

建三江分局用水结构演变及其驱动机制研究

赵菲菲¹, 刘东^{1,2}, 于苗¹, 于新伟¹

(1. 东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 150030; 2. 东北农业大学 农林经济管理博士后科研流动站, 哈尔滨 150030)

摘要:用水结构的合理确定与科学预测是制定水资源开发利用规划的前提和基础,对于实现区域水资源合理配置、社会经济协调发展具有重要意义。基于 1999—2010 年的黑龙江省建三江农垦水资源年鉴中的用水数据,引入信息熵的方法对建三江分局用水结构发展的趋势进行了探讨;同时运用因子分析法对用水结构的驱动因子进行筛选,分析了用水结构变化的主要驱动力。结果表明:建三江分局的用水结构特点是以农业用水为主,工业及生活用水比例很小。1999—2002 年,用水总量变化不明显,2003 年以来总用水量持续增长,农业、生活用水比例有小幅度的增加,工业用水比例基本稳定;在这 12 a 里用水结构信息熵总体呈上升趋势;因子分析结果显示,社会经济因子、自然环境因子是建三江分局用水结构演变的主要驱动力。

关键词:用水结构; 信息熵; 因子分析; 驱动机制

中图分类号:S273.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0244-04

Study on Evolution and Its Driving Mechanism of Water Utilization Structure in Jiansanjiang Branch Bureau

ZHAO Fei-fei¹, LIU Dong^{1,2}, YU Miao¹, YU Xin-wei¹

(1. College of Water Conservancy & Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Postdoctoral Scientific Research Mobile Station of Agriculture and Forestry Economic Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The rational determination and scientific prediction of water consumption structure are the basis for drawing up the plan of water resources development and utilization, and it is significant for achieving the appropriate allocation of regional water resources and coordinated development of social economy. Based on data from 1999 to 2010 achieved from water resources almanac of Jiansanjiang Agricultural Reclamation Region of Heilongjiang Province, discussion of development trend of water consumed structure of Jiansanjiang Branch Bureau was conducted by using information entropy. Meanwhile, the driving factors of water consumed structure were filtered by factor analysis, and the principal driving force which caused the change of water consumption structure was analyzed. The results indicated that agricultural water occupied the dominant position, and industrial and domestic water accounted for a small proportion in water consumption structure of Jiansanjiang Branch Bureau. Total water consumption changed faintly from 1999 to 2002, but continued to grow since 2003, at the same time, agricultural and domestic water increased with a small proportion, industrial water was basically stable. Overall information entropy of water utilization structure showed upward trend in the 12 years (1999—2010). Factor analysis results represented socio-economic factor and natural environment factor is principal driving force of water utilization structure evolution in Jiansanjiang Branch Bureau.

Key words: water consumption structure; information entropy; factor analysis; driving mechanism

收稿日期:2011-09-15

修回日期:2011-10-14

资助项目:国家自然科学基金(41071053);中国博士后科学基金(20080440832);黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11541024);东北农业大学博士启动基金(2009RC37)

作者简介:赵菲菲(1984—),女,山东海阳人,硕士生,主要研究方向为农业水土资源系统分析与优化利用。E-mail:zffa13050040@163.com
通信作者:刘东(1972—),男,黑龙江安达人,教授,博士,主要研究方向为农业水土资源系统分析与优化利用。E-mail:liu72dong@126.com

用水结构是指一定时期内某用水系统中各类用水量的比例关系^[1]。随着温室气体的增加、臭氧层的破坏、土地荒漠化的蔓延、酸雨的频繁发生、全球经济的进一步发展、科学技术水平的不断提高、城市化进程快速推进以及人口规模的不断扩大,导致区域水资源利用结构演变复杂性特征日益凸显。要了解区域水资源利用结构演变的复杂性,就必须对水资源利用结构驱动机制进行研究,以揭示水资源利用结构变化的原因、内部机制。Jenerette^[2]认为世界未来用水形式的驱动因子是人口的聚散情况、单个牲畜的水使用、气候及生态供水条件等;Marios Sophocleous^[3]认为导致用水需求上升的驱动因子包括人口增长、经济增长、技术进步、土地利用与城市化进程、环境退化速度、政府决策环境变化以及其他因素。在用水结构的演变过程中,社会经济因素、人口因素、自然因素等都将作为影响用水结构变化的制约因素。本文以建三江分局为例,分析用水结构的演变过程,并试图找出导致该地区用水结构变化的主要驱动力。

