

# 虚拟水视角下的水资源承载力分析

韩雪

(辽宁师范大学城市与环境学院,辽宁大连 116029)

**摘要:**为研究华北地区水资源的可持续发展能力,引入虚拟水作为评价华北地区水资源承载力的评价指标,探讨虚拟水战略的适用性及与水资源承载力的关系。以水资源总量、总供水量、年降水量等13个因子作为水资源承载力评价指标,运用主成分分析法对华北地区的水资源承载力进行综合评价。结果表明:影响水资源承载力的驱动因子主要为经济、人口和水资源及虚拟水净流量;华北地区水资源承载力处于波动上升的趋势;虚拟水是影响水资源承载力的重要因子,但虚拟水的引入不会改变水资源承载力的总体变化趋势。

**关键词:**水资源承载力;虚拟水;虚拟水战略;主成分分析法

**中图分类号:**TV213.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1003-9511(2013)03-0006-05

地球上淡水资源仅占水资源总量的0.75%,全球现有12亿人面临中度到高度缺水压力,80个国家水源不足,20亿人饮水得不到保障。我国是一个严重缺水的国家,水资源时空分布不均匀,大量淡水资源集中在南方,北方淡水资源只占南方的1/4,从可持续发展战略角度考虑,区域发展必须考虑水资源的承载能力。20世纪末,水资源安全问题已经引起世界各国政府的高度重视,水资源安全也随之成为各国水资源研究的前沿热点。20世纪80年代初,联合国教科文组织提出了资源承载力的概念<sup>[1]</sup>,80年代中后期水资源承载力的研究作为可持续发展研究和水资源安全战略研究中的一个基础课题被提出来<sup>[2]</sup>。国外对水资源承载力研究较少,基本被纳入可持续发展理论中<sup>[3-7]</sup>。我国对水资源承载力的研究最早是在1985年,以施雅风院士为首的新疆水资源软科学课题调研组提出了水资源承载力的概念,对新疆的WRCC和开发战略对策进行研究<sup>[8]</sup>,随后一些学者从不同角度提出了水资源承载力的概念<sup>[9-10]</sup>。对水资源承载力的研究主要集中在流域研究<sup>[11-12]</sup>、地区研究<sup>[13-14]</sup>、城市研究<sup>[15]</sup>;对水资源承载力的研究方法主要有常规趋势法<sup>[16]</sup>、模糊综合评价法<sup>[17]</sup>、主成分分析法<sup>[18]</sup>、系统动力学方法<sup>[19]</sup>、多目标决策法<sup>[20]</sup>等。目前,已有少数学者将水资源承载

力与虚拟水理论相结合进行研究<sup>[21-22]</sup>,但其研究处于探索阶段,研究成果较少。

虚拟水由英国学者Allan<sup>[23]</sup>于1993年首次提出,并将其定义为生产农产品所需要的水资源量;1996年他又对这一概念进行了扩展和完善,将其定义为“生产商品或服务所需要的水资源量”。2003年程国栋院士<sup>[24-25]</sup>首次将虚拟水理论引入国内,并以中国西北4省为例探讨了虚拟水战略以及实施虚拟水战略的对策建议,随后虚拟水战略研究在国内展开。虚拟水战略是水资源和水资源安全研究的创新领域,初步应用在解决我国水资源短缺与粮食安全及水生态环境等问题中。虚拟水和虚拟水战略的研究在我国尚处于初级阶段,虚拟水战略在我国的实际应用还存在许多问题<sup>[26]</sup>,目前将其应用到现实并与水资源相关领域研究的结合也不多见,多属于定性论述和概念介绍,亟待进行深入研究。

虚拟水战略和水资源承载力均是水资源安全与水资源管理研究领域的热点和难点。水资源承载力评价指标一般选取与资源、环境、社会、经济、生态等相关的指标,在资源中一般选取水资源的自然状况和开发利用程度,虚拟水是水资源开发利用程度的体现,因此本文将虚拟水作为水资源承载力的评价指标,考察虚拟水对水资源承载力的影响程度。

