

河南省主要农作物 虚拟水空间分布及水资源配置研究

白景锋, 杨 杰

(南阳师范学院 环境科学与旅游学院, 河南 南阳 473061)

摘要: 虚拟水是当今水科学的研究热点,被认为是解决粮食与水资源安全的重要策略。在计算河南省 2009 年 3 种主要农作物生物需水量的基础上,结合作物单产得到初级产品单位虚拟水含量,明晰了这 3 种主要农作物的“虚拟水”空间分布格局。研究结果表明:河南省 3 种主要农作物中,棉花的单位虚拟水含量最高,玉米最小。空间上小麦的单位耗水量在三门峡最高,漯河最低;玉米的单位耗水量在三门峡最高,许昌最低;棉花的单位耗水量在鹤壁最高,信阳最低;3 种作物单位虚拟水含量从东南向西北增加,尤其在东西方向最明显,但是不同作物又有细微差别。中东部水资源短缺区应提高玉米和小麦的种植面积,丘陵和山前平原单位耕地地表水丰富区可种植虚拟水含量较高的作物。提供了从虚拟资源视角认识水资源消耗的实证,可以对河南省农作物布局提供科学依据。

关键词: 虚拟水;农作物;水资源配置;河南省

中图分类号: TV211.1

文献标志码: A

文章编号: 1003-2363(2012)03-0167-05

0 引言

随着经济和社会的发展,缺水已经成为许多国家和地区经济可持续发展的重要制约因素。河南是我国严重缺水的地区之一,1hm² 耕地占有水资源量为 5 555.25 m³,人均水资源量约为 352 m³,仅为全国人均水资源占有量的 16%。弥补淡水资源不足,破解缺水难题,成为河南省可持续发展的重点和难点。

虚拟水是指生产商品或服务所需的水资源量^[1-2],是近年来国际水资源问题研究的创新领域和热点问题。虚拟水一词是英国学者 Tony Allan 在 1993 年首次提出的,他将其定义为生产农产品所需要的水资源量,后经 Hoekstra 进一步拓展为目前公认的虚拟水概念:生产商品和服务所需要的水资源数量^[3]。我国对虚拟水及虚拟水战略的研究起步较晚,2003 年程国栋院士首先将虚拟水的概念引入国内,认为虚拟水为中国水资源安全战略提供了新思路^[4]。目前,我国诸多学者在该领域开展了广泛研究,主要包括以下方面:(1)单位产品虚拟水量化研究。徐忠民等介绍了虚拟水的计算方法,并计算了甘肃省 2000 年生产和消费的虚拟水量^[5]。(2)虚拟水贸易研究。马静等分析了我国南北方各地区间的虚拟水流量。王新华对河南、湖北、江西、湖南 4 省的虚拟水贸易进行了估算。(3)水足迹研究。龙爱华、徐中民研究了 2000 年西北四省的水足迹^[6]。孙才志等结合基尼系数和锡尔指数对中国水足迹强度时空差异进行了研

究^[7]。虚拟水研究对缺水国家或地区通过贸易方式从富水国家或地区购买粮食等水密集型产品以获取水和粮食安全具有重要战略指导意义。河南省是我国的粮食生产大省,研究主要农作物“虚拟水”的空间分布对于合理布局河南省的粮食生产具有重要的指导意义。

1 研究区概况

河南省处于我国东部季风区的中部,大致以伏牛山主脊与淮河干流连线为界,界南属北亚热带湿润区,界北属暖温带半湿润区。气候特点是春季干旱多风沙,夏季炎热多雨水,秋季晴爽日照长,冬季寒冷少雨雪,具明显的过渡性和季风型特色。全省年均气温稳定在 14℃左右,具有由北向南递增、由东向西递减的趋势。分属于北亚热带范围内的信阳和南阳地区,年均气温 15℃左右,全年日均气温≥0℃的“温暖期”320 d 以上;日均气温≥5℃的植物“生长期”达 260 d 以上;日均气温≥10℃的植物“生长活跃期”220 d 以上,积温 4 700℃~5 000℃,无霜期多在 220~240 d。分属于暖温带范围内的大部分地区年均气温在 13℃~14.5℃,全年日均气温≥0℃的“温暖期”300~320 d;日均气温≥5℃的植物“生长期”达 240~260 d;日均气温≥10℃的植物“生长活跃期”200~220 d,积温 4 300℃~4 700℃;豫西山地和豫北太行山地因地势较高,年均气温在 12.1℃~12.7℃,全年日均气温≥10℃的植物“生长活跃期”187~197 d,积温 3 500℃~3 700℃^[8]。河南省是我国的粮食主产区,从 1978 年到 2008 年河南省的粮食总产量一直呈上升趋势,总产量从 1978 年的 2 097.4 万 t,增加到 2009 年的 5 389.0 万 t,年均增长 3.18%,占全国粮食产量的 10%。河南省的小麦、玉米和棉花等主要农产品产量均

