基于虚拟水视角的东北粮食作物发展战略分析

刘 哲,李秉龙
(中国农业大学 经济管理学院,北京 100194)

摘 要:本文主要研究我国东北地区主要粮食作物的虚拟水含量以及东北三省的虚拟水流量,一方面旨在为东北地区粮食作物的布局和贸易战略调整提供依据,另一方面也为我国粮食安全和水安全的宏观调控提供政策依据。本文基于联合国粮农组织提供的 CropWat 软件以及 ClimWat 数据库来计算粮食作物虚拟水含量,采用联合国教科文组织水资源教育研究院提供的虚拟水相关公式来计算虚拟水流量,得出了东北三省五种主要粮食作物 2000—2007 年的虚拟水含量及该地区虚拟水的时序流量。最后得出结论:东北地区的粮食作物具有普遍的节水种植优势;东北地区的虚拟水输出量可观,进入量稀少。

关键词:虚拟水含量;东北三省;粮食作物
中图分类号:F323.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-980X(2009)12-0066-05

1 问题提出

虚拟水(virtual water)是 Allan[1]提出的,指商品和服务中隐含的水。虚拟水含量指在一个作物生命周期内单位产量的作物所使用的水资源总量,一般以作物蒸发蒸腾量(ET_c)为基础来进行计算。虚拟水不仅仅用于分析农作物用水情况,其适用范围已经扩展到动物、农畜加工品甚至工业产品。Hoekstra 和 Chapagain[2]又在虚拟水理论的基础上提出了水足迹(water footprint)的概念和计算方法,并计算了全球虚拟水贸易流量和 140 多个国家的水足迹。水足迹即一国或一地区虚拟水流量的净值,水足迹的值越大表明一国的水资源消费量越大,对环境的消耗和影响越大。Hoekstra[3]还提出了水中立(water neutrality)的概念,即一国或地区应该努力减少本地水足迹,实现经济、社会和环境的和谐发展。虚拟水理念的提出给水资源管理带来了全新的视角,也为调整农产品国家贸易战略提供了新思路。将水资源纳入到国家宏观调控要素之中,将有助于实现农业和整个社会的可持续发展。

虚拟水理论最初被应用于中东和北非地区农产品贸易的研究。Allan[1]发现以色列水资源稀缺,在大力发展滴灌节水技术的同时,大量进口富含虚拟水的粮食作物可以缓解当地水资源稀缺与粮食产量不足的矛盾。这种农产品国际贸易可以缓解地区水资源紧缺状况的研究思路被不断地提出,但又被不断地否定。研究表明[4],水资源短缺对全球粮食贸易战略的影响是很小的,通过粮食贸易手段缓解地区用水紧张状况的国家和地区只分布在缺水地区,水资源丰沛地区很少考虑进口粮食与水资源使用量相关的问题。我国水资源总量丰沛;人均占有量低;地区分布不均,时空跨度大;污染、浪费严重,利用效率低下。我国的粮食贸易结构是否受到水资源状况的影响、如何相应地调整农产品国际贸易战略将是重要的课题。国内最早关注虚拟水问题的是程国栋,他在 2003 年发表文章指出,虚拟水是解决水资源紧缺问题的新思路[5]。至今,虚拟水已经成为一个广泛使用的科学概念[6]。虚拟水含量、虚拟水流量的计算工作量大,目前尚无完整的基础数据。分地区、分品种计算虚拟水含量和流量,扩展虚拟水含量的基础数据规模是一项开拓性研究。此项研究将为虚拟水理论的进一步发展提供数据基础,同时为国家粮食安全和水安全的宏观调控提供政策依据。

我国东北三省包括黑龙江、吉林和辽宁,其耕地资源丰富、水资源质量好,是我国重要的商品粮基地。东北三省粮食自给率高,粮食出口占全国粮食出口总量的相当比重。研究东北三省粮食作物的虚拟水含量,进而计算其虚拟水流量,可为农业产业布局调整和农产品国家贸易战略的调整提供重要的参考依据。