**基金项目:**国家社会科学基金(11BJY063);教育部人文社会科学规划基金(10YTA790163)

**作者简介:**韩雪(1982—),女,黑龙江齐齐哈尔人,博士研究生,从事水资源评价与管理研究。

# 1 水资源承载力评价指标的选取

通过水资源承载力的概念分析,水资源承载力最终要以一定的人口总量规模为落脚点,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性循环发展为条件,经过合理优化配置,对该地区社会经济发展的最大支撑能力。因此,可将影响水资源承载力的主要因素归纳为:资源、环境、社会、经济、生态等。笔者拟从水资源状况及开发利用程度、消费水平与结构、人口和生产力4个方面选取具体评价指标;由于自然地理条件的不同,水资源的数量、质量及对其开发利用程度也不同,文中选取水资源总量( $X_1, 10^8 \text{ m}^3$ )、总供水量( $X_2, 10^8 \text{ m}^3$ )、年降水量( $X_3, 10^8 \text{ m}^3$ )、地表水量( $X_4, 10^8 \text{ m}^3$ )、农业用水量( $X_5, 10^8 \text{ m}^3$ )、工业用水量( $X_6, 10^8 \text{ m}^3$ )、生活用水量( $X_7, 10^8 \text{ m}^3$ )、虚拟水净流量( $X_8, 10^8 \text{ m}^3$ )作为水资源状况及开发利用程度具体评价指标;在社会生产能力确定的前提下,水资源承载能力的大小受消费水平及结构的影响,因此选取城镇居民消费水平( $X_9, \text{元}$ )、农村居民消费水平( $X_{10}, \text{元}$ )作为消费水平与结构的具体评价指标;人是社会生产的主体,水资源承载能力也包括承载人的能力,因此选取总人口( $X_{11}, 10^4 \text{ 人}$ )作为人口的具体评价指标;在不同生产力水平下利用单位质量的水可生产不同数量及质量的工农业产品,因此,在研究某一地区或区域的水资源承载能力时要估测现状与未来的生产力水平,选取地区生产总值( $X_{12}, 10^8 \text{ 元}$ )和固定资产投资额( $X_{13}, 10^8 \text{ 元}$ )作为生产力的具体评价指标。

## 2 水资源承载力评价方法

笔者采用主成分分析法对华北地区水资源承载力进行客观评价,主成分分析是将许多相关性很高的变量转化成彼此相互独立的或不相关的变量,可以在尽可能保留原始变量信息的基础上降低变量的维度。因此,主成分分析法可以把影响水资源承载力的多个因子,用少数几个相互独立的主成分的线性组合来反映原有多个因子的绝大部分信息,表达不同时段水资源承载力的状况。

运用 SPSS19.0 统计软件对数据资料进行分析,主成分分析的一般步骤如下:

a. 为排除量纲和数量级的影响,首先对原始数据进行标准化。通过 Analyze → Descriptive Statistics → Descriptive 对话框来实现。

b. 计算标准化后的样本相关矩阵,并求相关矩阵的特征值(取特征值大于 0.8),并计算其累计贡

献率,按累计贡献率大于或等于 85% 的原则确定主成分数(利用 Analyze → Data Reduction → Factor Analysis 来完成)。

c. 用主成分载荷矩阵中的数据除以主成分相对应的特征值开平方根得到两个主成分中每个指标所对应的系数(利用“Transform → Compute Variable”对话框),然后将得到的特征向量与标准化后的数据相乘,就可以得出主成分即得分表达式。

d. 以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重计算主成分综合模型。

## 3 实证研究

### 3.1 研究区域概况及数据来源

本文以华北区域为研究区域。华北区域包括北京、天津、河北、山西和内蒙古,位于我国大陆北部,介于北纬  $32^\circ \sim 42^\circ$  之间,东经  $110^\circ \sim 120^\circ$ 。区域气候具有明显的季风特征,处于北温带。该区域四季分明,降水集中在夏季,雨量偏低,并且夏季降水量总体呈下降趋势,但极端降水天气发生的次数并没有减少,强度也呈增加趋势。

