为代价的,这对进一步提高未来人均粮食占有量的空间极为有限,将不利于未来农业的可持续发展和人民生活水平的提高。从虚拟水消耗的角度来看,截止 2012 年底,商洛市的虚拟水消耗量为 4.89 亿 m³,占水资源总量的 10.11%;到 2020 和 2030 年的虚拟水消耗量将分别为 5.15 和 5.26 亿 m³,占总量的 10.65%和 10.87%。从表 5 不难看出,商洛市水资源剩余量充裕,可以满足商洛市未来发挥耕地最大生产潜力的粮食生产的需要。

表4 基于粮食供给量的虚拟水消耗量与水资源剩余量对比情况表

Table 4 Comparison of virtual water consumption and water resource consumption based on grain supply

项目 Project	2012	2020	2030
人均粮食占有量 Per capita grain yield (kg)	258.52	264.09	258.79
人均粮食需求量 Grain demand per capita (kg)	400	420	450
粮食供给量 Grain supply (10 ⁴ t)	64.3	67.68	69.14
粮食需求量 Grain demand (10 ⁴ t)	99.5	107.6	120.2
虚拟水总量 Total virtual water (10 ⁸ m ³)	4.89	5.15	5.26
水资源剩余量 Residual water resources (10 ⁸ m ³)	43.48	43.22	43.11
虚拟水总量占水资源总量的百分比 Total amount of virtual water account for total water resources(%)	10.11	10.65	10.87

备注:水资源剩余量=水资源总量-虚拟水消耗量. Note:Residual water resources= Total amount of water resources -Virtual water consumption.

商洛市既是南水北调的重要水源涵养地,又是关中-天水经济区的次级核心区,基于粮食的供需平衡的角度对商洛市虚拟水的消耗情况进行分析对其水资源利用有着十分重要的意义。从粮食需求的角度来看,随着居民消费食品品质不断提高,人们对粮食的需求量逐年增加,若商洛市水资源量保持其多年平均值不变,水资源剩余量将随着粮食需求量的增加而大幅度减少;从粮食供给角度来看,商洛市耕地资源不断减少,且由于生态退耕的原因这种趋势将一直持续下去,即使是发挥最大粮食生产潜力,仍不能满足居民的粮食需求,但进一步提高粮食产量的水平有限,其粮食安全前景堪忧;从水资源剩余量来看,商洛市水资源充沛,但若保持粮食自给率100%的话,商洛市的水资源安全状况也令人堪忧,若发挥商洛市自身最大的粮食生产潜力,粮食对水资源的消耗则在一个相对较安全的状态下;从虚拟水的角度来看,随着未来对粮食的需求量的大量增加,本地区的生产的粮食不能满足自身发展的需要,需要调入大量的粮食来满足当地人口发展的需要,即需要从其他地区调入大量的虚拟水,以满足其自身发展的需要。

3 结论和讨论

3.1 结论

本文计算了商洛市主要农作物虚拟水含量,利用EMD分析商洛市主要农作物的虚拟水总量和粮食总产量的波动变化,并基于商洛市未来粮食需求量和粮食供给量两个方面预测了商洛市的虚拟水消耗情况。通过以上分析可以得到如下结论:

(1) 排除极端气候的影响,商洛市油菜的虚拟水含量最高,大豆和小麦的虚拟水含量依次递减,玉米的虚拟水含量最低。即种植玉米节水效率最高,大豆和小麦次之,油菜的节水效率最低。不同作物类型之间,油菜的单位面积全生育期需水量高于其他三种作物,但由于小麦和玉米的单位面积产量和种植面积明显高于油菜和大豆,所以表现为小麦全生育期内虚拟水消耗量最高而油菜的虚拟水消耗量最少。

(2) 从EMD分解结果来看,商洛市虚拟水总量的波动周期以10年为主,粮食产量以准3~4年周期波动为主。从EMD分析结果来看,粮食产量的波动是影响商洛市虚拟水总量变化的主要控制因素,基于粮食供需平衡角度对虚拟水消耗情况进行预测是可行的。

(3) 如果基于满足当地发展需求,到2030年虚拟水的消耗量将占当地水资源总量的18.92%;若基于最大限度的粮食供给量,商洛市粮食对水资源的消耗量将在2030年达到10.87%,仍需进口的虚拟水总量将占对水资源总量的8.05%。

(4) 商洛市本身属于水资源充沛的地区,属于南水北调的重要水源地但是由于农业耕种条件较差,粮食自给率低,需要从其他地区调入大量的粮食,即大量的虚拟水来满足地区发展的需要,因而商洛市水粮矛盾显著。从虚拟水的角度来看,商洛市的种植结构可以调整为种植粮食单产较高且虚拟水含量较低的冬小麦和夏玉米适当减少油菜和大豆的种植;粮食进口结构可以调整为以粮食单产较低且虚拟水含量较高油菜和大豆的调入为主,冬小麦和夏玉米的调入为辅。