2 东北三省水资源与粮食作物的发展现状

东北三省人口约占全国的 8%,水资源总量约占全国的 4%,耕地面积占全国的 17.6%(见表 1、

收稿日期:2009-10-23
作者简介:刘哲(1982—),女,黑龙江人,中国农业大学经济管理学院农业经济系博士研究生,主要研究方向:农业经济理论与政策;李秉龙(1957—),男,辽宁人,中国农业大学经济管理学院农业经济系教授,博士生导师,博士,主要研究方向:农业经济理论与政策、农村发展、国际贸易。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2) 。人均水资源占有量低于全国平均水平,而人均耕地面积高于全国平均水平,水地资源不平衡。水资源利用率是供水量占水资源总量的比例,水资源利用率越大,则水资源开发潜力越小。东北地区的水资源开发利用率高于全国平均水平,水资源的开发潜力相对较小。此外,全国平均农业用水比例达到 62 %,而东北地区农业用水比例较之全国平均水平更高一些,可见东北农业用水占其水资源使用的绝对多数,农用水资源管理水平的提高对该地区水资源使用效率的提高意义重大。

表 1　2007 年东北三省水资源基本状况

省区	水资源总量 (亿 m^3)	人均占有量 (m^3/人)	供水总量 (亿 m^3)	水资源利用率 (%)	农业用水 (亿 m^3)	农用水比例 (%)	人口 (万人)
黑龙江	491. 8	1286. 4	291. 4	59. 3	214. 8	73. 7	3824
辽宁	261. 7	510. 8	142. 9	54. 6	91. 7	64. 2	4298
吉林	346. 0	1269. 2	100. 8	29. 1	67. 5	67. 0	2730
全国	25255. 2	1916. 3	5818. 7	23. 0	3599. 5	61. 9	132129

资料来源:《中国统计年鉴》(2008) 。

表 2　2007 年东北三省土地资源基本状况

省区	农业用地 (万公顷)	耕地面积 (千公顷)	占全国耕地面积 (%)	有效灌溉面积 (千公顷)
黑龙江	3792. 6	11838. 4	9. 7	1490. 5
辽宁	1123. 0	4085. 2	3. 4	2950. 3
吉林	1639. 4	5535. 0	4. 6	1640. 6

资料来源:《中国统计年鉴》(2008) 。

在耕地面积相对广阔,水资源占有率、利用率相对较低的情况下,要想改善水资源利用的现状,除了从自然循环的角度提高节水灌溉技术水平和跨流域引水效率外,还可以通过调整产业布局、国际贸易和区域贸易结构,运用虚拟水贸易理论来解决局部水资源不足的问题。从表 3、表 4 可以看出,无论从播种面积还是从产量来看,东北地区粮食作物的主要品种有 5 类 ——稻谷、小麦、玉米、豆类和薯类,占粮食作物总播种面积和产量的 93 %以上。

表 3　2007 年东北三省主要粮食作物基本种植情况

省区	粮食作物总播种面积 (千公顷)	主要农作物播种面积(千公顷)					种植比例 (%)
		稻谷	小麦	玉米	豆类	薯类	
黑龙江	10820. 5	2253. 2^3	233^4	3883. 6^2	4099. 4^1	215. 3^5	98. 7
辽宁	3127. 2	660. 6^2	12. 4^5	1998. 6^1	151. 5^3	96. 3^4	93. 4
吉林	4334. 7	669. 9^2	5. 4^5	2853. 7^1	616. 9^3	99. 6^4	97. 9

