基于模糊综合评判模型的东北三省水资源承载力研究

张 琦[1], 李松森[1], 夏慧琳[2]

(1. 东北财经大学 财政税务学院, 辽宁 大连 116025; 2. 南京财经大学 财政与税务学院, 江苏 南京 210023)

摘 要: [目的] 定量分析东北三省(辽宁省、吉林省、黑龙江省)2012—2016 年水资源承载力的具体情况, 为东北三省水资源开发利用和生态保护提供科学依据。[方法] 基于 2012—2016 年东北三省的水资源条件、社会经济发展水平以及生态环境状况 3 个方面相关数据, 选取人均水资源量、水资源利用率、供水模数、人均 GDP、人均日生活用水量、万元工业增加值用水量、万元农业增加值用水量、耕地灌溉率、生态用水率以及森林覆盖率 10 个主要影响区域水资源承载力的因素作为评价因子, 应用模糊综合评判模型进行研究。[结果] 东北三省 2012 年—2016 年综合评分均值分别为: 辽宁省 0.468 6, 吉林省 0.684 0, 黑龙江省 0.550 2。[结论] 东北三省的水资源开发已有一定规模, 虽然水资源供给在一定程度上能满足各省份的发展需要, 但仍存在水资源短缺的现象。

关键词: 水资源承载力; 东北三省; 模糊综合评判模型

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)05-0179-10 **中图分类号**: F205

文献参数: 张琦, 李松森, 夏慧琳. 基于模糊综合评判模型的东北三省水资源承载力研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(5): 179-188. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.05.025; Zhang Qi, Li Songsen, Xia Huilin. A study on water resource carrying capacity of three provinces in Northeast China based on fuzzy comprehensive evaluation model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(5): 179-188.

A Study on Water Resource Carrying Capacity of Three Provinces in Northeast China Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Model

Zhang Qi[1], Li Songsen[1], Xia Huilin[2]

(1. *School of Public Finance and Taxation, Dongbei University of Finance & Economics, Dalian, Liaoning* 116025, *China*; 2. *School of Public Finance and Taxation, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing, Jiangsu* 210023, *China*)

Abstract: [Objective] A scientific basis for the development and utilization of water resources and ecological protection in the three northeastern provinces of China (Jilin, Heilongjiang, and Liaoning provinces) from 2012 to 2016 is provided to the scientific management of regional water resources and sustainable development of the economy. [Methods] This study focused on the three provinces in northeast China from 2012 to 2016. The factors examined included water resource conditions, socio-economic developmental level, ecological environment and three aspects of related data, selection of per capita water resources, utilization factor of water resources, modulus of water supply, GDP per capita and per capita domestic water consumption, 10 000 yuan of water consumption for industrial production, 10 000 yuan of water consumption for agricultural production, farmland irrigation rate, ecological water rate, and forest coverage rate. Using 10 major influencing factors of regional water resource carrying capacity as evaluation factors, a fuzzy comprehensive evaluation model was applied. [Results] The average comprehensive score of the three provinces from 2012 to 2016 was 0.468 6 in Liaoning Province, 0.684 0 in Jilin Province, and 0.550 2 in Heilongjiang Province. [Conclusion]

收稿日期: 2019-04-11 **修回日期**: 2019-05-10

资助项目: 国家社会科学基金青年项目"自然资源资产收益分配的合意性测度与靶向性研究"(19CJY057)

第一作者: 张琦(1989—), 女(汉族), 山西省太原市人, 博士研究生, 主要从事资源性国有资产监督管理方面研究。E-mail: 984937746@qq.com。

通讯作者: 李松森(1953—), 男(汉族), 辽宁省大石桥市人, 教授, 博士生导师, 主要从事国有资产监督管理方面研究。E-mail: lcss@dufe.edu.cn。

The water resource development of the three provinces in northeast China has a certain scale. Although the water resource supply can meet the development needs of the provinces to a certain extent, there is still a shortage of water resources.

