

北京农业虚拟水结构变化及贸易研究

王红瑞¹, 王岩², 王军红¹, 董艳艳¹, 韩兆兴³

(1. 北京师范大学水科学研究院水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875; 2. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037; 3. 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

摘要:通过依据典型区县实际灌溉定额调查成果并用全国作物需水量等值线图进行修正, 确定出北京市主要农作物的需水量, 对北京农作物种植结构变化、农业用水及其 GDP 效益作了分析, 进而对各类农作物历年的虚拟水含量及其结构变化进行了研究, 最后基于投入产出方法对北京农业虚拟水贸易进行了计算分析. 结果表明, ① 近年来, 北京地区粮食作物虚拟水总量持续减少, 由 1990 年的 $18.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少到 2004 年的 $4.283 \times 10^8 \text{ m}^3$, 经济作物虚拟水总量却呈上升趋势, 由 1990 年的 $9.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 2004 年的 $14.92 \times 10^8 \text{ m}^3$, 但总体上农作物虚拟水总量仍呈现下降趋势; ② 北京是一个农产品虚拟水净输入的地区, 年平均虚拟水净输入量约为 $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$, 这相当于北京市年产水资源总量的 5.93%, 间接地缓解了北京市水资源紧缺的局面.

关键词:农产品虚拟水; 虚拟水贸易; 投入产出分析; 北京市
中图分类号: X32 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)12-2877-08

Research on the Virtual Water Composition and Virtual Water Trade for Agriculture in Beijing

WANG Hong-rui¹, WANG Yan², WANG Jun-hong¹, DONG Yan-yan¹, HAN Zhao-xing³

(1. Key Laboratory for Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 3. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on the irrigation norm of typical district and county, and revised by the isoline map of Chinese crops water demand, the change of crops program was analyzed as well as the agricultural water use and its GDP benefits. Then the virtual water was calculated for years. At last, the input-output method was used to calculate the trade of virtual water in Beijing. As the results, the virtual water for cereal crops has been decreasing in Beijing, from $1.832 \times 10^9 \text{ m}^3$ in 1990 to $4.283 \times 10^8 \text{ m}^3$ in 2004. Otherwise the virtual water for technical crops has been increasing, which is from $9.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ in 1990 to $1.492 \times 10^9 \text{ m}^3$ in 2004. On the whole, the virtual water for crops has been decreasing in Beijing. From the angle of primary products Beijing is a virtual water importing area. Virtual water importing of annual average is $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$, which is about 5.93% of the total water of Beijing. Virtual water has been an important supplement of local real water of Beijing.

Key words: virtual water for primary products; virtual water trade; input-output analysis; Beijing

虚拟水及虚拟水贸易的研究可促进水资源的高效利用. 虽然我国有关虚拟水的研究尚处于起步阶段, 但是已得到了理论界的广泛关注, 成为探讨水资源可持续利用的热点问题^[1]. 粮食生产作为最主要的消耗水资源的形式, 隐含着大量的虚拟水. 当前最主要的水密集型商品就是农产品^[2], 因此对北京地区农业虚拟水结构变化和贸易开展研究, 有助于提高当地的水资源利用效率, 减缓缺水的紧张程度, 平衡地区水资源的分配, 对北京地区可持续发展战略的实施具有积极作用与现实意义.

1 农产品虚拟水研究的基本意义

虚拟水的思想起源于 Fishelson 在评价以色列农业时提出的“物化水”概念, 他提出大量水资源密集

型农作物的出口对以色列来说是不可持续的^[3]. 1993 年英格兰伦敦大学非洲和东亚研究院 Allan 正式提出了“虚拟水”的概念^[4], 其对虚拟水的定义是农产品生产过程中所消耗的水资源^[5]. 他发现许多水资源短缺的国家和地区都通过进口水资源密集型的产品来保证粮食安全, 而不是消耗大量的水资源自己生产粮食, 水资源的紧缺致使他们将有限的水资源配置给耗水少且效益高的部门, 而不会给高耗水的农业部门以足够的水资源^[6].

虚拟水是一个全新的概念, 它结合了农业科学和经济学 2 方面的思想, 强调了水资源是农业生产

收稿日期: 2007-01-04; 修订日期: 2007-04-24
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD20B06)
作者简介: 王红瑞(1963~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为水文水资源、环境规划与评价, E-mail: henryzsr@bnu.edu.cn

和整个经济社会发展的关键因素^[7]. 农业科学关注的是生产各种农产品需要的水资源数量,而经济学则关注的是水资源在各种产品(包括工业品)生产过程中的机会成本^[4]. 2 方面含义的结合则意味着虚拟水概念在寻求水资源合理配置方面所具有的重大意义. 由于不同国家和地区的资源禀赋不同,粮食输入和用水的直接成本和机会成本也不相同. 尤其农业是受自然条件制约最显著的产业,其生产水平受自然生态系统和人类社会经济系统的双重制约,除了水资源外,土壤、气候等自然地理条件,以及区域产业结构、经济管理体制等人文社会因素从更广泛的意义上影响着粮食生产用水的机会成本^[8,9]. 由于人口增长是水资源短缺的最原始驱动力,农畜产品作为人类的生活必需品携带有大量的虚拟水,因此,人口-农畜产品-贸易之间的连接关系就成为虚拟水战略分析的主线^[10]. 目前,虚拟水概念已经从上述农产品扩展到服务、加工以及材料,也可以理解为服务过程中或材料形成过程中所消耗的水资源.