本文所采用的数据资料均来自《中国统计年鉴》(2001—2010 年)、《水资源公报》(2000—2009 年),并经过计算整理获得;虚拟水净流量主要参考文献[27]。

### 3.2 华北地区水资源承载力的评价结果及分析

在表 1 中选取了总降水量、人口、消费结构等 13 个指标,并应用 SPSS19.0 软件进行主成分分析得到水资源承载力驱动因子的相关系数矩阵(表 2,表 3)及其特征值和贡献率(表 4,表 5)。由表 4 和表 5 可知,所选取的因子均存在一定的相关性。由表 4 可以看出,前 3 个主成分累积贡献率达到 90.875%;由表 5 可以看出,前 4 个主成分的累积贡献率已达 93.818%。因此,第一组数据中,有 3 个主成分( $F_1, F_2$  和  $F_3$ )较全面地反映了影响华北地区水资源承载力变化的驱动因子;第二组数据中有 4 个主成分( $F'_1, F'_2, F'_3$  和  $F'_4$ )体现水资源承载力的年际变化趋势。

在主成分分析中载荷值越大说明与该主成分的相关性越大,由表 6 可知,第一主成分与  $X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$  和  $X_{13}$  存在较强的正相关性,如表 7 所示,第一主成分与  $X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}$  之间存在较强的正相关性,均与  $X_5, X_6$  存在较强的负相关关系,两组数据的第一主成分基本涵盖了经济发展水平和人口因子;第二主成分均与  $X_1, X_3, X_4$  存在较强的正相关性,第三主成分均与  $X_2$  存在较强的正相关性,主要

表 1 华北经济及水资源状况统计

年份	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>
2000	157.1	119.9	855.9	55.1	63.6	29.2	26.5	40.2	21314.0	8224.0	5680	5761.9	2439.6
2001	94.4	115.7	765.9	50.7	63.6	26.7	25.3	59.8	23036.0	8898.0	5659.0	6465.7	2881.9
2002	99.4	112.8	885.5	52.1	61.7	25.5	24.9	54.9	25532.0	9655.0	5724.0	7281.4	3417.0
2003	163.9	111.7	1179.3	101.5	57.4	26.6	26.2	52.9	28214.0	10897.0	5781.0	8567.4	4309.5
2004	128.1	112.6	912.7	76.1	57.9	26.7	26.1	96.2	32406.0	11977.0	5852.0	10257.6	5217.8
2005	117.9	113.3	863.8	65.1	59.0	25.2	22.9	78.0	35181.0	13141.0	5936.0	15105.7	6148.9
2006	120.7	116.6	877.8	66.9	59.6	26.0	28.3	61.8	39138.0	14873.0	6031.0	17459.1	7372.6
2007	138.5	116.9	1014.2	80.4	39.3	24.3	28.9	66.1	43848.0	17261.0	6141.0	21124.0	9121.8
2008	139.9	114.3	910.0	77.7	57.3	22.5	30.0	65.1	48318.0	19706.0	6282.0	25149.4	10735.7
2009	122.8	115.2	925.0	65.1	58.6	20.1	30.4	59.2	52136.0	22263.0	6410.0	27033.2	14298.3