1 研究区概况

1.1 研究区概况

建三江分局位于祖国北部边陲的三江平原腹地,与同江、富锦、抚远、饶河两市两县相邻,系黑龙江、松花江、乌苏里江汇流的河间地带,是我国的主要粮食产区。总面积 1.24 万 km²,占整个黑龙江省垦区面积的 22%^[4]。多年平均气温 1.0~2.0℃,极端最高气温 38℃,极端最低气温 -41.6℃,多年平均降水量为 383.5~886.1 mm。近年来,随着农业经济的发展,建三江分局水资源面临着严峻的考验。面对日益严重的水资源危机,从建三江分局水资源利用结构变化来分析其变化的驱动机制,为合理调整水资源结构,建立高效的水资源可持续利用机制提供决策依据。

1.2 研究区近 12 a 的用水结构演变

1.2.1 用水现状 2010 年,建三江分局水资源总量为 25.76 亿 m³,其中地表水资源量 10.39 亿 m³,地下水资源量为 14.83 亿 m³;地下水可开采量为 11.08 亿 m³,地下水总补给量为 14.83 亿 m³,每年过境地表水资源量大约为 2 483 亿 m³。从用水部门分析,2010 年建三江分局总用水量 27.89 亿 m³,其中农业用水 27.78 亿 m³,占总用水量的 99.61%;工业用水为 0.01 亿 m³,占 0.04%;生活用水量 0.10 亿 m³,占 0.36%。

1.2.2 近 12 a 用水结构的变化

(1)用水总量。用水资料主要来源于建三江农垦

统计年报(1999—2010)。1999—2010 年,建三江分局用水总量呈增长趋势,由 1999 年的 12.31 亿 m³ 增加到 2010 年的 27.88 亿 m³,增加 15.58 亿 m³。在用水总量增长过程中,阶段性变化较明显。主要可以分为 3 个阶段:①1999—2002 年,用水总量呈基本稳定阶段,年均约 12.34 亿 m³;②2003—2007 年,用水总量呈快速增长阶段,由 2003 年的 10.49 亿 m³ 增长到 2007 年的 23.27 亿 m³,年均用水量 13.22 亿 m³;③2008—2010 年,用水总量呈缓慢的增长趋势,年均用水量约 26.13 亿 m³。

(2)农业用水。农业用水作为建三江分局的用水大户,其用水量变化极大地影响着总用水量,其演变趋势与总用水量的变化基本一致,呈上升趋势。1999—2002 年农业用水保持为年均 12.32 亿 m³;2003—2010 年农业用水量持续增长,其中 2003—2007 年农业用水量快速增长,由 10.46 亿 m³ 上升到 23.13 亿 m³;2008—2010 年农业用水量年均均为 26.01 亿 m³。农业用水量在起伏变化的同时其用水比重在总用水量中一直处于领先地位,始终高于 99%。

(3)工业用水。建三江分局工业用水量 1999—2010 年呈增长的趋势,工业用水量由 56 万 m³ 增长到 103 万 m³。而工业用水比重很小并且也没有大的波动,始终维持在 0.05%左右。

(4)生活用水。总体上看,1999—2008 年,生活用水量呈持续增长态势,由 1999 年的 145 万 m³ 一路攀升至 2008 年的 1 389 万 m³,2009 年和 2010 年生活用水量有下降的趋势。生活用水比重由 1999 年的 0.12% 增长到 2008 年的 0.58%,2009 年和 2010 年的生活用水比重分别为 0.38% 和 0.35%。

总之,根据 1999—2010 年建三江分局各部门用水量变化图可知(图 1),总用水量与农业用水量保持一致的变化趋势,农业用水比重占主导地位。在建三江分局,总用水量大部分消耗于农业用水,控制总用水量的关键是制约农业用水。

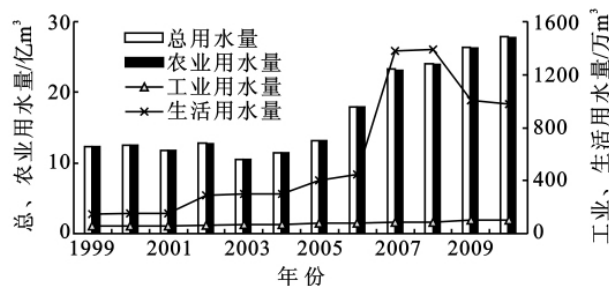


图 1 1999—2010 年建三江分局各部门用水量

2 基于信息熵的用水结构演变规律分析

2.1 信息熵理论

“熵”原是一个热力学概念,用以描述自发过程不可逆性的状态函数^[5]。为了与热力学过程有所区别,1908 年,Shannon 首先在信息论中引入了熵的概念,将其定义为信息熵。即对于一个不确定性系统,用随机变量 S 表示其状态特征;对于离散型随机变量,设 x 的取值为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,每一取值对应的概率为 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$,且有 $\sum p_i = 1$,则该系统的信息熵表达式^[6]:

$$S = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (1)$$

用信息熵描述任何一种体系或物质运动的混乱度和无序度^[7]。将信息熵概念引入水资源系统来描述系统的结构演化规律。设在一定时间尺度内,用水比例 $p_i = H_i / H$,并满足条件: $\sum p_i = 1, p_i \neq 0$ 。其中 H 为总用水量, H_i 为各种类型的用水量。一般地,信息熵越小,系统就越有序,结构性就越强;反之,信息熵越大,系统就越无序,结构性就越差^[8]。理论上当各种用水类型的用水量相等,即 $p_1 = p_2 = \dots = p_n = 1/n$ 时,熵值达到最大,这表明区域内用水量达到了均衡状态,此时熵值达到最大值:

$$S_m = \lg n \quad (2)$$

在实际应用中,由于不同区域或同一区域不同发展阶段所包含的水资源利用类型有多有少,水资源利用结构的信息熵往往缺乏可比性。因此,基于信息熵函数引入水资源利用结构的均衡度公式:

$$J = S / S_m = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i / \lg n \quad (3)$$

显然,均衡度的取值范围为 $J \in [0, 1]$,即当 $J = 0$ 时,水资源利用处于最不均匀状态, J 值越大,均质性越强,当 $J = 1$ 时,则用水类型达到理想平衡状态,均衡度较信息熵的直观性和可比性均有所增强。

2.2 建三江分局用水结构演变的信息熵分析

建三江分局近 12 a 不同年份的用水结构信息熵、均衡度见表 1。由表 1 可知,建三江分局用水结构信息熵、均衡度自 1999 年以来都很小,表明该地区水资源利用系统的有序程度非常高,结构性很强,用水量在各个用水部门的分配极不均匀,这与建三江分局农业用水比例过大的事实相符。但用水结构信息熵在这 12 a 里总体呈上升趋势。表明建三江分局用水结构趋向无序。1999—2008 年信息熵有小幅度的上升,表明该地区农业用水比例在下降,而工业、生活用水比例进一步提高,但减少农业用水比例的效果并

不显著,农业用水在总用水中所占比例很大;在 2009 年和 2010 年信息熵开始有下降的趋势,表明建三江分局用水系统中单一用水结构类型所占比例开始增大,系统均质性减弱。

表 1 建三江分局近 12 a 年用水结构信息熵、均衡度计算

年份	信息熵	均衡度	年份	信息熵	均衡度
1999	0.0137	0.0055	2005	0.0255	0.0103
2000	0.0136	0.0055	2006	0.0210	0.0085
2001	0.0142	0.0057	2007	0.0397	0.0160
2002	0.0200	0.0080	2008	0.0391	0.0157
2003	0.0245	0.0099	2009	0.0285	0.0115
2004	0.0232	0.0093	2010	0.0267	0.0107

3 用水结构变化的驱动机制分析

驱动机制着重分析区域用水结构变化过程的主要自然和社会经济驱动因素及其驱动机理。根据 1999—2010 年的社会经济统计数据序列,应用因子分析方法研究十几年间建三江分局用水结构变化的驱动机制,分析用水结构变化的主要驱动因子。

3.1 驱动因素的选取

鉴于用水结构系统复杂,各个部门用水量的变化受到各种因素变化的影响^[9],本研究中驱动因素的选取遵循数据可获取、综合性、代表性、可量化的原则,主要选取影响用水结构变化的因子包括总人口、农业总产值、工业总产值、畜产品产量、耕地面积、有效灌溉面积、粮食产量、GDP、降水量、气温等。

3.2 基于主成分因子分析的驱动机制

为了更加直观地反映各驱动因子对用水结构变化的影响程度,采用因子分析法对驱动力因子的近 12 a 资料进行分析计算,筛选出关键驱动因子。

主成分因子分析是从众多的原始变量中构造出少数几个具有代表意义的因子变量,这里面存在一个潜在的要求,即原有变量之间要有比较强的相关性^[10]。如果原有变量之间相关关系较弱,那么就无法从中综合出能反映某些变量共同特性的少数公共因子变量来。因此,在主成分因子分析时,需要对原有变量作相关分析检验。本文采用 KMO 检验方法来判断原有变量是否适于做主成分因子分析。首先进行样本充足度(KMO)检验, KMO 指数越接近于 1 越适于进行因子分析。用 SPSS 计算得出该组数据的 KMO 值为 0.784,可以进行因子分析。

由表 2 中特征值和主成分贡献率可知前两个因子是主要因子,且其累计贡献率已经达到 87.176%,而其它因子相对来说次要一些。

表 2 主成分分析贡献率

因子	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	7.169	71.695	71.695
2	1.548	15.482	87.176
3	0.781	7.811	94.987
4	0.338	3.384	98.371
5	0.072	0.722	99.093
6	0.050	0.501	99.594
7	0.034	0.338	99.932
8	0.003	0.034	99.966
9	0.002	0.021	99.987
10	0.001	0.013	100.000