北京是我国政治、文化中心,是拥有1 400万人口生活的国际大都市,北京地区多年平均入境水量为 $16.50 \times 10^8 \text{ m}^3$,出境水量为 $11.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,入境水量是北京市地表水可利用量的重要组成部分. 市内降水量丰枯交替发生,丰枯连续出现时间一般为 2 ~ 3 a,最长连续丰水年可达 6 a,连续枯水年可达 9 a,历史记载最长枯水期为 20 a. 境内多年平均降水量 595 mm,年均降水总量 $99.96 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中 60% 消耗于蒸发,自产水资源量仅 $39.99 \times 10^8 \text{ m}^3$,全市人均水资源量不足 300 m^3 ,为全国的 1/8,世界的

1/30,远远低于国际公认的人均 $1\,000 \text{ m}^3$ 的下限^[11],在世界 120 多个大城市中位居百位之后,属重度缺水地区,而北京市农业用水约占北京全部用水的 50% 左右^[12]. 但是北京地区经济发展速度全国领先,而经济发展无一例外地以用水量的增加为代价. 据规划,到 2010 年,北京将建成为世界一流的现代化国际大都市,届时北京的用水量势必大增;而在现有供水能力条件下,缺口很大. 同时北京地区的资源流动强度很高,所以开展北京地区的农业虚拟水及贸易的研究应该是很有意义的工作,这将为北京地区解决水资源危机提供新的途径.

2 北京农作物种植结构变化及用水情况

2.1 北京农作物种植结构变化

北京农业无论是农作物种植面积,还是主要农产品产量占全国总量的比重均较低,并呈不断下降趋势(见表 1). 农作物面积占全国农作物总面积的比重从 1980 年的 0.451%,逐渐降低到 2000 年的 0.337%,至 2004 年为 0.325%. 其中粮食作物面积比重从 1980 年的 0.471% 降低到 2004 年的 0.272%,蔬菜面积比重从 1980 年的 1.619% 降低到 2004 年的 0.634%. 北京粮食产量占全国粮食总产量的比重从 1980 年的 0.585% 降低为 2004 年的 0.295%,尤其是从 1994 年始,北京粮食生产在全国的地位呈现迅速下降趋势. 同期的油类、蔬菜类等产量所占比重也迅速下降. 这与北京近年来的用水政策和农业结构调整的结果相符合.

近年来,北京农业由传统农业向高效化的“6种

表 1 北京农业在全国地位变化情况表/%
Table 1 Status of Beijing's agriculture in China/%

年份	总面积	农作物面积占全国比重					主要农产品产量占全国比重				
		粮食	棉花	油料	蔬菜	瓜类	粮食	棉花	油料	蔬菜	瓜类
1980	0.451	0.471	0.043	0.348	1.619	0.811	0.585	0.035	0.402	1.085	3.672
1985	0.430	0.470	0.099	0.173	1.142	0.964	0.580	0.105	0.249	0.805	3.734
1990	0.398	0.427	0.061	0.110	1.112	0.833	0.586	0.077	0.192	0.938	3.289
1991	0.395	0.430	0.059	0.106	1.120	0.694	0.633	0.060	0.201	1.075	3.158
1992	0.393	0.432	0.067	0.107	1.067	0.515	0.625	0.107	0.207	1.044	2.845
1993	0.382	0.412	0.082	0.113	0.961	0.480	0.622	0.114	0.210	0.956	2.105
1994	0.372	0.393	0.074	0.103	1.023	0.519	0.621	0.086	0.191	0.898	2.619
1995	0.369	0.394	0.061	0.090	0.955	0.474	0.557	0.055	0.146	0.715	2.063
1996	0.353	0.379	0.057	0.085	0.832	0.399	0.471	0.060	0.133	0.646	1.703
1997	0.348	0.376	0.049	0.081	0.787	0.353	0.481	0.049	0.127	0.782	1.665
1998	0.344	0.371	0.047	0.075	0.734	0.336	0.467	0.040	0.123	0.783	1.162
1999	0.337	0.362	0.051	0.075	0.701	0.306	0.395	0.049	0.106	0.828	1.123
2000	0.337	0.284	0.040	0.100	0.708	0.396	0.312	0.035	0.129	0.914	1.308
2001	0.334	0.282	0.040	0.095	0.703	0.375	0.321	0.038	0.108	0.921	1.208
2002	0.329	0.280	0.041	0.083	0.712	0.353	0.306	0.034	0.117	0.876	1.119
2003	0.330	0.281	0.038	0.086	0.697	0.316	0.302	0.032	0.121	0.848	1.123
2004	0.325	0.272	0.036	0.072	0.634	0.307	0.295	0.030	0.110	0.857	1.082

农业”转化.6 种农业是指籽种农业、设施农业、精品农业、加工农业、创汇农业、观光农业.自 2000 年以来,北京郊区在结构调整中,大力推广以 6 种农业为内容的具有都市特色的现代化农业.2003 年“6 种农业”的增加值突破 40×10^8 元,整个农业增加值上升了 15%.加速了北京农业进入国际市场,促进了外向型农业的发展.出口产品由过去的单一蔬菜扩大到果品、籽种、油料、花卉及加工农产品等诸多品种,出口地区也由东南亚等地扩大到欧美等国;观光休闲农业着重体现了北京郊区现代化农业的文化内涵,为城乡居民提供了丰富的精神产品.2003 年观光农业收入突破 18×10^8 元,比上年增长 1.5 倍.