注:表中数据的上角标表示种植面积大小的排名;由于统计年鉴没有区分豆类和大豆,因而用豆类的数据代替大豆。
资料来源:《中国统计年鉴》(2008) 。

黑龙江粮食作物总播种面积在东北三省中最大,分别是吉林和辽宁粮食作物总播种面积的 2 倍多。黑龙江粮食作物中大豆种植面积最大,玉米、稻谷次之,小麦和薯类最少。吉林和辽宁的玉米播种面积最大,稻谷和大豆次之,薯类和小麦最少。黑龙江粮食作物产量在东北三省中最大,但是总产量并没有像播种面积一样达到吉林和辽宁的 2 倍多,这可以大致说明黑龙江的粮食生产效率略低于吉林和辽宁。

表 4　2007 年东北三省主要粮食作物基本生产情况

省区	粮食作物总产量 (万吨)	主要农作物播种产量(万吨)					产量比例 (%)
		稻谷	小麦	玉米	豆类	薯类	
黑龙江	3462. 9	1417. 9	68. 8	1442. 0	442. 7	48. 8	98. 8
辽宁	1835	505. 0	5. 3	1167. 8	36. 2	50. 8	96. 2
吉林	2453. 8	500. 0	1. 6	1800. 0	92. 1	24. 5	98. 5

资料来源:《中国统计年鉴》(2008) 。

3　东北三省粮食作物虚拟水相关测算

测算东北三省粮食作物虚拟水含量,可以将水资源要素纳入到农业区域规划和农产品贸易战略选择的框架中来。

3. 1　虚拟水相关测算的计算过程

农产品中的虚拟水主要是农作物的实际腾发量。农田水分消耗的途径主要有植物蒸腾、土壤蒸发和深层渗漏。土壤蒸发和植物蒸腾合称为腾发,两者消耗的水量合称为腾发量,即 ET(evapotrans-

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

piration)值。通常腾发量又称为物需水量,指在大田条件下作物根系能得到充分的水分供应,于某一时段或全生育期内用于同化作用蒸腾过程和物理蒸发过程及土壤蒸发过程的水分总消耗量。作物腾发量主要受 3 方面因素影响:①大气干燥程度、辐射条件及风力大小综合决定的蒸发势;②土壤湿润程度和导水能力所决定的土壤供水状况;③植被状况,包括植物水分疏导组织、叶片气孔数量与大小及群体结构对湍流交换系数的影响等。此外 ET 值还与农业技术措施有关。腾发量实际是蒸发势、土壤含水量和植被覆盖状况的函数。联合国粮农组织推荐可采用修正的标准彭曼(Penman-Monteith)公式计算参照作物腾发量 ET_0 (reference evapotranspiration)。

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

式(1)中:Δ 为饱和水气压与温度相关曲线的斜率[kPa/T(°C)];ET_0 为参照作物的蒸发蒸腾量(mm/d);R_n 为作物表面的净辐射(MJ/m^2·d);G 为土壤热通量(MJ/m^2·d);T 为平均空气温度[T(°C)];U_2 为 2 米高的风速(m/s);e_a 为饱和水气压(kPa);e_b 为实测水气压(kPa);$e_a - e_b$ 为饱和水气压与实测水气压的差额(kPa);γ 为湿度计常数(kPa/T)。

所谓参照作物腾发量是指土壤水分充足、地面完全覆盖、生长正常、高矮整齐的开阔矮草地上的腾发量,一般是指在这种条件下苜蓿草的需水量。要计算虚拟水含量,还需要在参照作物腾发量的基础上做适当调整,计算出标准条件下作物腾发量 ETc。

$$ET_c = K_c \times ET_0。\quad (2)$$

式(2)中,Kc 表示作物系数,是衡量作物由于气候、土壤和种植方式等方面的原因区别于其他作物的关键要素的综合指标。以上面为基础可以结合种植面积和作物产量计算作物的虚拟水含量 (VWC)。