Keywords: water resource carrying capacity; three provinces in Northeast China; fuzzy comprehensive evaluation model

水资源是人类赖以生存发展的最重要的基础资源之一,随着社会经济的迅速发展,人类对水资源需求量日益增大,水资源短缺的问题日益严重,已经成为中国许多城市发展的瓶颈[1]。中国作为被联合国认定的 13 个“水资源最为紧缺”的国家之一,水资源的人均占有量仅为世界人均占有量的 1/4。随着人口的增长,工业化、城市化程度的加深,加之水污染等问题的出现,使得水资源供需矛盾成为制约中国经济发展的重要因素。中国共产党第十九次全国代表大会报告提出要求“必须坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式,还自然以宁静、和谐、美丽。”水资源承载力作为水资源、社会、经济和生态环境的综合反映,对水资源的合理利用和区域协调发展有着重要意义,并且研究水资源承载力可以合理安排产业结构,有效地利用有限的水资源,从而促使社会可持续发展。

党中央、国务院在新世纪作出了实施振兴东北地区等老工业基地战略的重大决策。《中共中央国务院关于全面振兴东北地区等老工业基地的若干意见》指出作为新中国工业摇篮的东北地区是中国重要的工业与农业基地,拥有一批关系国民经济命脉和国家安全的战略性产业。又因为沿边沿海优越的区位条件,使得东北地区成为国家经济的重要增长地和现代化建设中的重要组成部分。实施振兴东北老工业基地发展战略,有利于促进区域经济协调发展,有利于推进经济结构战略性调整,同时也有利于提高中国产业的国际竞争力。随着振兴东北老工业基地“十三五”规划进程的加深,在工农业持续发展的同时,东北地区水利事业迅速发展,地区水土资源开发利用规模不断扩大,但由于缺乏合理规划与高效利用设施,引发了一系列与水相关的生态和环境问题,严重阻碍了东北老工业基地的振兴和发展。

鉴于此,本文以东北三省,即辽宁省、吉林省、黑龙江省为研究对象,基于模糊综合评价法,从水资源条件、社会经济发展水平和生态环境状况 3 方面构建水资源承载力评价指标体系,对东北三省 2012—2016 年水资源承载力的具体情况进行定量分析,试图为东北三省水资源开发利用和生态保护提供科学依据,从而对区域水资源科学管理和社会经济可持续发展做出贡献。

1 研究区水资源及其开发利用状况

东北三省包括辽宁省、吉林省、黑龙江省,是中国对东北亚地区开放的窗口。东北毗邻华北,有京、津等大都市支持。东北三省是中国著名的粮食基地,对保障国家粮食安全具有极为重要、不可替代的地位和作用且东北三省也是中国工业最发达的地区,集中了大量重工业城市。

1.1 辽宁省水资源状况

辽宁省地处中国东北地区南部,地跨东经 118°53′—125°46′,北纬 38°43′—43°26′之间。辽宁省属温带大陆性季风气候,雨热同季,日照丰富,四季分明。全省陆地总面积 1.48×10^5 km^2。多年平均降水总量为 9.86×10^{10} m^3,春夏季持续高温少雨,旱情较为严重。多年平均地表水资源量为 3.03×10^{10} m^3。多年平均地下水资源量为 1.25×10^{10} m^3。流入该省境内的河流主要有内蒙古、吉林的西辽河、东辽河、柳河、浑江、大凌河支流。全省入境水量多年平均值为 5.46×10^9 m^3。该省出境河流包括流出到河北、内蒙古、吉林的青龙河、老哈河在建平县的支流、东辽河在西丰县的支流和辉发河在清源县的支流。出省境及入海水量多年平均值为 1.95×10^{10} m^3。多年平均水资源总量为 3.42×10^{10} m^3。