2.2 北京农作物耗水情况

2.2.1 北京市农村用水构成

按用途划分:种植业灌溉用水 $15.55 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总量的 77.4%;林果业用水 $1.69 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 8.4%;淡水养殖业用水 $1.18 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 5.9%;人畜用水 $1.68 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 8.3%;乡镇企业用水 $0.01 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 0.5%.按水资源的来源分:用去地表水 $4.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,占农村用水的 21.4%,为当年全市地表水量的 34.4%;开采地下水 $15.80 \times 10^8 \text{ m}^3$,占农村用水的 78.6%,占全市年平均地下水总量 60.0%.

北京农业用水量比例总体呈减少趋势(图 1),其主要原因是,在近年来农业结构调整中,虽然耗水较大的瓜菜种植面积较 1995 年增加 1.165 km^2 ,而冬小麦的种植面积却减少了一半左右.根据其耗水情况推算,面积的一增一减,约净减少用水 $6\,800 \times 10^4 \text{ m}^3$.虽然农业用水量在水资源总量的比例在减小,但是农业用水主要依靠地下水(图 2),地下水所

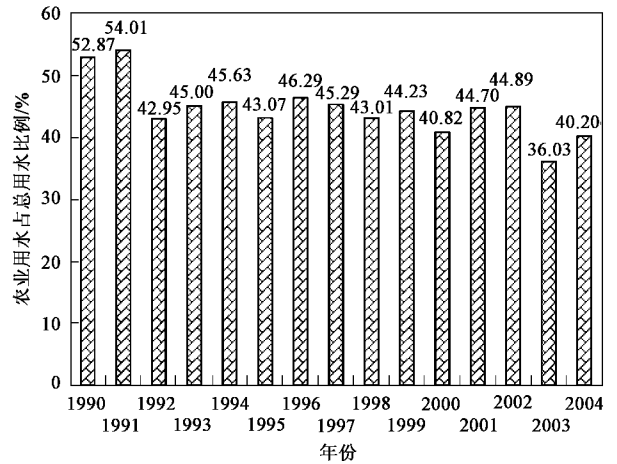


图 1 1990~2004 年农业用水占北京总用水量比例变化趋势

Fig.1 Proportion of agricultural water use to the total water use in Beijing from 1990 to 2004

占比重呈现出显著增长趋势,由 1980 年的 38.5% ($12.27 \times 10^8 \text{ m}^3$)增加到 1995 年的 65.8% ($13.36 \times 10^8 \text{ m}^3$),2001 年为 75.6% ($13.16 \times 10^8 \text{ m}^3$)^[13,14].据研究,近年来北京市的农业多年来靠超采地下水来维持,农业用水的 85%~90% 依靠地下水^[15].

北京农业用水平均每 hm^2 超过 $5\,850 \text{ m}^3/\text{a}$,比生长季节炎热、干燥的以色列、意大利等多 $1\,500 \text{ m}^3/\text{a}$ 以上,这说明北京农业的节水潜力仍有较大的空间.

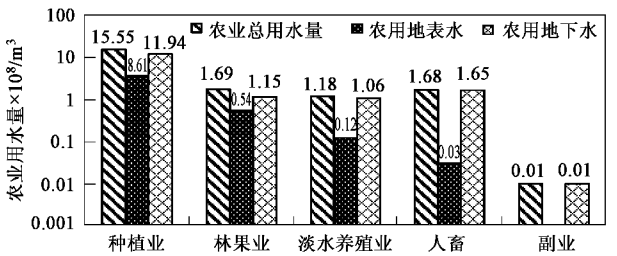


图 2 北京农业消耗地表水和地下水情况

Fig.2 Agricultural water use in Beijing

2.2.2 北京农业用水的 GDP 效益

由图 3 可知,北京农业用水的 GDP 效益(农业用水的 GDP 效益是指第一产业增加值与当年农业用水总量的比值)同以色列、日本、荷兰、韩国、德国、意大利相比,低 0.39~3.32 美元/ m^3 ,与发达国家相比仍有很大的差距,农业用水的 GDP 效益仅为用水效率最高的荷兰的 1/7,所以,尽管北京近年来农业节水工作取得了一定的成效,但仍有很大的节水空间^[16].

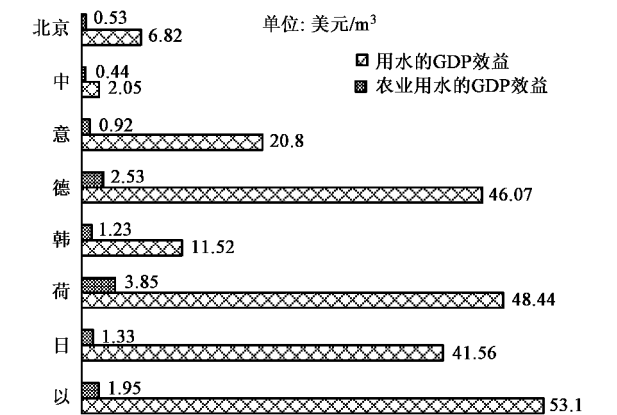


图 3 北京农业用水效益

Fig.3 Benefits of agricultural water use in Beijing

3 北京市主要农产品虚拟水计算与分析

3.1 主要农作物的选取及其需水量的确定

农产品虚拟水含量的计算公式为^[17]:

$$SWD[e,c]=\frac{CWR[e,c]}{CY[e,c]} \tag{1}$$

式中, $CWR[e,c]$ 为某区域 e 作物 c 需水量 (m^3/hm^2); $CY[e,c]$ 为作物的产量 (t/hm^2). $CWR[e,c]$ 是作物在整个生长过程中蒸散量 ET_c 的累积; $SWD[e,a]$ 为该区域 e 作物 c 虚拟水含量 (m^3/t).