由表 3 因子分析结果来看,第一主成分对下列指标具有较强的解释力,它们依次是农业总产值(万元)、GDP(万元)、粮食产量(t)、有效灌溉面积(hm²)、畜产品产量(t)、耕地面积(hm²)、总人口(人)和工业总产值(万元)。这几个指标主要反映社会经济发展水平的,命名为农业经济发展水平因子。

表 3 驱动力因子旋转主成分荷载矩阵

分类项	第一主成分	第二主成分
农业总产值	0.996	0.013
GDP	0.995	0.063
粮食产量	0.985	-0.024
有效灌溉面积	0.976	-0.060
畜产品产量	0.967	0.182
耕地面积	0.961	-0.071
总人口	0.956	-0.137
工业总产值	0.694	0.322
气温	0.048	-0.897
降水量	0.046	0.762

根据表 4 可知,其贡献率为 71.633%。第二主成分对气温和降雨量具有较强的解释力,其贡献率占到总因子的 15.544%,气温、降雨量对第二主成分的贡献量分别为-0.897 和 0.762,其中气温前的荷载是负数,说明与第二主成分因子呈反比,气温越高,用水结构演变的就越慢。

因子分析结果表明:①在影响建三江分局用水结构长期演变的驱动力因子中,总人口、农业总产值、粮食产量、GDP、有效灌溉面积、畜产品产量、耕地面积和工业总产值等社会经济因子是主要的驱动力因子。社会经济的发展程度,特别是该地区农业发展程度对于建三江用水结构的发展变化起到决定性作用;②气温和降水量等自然环境因子的变化直接影响农业用水量,从而对用水结构演变产生直接影响;总之,社会经济和自然环境因子是建三江分局用水结构演变的主要驱动力。

表 4 不同因子的贡献计量值

成分	总计	分类百分比/%	累计百分比/%
社会经济因子	7.163	71.633	71.633
自然环境因子	1.554	15.554	87.167

4 结 论

(1)建三江分局用水结构的显著特点是以农业用水为主。由于该地区以水田为主,农业用水比例占总用水的比例非常大,农业用水比例占 99% 以上。工业用水比例比生活用水比例还小。由用水量以及用水比例的分析来看,该地区农业用水量持续上升,生活用水比例上升,但工业用水比例持稳定状态。

(2)用水结构信息熵结果表明,从整体看,建三江分局用水分配及其不均匀,用水系统中单一用水结构类型所占比例很大。

(3)通过 SPSS 软件的主成分因子分析,以农业发展为主的社会经济因子是影响建三江分局用水结构演变的主要驱动力,总人口、农业总产值、粮食产量、GDP、有效灌溉面积、畜产品产量、耕地面积和工业总产值等社会经济因子是影响建三江分局用水结构长期演变的主要驱动力因子;降水量和气温等自然环境因子对用水结构演变有重要的影响。基于以上结论,要改变建三江分局农业用水比例过大的现状,实现水资源的可持续利用,就必须提高经济效益与优化灌溉制度相结合,促使该地区用水结构朝向合理均衡的方向发展。

参考文献:

[1] 马黎华,康绍忠,粟晓玲. 西北干旱内陆区石羊河流域用水结构演变及其驱动力分析[J]. 干旱地区农业研究, 2008,26(1):125-130.

[2] Darrel G J. A global perspective on changing sustainable urban water supplies[J]. Global and Planetary Change, 2006,50(3):202-211.

[3] Marios S. Global and regional water availability and demand: prospects for the future[J]. Natural Resources Research,2004,13(2):61-75.

[3] 郭雷,马克明,张易. 三江平原建三江地区 30 年湿地景观退化评价[J]. 生态学报,2009,29(6):3126-3135.

[5] 湛垦华,沈小峰. 普利高津与耗散结构理论[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1998.

[6] 谭永忠,吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报,2003,18(1):112-117.

[7] 蔡绍洪,彭仕政. 耗散结构与非平衡相变原理及应用[M]. 贵阳:贵州科技出版社,1998.

[8] 敖红. 对信息熵的探讨[J]. 辽宁高等专科学校学报:自然科学版,2001,3(1):59-61.

[9] 贾绍凤,张士锋. 工业用水与经济发展关系:用水库兹涅茨曲线[J]. 自然资源学报,2004,19(3):279-284.

[10] 邱晓平,翁贞林,朱红根. 江西农村城镇化驱动机制研究[J]. 江西农业大学学报,2004,3(4):59-62.