

中国粮食虚拟水驱动效应与空间联动分析

徐欣¹, 葛宜虎²

(1. 河海大学公共管理学院, 江苏南京 211100

2. 江苏省徐州市新沂市水利局, 江苏 新沂 221400)

摘要:以中国粮食虚拟水为主要研究对象,运用 LMDI 指数分解法,对粮食生产用水量的驱动效应进行分解,从结构、粮食产量、经济发展和人口规模 4 个重点驱动效应方面实行量化研究,并利用 geoda 软件求得莫兰指数,分析粮食用水量的空间相关性以及其各种驱动效应在省际间的影响,并针对中国粮食生产用水的现状提出建议。

关键词:粮食;虚拟水;驱动因素;指数分解法

中图分类号:F323.213

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2018)06-0031-06

根据目前国内外的参考文献,当前关于粮食虚拟水方面的研究主要集中于以下两种:①粮食虚拟水的计算及其流动规律研究;②区域粮食虚拟水贸易的驱动因素分解^[1]。但是,国内外对于影响粮食生产虚拟水量自身变化的驱动因素却少有人关注,尚未有学者使用指数分解法对影响粮食生产虚拟水的驱动因素进行研究。当前分解驱动因素的方法一般有两种:指数分解法(IDA)和结构分解法(SDA)。其中,IDA能直接对各单位的驱动因素数据进行分解,而SDA则会因投入产出数据而受到一定的局限。所以,IDA比SDA在实际研究中应用更为广泛,特别是在能源消耗和污染物排放的影响因素分析研究中^[2]。2004年,有学者通过对各种已有的分解方法做出对比研究,最后得出LMDI指数分解法在各方面都具有相对而言更大的优势的,例如在理论基础、适用性、易用性和结果阐释方面。在能源和水资源研究中LMDI指数分解法都已经有了广泛应用,而且效果都还不错^[3]。目前在水资源领域采用LMDI指数分解法的研究主要包括:全国细分行业实体水资源消耗驱动因素分解、省域生产用水消耗方面的影响因素分析和单个因素(如区域因素、技术进步等)对水资源消耗的影响分析^[4]。

基于此,笔者先计算出了2005—2014年中国5种主要粮食生产虚拟水量,再根据相关标准把全国划分为东部、中部、西部3个地区,采用LMDI指数

分解法分别计算出粮食生产虚拟水总量变化的4个驱动因素的贡献值,然后根据贡献值变化趋势分析这4个驱动因素分别对东、中、西部3个地区粮食生产虚拟水变化的影响,接着再分别测算这3个地区粮食生产虚拟水同时受4个驱动因素的影响情况,最后对粮食生产和地区农业经济政策制定以及水资源管理和如何建设节水型社会给出相关建议。

粮食安全和水资源安全是关系国计民生的重大问题,在全球化背景下,中国的粮食安全与水安全问题已成为热点。虚拟水概念的出现为分析和研究水资源与粮食安全问题提供了新的思路^[5]。基于目前已有的对虚拟水的研究文献,笔者首先计算出我国东中西三大地带五类主要粮食虚拟水总量,借助LMDI指数分解法对我国2005—2014年间东中西三大地带的粮食生产虚拟水空间差异进行分解;然后使用geoda软件算出了4个典型年的莫兰指数,探讨粮食虚拟水的空间变化。同时探究了粮食生产虚拟水和区域资源经济要素的关系,旨在揭示我国粮食生产虚拟水经济资源时空差异演变特征以及粮食生产虚拟水区域差异背后的农业集约化时空分布特征,为规划不同地域的农业发展提供理论依据^[6]。

1 数据来源

分解2005—2014年间粮食生产虚拟水的驱动

因素。由于各地区情况不同,受多种地域因素的影响,将全国划分为东部、中部、西部3个地区(表1),然后计算3个地区的粮食生产虚拟水总量,并对其4个影响因素进行分解。

表1 中国三大地带划分

东部	中部	西部
辽宁、北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西、海南	黑龙江、吉林、内蒙古、山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西	新疆、甘肃、宁夏、西藏、青海、四川、重庆、贵州、陕西、云南