表 2 引入虚拟水前华北水资源承载力变化驱动因子相关系数矩阵

变量	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>
X <sub>1</sub>	1.000											
X <sub>2</sub>	0.163	1.000										
X <sub>3</sub>	0.687	-0.389	1.000									
X <sub>4</sub>	0.691	-0.431	0.903	1.000								
X <sub>5</sub>	-0.273	-0.057	-0.492	-0.510	1.000							
X <sub>6</sub>	0.169	0.221	-0.107	-0.139	0.309	1.000						
X <sub>7</sub>	0.302	0.321	0.213	0.266	-0.383	-0.618	1.000					
X <sub>9</sub>	0.075	-0.035	0.178	0.314	-0.497	-0.890	0.752	1.000				
X <sub>10</sub>	0.082	-0.006	0.172	0.284	-0.456	-0.916	0.787	0.993	1.000			
X <sub>11</sub>	0.103	0.026	0.159	0.271	-0.449	-0.899	0.785	0.993	0.998	1.000		
X <sub>12</sub>	0.070	0.049	0.121	0.251	-0.475	-0.887	0.759	0.991	0.990	0.993	1.000	
X <sub>13</sub>	0.061	0.005	0.155	0.244	-0.416	-0.927	0.779	0.981	0.995	0.992	0.977	1.000

表 3 引入虚拟水后华北水资源承载力变化驱动因子相关系数矩阵

变量	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>
X <sub>1</sub>	1.000												
X <sub>2</sub>	0.163	1.000											
X <sub>3</sub>	0.687	-0.389	1.000										
X <sub>4</sub>	0.691	-0.431	0.903	1.000									
X <sub>5</sub>	-0.273	-0.057	-0.492	-0.510	1.000								
X <sub>6</sub>	0.169	0.221	-0.107	-0.139	-0.309	1.000							
X <sub>7</sub>	0.302	0.321	0.213	0.266	-0.383	-0.618	1.000						
X <sub>8</sub>	-0.246	-0.491	-0.077	0.205	-0.235	-0.158	-0.160	1.000					
X <sub>9</sub>	0.075	-0.035	0.178	0.314	-0.497	-0.890	0.752	0.272	1.000				
X <sub>10</sub>	0.082	-0.006	0.172	0.284	-0.456	-0.916	0.787	0.194	0.993	1.000			
X <sub>11</sub>	0.103	0.026	0.159	0.271	-0.499	-0.899	0.785	0.186	0.993	0.998	1.000		
X <sub>12</sub>	0.070	0.049	0.121	0.251	-0.475	-0.877	0.759	0.188	0.991	0.990	0.993	1.000	
X <sub>13</sub>	0.061	0.005	0.155	0.244	-0.416	-0.927	0.779	0.172	0.981	0.995	0.992	0.977	1.000

表 4 引入虚拟水前主成分的特征值和贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
F <sub>1</sub>	6.854	57.118	57.118
F <sub>2</sub>	2.640	21.999	79.118
F <sub>3</sub>	1.411	11.758	90.875

表 5 引入虚拟水后主成分的特征值和贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
F' <sub>1</sub>	6.888	52.983	52.983
F' <sub>2</sub>	2.640	20.037	73.290
F' <sub>3</sub>	1.844	14.188	87.478
F' <sub>4</sub>	0.824	6.339	93.818

表 6 引入虚拟水前因子载荷矩阵

变量	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
X <sub>1</sub>	0.192	0.768	0.481
X <sub>2</sub>	-0.022	-0.333	0.930
X <sub>3</sub>	0.311	0.908	-0.103
X <sub>4</sub>	0.407	0.879	-0.131
X <sub>5</sub>	-0.554	-0.391	-0.159
X <sub>6</sub>	-0.882	0.263	0.317
X <sub>7</sub>	0.815	-0.033	0.393
X <sub>9</sub>	0.982	-0.121	-0.057
X <sub>10</sub>	0.987	-0.145	-0.033
X <sub>11</sub>	0.983	-0.151	0.000
X <sub>12</sub>	0.973	-0.176	0.008
X <sub>13</sub>	0.976	-0.176	-0.036