收稿日期: 2011-11-09; 修回日期: 2012-02-24

作者简介: 白景锋(1972-),男,陕西洛南县人,副教授,硕士,主要从事资源开发与区域发展研究,(E-mail)bjf813@sina.com.cn。

居全国前列,2009 年河南省小麦、玉米和棉花产量占全国产量的 26.5%,10%和 8.1%,小麦和玉米占全省粮食总产的 56.7%和 30.3%。

2 计算过程及数据来源

本研究采用 FAO—56 推荐的计算模式,选取小麦、玉米和棉花 3 种农作物进行虚拟水计算。农作物的虚拟水估计值为作物生长发育期间的累积蒸发蒸腾水量,影响因素包括气象因素、作物类型、土壤条件和作物的生育期等。

2.1 潜在蒸散 ET_0

ET_0 也称为参考作物蒸发蒸腾水量,定义为一种假想的参考冠层的蒸散率。 ET_0 表征气象因子的影响,涉及太阳辐射、日最高气温和最低气温、相对湿度、平均风速、日照时数几个变量,目前计算方法主要采用 Penman-Monteith 公式^[9]。

2.2 作物系数

用作物系数对潜在蒸散予以修正,就可以将作物类型和作物生长地的土壤等环境因子的影响考虑进去。作物蒸散量计算公式为:

$$Et_c = K_c \times ET_0$$

式中: Et_c 为作物蒸散量; ET_0 为参考作物蒸发蒸腾水量; K_c 为作物系数,各种作物系数参考前人的研究^[10,12],结合河南省实际情况,确定小麦、玉米、棉花的作物系数,是作物全生育期作物系数平均值。

$$CWR = 10 \times K_c \times \sum_{i=1}^n ET_0$$

式中: CWR 为单位面积作物全生育期需水量 (m^3/hm^2); K_c 为相应的作物系数; ET_0 为作物生育期内的逐日潜在蒸散量 (mm/d); n 为作物生育期的总天数。

2.3 作物全生育期需水量

河南省 3 种作物的播种时间、收获时间和全生育期天数由文献得到^[12-13],为多年观测的平均值。作物全生育期需水量用下式计算: $VWC = CWR/CY$ 。式中: CWR 为单位面积作物全生育期需水量 (m^3/hm^2); CY 为单位面积农作物产品产量 (kg/hm^2)。

2.4 数据来源及处理方法

气候数据为河南省气象局的 119 个国家级气象站点 2009 年的逐日气候观测数据。本研究由逐日数据平均得到逐月的气候数据;作物播种面积及产量来源于《河南省统计年鉴(2010)》。计算过程借助 Excel 2003 和 ARCINFO 实现。

3 结果分析

3.1 作物类型间虚拟水差异

由于河南省从北到南、从东到西温度和水分等环境条件存在着明显的区域差异,作物生育期以及作物系数

也都不同,加之种植结构的差别,作物单位虚拟水含量以及虚拟水总量在不同作物类型之间差异较大,且呈现出一定的空间格局。根据虚拟水的计算过程可知,作物初级产品单位虚拟水含量的差异来源于该作物单位面积全生育期需水量和作物单位面积产量 2 个因子,因此分别对各地区不同类型作物的这 2 个变量予以观察(图 1 和表 1)。作物单位面积全生育期需水量在不同地区之间的比较中代表了气候因子的差异,在不同作物类型之间的比较中代表了作物类型的影响。从图 1 和表 1 可以看到,不同作物类型之间的比较,棉花的单位面积全生育期需水量明显高于其他两种作物,但是由于小麦和玉米的单位面积产量明显高于棉花,所以最终表现为棉花的单位质量耗水量最高而玉米耗水量最少。