1.1 粮食生产虚拟水计算方法

依据国际贸易商品中的分类情况,将中国大陆地区31个省市自治区(港澳台数据尚未收集)作为研究区域,研究31个省市自治区的5类主要粮食(稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类)的粮食生产虚拟水。这五类粮食包括了《中国统计年鉴》上标注的主要粮食的所有种类,足以反映中国31个省市自治区的粮食生产消费情况。各地区粮食生产虚拟水量计算所需的各类粮食生产虚拟水含量相关数据来自联合国粮农组织FAOSTAT数据库(表2)。一个地区的粮食生产虚拟水含量等于该地区各类粮食产量与单位粮食的虚拟水含量的乘积之和(图1)。全国3个地区的粮食生产虚拟水总量在10年间都逐渐增长,趋势也是近乎一致。其中,中部地区的粮食生产虚拟水量居于首位,其次是东部,西部的粮食生产虚拟水总量居最末位。2014年,中部地区粮食生产虚拟水总量为3706.34489亿m³,相比2005年总共增长1046.2869亿m³,东部地区增长了220.409708亿m³,西部地区增长了206.493929亿m³。3个地区较2005年分别增长了39.33%,11.9%,15.01%。根据图2可以看出,2005—2014年间,3个地区粮食虚拟水消费量都很稳定,且有缓慢上升趋势。

表2 中国主要粮食产品单位质量虚拟水含量 m³/kg

农产品	虚拟水含量
稻谷	1.100
小麦	1.070
玉米	0.740
豆类	2.170
薯类	1.102

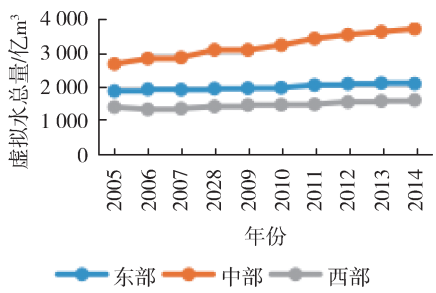


图1 粮食生产虚拟水总量变化趋势

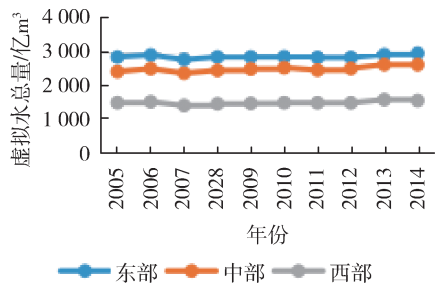


图2 粮食消费虚拟水消费变化趋势

1.2 驱动因素分解的基础数据来源

根据2006—2015年《中国统计年鉴》,得到全国31个省市自治区的5种粮食的产量、人口数、地区生产总值以及文中结构效应中的各地区粮食虚拟水消费量所涉及的各地区粮食消耗量。

2 模型与方法

根据LMDI指数分解法,将影响粮食生产虚拟水量变化的驱动因素分解为以下4种:结构效应、产量效应、经济效应和人口效应,从这4个效应来分析3个地区粮食生产虚拟水总量在10年间的变化以及量化各地区对粮食的需求、粮食产量、经济发展和人口规模这4个因素对粮食生产虚拟水量增长的影响。

综上所述,构建粮食生产虚拟水总量模型表达式:

$$VW = \sum Q_{ij} W_{ij} \quad (1)$$

式中:VW为粮食生产虚拟水总量;i为省份;Q_{ij}为i省j产品的产量;W_{ij}为j产品的单位虚拟水含量;

对式(1)进行分解得到式(2):

$$VW = \sum VW_i / \sum APV_i \times \sum APV_i / \sum GDP_i \times \sum GDP_i / \sum P_i \times \sum P_i \quad (2)$$

式中:APV_i为i省粮食产量;GDP_i为i省地区生产总值;P_i为i省人口数。

令 X = ∑ VW_i / ∑ APV_i, Y = ∑ APV_i / ∑ GDP_i, Z = ∑ GDP_i / ∑ P_i, P = ∑ P_i, 则模型可简化为式(3):

$$VW = XYZP \quad (3)$$

式中:X为地区粮食虚拟水消费量;Y为地区粮食产量;Z为人均地区生产总值;P为常住人口数。

4种效应都以每一年的上一年作为基期做环比分析。运用LMDI指数分解法中的加和分解方法,对表达式(3)分解可得:

$$\Delta VW = VW(t) - VW(t-1) = X_{\text{eff}} + Y_{\text{eff}} + Z_{\text{eff}} + P_{\text{eff}} \quad (4)$$