表 7 引入虚拟水后因子载荷矩阵

变量	F <sub>1</sub> '	F <sub>2</sub> '	F <sub>3</sub> '	F <sub>4</sub> '
X <sub>1</sub>	0.182	0.769	0.472	-0.013
X <sub>2</sub>	-0.039	-0.330	0.854	0.380
X <sub>3</sub>	0.307	0.908	-0.005	-0.173
X <sub>4</sub>	0.411	0.878	-0.145	-0.029
X <sub>5</sub>	-0.558	-0.391	-0.012	-0.609
X <sub>6</sub>	-0.883	0.263	0.191	0.255
X <sub>7</sub>	0.804	-0.030	0.441	-0.045
X <sub>8</sub>	0.199	-0.009	-0.797	0.448
X <sub>9</sub>	0.985	-0.121	-0.063	0.030
X <sub>10</sub>	0.987	-0.145	-0.005	-0.040
X <sub>11</sub>	0.983	-0.150	0.020	-0.025
X <sub>12</sub>	0.974	-0.176	0.019	0.022
X <sub>13</sub>	0.976	-0.176	0.004	-0.075

是水资源的自然状况与开发能力;第二组数据的第四主成分与 X<sub>8</sub> 存在较强的正相关性,即与粮食流动中虚拟水的净流量存在较强的联系。通过对比可以看出,虚拟水的调入调出是评价一个区域水资源承载力主要成分的重要指标之一。

由表 8 和表 9 可以看出,水资源承载力得分既有正值又有负值,正负并不能代表水资源承载力的真实水平,而是表示水资源承载力在所选取时间段内的相对位置,正值表示高于该时段内的平均水平,负值表示低于该时段内的平均水平,综合得分越高说明水资源承载力越大,反之越小。

表 8 引入虚拟水前 2000—2009 年水资源承载力综合得分

年份	F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>		F <sub>3</sub>		F	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	总得分	排名
2000	-2.994	10	-0.031	4	2.605	1	-1.552	8
2001	-2.989	9	-1.805	10	-0.196	5	-2.341	10
2002	-2.323	8	-0.896	8	-1.289	10	-1.843	9
2003	-0.725	5	3.871	1	-0.697	7	0.392	4
2004	-0.925	7	0.674	3	-0.714	8	-0.510	6
2005	-0.744	6	-0.501	6	-1.206	9	-0.745	7
2006	0.504	4	-0.755	7	0.646	3	0.218	5
2007	2.624	3	1.134	2	1.110	2	2.067	2
2008	3.227	2	-0.221	5	-0.015	4	1.973	3
2009	4.346	1	-1.470	9	-0.245	6	2.344	1

表 9 引入虚拟水后 2000—2009 年水资源承载力综合得分

年份	F <sub>1</sub> '		F <sub>2</sub> '		F <sub>3</sub> '		F <sub>4</sub> '		F'	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名	总得分	排名
2000	-3.125	10	-0.020	4	2.903	1	0.191	4	-1.317	8
2001	-3.004	9	-1.800	10	-0.195	7	0.058	6	-2.107	10
2002	-2.347	8	-0.894	8	-0.785	8	-0.749	8	-1.686	9
2003	-0.770	7	3.868	1	-0.100	6	-1.167	10	0.297	4
2004	-0.747	6	0.657	3	-1.945	10	0.882	2	-0.516	6
2005	-0.654	5	-0.512	6	-1.659	9	0.295	3	-0.710	7
2006	0.490	4	-0.752	7	0.605	3	0.177	5	0.220	5
2007	2.625	3	1.135	2	0.698	2	1.815	1	1.953	2
2008	3.225	2	-0.219	5	0.143	5	-0.487	7	1.763	3
2009	4.308	1	-1.462	9	0.334	4	-1.015	9	2.103	1