$$VWC_i = ET_c \times L_i / Y_i。\quad (3)$$

作物 i 的虚拟水含量 VWF (m^3/t),由标准条件下作物腾发量 ETc (mm/y)、作物 i 当年播种面积(千公顷)和作物 i 的年产量(万吨)来计算。虚拟水流量 (VWF) 等于作物虚拟水含量与其贸易量的乘积。进而可以计算虚拟水流入量 (VWF_{import})、流出量 (VWF_{export}) 和虚拟水流量净值 (VWF_{net})。

$$VWF_{import} = \sum_{i=1}^{n}(VWC_i \times T_{i\text{-}improt});\quad (4)$$

$$VWF_{export} = \sum_{i=1}^{n}(VWC_i \times T_{i\text{-}export});\quad (5)$$

$$VWF_{net} = VWF_{import} - VWF_{export}。\quad (6)$$

3.2　数据来源

本文计算的粮食作物选取东北三省的主要粮食作物,大豆、玉米、春小麦、稻谷和薯类,种植面积和产量数据取自中国国家统计局网站①公布的《中国统计年鉴 2008》。数据时间跨度为 2000 年到 2007 年。ETc 值的计算数据来源于国际粮农组织网站②公布的 ClimWat2.0 数据。计算主要通过 CropWat8.0 软件完成。数据下载时间为 2009 年 9 月。黑龙江的气象站选取的是海伦、哈尔滨、呼玛、鸡西、克山、牡丹江、嫩江、齐齐哈尔和通河,共 9 个;辽宁的气象站选取的是大连、锦州、旅顺、沈阳和营口,共 5 个;吉林的气象站选取的是长春、临江、前郭尔罗斯、四平和延吉,共 5 个。东北三省的粮食贸易数据来源于海关统计数据,选取大连海关、长春海关和哈尔滨海关的数据作为辽宁、长春和黑龙江的粮食贸易进出口数据,时间跨度为 2001 年到 2007 年。

4　结果和分析

4.1　东北三省粮食作物的虚拟水含量

从表 5、表 6 来看,黑龙江的稻谷虚拟水含量从 2000 年到 2007 年呈现波动中略有增长的状况,变化率不大;小麦虚拟水含量在波动中降低,个别年份变化率较大;玉米虚拟水含量波动平衡,变化率不大;豆类虚拟水含量波动增长,2007 年达到最大值;薯类虚拟水含量变化率较大,在 2004 年达到最小值。黑龙江大豆的虚拟水含量最高,薯类、稻谷和小麦的虚拟水含量依次递减,玉米的虚拟水含量最低。玉米的种植节水效率最高,大豆最低。辽宁稻谷的虚拟水含量从 2000 年到 2007 年呈现波动中略有增长的状况,变化率不大;小麦的虚拟水含量在波动中降低,变化率很大;玉米的虚拟水含量波动降低,降低速度稳定;豆类的虚拟水含量变化波动较大,2007 年达到最小值;薯类虚拟水含量波动降低,变化率较稳定。辽宁大豆的虚拟水含量最高,小麦、薯类和稻谷的虚拟水含量依次递减,玉米的虚拟水含量最低。玉米的种植节水效率最高,大豆最低。吉林稻谷虚拟水含量在 2000 年到 2007 年间波动降低,变化率

① http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2008/indexch.htm

② http://www.fao.org/nr/water/eto.html

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

不大;小麦虚拟水含量在波动中降低,变化率较大;玉米虚拟水含量明显降低,降低速度稳定;豆类虚拟水含量波动中降低,但 2007 年达到最高值;薯类虚拟水含量先降低后增长,在 2006 年和 2007 年几乎达到了 2000 年的 2 倍。吉林 5 种粮食作物的虚拟水含量差距较小,大豆的虚拟水含量最高,稻谷、小麦、薯类的虚拟水含量依次降低,玉米的虚拟水含量最低。综合三省情况来看,在本文所选的 5 种粮食作物中,大豆的虚拟水含量相对最高,玉米的虚拟水含量相对最低。