根据公式(1)计算作物虚拟水含量, 首先计算作物需水量. 根据 FAO 推荐的参照作物蒸散量法计算

出北京市主要农作物的参照作物蒸散量. 虽然 Penman-Monteith 公式可以准确地估算参考作物需水量, 但是该公式需要非常详尽的气象资料才能得以应用. 因此, 本文依据北京市水利科学研究所“七五”以来完成的农业节水的研究及对典型区县进行的实际灌溉定额的调查成果, 用全国作物需水量等值线图等进行修正, 确定出北京市主要农作物的需水量. 不同作物需水量及其同期有效降雨量列于表 2.

表 2 北京市主要作物生育期内作物需水量及同期有效降雨量一览表¹⁾

Table 2 Water demand for crops and effective rainfall in procreation periods in Beijing

作物名称 ²⁾	作物需水量 /mm	有效降雨量/mm				净灌溉定额/mm			
		山区		平原		山区		平原	
		50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%
水稻	720	335.4	299.2	335.3	317.5	384.6	420.8	384.7	402.5
冬小麦	400	103.1	100.6	126.9	80	296.9	299.4	273.1	320.0
夏玉米	360	279.8	241.8	350.9	265	80.2	118.2	9.1	95.0
露地蔬菜	1 050	371.3	352.6	391.9	354.8	678.7	697.4	658.1	695.2
经济作物	550	395.3	337.5	365.5	344.5	154.7	212.5	184.5	205.5
露地瓜类	340	126.7	85.0	108.6	92.6	213.3	255.0	231.4	247.4
牧草	580	395.3	337.5	365.5	344.5	184.7	242.5	214.5	235.5
其它作物	520	395.3	337.5	365.5	344.5	124.7	182.5	154.5	175.5
设施农业	700					700.0	700.0	700.0	700.0

1) 数据来源:《北京市行业用水定额》,北京市节水办公室,2001.8; 2) “其它作物”系指以春玉米为代表的除水稻、冬小麦、夏玉米以外的其它粮食作物及青贮玉米等,“经济作物”系指棉花、花生、大豆等油料作物及药材等,“设施农业”系指温室、大棚栽培的蔬菜、瓜类及药材、花卉等高附加值作物,“露地瓜类”系指以地膜覆盖栽培条件为界定标准

根据北京市 1990 ~ 2004 年农产品产量的数据统计情况,本研究选取水稻、小麦、玉米和薯类作为北京主要的粮食作物,选取大豆、棉花、花生和蔬菜作为北京主要的经济作物,由于西瓜的生产在北京

瓜类的生产中占据了较大的份额,亦将其列为主要的经济作物. 本研究选取的主要农作物的需水量如表 3 所示.

3.2 历年主要农作物虚拟水含量的计算

表 3 北京主要农作物需水量表

Table 3 Water demand for crops in Beijing

作物类型	大米	冬小麦	玉米	薯类 ¹⁾	大豆	棉花	花生	蔬菜	西瓜
生育期需水量/mm	720	400	360	520	550	550	550	1 050	340
折算成体积/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	7 200	4 000	3 600	5 200	5 500	5 500	5 500	10 500	3 400

1) 将薯类列为表 2 中其他作物^[18]

依据表 3 及 1990 ~ 2004 年北京主要农产品播种面积、单产的统计数据,采用公式(1)在计算得出各种作物单位产品虚拟水含量的基础上,可得各类作物总的虚拟水含量, 计算结果列于表 4.

由表 4 可知, 其中虚拟水量下降较大的依次是小麦、玉米和大米, 而蔬菜、大豆和花生虚拟水量有了不同程度的上升, 西瓜、薯类、棉花的虚拟水量基本保持不变.

在粮食作物虚拟水总量变化过程中, 除薯类虚拟水总量变化不大外, 大米、小麦和玉米虚拟水总量

变化趋势大致相同(图 4), 呈下降趋势(在 1999 年以前基本维持比较平缓的下降水平, 1999 年以后骤然下降). 由于北京大米的种植面积在粮食作物的比例不高, 所以, 小麦和玉米的虚拟水总量与大米相比, 减幅程度较大. 其中大米虚拟水总量由 1999 年的 $1.379 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减小到 2004 年的 $0.115 \times 10^8 \text{ m}^3$, 小麦虚拟水总量由 1999 年的 $6.722 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减小到 2004 年的 $1.400 \times 10^8 \text{ m}^3$, 玉米则由 1999 年的 $7.132 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减小到 2004 年的 $2.501 \times 10^8 \text{ m}^3$, 分别减少了 91.62%、78.76%、62.14%, 这与北京近年来采取节

表 4 各类农产品历年虚拟水总量 $\times 10^8/\text{m}^3$
Table 4 Total virtual water for various crops $\times 10^8/\text{m}^3$