由表 8 可知, F<sub>1</sub> 与 F<sub>1</sub>' 的得分在 2000—2009 年呈逐年增加的趋势,表明影响水资源承载力的主要因素是经济发展水平,随着经济的发展,科技水平逐渐提高,对污水回收处理能力得到显著增强。2005 年北京市利用再生水为 2.6×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,2006 年为 3.6×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,预计到 2020 年将利用再生水 8×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>[22]。人口作为持续增长的外部因素也影响着水资源承载力,但从表 7 可以看出,人口的增长使得生活需水不断增加,水资源污染不断加剧,给水资源承载力造成了更大的压力。

F<sub>2</sub> 与 F<sub>2</sub>' 的得分没有明显的规律性,主要是因为第二个主成分受水资源的自然状况影响,自然条件没有固定的规律,导致降水量与地表水量也没有固定的规律,因此,第二主成分主要受自然条件影响。

F<sub>3</sub> 与 F<sub>3</sub>' 的得分主要受总供水量影响,总供水量多的年份分值较高,总供水量低的年份分值相对较低。华北地区的总供水量,除本地区水资源供给外,还来源于引黄入晋的外调水,外调水对该成分也有较大的影响。

F<sub>4</sub>' 的得分主要是受虚拟水净流量的影响,华北地区是虚拟水净调入区,在人口逐年增加,粮食需求随之增加的状况下,农业需水却在逐年减小,主要是虚拟水贸易的影响,虚拟水的调入缓解了当地的水资源压力,刘博等[22]认为实施虚拟水战略是提高北京水资源承载力的重要途径。但事实上虚拟水战略不会因水资源承载力的大小而发生变化,仅是水资源承载力的评价因子。

华北地区在 10 年内的得分呈波动增长趋势,说明华北地区水资源承载力状况有所好转。2003 年、2006 年、2007 年、2008 年和 2009 年水资源承载力总得分均为正值,除 2006 年外,总得分 F 均高于 F';而 2000 年、2001 年、2002 年、2004 年和 2005 年水资源承载力均为负值,除 2004 年外总得分 F'均高于 F。由此可以看出,当总得分为正值时,即在水资

源压力逐年转好的情况下,虚拟水的调入调出对水资源承载力影响不是很大,而当水资源承载力为负,即水资源承载力压力较大时,虚拟水则成为主要的影响因素之一,调入量越多水资源承载力越大可以减缓水资源压力,相反输出则会增加水资源压力。由此可以证明,虚拟水战略在仅考虑水资源的前提下适用于缺水地区,而对水资源富足地区的水资源承载力影响不大。但由于本文选取的主成分分析法的特性,仅能说明虚拟水净流量在不同年份对水资源承载力的重要程度,并不能因此说明2005年后虚拟水净流量就不影响水资源承载力,因此,笔者通过对比分析水资源承载力的主成分数,揭示虚拟水净流量是其主要的影响因子。

## 4 结 论

a. 应用主成分分析法对华北地区的水资源承载力进行综合评价,通过结果分析,影响水资源承载力的驱动因子主要为:经济发展、人口和水资源及虚拟水净流量,经济发展因子的贡献率居各主成分之首,是对当地水资源承载力影响最为关键的因子。

b. 华北地区水资源承载力处于波动上升的趋势,水资源的自然属性维持着资源禀赋的稳定性,南水北调与引黄入晋为华北地区的经济发展提供了一定的支撑作用,缓解了区域内的用水矛盾,因此,为缓解水资源的供需矛盾,该地区必须高效开发利用水资源。