2017 年,全省降水量、地表水资源量、地下水资源量和水资源总量均少于多年平均值。与上年相比水库蓄水量有所减少,地下水位呈下降态势。2017 年,全省平均降水量 543.6 mm,折合降水总量 7.91×10^{10} m^3,比多年平均值少 19.8%,比上年少 28.0%。全省地表水资源量 1.61×10^{10} m^3,折合年径流深 110.7mm,比多年平均值少 46.8%。2017 年全省地下水资源量 8.66×10^9 m^3,比多年平均值少 30.6%。地下水位下降区(地下水位下降超过 0.5 m)面积为 1.33×10^4 km^2,占全省平原区面积的 48.5%。2017 年全省水资源总量 1.86×10^{10} m^3,比多年平均值少 45.5%。全省总供水量 1.37×10^{10} m^3。其中:地表水源供水量 7.84×10^9 m^3,占57.2%;地下

水源供水量 5.45×10^9 m³,占 39.8%;其它水源供水量 4.22×10^8 m³,占 3.0%。2017 年全省总用水量 1.37×10^{10} m³。其中居民生活用水量1.72×10^9 m³,占 12.6%;生产用水量 1.08×10^{10} m³,占 79.0%;生态环境(河道外)补水量 5.5×10^8 m³,占 4.0%。在生产用水量中,第一产业用水量8.16×10^9 m³,其中农田灌溉用水量 7.26×10^9 m³,林牧渔畜用水量 8.99×10^8 m³;第二产业用水量2.06×10^9 m³,其中工业用水量 1.86×10^9 m³。

1.2　吉林省水资源状况

吉林省地处中国东北地区腹地,地跨东经121°38′—131°19′,北纬 40°50′—46°19′之间。是中国重要的工业基地和商品粮生产基地。吉林省总体生态环境呈特殊的多样性和相对的整体性,而且可恢复性和保护程度较好。东部长白山区森林覆盖率高,森林生态系统完整,降水量丰沛。东中部的森林覆盖率较高,是松花江流域的重要江段,也是“三湖”(白山湖、红石湖、松花湖)和东辽河的上游,水资源和矿产资源丰富。中部松辽平原,是中国重要的商品粮生产基地。西部草原湿地,草原辽阔,湿地面积较大,地下水和过境水丰富。吉林省属于中度缺水的省份,降水量地区分布不均匀,降水总量多年平均值为 1.14×10^{11} m³,该省东部长白山区通常为全省的高值区,西部平原区年降水量为全省低值区。多年平均地表水资源量为3.44×10^{10} m³,多年平均地下水资源量为 1.24×10^{10} m³。该省的水资源总量多年平均值为 3.99×10^{10} m³。

2017 年,吉林省全省平均降水量 595.9 mm(折合水量为 1.12×10^{11} m³),比上年减少 18.5%,比多年平均值减少 2.2%。全省水资源总量为 3.94×10^{10} m³,其中地表水资源量为 3.40×10^{10} m³,比多年均值减少 1.3%。地下水资源量为 1.33×10^{10} m³,比多年均值增加 7.9%。重复计算量为 7.88×10^9 m³。2017 年全省总供水量 1.27×10^{10} m³,以地表水供水为主,占总供水量的 64.4%,地下水源供水占 35.3%,其他水源占 0.3%。2017 年全省总用水量 1.27×10^{10} m³,其中,农田灌溉用水最多,占总用水量的 66.1%,工业用水次之,占 14.3%,生活用水占 8.3%,生态用水占 3.7%。

1.3　黑龙江省水资源状况

黑龙江省地处中国东北部,是中国位置最北、纬度最高的省份,西起 121°11′,东至 135°05′,南起 43°26′,北至 53°33′。全省土地总面积 4.73×10^5 km²(含加格达奇和松岭区),居全国第 6 位。黑龙江省地貌特征为“五山一水一草三分田”,属于寒温带与温带大陆性季风气候。黑龙江省多年平均降水量为 514.86 mm,多年平均水资源总量值为 8.10×10^{10} m³。该省的径流量多年平均值为 6.92×10^{10} m³。单位耕地面积占有水资源量为 4×10^{10} m³ 左右。