其中:

$$X_{\text{eff}} = \frac{VW(t) - VW(t-1)}{\ln[VW(t)/VW(t-1)]} \ln \frac{X(t)}{X(t-1)} \quad (5)$$

$$Y_{\text{eff}} = \frac{VW(t) - VW(t-1)}{\ln[VW(t)/VW(t-1)]} \ln \frac{Y(t)}{Y(t-1)} \quad (6)$$

$$Z_{\text{eff}} = \frac{VW(t) - VW(t-1)}{\ln[VW(t)/VW(t-1)]} \ln \frac{Z(t)}{Z(t-1)} \quad (7)$$

$$P_{\text{eff}} = \frac{VW(t) - VW(t-1)}{\ln[VW(t)/VW(t-1)]} \ln \frac{P(t)}{P(t-1)} \quad (8)$$

式中: X_{eff} 为结构效应,是指一定时间某地区对粮食虚拟水消费量,可以间接表示该地区人们对粮食的需求量对该地区粮食生产虚拟水总量的影响; Y_{eff} 为产量效应,是指粮食产量,粮食生产虚拟水总量是和粮食产量息息相关的,能侧面反映我国粮食虚拟水的状况; Z_{eff} 为经济效应,指人均地区生产总值,可以反映地区经济发展状况,可以用来反映经济发展对该地区粮食生产虚拟水总量的影响; P_{eff} 为人口效应,人口规模对一个地区的粮食消耗量有着极大影响,所以以各地区常住人口数来计算人口规模对地区粮食虚拟水总量的贡献值。

各效应计算出的贡献值若为正即表示该效应造成该地区粮食生产虚拟水总量增加;贡献值若为负,则表示该效应对该地区粮食生产虚拟水总量提升的影响是负面的。

3 计算结果与分析

3.1 4个效应同时对粮食生产虚拟水量的影响差异分析

依据式(5)一式(8),绘制出结构、产量、经济以及人口这4个驱动因素对东、中、西部3个地区粮食生产虚拟水总量变动影响贡献值的折线图(图3—图5),详细结果见表3。这4个驱动因素分别对这3个地区的粮食生产虚拟水总量变化的贡献值的趋势趋同,只是在贡献的具体数值上有一定的差别。经济效应对粮食生产虚拟水量的变化起到明显的拉动作用,而结构效应、产量效应和人口效应,对各地区粮食生产虚拟水量变化的影响稍小一些,但整体来看也是呈促进作用的。在这4个效应的共同影响下,西部地区2014年较2005年粮食生产虚拟水量共增加了206.494亿 m^3 。

根据图3,东部地区粮食生产虚拟水总量受到经济效应的拉动作用最大,结构效应和人口效应对东部地区的影响呈现一致的趋势,在2005—2007年间及2009—2013年波动较大,且波动的趋势是近乎一致的,产量效应对东部地区粮食生产虚拟水总量起到轻微的拉动作用,而在2008、2009和2013年呈

现负值。根据图4,经济效应对中部地区粮食生产虚拟水量的拉动作用依旧显著,其次是产量效应、人口效应和结构效应。根据图5,人口效应对西部粮食生产虚拟水总量的贡献值非常稳定没有波动,而产量效应和结构效应在2006年呈相反趋势,经济效应仍然是影响该地区粮食生产虚拟水量的最大因素。