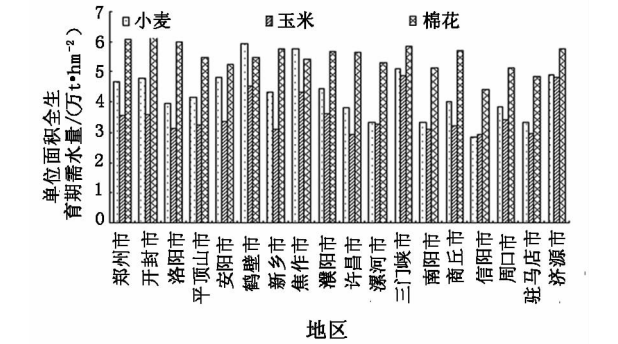


图 1 河南各地区主要作物单位面积全生育期需水量
Fig. 1 Virtual water contents in the primary crops products of 18 regions in Henan Province

表 1 河南省各地区主要作物单位面积产量 t/hm^2
Tab. 1 Primary crops yield per unit area of 18 regions in Henan Province

地区	小麦	玉米	棉花	地区	小麦	玉米	棉花
郑州	4.51	4.90	0.73	三门峡	3.93	4.38	0.69
开封	5.83	5.43	0.94	南阳	5.36	5.49	0.84
洛阳	4.38	4.94	0.81	商丘	6.89	6.69	0.98
平顶山	4.84	4.74	0.79	信阳	4.64	4.30	1.04
安阳	6.11	6.56	0.96	周口	7.30	5.45	0.96
鹤壁	6.85	6.98	0.63	驻马店	6.38	4.97	0.87
新乡	6.61	6.13	0.91	济源	5.51	5.23	0.88
焦作	7.61	7.30	0.91	许昌	6.99	6.37	0.90
濮阳	6.80	6.60	0.80	漯河	6.84	5.92	0.87

不同地区之间,同种作物单位面积全生育期需水量的差异比较小,而单位面积产量的差异更为明显,不同地区之间作物单位虚拟水含量的差异更多是由于单位面积产量的差异造成的,产量高的地区,在同类产品中虚拟水含量也相对小。周口和商丘的小麦和玉米单产很高,较之于其他地区虚拟水量较低。而三门峡、洛阳和平顶山无论是在小麦还是棉花生产上,产量低,其虚拟水含量也高。

据计算 2009 年河南省小麦的平均虚拟水含量为 $745.51 m^3/t$,玉米的平均虚拟水含量为 $638.4 m^3/t$,棉花的平均虚拟水含量为 $6478.7 m^3/t$ 。从作物的差异来

看,棉花单位虚拟水含量在河南省最高,玉米最低。

3.2 小麦单位虚拟水空间分布

小麦单位虚拟水含量低于全省平均水平的有新乡、濮阳、许昌、南阳、漯河、商丘、周口、驻马店和信阳,其中漯河最低,仅 486.9 m³/t,其次是周口和驻马店,虚拟水含量高于 800 m³/t 的地区主要有三门峡、郑州、开封、洛

阳、平顶山、鹤壁和济源,最高的是三门峡,为 1 298.2 m³/t,其次是郑州。从整体看,小麦虚拟水含量从东南向西北增加,鹤壁、郑州到平顶山一线以东地区普遍较低,以西则不断增大;郑汴洛城市带地区明显偏高(图 2)。