与全国平均水平相比,除了薯类,东北三省粮食作物虚拟水含量明显低于全国平均水平,具有粮食作物种植的节水优势。玉米和大豆的虚拟水含量约为全国平均水平的 1/4,稻谷约为全国平均水平的 2/7,小麦约为全国平均水平的 1/2。从全国节水角度来看,结合东北三省主要粮食作物的播种面,目前其粮食作物种植情况有利于节水。如果想要在东北三省内部提高粮食作物种植的节水效率,应该在原有的种植基础上进一步增加玉米种植面积。

表 5　2000 - 2007 年东北三省主要粮食作物虚拟水含量　m^3/t

年份	稻谷			小麦			玉米			豆类			薯类		
	黑	辽	吉	黑	辽	吉	黑	辽	吉	黑	辽	吉	黑	辽	吉
2000	298.5	409.4	360.3	400.0	445.6	416.6	168.4	386.0	217.6	542.6	943.3	488.5	416.5	471.8	285.6
2001	298.7	485.0	427.3	293.0	867.0	408.1	192.4	286.2	193.2	575.7	925.8	496.5	292.1	552.9	236.1
2002	329.0	431.9	415.8	189.4	611.3	255.7	157.9	249.5	164.8	463.3	810.5	324.7	326.0	465.8	212.1
2003	296.7	449.2	392.6	375.5	440.5	323.5	182.7	236.5	160.0	517.3	703.0	327.7	360.0	378.6	188.2
2004	272.2	427.4	316.7	199.5	314.0	297.1	171.5	221.4	157.7	471.7	870.7	390.9	284.7	533.4	166.9
2005	285.0	430.3	319.1	171.7	382.9	311.4	157.4	236.1	151.6	495.6	980.5	426.7	297.7	523.5	160.5
2006	309.4	461.9	311.0	173.9	350.6	219.0	148.5	249.6	139.1	491.9	1045.5	408.6	345.0	457.5	433.6
2007	307.8	412.4	309.4	219.9	320.2	305.5	199.1	255.9	155.9	774.1	608.5	689.9	381.0	324.9	461.8

表 6　东北三省主要粮食作物多年平均虚拟水含量　m^3/t

时间	省区	稻谷	小麦	玉米	豆类	薯类
1997 —2001	全国平均	1321	690	801	2617	276
2001 —2007	三省平均	364.9	345.5	201.6	615.6	356.5
	黑龙江	299.6	252.9	172.2	541.5	337.9
	辽宁	438.4	466.5	265.2	861.0	463.5
	吉林	356.5	317.1	167.5	444.2	268.1

注:全国平均数据来源于 1997 —2001 年联合国粮农组织发布数据(FAO,2003)。

4.2　东北三省粮食作物的虚拟水流量

东北三省的粮食贸易以出口为主,一方面是因为东北地区粮食自给率很高,粮食缺口不大;另一方面是因为东北地区是主要的商品粮食基地,粮食产量高、质量好,出口认可度相对较高。从表 7 虚拟水流量测算结果来看,2001 年到 2007 年东北三省虚拟水以出口为主,2004 年和 2006 年实现了虚拟水的净进口;黑龙江和吉林均为虚拟水的净出口地区。由于目前对全国农产品虚拟水的测量数据尚未更新到 2007 年,姑且用往年数据加以比较。中国 1997 - 2001 年的农产品虚拟水出口量为 21.55 Gm^3/y (FAO,2003),东北三省 2001 - 2007 年粮食作物虚拟水出口量 20.44 Gm^3/y,相当于 1997 - 2001 年间的全国水平。中国是虚拟水的净进口国(FAO,2003),而东北三省是虚拟水的净出口地区,调整东北地区的贸易结构对解决水资源管理困境意义重大。