结合表3,4个效应对东、中、西部3个地区粮食生产虚拟水总量10年间的贡献值从大到小排序均为经济效应、产量效应、人口效应、结构效应。

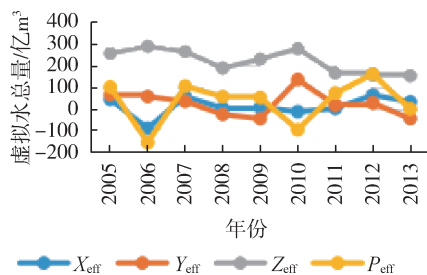


图3 4个效应对东部地区粮食虚拟水总量的影响

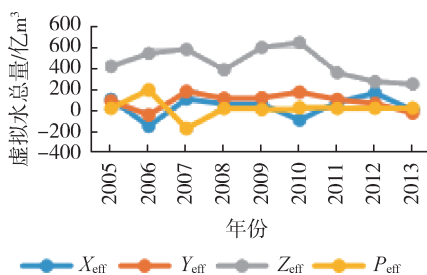


图4 4个效应对中部地区粮食虚拟水总量的影响

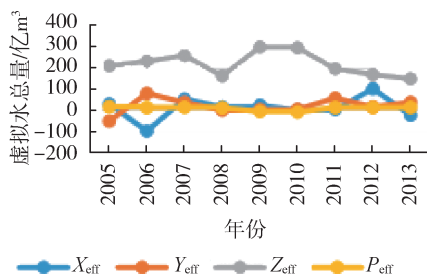


图5 4个效应对西部地区粮食虚拟水总量的影响

3.2 4个效应对东、中、西部地区的影响差异分析

综合表3和图6、图7、图8、图9可以看出4个效应总体上对粮食生产虚拟水总量起到了正面影响,2005—2014年,3个地区在4种效应的影响下,东、中、西部粮食生产虚拟水总量累计分别增加了2316.82亿 m^3 ,4870.94亿 m^3 和2267.21亿 m^3 。

结构效应和产量效应对东、中、西部的粮食生产虚拟水量影响程度曲线基本一致。2005—2006年、2009—2010年,由于需求减少,使得本该是正值的需求效应贡献值降为负值,抑制了粮食生产虚拟水

表3 粮食虚拟水总量变动分解

年份	东部				中部				西部			
	X_{eff}	Y_{eff}	Z_{eff}	P_{eff}	X_{eff}	Y_{eff}	Z_{eff}	P_{eff}	X_{eff}	Y_{eff}	Z_{eff}	P_{eff}
2005—2006	40.90	62.73	254.55	-108.52	98.47	83.05	413.39	12.80	25.62	-55.11	203.46	12.23
2006—2007	-92.83	54.55	287.02	21.87	-158.78	-51.66	535.76	188.15	-101.94	75.18	224.76	8.59
2007—2008	54.13	31.73	262.93	18.62	102.70	174.56	576.08	-180.24	47.97	32.21	251.74	10.00
2008—2009	0.15	-28.60	185.67	17.50	54.10	-108.26	380.19	10.52	12.25	-4.36	155.98	7.01
2009—2010	4.36	-48.38	227.78	47.33	49.63	113.96	594.38	1.20	19.55	-1.64	291.85	-9.58
2010—2011	-15.63	133.09	276.44	35.24	-99.66	167.47	641.78	18.41	-3.37	0.71	288.39	-12.67
2011—2012	-1.48	16.06	163.88	15.04	70.34	98.01	352.98	11.21	-1.04	52.62	189.64	9.03
2012—2013	61.37	24.28	155.55	13.51	158.92	58.22	267.55	13.25	96.67	11.53	162.45	8.94
2013—2014	29.95	-48.01	150.89	13.15	-3.35	-33.22	244.05	14.98	-27.60	33.47	143.38	9.29
合计	80.92	197.45	1964.71	73.74	272.37	502.13	4006.16	90.28	68.11	144.61	1911.65	142.84