年份	大米	小麦	玉米	薯类	大豆	棉花	花生	蔬菜	西瓜
1990	2.466	7.420	8.053	0.379	0.644	0.186	0.608	7.402	0.200
1991	2.486	7.592	8.031	0.365	0.543	0.213	0.619	7.693	0.173
1992	2.278	7.671	8.047	0.342	0.471	0.252	0.642	7.871	0.162
1993	1.908	7.108	7.855	0.343	0.628	0.226	0.636	8.209	0.176
1994	1.659	6.544	7.419	0.317	0.821	0.225	0.639	9.106	0.190
1995	1.678	6.874	7.480	0.287	0.692	0.183	0.615	9.543	0.174
1996	1.661	6.838	7.482	0.268	0.506	0.150	0.563	10.571	0.144
1997	1.668	6.851	7.426	0.271	0.512	0.119	0.522	9.328	0.152
1998	1.399	6.846	7.478	0.258	0.563	0.116	0.508	9.469	0.174
1999	1.379	6.722	7.132	0.272	0.571	0.102	0.542	9.819	0.171
2000	1.013	4.867	4.889	0.314	1.213	0.087	0.705	11.321	0.240
2001	0.492	2.903	3.602	0.304	1.102	0.162	0.729	12.591	0.289
2002	0.322	1.895	3.141	0.320	0.855	0.171	0.840	12.818	0.269
2003	0.116	1.432	2.707	0.283	0.904	0.175	0.733	12.210	0.266
2004	0.115	1.400	2.501	0.267	0.923	0.181	0.851	12.710	0.256

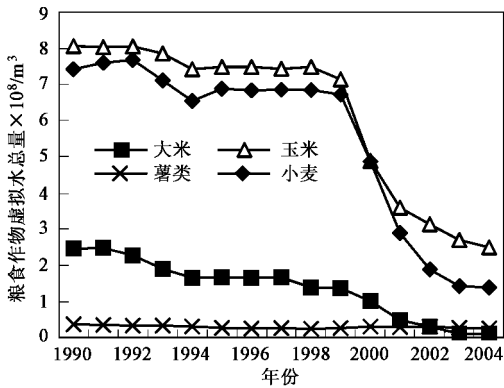


图 4 1990~2004 年北京主要粮食作物虚拟水总量变化
Fig.4 Virtual water for food crops in Beijing from 1990 to 2004

水农业灌溉以及减少粮食作物面积有较大的关系,也说明了北京的节水取得了成效.

由图 5 可知,5 类经济作物除棉花和西瓜外,其余的虚拟水含量均呈现上升趋势.其中涨幅较大的是大豆、花生和蔬菜.蔬菜与花生的变化趋势基本相同,除在 1997 年和 2003 年有所回落外,其他历史年均呈现增长趋势,花生的虚拟水总量由 1990 年的 $0.61 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 2002 年的 $0.84 \times 10^8 \text{ m}^3$,蔬菜由 1999 年的 $7.40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 2002 年的 $12.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,增幅分别达到 38.16%、73.17%;大豆虚拟水总量变化起伏较大,在 1992 和 1996 年有较大的回落,2000 年达到历史最大值,但基本上仍呈现上升趋势,1990~2003 年间的增长率为 40.37%;棉花和西瓜的变化趋势比较平缓,起伏不大.虽然棉花在 1998 年后单位产品虚拟水含量有所下降,但是其种植面积却在增加,因此,其虚拟水总量基本不变;由

于西瓜单位产品虚拟水含量及种植面积历年的变化都不大,所以,其虚拟水总量变化不明显.

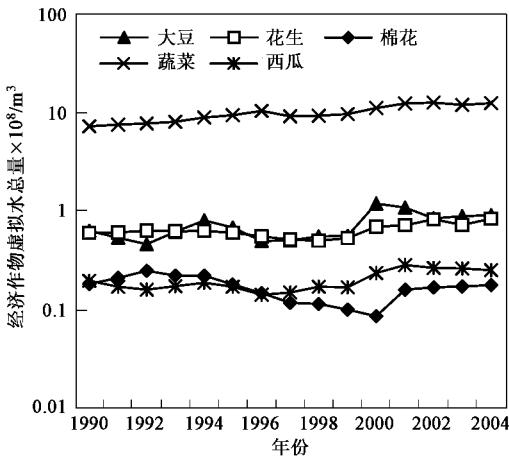


图 5 1990~2004 年北京主要经济作物虚拟水总量变化
Fig.5 Virtual water for economic crops in Beijing from 1990 to 2004

由表 5 和图 6 可知,在历年虚拟水总量的变化过程中,粮食虚拟水总量持续减少,特别是进入 2000 年以来,减幅很大,由 1990 年的 $18.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少到 2004 年的 $4.283 \times 10^8 \text{ m}^3$.经济作物虚拟水总量却呈现上升趋势,由 1990 年的 $9.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 2004 年的 $14.42 \times 10^8 \text{ m}^3$.从 2000 年开始,经济作物虚拟水总量开始高于粮食作物,但农作物虚拟水总量仍呈现下降趋势.