表 7　2007 年东北三省粮食作物虚拟水流量测算结果　m^3

年份	黑龙江	辽宁	吉林	合计
2001	- 13865105	10179593	- 17748202	- 21433714
2002	- 71650731	- 2232012011	- 30021370	- 2333684112
2003	- 78931744	- 2337282597	- 41877449	- 2458091789
2004	- 29618131	305880873	- 15031162	261231580
2005	- 31777689	- 559880003	- 17379724	- 609037416
2006	- 43175851	196726696	- 10736635	142814210
2007	- 971492	- 910366590	- 25217683	- 936555765
2001 —2007 年平均	- 38570106	- 789536291	- 22573175	- 850679572

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5 结论和讨论

1) 东北地区粮食作物普遍具有节水种植优势。

本文由于时间和资源的限制只计算了 5 种主要粮食作物,但基本上能够看出,与全国平均水平相比,东北地区具有粮食作物种植的天然优势。将虚拟水含量作为一种要素与其他条件一起综合衡量粮食作物布局,将有利于水资源的合理利用。首先,在东北地区扩大粮食作物种植面积,一方面能够充分发挥当地粮食作物的节水种植效应,另一方面有利于提高东北地区粮食作物的综合实力。从全国范围来看,扩大东北地区粮食作物种植面积,相当于增加了节水作物种植面积和产量的比重,对降低全国粮食作物平均虚拟水含量意义重大。其次,在东北地区内部调整粮食品种布局,扩大玉米的种植面积,将能够提高东北地区的农业水资源利用效率。

2) 东北地区虚拟水输出量可观,进口量稀少。

计算一个地区的虚拟水流量,应计算所有输出和输入的虚拟水流量,包括国际贸易中的虚拟水流量和国内贸易中的虚拟水流量。由于我国国内区域间贸易数据很难获得,因此本文只利用国际贸易数据来计算我国东北地区国际贸易中的虚拟水流量。东北地区粮食国际贸易以出口为主。粮食的出口一方面可以增加农民和粮食出口企业的收入,另一方面也将粮食作物生长所耗水资源以虚拟水的形式输出,对东北地区水资源的供给和需求产生影响。东北地区粮食出口的增加,势必会加剧东北地区用水的紧张状况,影响当地社会与环境的可持续发展。运用宏观调控手段,大力发展国内区域间贸易,将东北地区的粮食运往水资源紧张的西北部地区,一方面可以将更多粮食产业的水资源附加值留在国内,另一方面也可以协调国内水资源分布不均、时空跨度大的矛盾。

参考文献

[1] ALLAN J A. Water in the Middle East: Legal and Commercial Issues[C]. Edited with Mallat C and contributed. London: Tauris Academic Press, 1996: 360.

[2] HOEKSTRA A Y. Virtual water trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade [C]. In Value of Water Research Report Series No. 12. 2003.

[3] HOEKSTRA A Y. Water neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints[C]. In Value of Water Research Report Series No. 28. 2008

[4] YANG H, WANG L, ABBASPOUR K, et al. Virtual water highway: an assessment of water use efficiency in the International food trade[J]. Hydro Earth System Science, 2006, 10: 443-454.

[5] 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): 260-266.

[6] 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.

Analysis on Development Strategy of Grain Crops in Northeast China Based on Virtual Water Theory

Liu Zhe, Li Binglong

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100194, China)

Abstract: This paper aims to study the virtual water content of major grain crops and the virtual water flow in Northeast China in order to adjust the agricultural allocation as well as the agricultural international trade strategy, and to provide the policy basis of macro-control for maintaining China's food and water security. Based on the FAO CropWat software and ClimWat database, it uses the virtual water calculation formulas provided by UNESCO-IHE to calculate the virtual water content of five major grains in three provinces of Northeast China and the related virtual water flow from 2000 to 2007. It draws the conclusion that the grains of Northeast China mostly have water-saving cultivating advantages, and the export of virtual water flow is considerably larger than the import of it in Northeast China.

Key words: virtual water content; three northeast provinces; grain crop

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net