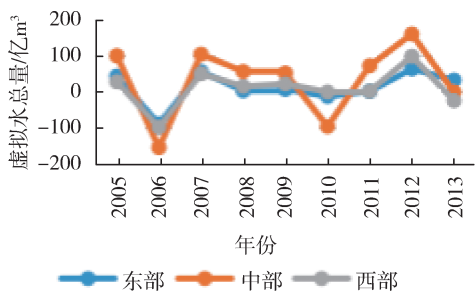


图6 结构效应对3个地区粮食生产虚拟水的影响

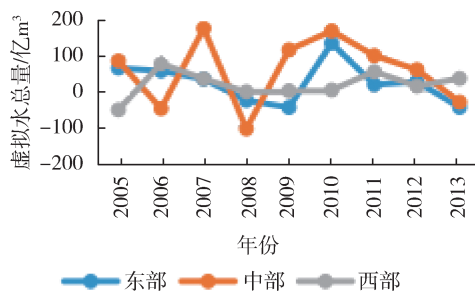


图7 产量效应对3个地区粮食生产虚拟水的影响

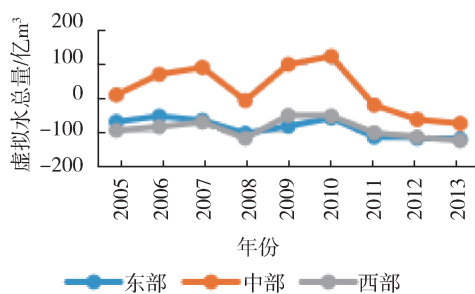


图8 经济效益对3个地区粮食生产虚拟水的影响

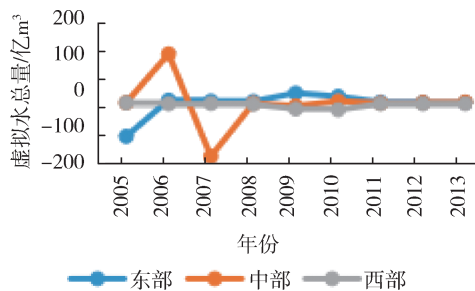


图9 人口效应对3个地区粮食生产虚拟水的影响

量的增长,在结构影响下的3个地区的粮食生产虚拟水量平均增加仅为54.997亿 m^3 、24.513亿 m^3 。2007—2008年、2012—2013年,由于产量减少,使得本该是正效应的产量变为负值,对粮食生产虚拟水量的增长起到了压制作用,在产量影响下的东、中、西部地区的粮食生产虚拟水量平均增加仅为79.5亿 m^3 、31.343亿 m^3 。

经济效应对3个地区的粮食生产虚拟水量作用起到明显的拉动作用,虽然存在波动,但经济效应一直为正值,2005—2013年,在经济效应影响下的3个地区的粮食生产虚拟水量平均增加2 627.507亿 m^3 。

3.3 空间全局空间自相关分析

笔者利用geoda软件计算了2005—2014年中国31个省市粮食生产虚拟水的全局自相关莫兰指数,空间权重 W 取常用的一阶邻近矩阵,结果通过了5%显著性检验。本文选取2005、2008、2011、2014年4个典型年的全局莫兰指数,在典型年中一直在0.4以上,并总体保持稳定的状态,详见图10。

Moran散点图中的第一、三象限代表空间相关性为正,第二、四象限代表空间相关性为负。由图10可知:2005—2014年间,从散点图可以看到绝大多数省份都处于第一或第三象限,这表明中国粮食用水量在空间上存在较强的正相关关系。随着时间的推移,粮食生产虚拟水量的空间正相关性呈现“先增后减”的趋势。这表明在中国经济发展早期,各省的经济发展及粮食生产虚拟水量之间存在着较强的关联性;但随着社会的发展,各省在经济发展定位以及相关发展措施上“因地制宜”,因此对于粮食生产虚拟水量的需求也会不同,所以导致了粮食生产用水量的空间正相关性在2013年以后逐渐减弱^[7]。