4 北京市农业虚拟水贸易变化分析

虚拟水贸易作为一种调节工具,可以间接增加水资源紧缺地区的水资源供应,从而维护区域或国

表 5 1990 ~ 2004 年北京粮食和经济作物总虚拟水含量 $\times 10^8/\text{m}^3$														
Table 5 Total virtual water for food crop and technical crop in Beijing from 1990 to 2004 $\times 10^8/\text{m}^3$														
指标	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
粮食作物总虚拟水含量	18.475	18.339	17.214	15.939	16.319	16.248	16.217	15.981	15.504	11.082	7.301	5.678	4.538	4.283
经济作物总虚拟水含量	9.243	9.398	9.875	10.982	11.207	11.936	8.965	10.829	11.206	13.567	14.873	14.953	14.288	14.921
作物总虚拟水含量	27.718	27.737	27.089	26.921	27.526	28.184	25.182	26.81	26.71	24.649	22.174	20.631	18.826	19.204

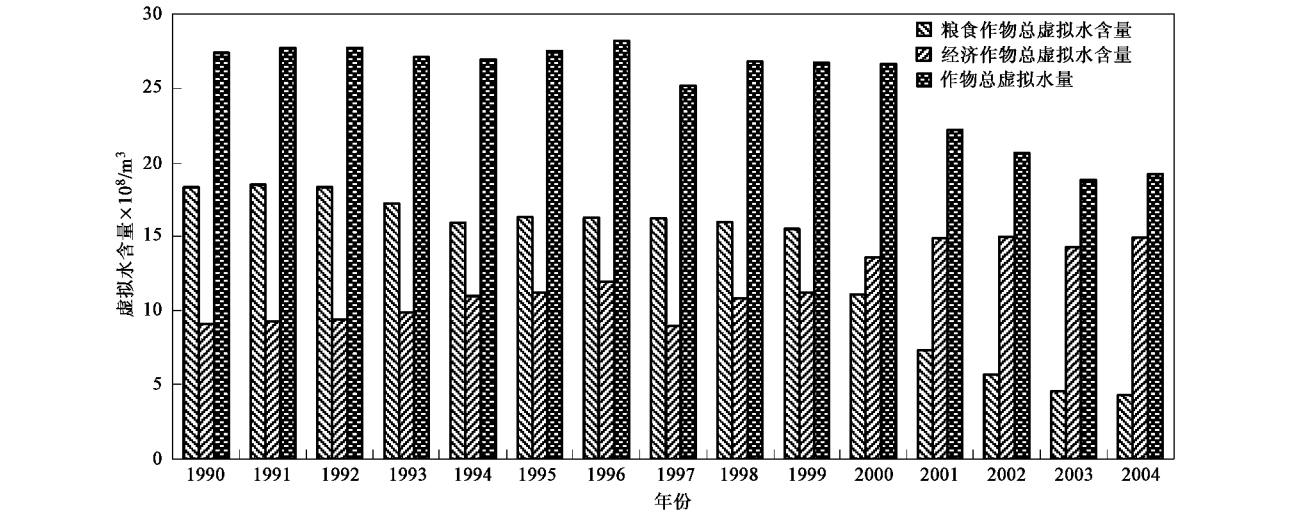


图 6 1990~2004 年北京农作物虚拟水总量变化趋势

Fig.6 Changes of virtual water for crops in Beijing from 1990 to 2004

家的水资源安全^[19].即富水国家或地区通过实物贸易向贫水国家或地区输出水密集型产品,也就是向贫水的国家和地区以虚拟水的形式输出了水资源.虚拟水战略被认为是提高全球水资源利用效率,保障缺水地区水安全的有效手段^[20].国际市场粮食贸易的 2/3 来自于北美洲和欧洲^[4].

常规的“虚拟水”概念注重某一具体产品在生产的过程中直接和间接消耗的水量,如生产 1 t 玉米需要消耗接近 1 200 m³ 的水资源,1 t 稻米需要消耗 2 000 m³ 的水资源^[21];而完全用水系数则是通过投入产出表计算而得,它所计算的是某一类产品在生产过程中所直接和间接消耗的水量,即全部的用水量^[22],本研究采用完全用水系数这一方法,从一个新的角度计算北京市的虚拟水贸易量.

从目前已有的研究来看,虚拟水的定量分析主要有 2 种取向^[23]:一是从生产者的角度将虚拟水定义为生产这种产品所实际使用的水资源量;二是从消费者角度出发,定义为在产品消费地生产同质产品所需要的水资源量.这 2 种取向各有侧重,前种定义主要反映的是产品生产地的生产条件和用水效益等因素,其计算结果能有效地指导当地的生产部门更好地做好水资源的配置和利用工作;而后的计

算以产品消费地为基准,直接反映的是采取进口替代战略后所能节约的本地的水资源量,其计算结果能帮助当地的政策制定部门,在进行贸易结构调整时科学地决策应对哪些产品实施进口替代战略.

由于国内农产品贸易数据的获取十分困难,采用 Zimmer 等^[17]提出的虚拟水贸易计算公式计算地区之间的农产品虚拟水贸易量很难实现.而投入产出表则全面反映了一个国家或地区在一定时期各个产品部门之间的投入产出关系^[24],本研究将投入产出表中水资源部门对其他部门的价值型投入予以量化,成为实物型投入,利用投入产出表调入、调出一栏,计算各个产品部门的虚拟水贸易情况.相应地,在对北京市输入、输出产品虚拟水含量的量化过程中,对输出产品从生产者角度进行量化,对输入产品从消费者角度进行量化,即都是从考查产品的输入、输出对北京市实际可利用水资源量的影响出发.根据投入产出表,本文研究的农业(即种植业)包括:① 谷物种植业(稻谷、小麦、玉米、高粱、谷子及其他杂粮作物的种植);② 油料和豆类作物种植业(花生、大豆、杂豆、油菜籽等);③ 棉麻等植物性纺织原料种植业(棉花、麻类);④ 糖料作物种植业(甘蔗、甜菜);⑤ 蔬菜、瓜类和薯类种植业(蔬菜、菜用瓜、