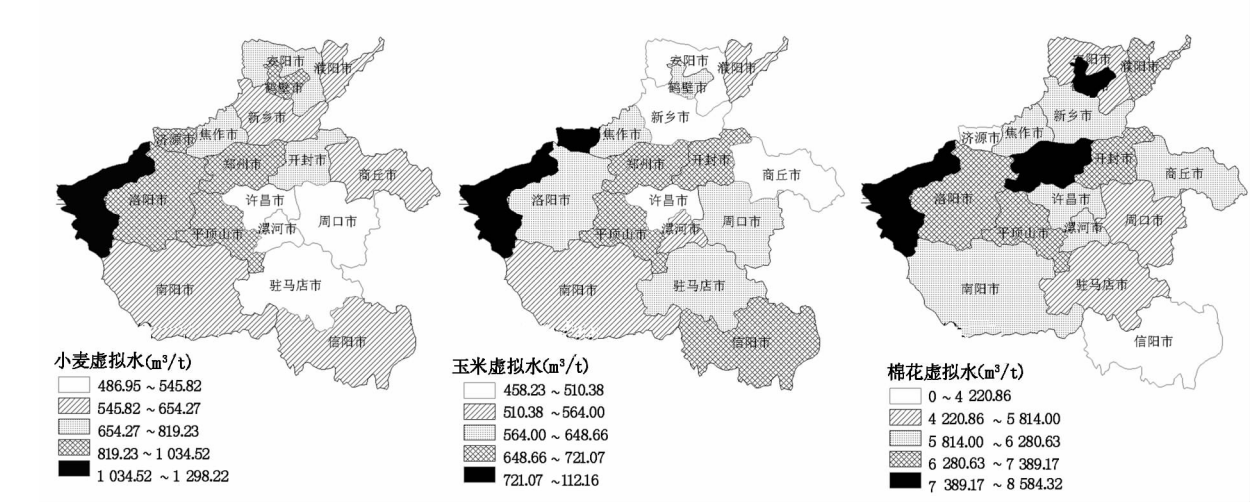


图 2 2009 年河南省小麦、玉米和棉花单位虚拟水空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of wheat, maize and cotton virtual water contents in Henan Province in 2009

3.3 玉米单位虚拟水空间分布

玉米单位虚拟水含量低于平均水平的地区有 11 个地区,其中最低的是许昌,为 480.9 m³/t,其次是商丘。玉米虚拟水含量高于全省平均水平的有郑州、开封、平顶山、鹤壁、三门峡、信阳和济源,其中三门峡最高,为 1 112.6 m³/t,其次是济源和郑州。从整体看,玉米虚拟水含量分布比较复杂,高值区集中分布于从东南的信阳到中部的开封、平顶山直至西部三门峡、焦作的弯月形区域,低值区集中分布在西南和东北部(图 2)。

3.4 棉花单位虚拟水空间分布

棉花单位虚拟水含量低于全省平均水平的有安阳、新乡、焦作、许昌、漯河、南阳、商丘、周口、驻马店和信阳,其中信阳最低,为 4 220.8 m³/t,其次是周口和安阳,虚拟水含量高于全省平均水平的 8 个地区,其中鹤壁最高,为 8 584.3 m³/t,其次是三门峡和郑州。从整体看,棉花虚拟水含量从东南向西北增加,开封、许昌和南阳一线以东地区普遍较低,以西则增大(图 2)。

3.5 基于作物单位虚拟水的水资源配置

根据河南省水资源数据和 2009 年各地区耕地数量,计算河南省单位耕地地表水占有量和单位耕地水资源总量^[14-15]。从单位耕地地表水占有量看,河南省单位耕地地表水的分布呈向东的弯月形分布,东部的豫东平原区较少,南部大别山沿线、西南部伏牛山区和北部的太行山沿线单位耕地地表水含量较高,其中信阳、平顶山、济源和鹤壁为峰值区。这也是小麦、玉米和棉花作