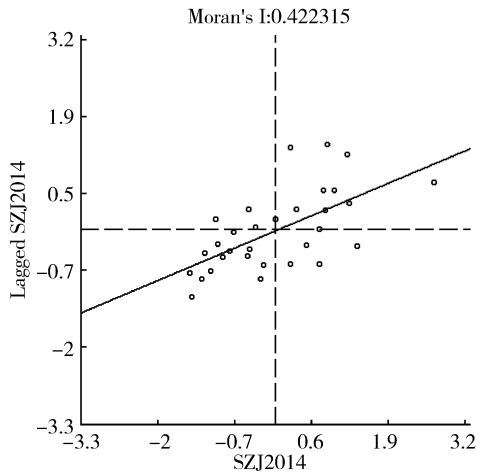
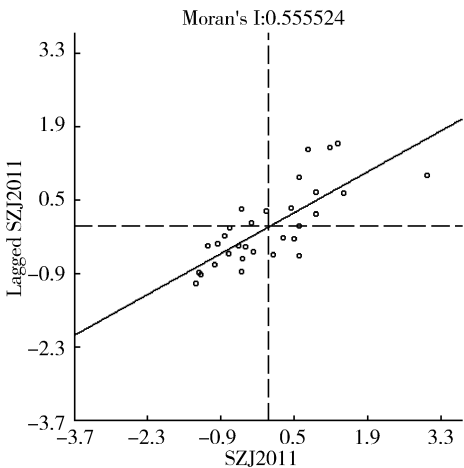
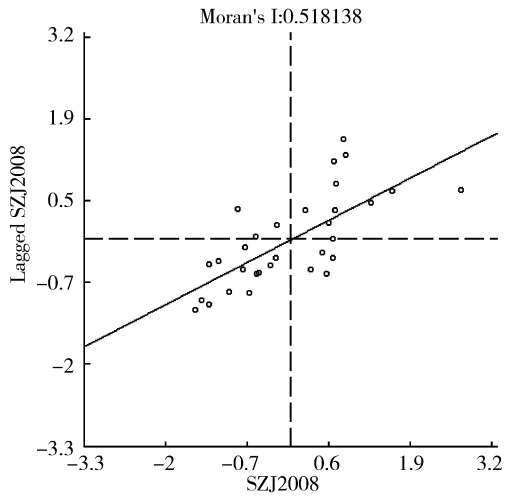
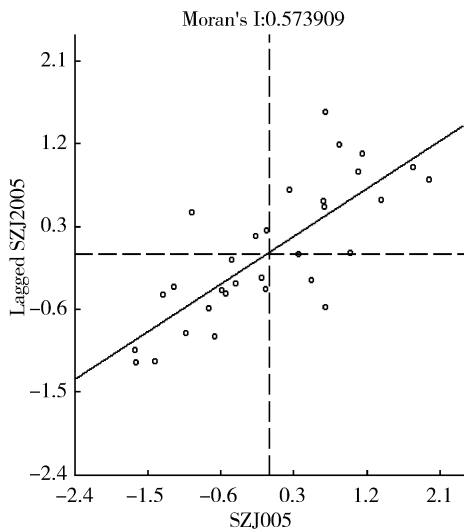


图 10 典型年份中国 31 省市区粮食生产虚拟水莫兰指数

4 结论与建议

4.1 结论

根据以上计算结果得出以下结论:

(1) 4 个效应对东、中、西部 3 个地区粮食生产虚拟水总量的贡献值从 2005 到 2014 年呈现的趋势基本是一致的,按贡献值从大到小依次为经济效应、产量效应、人口效应、需求效应。3 个地区粮食生产虚拟水总量提升主要是受到经济效应和产量效应的影响,其中经济效益的拉动作用尤为显著。

(2) 产量效应和需求效应对东、中、西部地区粮食生产虚拟水总量的影响逐年变化趋势是基本趋同的;除此之外经济效益对东、中、西部粮食生产虚拟水总量增长的推动作用很明显,其中东、中部地区受到经济效益的拉动作用较西部地区大,西部地区受到的拉动作用相比较小;人口效应整体而言对东、中、西部地区粮食生产虚拟水总量起到拉动作用,其中西部地区粮食生产虚拟水受到的拉动作用最明显而且非常稳定,东、中部地区在 2005—2007 年受到的影响波动较大,尤其是中部地区。但从 2008 年开

始,人口效应对 3 个地区的粮食生产虚拟水总量的贡献量变化趋势和具体贡献值都开始逐渐接近,虽然有小幅的波动但总体来讲还是平稳发展的。

4.2 建议

为了节约粮食生产用水,打造节水型社会,需要对粮食生产进行调节。首先要根据各地的消费量和消费结构来将各地区粮食生产的种类合理分布且将产量控制在适度的范围内;其次在粮食生产过程中也要重视水资源节约问题,加大科技投资力度,积极推广先进的粮食生产技术,尽可能减少农业用水浪费,使其达到帕累托最优^[8]。在关注经济增长的同时,科技的进步同样不容忽视,提高科技投资,促进粮食种植加工节水技术的发展,同样产量的粮食所耗费的水资源就会相应减少,随即抑制产量效应对东、中、西部地区粮食生产虚拟水总量的拉动作用;根据各地区粮食需求合理调整粮食的生产量和生产结构,使其能满足人们的粮食刚需和加工出口需要而不造成浪费;经济增长不管从整体还是单个地区来看都对粮食生产虚拟水总量起到了很大的推动作用,所以在发展经济的同时不能忽视节约水资源的