c. 将虚拟水理论引入到水资源承载力评价中,可看出虚拟水也是水资源承载力的重要影响因子,但虚拟水的引入不会改变水资源承载力的总体变化趋势,只会在水资源承载力低于多年平均水平时,缓解水资源压力,而在水资源承载力高于多年平均水平时,虚拟水对水资源承载力的影响则不大。并可以证明虚拟水战略的适用性是有局限性的,在不考虑社会因素的影响下,首先,虚拟水战略仅适用于缺水地区,可以改善缺水地区的水资源压力;其次,在缺水地区虚拟水战略的适用性受到水资源承载力的限制,随着时间段变化,水资源压力得到缓解,水资源承载力高于多年平均水平时,虚拟水战略的适用性减弱,虚拟水对水资源压力的缓解作用减弱,影响水资源承载力的首要因素还是经济发展因子。因此,在解决我国水资源短缺和时空分布不均时,在实施虚拟水战略的同时,必须配合节水措施、调水战略、经济结构调整战略等手段,提高用水效率、提高工程蓄水保水能力等措施实现水资源承载能力的提高。

d. 亟须建立生态补偿机制,补偿缺水地区虚拟

水净流出的生态成本,从而促进虚拟水贸易的可持续性,避免虚拟水输出区域经济发展滞后,生态遭到破坏等问题。

## 参考文献:

- [1] UNESCO, FAO. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya: a resource accounting methodology for exploring national options for sustainable development [R]. Paris and Rome, 1985.
- [2] 夏军. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战(一)[J]. 海河水利, 2002(2): 5-7.
- [3] 姚治君, 王建华, 江东, 等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J]. 水科学进展, 2002, 13(1): 111-115.
- [4] HARRIS J M. Carrying capacity in agriculture: globe and regional issue [J]. Ecological Economics, 1999, 129(3): 443-461.
- [5] MUNTHER H. Water issue in Hashemite Jordan [J]. Arab Studies Quarterly, 2000, 22(2): 54-67.
- [6] FALKENMARK M, LUNDQVIST J. Towards water security: political determination and human adaptation crucial [J]. Natural Resources Forum, 1998, 21(1): 37-51.
- [7] KUYKENDTIERNA J L, BJORKLUND G, NAJLIS P. Sustainable water future with global implications: everyone's responsibility [J]. Natural Resources Forum, 1997, 21(3): 181-190.
- [8] 新疆水资源软科学课题研究组. 新疆水资源及其承载力的开发战略对策[J]. 水利水电技术, 1989(6): 2-9.
- [9] 许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 1993, 8(3): 229-237.
- [10] 崔凤军. 城市水环境承载力及其实证研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(1): 58-62.
- [11] 刘昌明, 王红瑞. 浅析水资源与人口、经济和社会环境的关系[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 635-644.
- [12] 徐中民. 情景基础的水资源承载力多目标分析理论及应用[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 99-106.
- [13] 夏军, 朱一中. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 262-269.
- [14] 陈冰, 李丽娟, 郭怀成, 等. 柴达木盆地水资源承载方案系统分析[J]. 环境科学, 2000(3): 16-21.
- [15] 牟海省, 刘昌明. 我国城市设置与区域水资源承载力协调研究刍议[J]. 地理学报, 1994, 49(4): 338-343.
- [16] 施雅风, 曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 132-176.
- [17] 许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 1993, 8(3): 229-237.
- [18] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价: 主成分分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 168-173.

(下转第15页)

性系数,说明了水利投资对于农村总产值的贡献较大,并且其贡献值超过农用机械量和农村劳动力的贡献值。这主要是因为农村水利投资长期滞后于其他农业生产要素投入,成为制约农业生产的瓶颈和短板<sup>[6]</sup>,所以,一旦进行水利投资建设,便相当于补齐了这个农业生产的短板,促进农业生产的发展,故水利投资对农村总产值的贡献度要高于农业机械量和农村劳动力。