果用瓜、番茄、菜用豆、食用菌类、茭白、藕、芋头、生姜、香菜等)；⑥ 茶、桑、果树种植业。(柑桔、苹果、梨、桃、荔枝、香蕉、茶树、果树、葡萄等)；⑦其他种植业(染料、香料、绿肥作物、饲料作物、花卉、苇子、蒲草等)^[25]。

北京市历年的农业虚拟水国内贸易量计算结果见表 6 和图 7。

表 6 北京市农产品(业)虚拟水贸易量 × 10⁸/m³

Table 6 Virtual water trade for primary products in Beijing × 10⁸/m³

年份	虚拟水输入量	虚拟水输出量	虚拟水净输入量
1990	7.143	3.317	3.826
1995	3.643	1.245	2.398
1997	2.028	0.077	1.950
2000	2.021	1.477	0.544
2002	3.484	1.085	2.399
2004	3.830	0.808	3.022

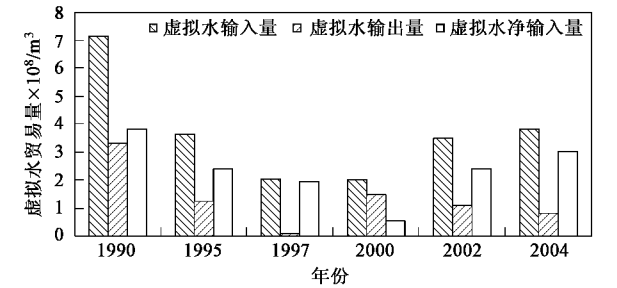


图 7 北京市历年农产品虚拟水贸易

Fig. 7 Virtual water trade for primary products in Beijing for years

随着北京市第一产业结构的逐步调整,北京市农业(种植业)总产值占第一产业的比重持续下降,由 1990 年的 61% 下降至 2004 年的 28%。由表 6 和图 7 可知,北京地区是农产品虚拟水净输入地区,虚拟水净输入量从 1990 年的 $3.826 \times 10^8 \text{ m}^3$ 下降至 2000 年的 $0.544 \times 10^8 \text{ m}^3$,随后虚拟水的净输入量开始增加,至 2004 年增至 $3.022 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

从节约本地水资源的角度考虑,北京市应进一步增加农产品的进口贸易。1997 年北京第一产业中间投入成本已经高于全国平均水平 9%,并且北京市农业生产成本逐年增高,2002 年第一产业中间投入占总产出比重高于 1990 年 20.3%。由此可见,北京市应进一步调整产业结构,降低第一产业在 GDP 中的比重,并且通过输入农产品输入虚拟水,节约本地的水资源。

5 讨论

1990 ~ 2004 年,北京市粮食作物虚拟水总量变

化趋势中,除薯类虚拟水总量基本维持不变外,大米、小麦和玉米虚拟水总量变化趋势基本相同,呈下降趋势。在 1999 年以前基本维持比较平缓的下降趋势,1999 年以后骤然下降。其中大米虚拟水总量由 1999 年的 $1.379 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减小到 2004 年的 $0.115 \times 10^8 \text{ m}^3$,小麦虚拟水总量由 1999 年的 $6.722 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减小到 2004 年的 $1.400 \times 10^8 \text{ m}^3$,玉米则由 1999 年的 $7.132 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减小到 2004 年的 $2.501 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别减少了 93.59%、79.17%、64.93%,这与北京近年来采取节水农业灌溉以及粮食作物面积的减少有较大关系。

5 类经济作物 1990 年以来虚拟水总量除棉花和西瓜变化不大外,均呈现上升趋势,其中涨幅较大的是大豆、花生和蔬菜。蔬菜与花生的变化趋势基本相同,基本上呈现增长趋势,大豆虚拟水总量变化起伏较大,在 1992 和 1996 年有较大的回落,2000 年达到历史最大值,但基本亦呈现上升趋势,1990 ~ 2004 年间的增长率为 43.32%。棉花和西瓜的变化趋势比较平缓,起伏不大。虽然棉花在 1998 年后单位产品虚拟水含量有所下降,但是其种植面积却在增加,因此,其总的虚拟水含量基本不变;由于西瓜单位产品虚拟水含量及种植面积的变化都不大,因此,其总的虚拟水含量历年的变化不明显。

根据区域和种植区的实际情况,调整和优化种植结构,对提高农田整体水分利用效率是非常有利的。北京将逐年压缩水稻种植面积,稻米的灌溉用水定额是 $9\,000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,大约是其它种植作物的 2 倍,2008 年前耗水量大的水稻将淡出北京。近年来北京市蔬菜面积所占比例逐年增加,与 1998 年相比已取代粮食作物用水大户的地位。虽然蔬菜作物 87% 的面积已实现节水灌溉,但 2001 年蔬菜作物灌水量仍达 $6.68 \times 10^8 \text{ m}^3$,占种植业灌溉总用水量的 56%。在考虑种植蔬菜种类时,应把蔬菜的需水量当作一个重要因素来考虑。目前蔬菜作物播种面积增大和用水过快,进一步挖掘蔬菜作物的节水潜力,降低蔬菜作物用水量十分必要的。另外,牧草、经济作物这样用水量相对较低、效益相对较高的作物,可以考虑扩大其种植面积的比例。

通过对 1990 ~ 2004 年农产品虚拟水贸易量分析可知,在农产品贸易领域北京仍然是一个虚拟水净输入的地区,仅从 2004 年的情况看,净输入虚拟水量达到 $3.02 \times 10^8 \text{ m}^3$,调入了相当于北京市 7.5% 的水资源量,有效地保障了北京地区的食用水安全。但鉴于北京地区日益严峻的水资源短缺形势,可进

一步深入研究北京市的农业用水结构和贸易结构,将虚拟水资源贸易与农产品结构调整相结合,更好地运用虚拟水战略,提升农产品虚拟水输入在城市消费中的比重.