2017 年,黑龙江省全省平均降水量 542.4 mm。全省水资源总量为 7.43×10^{10} m³,其中地表水资源量为 6.27×10^{10} m³,比去年减少 9.35×10^9 m³。地下水资源量为 2.73×10^{10} m³,比去年减少 1.27×10^9 m³。重复计算量为 1.57×10^{10} m³。全省耕地面积 1.58×10^7 hm²,占全省土地总面积的 33.87%;全省人均耕地面积 0.416 hm²,高于全国人均耕地水平。2017 年全省总供水量 3.53×10^{10} m³,以地表水供水为主,占总供水量的 53.5%,地下水源供水量 1.63×10^{10} m³。2017 年全省总用水量 3.53×10^{10} m³,其中,农田灌溉用水最多,农业用水量为 3.16×10^{10} m³,占总用水量的 89.6%,有效灌溉面积 6.03×10^6 hm²;工业用水量次之,工业用水量为 1.97×10^9 m³ 占 5.6%;生活用水量为 1.54×10^9 m³,占全省总用水量的 4.4%;生态用水量 1.50×10^8 m³ 占全省总用水量的 0.42%。

2　水资源承载力影响因素及评价指标

水资源承载力作为水资源科学研究中的一个重点和热点问题,已得到广泛的关注。但是由于水资源载力涉及不同地区、不同自然条件的水资源系统、社会经济系统和生态、环境系统,具有不确定性和复杂性,其概念和内涵的界定也是纷繁多样各有优劣的。因此,经过综合分析学者们对于水资源承载力的概念和内涵的论述,本文对水资源承载力的定义是:以生态、环境健康发展和社会经济可持续发展协调为前提的水资源系统能够支撑社会经济可持续发展的合理规模[2]。

另外,区域是具有层次结构和整体功能的复合系统,并且由社会系统、水资源系统和生态环境系统组成。换言之,“社会经济—水资源—生态环境”复合系统理论是水资源承载力研究的基础。因此,对水资源承载力的影响因素的研究分析应从水资源条件、社会经济发展水平以及生态环境状况 3 个方面进行。更为具体地来看,水资源条件可以用反映人均水资源拥有量情况的人均水资源量,反映水资源利用状况的水资源利用率,以及反映水资源供水能力的供水模数来刻画;社会经济发展水平可以通过反映经济发展水平

的人均 GDP,反映人均日用水情况的人均日生活用水量,反映工业、农业用水效率的万元工业增加值用水量、万元农业增加值用水量以及耕地灌溉率等来标度;生态环境状况通过反映生态系统对水资源的需求的生态用水率以及反映区域水资源更新能力的森林覆盖率来表现。

2.1 评价指标体系的建立

水资源条件、社会经济发展水平以及生态环境状况这 3 个方面彼此有着较为复杂的联系,因此,所选取指标应能对水资源属性特征进行全面描述,遵循全面性、层次性、可操作性、数据可获得性原则构建指标体系。所以本文以水资源条件、社会经济条件、生态环境条件作为指标选取的准则层来对东北三省的水资源承载力进行研究。

对于指标层的选择,本文在参照全国水资源供需分析指标体系的基础上,综合考虑影响水资源承载力的多种因素,并借鉴水资源评价标准和水资源专家建议及相关文献,选取人均水资源量、水资源利用率、供水模数、人均 GDP、人均日生活用水量、万元工业增加值用水量、万元农业增加值用水量、耕地灌溉率、生态用水率以及森林覆盖率 10 个指标构建成本文的指标体系(见表 1)。

表 1 水资源承载力评价指标及其计算公式

目标层	准则层	指标层	采用公式
水资源承载力 O	水资源条件 A_1	人均水资源量 m^3/人	水资源总量/总人口
		水资源利用率/%	75%保证率的供水量/水资源总量
		供水模数 10^4 m^3/km^2	75%保证率的供水量/土地总面积
	社会经济条件 A_2	人均 GDP/万元	GDP/总人口
		人均日生活用水量 m^3/人	日生活用水量/人口数
		万元工业增加值用水量 m^3/万元	工业用水量/工业增加值
		万元农业增加值用水量 m^3/万元	农业用水量/农业增加值
		耕地灌溉率/%	有效灌溉面积/耕地面积
	生态环境条件 A_3	生态用水率/%	生态用水量/用水总量
		森林覆盖率/%	森林面积/土地总面积