### 3 研究结论与建议

#### 3.1 研究结论

a. 农村水利投资机制不健全,导致农村水利投资增长率在波动中持续下降。尽管多年来党中央和国务院反复强调农村水利建设的必要性和重要性,并强调要增加农村水利投入,中央财政也逐年加大对农村水利投入力度,然而,为了减轻农民负担而进行农村税费改革,取消两工,农村基层政府从农业生产环节中退出,农民对农村水利投入急剧减少,并且,农村税费改革也使农村基层财力大幅度被削弱,导致农村基层政府对农村水利投资急剧减少,而省、市政府尽管财力比较雄厚,但他们远离三农,对农村水利投资热情不高,从而导致农村水利投资不足。另外,由于农村水利投资回报率低、回收期长,并且具有公共产品的特征,存在较大的正外部性<sup>[6]</sup>,企业对农村水利投资不感兴趣,投资意愿不强。

b. 农村水利投资效益大。在农业生产各要素对农业总产值贡献度中,水利投资的弹性系数为 2.704,农用机械量的弹性系数为 2.057,而劳动力的弹性系数为-1.418,水利投资的产出弹性系数高于农用机械量的弹性系数,更高于负值的劳动力弹性系数,说明了水利投资效益大。

#### 3.2 建议

a. 明确规定各级政府对农村水利投资的责任和义务,制订出奖罚措施,实行党政一把手负责制,对超额完成任务者奖励,对没能完成任务者惩罚,并定期检查,严格按规执行。

b. 优化农业补贴结构。把种粮补贴、农资补贴转变成农村水利建设基金,运用农村水利基金加强农村水利建设,把给予农民钱转变成给予农民水,改善农业生产条件,减少农业生产成本,增加农业生产效益,提高农民生产积极性。

c. 建立健全农村合作用水组织,把分散的农民组织起来,投入到农村水利建设中去。农村用水合作组织是把分散的农民联系在一起的纽带,也是农民和政府沟通的桥梁,通过农村用水合作组织把农民对农村水利建设的期望和要求反映给政府,同时,

把政府的政策传达给农民,并引导农民执行落实好政府的水利建设政策。

d. 运用市场机制引导个人和企业把资金投入农村水利建设中来。通过租赁、拍卖承包等方式明晰产权,切实保护投资者合法利益。同时,为农村水利建设项目提供低息甚至无息贷款,鼓励个人和企业投资小水库、鱼塘进行养殖开发等。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 中国水利统计年鉴[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011:52,158.
- [2] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,1991-2011.
- [3] 唐文进,徐晓伟,许桂华. 大规模水利投资对中国经济的拉动效应[J]. 当代财经,2011(11):20-29.
- [4] 杜威漩. 中国农业水利基建投资的实证研究[J]. 农业技术经济,2005(3):43-47.
- [5] 李子奈. 计量经济学[M]. 北京:高等教育出版社,2008:277-278,379.
- [6] 余利丰. 农田水利基础设施建设与农业发展关系研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006.

(收稿日期:2013-01-07 编辑:陈玉国)

(上接第10页)

- [19] 魏斌,张霞. 城市水资源合理利用分析与水资源承载力研究:以本溪市为例[J]. 城市环境与城市生态,1995,8(4):19-24.
- [20] 翁文斌,蔡喜明,史慧斌,等. 宏观经济水资源规划多目标决策分析方法研究及应用[J]. 水利学报,1995(2):1-11.
- [21] 张志芬,刘东. 基于虚拟水理论区域水资源承载力评价方法[J]. 内蒙古水利,2010(1):15-17.
- [22] 刘博,康绍忠. 虚拟水引入对北京市水资源承载能力的影响研究[J]. 中国水利,2007(8):8-11.
- [23] ALLAN J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible [C]//Hoekstra A Y. In Priorities for Water Resources Allocation and Management. London:ODA, United Kingdom, 1993:13-26.
- [24] 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.
- [25] 程国栋. 虚拟水:水资源与水安全研究的创新领域[N]. 中国水利报,2003-11-22(2).
- [26] 孙才志,陈丽新. 我国虚拟水及虚拟水战略研究[J]. 水利经济,2010,28(2):1-4.
- [27] 韩雪. 我国农产品虚拟水流动格局分析及其应用[J]. 水利经济,2011,29(6):1-6.

(收稿日期:2013-02-27 编辑:张志琴)