3.2 讨论

(1) 本文在计算各作物虚拟水含量时,只计算了集中种植面积大且在粮食总产量所占比重较大的四种作物,由于数据获取困难缺少对蔬菜瓜果等作物的虚拟水含量的计算,与实际情况稍有不符,导致此数据计算结果偏小,但因蔬菜瓜果等作物种植面积小,产量较低,对结果的影响不显著。

(2) 目前对虚拟水小尺度的研究大都集中在虚拟水的空间分布格局和基于空间分布不平衡格局对地区农业生产的影响分析上,而基于小尺度对虚拟水过去二十多年的虚拟水总量波动进行分析,利用 EMD 方法分析其虚拟水总量波动主要控制因素,结合商洛市的未来对粮食的需求量和供给量对未来的虚拟水总量进行预测准确性较高。

(3) 本文的对虚拟水的相关研究尚处于初级阶段,仍有许多不足,比如:①在基于未来的粮食需求量和供给量对未来商洛市水资源消耗量进行分析的时候,只考虑了粮食中的虚拟水对水资源的消耗情况,缺少对农业灌溉用水、生活用水和工业用水等方面的综合考虑。②只考虑了虚拟水总量时间序列的变化,缺少对虚拟水总量时空格局差异的综合分析。③对影响虚拟水波动的主要控制因素进行分析时,只考虑了对虚拟水中长尺度波动影响最大的粮食产量进行了分析,缺少对其他影响虚拟水总量波动的因素如对耕地分析。本文存在的不足之处,同时也是进一步深入研究的方向。

参考文献

- [1] Allan JA. Fortunately There are Substitutes for Water: Otherwise Our Hydro-political Futures Would be Impossible[C]. Landon: Priorities for Water Resources Allocation & Management & Engineering Advisers Conference, 1993:13-26
- [2] Hoekstra AY. Virtual water trade: an introduction. In: Hoekstra AY. Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series (No.12). IHE Delft: 2003:13-23
- [3] Hadas E. Barriers Preventing Food Security in Israel, 2050[J]. Managing Global Transitions, 2014,12(1):3-22
- [4] Zhao QB, Liu JG, Khabarov N, *et al.* Impacts of climate change on virtual water content of crops in China[J]. Ecological Informatics, 2014,19(385):26-34
- [5] Liu J, Wu P, Wang Y, *et al.* Impacts of changing cropping pattern on virtual water flows related to crops transfer: a case study for the Hetao irrigation district, China[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014,94(14):2992-3000
- [6] 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
- [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] 孙才志,刘玉玉,陈丽新,等.中国粮食贸易中的虚拟水流动格局与成因分析:兼论“虚拟水战略”在我国的适用性[J].中国软科学,2010(7):36-44
- [9] 韩雪,孙才志.中国主要农产品虚拟水流动格局形成机理研究[J].资源科学,2013,35(8):35-44
- [10] 孙才志,韩雪,秦晓楠.中国区际间主要农产品虚拟水流动格局稳定性[J].地理研究,2014,33(3):478-489
- [11] 邹君,杨玉蓉,毛德华,等.中国虚拟水战略区划研究[J].地理研究,2010,29(2):253-262
- [12] 黄姣,高阳,李双成.东北三省主要粮食作物虚拟水变化分析[J].北京大学学报:自然科学版,2011,47(3):505-512
- [13] 杨婷,秦丽杰,沈淑平.吉林省玉米虚拟水地域分异研究[J].资源开发与市场,2014,30(5):586-588
- [14] 黄会平,曹明明,宋进喜,等.河南省农作物虚拟水含量时空分异特征[J].地域研究与开发,2015,34(3):167-171
- [15] 刘红梅,李国军,王克强.基于引力模型的中国农业虚拟水国内贸易影响因素分析[J].中国农村经济,2011(5):21-32
- [16] 刘红梅,王克强,刘静.虚拟水贸易及其影响因素研究[J].经济经纬,2008(2):50-53
- [17] 刘会玉,林振山,张明阳.基于 EMD 的我国粮食产量波动及其成因多尺度分析[J].自然资源学报,2005,20(5):745-751
- [18] 李新旺,王树涛,门明新,等.基于 EMD 的河北省粮食产量波动及其成因的时空多尺度分析[J].自然资源学报,2009,24(11):1994-2004
- [19] Zimmer D, Renault D. Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary result[C]// Hoekstra AY. Virtual water trade. IHE Delft, 2003:93-107
- [20] 刘钰, Pereira LS.对 FAO 推荐的作物系数计算方法的验证[J].农业工程学报,2000,16(5):26-30
- [21] Huang NE, Shen Z, Long SR, *et al.* The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998,454(1971):903-995
- [22] 封志明.中国未来人口发展的粮食安全与耕地保障[J].人口研究,2007,31(2):15-29
- [23] 卢良恕.新时期的中国食物安全[J].中国农村科技,2004(1):4-5