2.2 指标权重的确定

确定指标权重的方法很多,目前国内外广泛采用的方法有语言化评价法、熵值法、特尔斐法及层次分析法(AHP)。本文运用层次分析法计算得各指标的相对权重。首先,根据划分好的指标层次,参照中国水资源评价标准,采用 AHP 中常用的"1—9"尺度法构造判断数据矩阵。其次,根据判断矩阵,利用数学矩阵计算求出指标层(u)相对于准则层(A)的重要性、准则层相对于目标层(O)的判断矩阵。水资源条件是水资源合理开发利用研究分析中的重要内容,并且是表征水资源状况对区域人民生活以及社会经济发展的支撑能力,也就是说水资源条件是水资源承载力的基础,也是水资源承载力研究的核心部分,因此这里水资源条件比社会经济条件和生态环境条件要更为重要,所以三者的权重比取 3∶1∶1。最后用指标层对准则层权重乘以准则层对目标层权重得到指标层对目标层的权重(W),权重计算结果如表 2 所示。

2.3 数据来源

本文使用的数据包括水资源相关数据、社会经济相关数据以及生态环境相关数据。水资源相关数据有人均水资源量、水资源利用率、供水模数;社会经济相关数据包括人均 GDP、人均日生活用水量、万元工业增加值用水量、万元农业增加值用水量以及耕地灌溉率;生态环境数据包括生态用水率和森林覆盖率。水资源数据来源于 2012—2016 年各省的水资源公报,社会经济数据和生态环境数据均来源于《中国统计年鉴》。经过分析计算,得到辽宁省、吉林省和黑龙江省 2012—2016 年实际指标值如表 3 所示。

表 2 水资源承载力指标层 u 对目标层 O 的权重

指 标	u 对 A 的权重	A 对 O 的权重	u 对 O 的权重
人均水资源 u_1	0.454 5	0.6	0.272 7
水资源利用率 u_2	0.454 5	0.6	0.272 7
供水模数 u_3	0.090 9	0.6	0.054 5
人均 GDP u_4	0.108 1	0.2	0.021 6
人均日生活用水量 u_5	0.098 8	0.2	0.019 8
万元工业增加值用水量 u_6	0.108 1	0.2	0.021 6
万元农业增加值用水量 u_7	0.360 7	0.2	0.072 1
耕地灌溉率 u_8	0.324 3	0.2	0.064 9
生态用水率 u_9	0.75	0.2	0.15
森林覆盖率 u_{10}	0.25	0.2	0.05

表 3　辽宁省、吉林省和黑龙江省 2012—2016 年水资源承载力评价指标

指 标	地 区	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
人均水资源量 u_1	辽宁省	1 247.83	1055.17	332.37	408.05	757.08
	吉林省	1 674.49	2 208.17	1 112.23	1 203.48	1 781.99
	黑龙江省	2 194.61	3 702.13	2 463.08	2 129.84	2 217.05
水资源利用率 u_2	辽宁省	19.49	23.01	72.86	58.99	30.62
	吉林省	21.14	16.23	32.59	30.24	20.34
	黑龙江省	31.99	19.14	28.92	32.73	31.35
供水模数 u_3	辽宁省	7.32	7.32	7.18	7.13	6.86
	吉林省	5.15	5.22	5.32	5.34	5.30
	黑龙江省	5.92	5.98	6.01	5.86	5.82
人均 GDP u_4	辽宁省	5.66	6.20	6.52	6.54	5.08
	吉林省	4.34	4.74	5.02	5.11	5.39
	黑龙江省	3.57	3.77	3.92	3.95	4.04
人均日生活用水量 u_5	辽宁省	53.25	53.35	55.57	57.05	57.79
	吉林省	43.48	44.67	46.58	46.49	52.32
	黑龙江省	42.62	44.51	46.28	42.50	41.06
万元工业增加值用水量 u_6	辽宁省	19.78	18.26	18.03	18.99	28.75
	吉林省	48.53	43.91	41.71	37.96	34.43
	黑龙江省	79.57	66.73	60.54	58.71	56.48
万元农业增加值用水量 u_7	辽宁省	424.39	391.15	373.05	354.47	369.68
	吉林省	600.10	588.15	571.72	548.45	588.02
	黑龙江省	1 395.18	1 255.01	1 188.67	1 162.66	1 148.76
耕地灌溉率 u_8	辽宁省	31.77	34.05	28.26	29.61	30.56
	吉林省	25.77	26.43	21.57	23.27	25.61
	黑龙江省	27.34	30.11	33.68	33.46	34.89
生态用水率 u_9	辽宁省	3.09	3.57	3.46	3.98	4.14
	吉林省	4.64	2.99	2.71	5.54	4.75
	黑龙江省	1.66	0.81	0.35	0.73	0.71
森林覆盖率 u_{10}	辽宁省	35.13	38.24	38.24	38.24	38.24
	吉林省	38.93	40.38	40.38	40.38	40.38
	黑龙江省	42.39	43.16	43.16	43.16	43.16