重要性,必须加紧建设节水型社会,守住“三条红线”,明确水资源管理的主要目标,实行最严格的水资源管理制度,在大力发展经济的同时提高水资源的利用效率,推进可持续发展^[9];在制定不同地区经济发展和水资源管理的政策方面,应该意识到一味追求经济增长的发展模式是不符合绿色持续发展理念的,需要提高水资源的利用效率,完善各地区水资源管理制度、提升各地区水土资源单位面积产量^[10]。与此同时,合理控制各地区人口数量,满足人们对除了五大主要粮食以外其他替代品食物的需求,可以有效抑制粮食用水的增长,促进经济协调持续发展。

参考文献:

[1] 鲁仕宝,黄强,马凯. 虚拟水理论及其在粮食安全中的作用[J]. 农业工程报,2010,26(5):59-64.
[2] 王海兰,牛晓耕. 基于水资源承载力的东北三省虚拟水贸易实证研究[J]. 国际贸易问题,2011(5):69-79.
[3] 程中海. 干旱区绿洲农产品虚拟水贸易足迹实证研究:以新疆为例[J]. 国际贸易问题,2013(10):77-89.

[4] 高秀清. 我国水资源现状及高效节水型农业发展对策[J]. 南方农业,2016,10(6):233-236.
[5] 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.
[6] TONY A. Virtual water; a long term solution for water short middle eastern economics[M]. London, UK: University of Leeds,1997.
[7] HOKESTRA A Y. Virtual water trade proceeding of the international expert meeting on virtual water trade[M]. Delft; The Netherlands,2003.
[8] 马静,汪党献,HOKESTRA A Y,等. 虚拟水贸易在我国粮食安全中的应用[J]. 水科学进展,2006,17(1):102-107.
[9] VON BRAUN J, MEINZEN-DICK R. Land grabbing by foreign investors in developing countries; risks and opportunities[R]. Washington DC:IFPRI,2009.
[10] ANG B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method [J]. Energy Policy, 2004,32(9):1131-1139.

(收稿日期:2018-04-17 编辑:陈玉国)

· 简讯 ·

河海大学参与承办长江生物资源保护论坛

2018年11月3日至4日,由农业农村部 and 湖北省人民政府共同主办的长江生物资源保护论坛在武汉举行,论坛以“保护生命长江,建设美丽中国”为主题。河海大学与农业农村部长江流域渔政监督管理办公室、世界自然基金会(WWF)联合主办大河流域保护管理分论坛。

大河流域保护管理分论坛聚焦“推动生物资源协同保护,助力长江绿色发展未来”,探索以长江为代表的世界大河流域生态环境综合治理措施。河海大学水文水资源学院院长杨涛教授代表承办单位致辞,并作“保障长江经济带绿色发展的水安全科技支撑思考”主题报告。报告从人水和谐理念、流域综合管理、水生态功能恢复等方面,对统筹构建和谐健康的水系网络进行了深入分析和阐释,并提出高等院校要更加深入地研究新时期河湖健康影响因子及其相互关系,建立和优化智慧河湖管理模型,协助政府更好地决策与行动。

分论坛上,河海大学与世界自然基金会、长江科学院、生态环境部环境规划院、同济大学、中国科学院地理科学与资源研究所等组织和单位共同合作,正式启动《长江生命力报告》项目。该项目将以“长江生命力指数”为核心,评估长江流域的物种多样性、湿地、水质、流量及水系连通性等生态系统重要要素,来纵观水生态、水污染及水资源三方面的综合健康状况。评估和分析结果将为如何通过政策响应和社会响应来减少压力、改善长江健康状态、提升生态系统服务功能提供科学支撑。

80余位国内外专家代表分享了加拿大圣劳伦斯河、亚洲湄公河流域、日本琵琶湖等国际案例,与长江大保护与综合治理研究和实践经验一起,深入讨论流域协同保护机制。

(本刊编辑部供稿)