6 结论

(1)北京地区粮食虚拟水总量持续减少,特别是进入 2000 年以来,减少幅度很大,由 1990 年的 $18.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少到 2004 年的 $4.283 \times 10^8 \text{ m}^3$. 经济作物虚拟水总量却呈现上升趋势,由 1990 年的 $9.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 2004 年的 $14.92 \times 10^8 \text{ m}^3$. 从 2000 年开始,经济作物虚拟水总量开始高于粮食作物,但农作物虚拟水总量总体上仍呈现下降趋势.

(2)北京是一个农产品虚拟水净输入的地区,以表 6 中的计算结果来计,6 a 平均虚拟水净输入量为 $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$,这相当于北京市年产水资源总量的 5.93%,有效地保障了北京地区的食用水安全,间接地缓解了北京市水资源紧缺的局面.

参考文献:

[1] 王红瑞,董艳艳,王军红,等. 关于虚拟水与虚拟水贸易的讨论[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2006, 42(6): 500 ~ 506.

[2] Qadir M, Boers T M, Schubert S, *et al.* Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities [J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 62: 165 ~ 185.

[3] Fishelson G. The allocation of marginal value product of water in Israel agriculture [A]. In: Isaac J, Shuval H, (Eds.). *Water and Peace in the Middle East* [C]. Amsterdam: Elsevier Science B V, 1994. 427 ~ 440.

[4] Kumar M D, Singh O P. Virtual water in global food and water policy making: is there a need for rethinking? [J]. *Water Resources Management*, 2005, 19: 759 ~ 789.

[5] Allan J A. Overall perspectives on countries and regions [A]. In: Rogers P, Lydon P, (Eds.). *Water in Arab World: Perspectives and Progress* [C]. Cambridge M A: Harvard University Press, 1994. 100 ~ 112.

[6] Allan J A. Virtual water: a strategic resource-global solutions to regional deficits[J]. *Ground Water*, 1998, 36(4): 544 ~ 546.

[7] Wichelns D. The role of “virtual water” in efforts to achieve food securities and other national goals, with an example from Egypt [J]. *Agriculture Water Management*, 2001, 49: 131 ~ 151.

[8] Allan J A. Virtual water: a long term solution for water short Middle East economies? [A]. In: *Proceedings of the Paper Presentation at*

the 1997 British Association Festival of Sciences [C]. University of Leeds, Water and Development Session, 9 September 1997. Available at <http://www2.soas.ac.uk/geography/waterissues/>.

[9] Wichelns D. The policy relevance of virtual water can be enhanced by considering comparative advantages [J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 66: 49 ~ 63.

[10] 王红瑞,王军红. 中国畜产品的虚拟水含量[J]. *环境科学*, 2006, 27(4): 609 ~ 615.

[11] Falkenmark M, Lindh G. Water and economic development [A]. In: Gleick P H (Ed.). *Water in Crisis* [C]. New York: Oxford University Press, 1993. 80 ~ 91.

[12] Wang Y, Wang H. Sustainable use of water resources in agriculture in Beijing: problems and countermeasures [J]. *Water Policy*, 2005, 7(4): 345 ~ 357.

[13] 王金如. 21 世纪初期北京水资源的合理配置[J]. *北京水利*, 2003, 46(2): 33 ~ 34.

[14] 王红瑞,刘昌明,毛广全,等. 水资源短缺对北京农业的不利影响分析与对策[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(2): 160 ~ 169.

[15] 刘冀宏,沈秀英. 北京市缓解农业用水紧缺的途径[J]. *北京水利*, 2004, 6: 29 ~ 30.

[16] 文化,王爱玲,陈俊红. 聚焦都市农业——农业在首都经济发展中地位与作用[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005. 35 ~ 38.

[17] Zimmer D, Renault D. Virtual water in food production and global trade: review of methodological issues and preliminary results [A]. In: Hoekstra A Y (Ed.). *Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. Value of Water Research Report Series No. 12 [C]. the Netherlands: Delft, 2003, 12: 100 ~ 112.

[18] 王加华. 抗日战争前后华北作物种植的变化趋势——以棉花与粮食作物对比为中心[J]. *中国农史*, 2004, 2: 44 ~ 50.

[19] 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 ~ 265.

[20] 王新华. 中部四省虚拟水贸易的初步研究[J]. *中国农村水利水电*, 2004, 9: 30 ~ 33.

[21] 张志强,程国栋. 虚拟水、虚拟水贸易与水资源安全新战略[J]. *资源环境*, 2004, 3: 7 ~ 10.

[22] 王岩,王红瑞. 北京市的水资源与产业结构优化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007. 156 ~ 167.

[23] Hoekstra A Y. Virtual water trade: Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade [A]. Value of Water Research Report Series No. 12 [C]. the Netherlands: Delft, 2003, 12: 13 ~ 23.

[24] Lenzen M, Foran B. An input-output analysis of Australian water usage [J]. *Water Policy*, 2001, 3: 321 ~ 340.

[25] 国家统计局国民经济核算司. 1997 年度中国投入产出表 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1999.