3　模糊综合评判模型的构建

3.1　研究方法的选择

对水资源承载力的研究方法,主要有常规趋势法、系统动力学法、综合评价法等。常规趋势法是一种统计分析方法,优点是可以通过选择多项指标,将区域水资源现状和阈值反映出来,缺点是由于无法获知各指标间的相互关系,所以无法将水资源承载力全面准确地反映出来[2];系统动力学法是研究复杂系统的计算机实验仿真法,优点是将定性分析与定量分析相结合,并且集合了系统分析、综合与推理,缺点是该方法结构复杂,变量众多,对数据的需求量也很大;综合评价法是在建立评价指标体系的基础上,将各指标评价结果综合起来,得出一个相对全面的水资源承载力的判断。综合评价包括很多方法,模糊综合评判、灰色评价模型、数据包络模型等。由于其可较为全面的分析区域水资源承载力状况,所以,模糊综合评判方法在水资源承载力评价中应用广泛[3-7]。具体而言,该方法首先是对影响水资源承载力的各单因素进行评价,再通过综合评判矩阵展开对水资源承载能力多因素综合评价,最后得出区域水资源的承载力[8]。鉴于此,对东北三省水资源承载力的研究,本文选用模糊综合评判模型。

3.2　评判因素的分级和评分

模糊综合评判模型给定评判因素集合 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_m\}$和评语集合 $V=\{v_1,v_2,\cdots,v_n\}$。然后进行单因素评判。确定各评判因素 $u_i(i=1,2,\cdots,m)$对评价等级 $v_j(j=1,2,\cdots,n)$的隶属度 r_{ij}。则 m 个评判因素的评判决策矩阵为:

$$R=\begin{Bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

式中:R——U 到 V 的一个模糊关系。给评判因素分配权重 $A=\{a_1,a_2,\cdots,a_m\}(0\leqslant a_i\leqslant 1,\sum_{i=1}^{m}a=1)$,则应用模糊变换可得到综合评判结果:

$$B=A\cdot R=(a_1,a_2,\cdots,a_m)\cdot \begin{Bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mm} \end{Bmatrix}=(b_1,b_2,\cdots,b_n) \quad (2)$$

最后,把评判集 a_j 的值以及 B 矩阵中各等级的隶属度 b_j 的值代入式子 $a=\sum_{j=1}^{3}b_ja_j/\sum_{j=1}^{3}b_j$ 中得到其综合评分值。

式中:a_j——各评判等级I分制数量化后 j 等级相应的数值; a——综合评判结果矩阵 B 的水资源承载力的综合评分值,值越大,水资源的承载能力也就越大[9]。

以全国水资源供需分析指标体系为依据,本文将水资源的承载能力分为 3 级,V_1 级表示水资源承载状况较好,水资源仍有较大的承载能力,水资源的需求可以得到满足,供给也比较充足;V_3 级表示水资源承载状况较差,水资源承载力已接近饱和,进一步开发潜力比较小,继续供给和开发利用将导致水资源短缺,应当积极采取相应的对策;而 V_2 级状况则介于两者之间,表示水资源基本上能够适应该地区的经济发展,水资源开发利用达到较大的规模,但仍然具有一定的开发利用潜力(见表 4)。