物单位虚拟水含量高的地区。从单位耕地水资源总量看,河南省单位耕地水资源总量西北部高,除信阳和平顶山外,其他地区普遍较低(图 3)。因此,为提高河南省的农业用水效益,在单位耕地地表水占有量多的丘陵和山前平原区,应提高水资源利用率,降低作物单位虚拟水含量。在单位耕地水资源总量较低的中东部平原区应大力推行节水灌溉,提高单位虚拟水含量低的玉米和小麦种植面积,提高单位水资源效益。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)河南省的 3 种主要农作物中,棉花的单位虚拟水含量最高,其次是小麦和玉米,其中玉米最小。作物的单位虚拟水含量由单位面积上的全生育期耗水量和产量共同决定,同种作物在不同地区的单位耗水量不同,单从这个角度看,小麦适宜于在漯河、周口、驻马店、许昌、信阳、南阳种植,玉米宜在信阳、驻马店、许昌、商丘、新乡、安阳和洛阳种植,棉花宜在安阳、焦作、漯河、驻马店、鹤壁、信阳、周口和南阳种植。(2)作物单位虚拟水含量从东南向西北增加,尤其在东西方向最明显,但是不同作物又有细微差别。(3)中东部平原区由于单位耕地水资源总量低,因此应扩大玉米、小麦等虚拟水含量较低作物的种植面积。丘陵和山前平原地表水占有较高的地区可适当种植虚拟水含量较高的作物。

4.2 讨论

作为我国重要的粮食主产区，河南省的粮食供应在

我国占有举足轻重的地位，但河南省水资源的分布不均

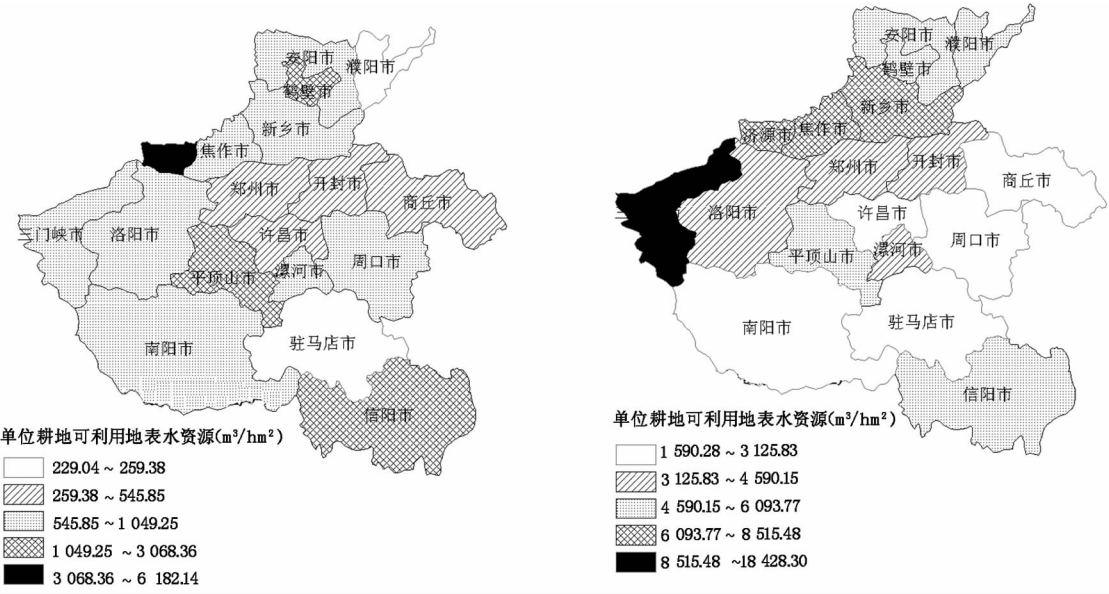


图 3 2009 年河南省单位耕地地表水资源和单位耕地水资源分布

Fig. 3 Surface water resources and water resources per unit cropland in Henan Province in 2009