表 4 水资源承载力评价指标分级值标准

目标层	准则层	指标层	V_1 级	V_2 级	V_3 级
水资源承载力 O	水资源条件 A_1	人均水资源 u_1	>3 000	1 000～3 000	<1 000
		水资源利用率 u_2	<30	30～70	>70
		供水模数 u_3	<5	5～7	>7
	社会经济条件 A_2	人均 GDP u_4	>6	2～6	<2
		人均日生活用水量 u_5	<45	45～55	>55
		万元工业增加值用水量 u_6	<20	20～60	>60
		万元农业增加值用水量 u_7	<400	400～1 200	>1 200
		耕地灌溉率 u_8	<25	25～35	>35
	生态环境条件 A_3	生态用水率 u_9	>4	1～4	<1
		森林覆盖率 u_{10}	>40	30～40	<30

为更好地反映各等级水资源承载能力状况,对评判等级采用 1 分制数量化即:$a_1=0.95$,$a_2=0.5$,$a_3=0.05$,数量化后可定量反映各等级因素对承载能力的影响程度,数值越高,水资源可开发容量越大。

3.3 评判矩阵的计算

评价因素 u_1,u_4,u_9 和 u_{10} 的隶属函数计算公式如下:

$$r_1=\begin{cases} 0.5\left(1+\dfrac{k_1-u_i}{k_2-u_i}\right) & (u_i\geqslant k_1) \\ 0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_1}{k_2-k_1}\right) & (k_2\leqslant u_i<k_1) \\ 0 & (u_i<k_2) \end{cases} \quad (3)$$

$$r_2=\begin{cases} 0.5\left(1-\dfrac{k_1-u_i}{k_2-u_i}\right) & (u_i>k_1) \\ 0.5\left(1+\dfrac{u_i-k_1}{k_2-k_1}\right) & (k_2\leqslant u_i<k_1) \\ 0.5\left(1+\dfrac{k_3-u_i}{k_3-k_2}\right) & (k_3\leqslant u_i<k_2) \\ 0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_3}{u_i-k_2}\right) & (u_i<k_3) \end{cases} \quad (4)$$

$$r_3=\begin{cases} 0.5\left(1+\dfrac{u_i-k_3}{u_i-k_2}\right) & (u_i<k_3) \\ 0.5\left(1-\dfrac{k_3-u_i}{k_3-k_2}\right) & (k_3\leqslant u_i<k_2) \\ 0 & (u_i\geqslant k_2) \end{cases} \quad (5)$$

评价因素 u_2,u_3,u_5,u_6,u_7 和 u_8 的隶属函数计算公式如下:

$$r_1=\begin{cases} 0.5\left(1+\dfrac{k_1-u_i}{k_2-u_i}\right) & (u_i<k_1) \\ 0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_1}{k_2-k_1}\right) & (k_1\leqslant u_i<k_2) \\ 0 & (u_i>k_2) \end{cases} \quad (6)$$

$$r_2=\begin{cases} 0.5\left(1-\dfrac{k_1-u_i}{k_2-u_i}\right) & (u_i<k_1) \\ 0.5\left(1+\dfrac{u_i-k_1}{k_2-k_1}\right) & (k_1\leqslant u_i<k_2) \\ 0.5\left(1+\dfrac{k_3-u_i}{k_3-k_2}\right) & (k_2\leqslant u_i<k_3) \\ 0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_3}{u_i-k_2}\right) & (u_i\geqslant k_3) \end{cases} \quad (7)$$

$$r_3=\begin{cases} 0.5\left(1+\dfrac{u_i-k_3}{u_i-k_2}\right) & (u_i\geqslant k_3) \\ 0.5\left(1-\dfrac{k_3-u_i}{k_3-k_2}\right) & (k_2\leqslant u_i<k_3) \\ 0 & (u_i<k_2) \end{cases} \quad (8)$$