衡,水资源量自北向南逐渐增加,信阳水资源量较丰富,安阳、鹤壁、三门峡水资源量较匮乏。农作物初级产品单位虚拟水含量可以从提高水资源利用效率的角度,为优化区域粮食生产布局提供依据^[16]。河南省小麦的单位虚拟水含量仅占全国平均值的 70%,玉米的单位虚拟水含量占全国平均水平的 86.2%,棉花的单位虚拟水含量是全国的 3 倍,说明在河南省生产棉花从用水的角度看是不经济的^[17]。根据河南统计年鉴的数据,从 1978 年到 2009 年河南省棉花种植面积波动较大,但是从 1992 年以来,总体趋势是下降的,即从 1992 年的 124.7 万 hm^2 下降到 2009 年的 53.7 万 hm^2 。这种趋势符合提高用水效率的要求。在河南省内部 18 个地区间农作物初级产品单位虚拟水含量也存在着相对差异,在漯河种植 1t 小麦比在三门峡要节约 812 m^3 水,在许昌种植 1t 玉米要比在济源节约 465 m^3 水,从虚拟水角度,3 种作物在三门峡种植都不是最经济的,3 种作物的横向比较显示,在河南省生产棉花的单位质量耗水是玉米的 10 倍。理论上可以据此对该区农作物种植结构予以调整,达到节约用水的目的,但是这未免过于理想化,农民的种植行为还要受到多种因素的驱动,例如市场因素。因此,想要将用水效益纳入到区域农作物布局的参考因素,需要通过特定措施,如调整水价,粮食调入区和种粮地区间财政转移或种粮补偿来实现。

参考文献:

[1] Allan J A. Virtual Water : A Long Term Solution for Water Short Middle Eastern Economies ? [EB/ OL]. (2005-03-12)[2011-11-09]. <http://www soas. ac.>

uk/ Geography/ Water Issues/ Occasional Papers/ Home1.html.

[2] Hockstra A Y. Perspectives on Water: A Model Based Exploration of the Future[M]. Utrecht ,The Netherlands: Internatonal Books,1998.

[3] 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.

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

[5] 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.

[6] 王新华,徐中民,龙爱华. 中国 2000 年水足迹的初步计算分析[J]. 冰川冻土,2005,27(5):774-780.

[7] 孙才志,刘玉玉,陈丽新,等. 基于基尼系数和锡尔指数的中国水足迹强度时空差异变化格局[J]. 生态学报,2010,30(5):1312-1352.

[8] 杨艺,周继良,吴明作. 河南省各地区主要作物生态需水研究[J]. 河南科学,2008,26(6):676-680.

[9] FAO. ETO Calculator: Land and Water Digital Media Series 36[M]. Rome: FAO, 2009.

[10] 邵晓梅,严昌荣. 黄河流域主要农作物的降水盈亏格局分析[J]. 中国农业气象,2007,28(1):40-44.

[11] 丁德峻,张旭辉. 江苏淮北地区主要作物需水量的初步研究[J]. 江苏省气象研究,1992,16(3):41- 46.

[12] 中国主要农作物需水量等值线图协作组. 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.

[13] 陈玉民,郭国双,王广兴,等. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京:水利电力出版社,1995.

[14] 河南水资源编委会. 河南省水资源[M]. 郑州:黄河水利出版社,2007.

[15] 河南省统计局. 河南省统计年鉴 2010[Z]. 北京:中国统计出版社,2010.

[16] 黄姣,高阳,李双成. 东北三省主要农作物虚拟水变化分析[J]. 北京大学学报,2011,47(3):505—512.

[17] 孙才志,张蕾. 基于分形的中国地均农畜产品虚拟水规模分布的时空演变研究[J]. 地理科学,2009,29(3):402—408.

Study on Spatial Distribution of Virtual
Water of Main Crops and Water Resources Allocation in Henan Province

Bai Jingfeng ,Yang Jie

(College of Environment Science and Tourism , Nanyang Normal University , Nanyang 473061,China)

Abstract: Virtual water has become the central issue of water sciences, and has been regarded as a main countermeasure to solve risks of food security and water security. The authors investigated the temporal and spatial patterns of the virtual water content (m³/t) and ecological water demand for wheat, maize and cotton in Henan Province in 2009. The results show that cotton had the highest water demand per kilogram, followed by wheat and maize. Spatial variations were evident. Per kilogram wheat and maize consumes more water in Sanmenxia, while cotton in Hebi. Per kilogram wheat , maize, cotton consumes water least in Luohe, Xuchang and Xinyang. Virtual water content of crops increases from southeast to northwest. It should enlarge wheat, maize planting area in the middle-eastern plain where water resources is shortage. It can plant crops whose virtual water is higher in piedmont plain and hills where is rich in surface water resources. These findings provide insights on the water demand of the three crops whose, and thus are meaningful for decision-maker

Key words: virtual water; crops; water resources allocation; Henan Province