式中:k_1——评价等级 V_1 与 V_2 的临界值; k_3——评价等级 V_2 与 V_3 的临界值; k_2——评价等级 V_2 的中点值,$k_2=\dfrac{k_1+k_3}{2}$。水资源承载力综合评价指标 R 的具体情况见表 5。

表 5　水资源承载力综合评价指标 R

地区	年份	r_i	人均水资源量 u_1	水资源利用率 u_2	供水模数 u_3	人均GDP u_4	人均日生活用水量 u_5	万元工业增加值用水量 u_6	万元农业增加值用水量 u_7	耕地灌溉率 u_8	生态用水率 u_9	森林覆盖率 u_{10}
辽宁省	2012	r_1	0	0.672	0	0.415	0	0.505	0.470	0	0.197	0.013
		r_2	0.624	0.328	0.379	0.585	0.675	0.495	0.530	0.823	0.803	0.987
		r_3	0.376	0	0.621	0	0.325	0	0	0.177	0	0
	2013	r_1	0	0.629	0	0.545	0	0.54	0.511	0	0.357	0.324
		r_2	0.528	0.371	0.379	0.455	0.665	0.46	0.489	0.595	0.643	0.676
		r_3	0.472	0	0.621	0	0.335	0	0	0.405	0	0
	2014	r_1	0	0	0	0.603	0	0.545	0.532	0.174	0.32	0.324
		r_2	0.3	0.437	0.424	0.397	0.449	0.455	0.468	0.826	0.68	0.676
		r_3	0.7	0.563	0.576	0	0.551	0	0	0	0	0
	2015	r_1	0	0	0	0.606	0	0.524	0.551	0.039	0.493	0.324
		r_2	0.314	0.775	0.442	0.394	0.355	0.476	0.449	0.961	0.507	0.676
		r_3	0.686	0.225	0.558	0	0.645	0	0	0	0	0
	2016	r_1	0	0.485	0	0.27	0	0.281	0.535	0	0.543	0.324
		r_2	0.402	0.516	0.57	0.73	0.321	0.719	0.465	0.944	0.457	0.676
		r_3	0.598	0	0.43	0	0.679	0	0	0.056	0	0
吉林省	2012	r_1	0	0.653	0.425	0.085	0.617	0	0.250	0.423	0.65	0.393
		r_2	0.837	0.347	0.575	0.915	0.383	0.787	0.750	0.577	0.35	0.607
		r_3	0.163	0	0	0	0	0.213	0	0	0	0
	2013	r_1	0.104	0.704	0.39	0.185	0.531	0	0.265	0.357	0.163	0.535
		r_2	0.896	0.296	0.61	0.815	0.469	0.902	0.735	0.643	0.837	0.465
		r_3	0	0	0	0	0	0.098	0	0	0	0
	2014	r_1	0	0.435	0.34	0.255	0.342	0	0.285	0.703	0.07	0.535
		r_2	0.556	0.565	0.66	0.745	0.658	0.957	0.715	0.297	0.93	0.465
		r_3	0.444	0	0	0	0	0.043	0	0	0	0
	2015	r_1	0	0.494	0.33	0.278	0.351	0.051	0.314	0.629	0.753	0.535
		r_2	0.602	0.506	0.67	0.723	0.649	0.949	0.686	0.371	0.247	0.465
		r_3	0.398	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2016	r_1	0	0.663	0.35	0.348	0	0.139	0.265	0.439	0.667	0.535
		r_2	0.891	0.337	0.65	0.653	0.768	0.861	0.735	0.561	0.333	0.465
		r_3	0.109	0	0	0	0.232	0	0	0	0	0
黑龙江省	2012	r_1	0.097	0.45	0.04	0	0.661	0	0	0.266	0	0.662
		r_2	0.903	0.55	0.96	0.893	0.339	0.253	0.336	0.734	0.72	0.338
		r_3	0	0	0	0.108	0	0.747	0.664	0	0.28	0
	2013	r_1	0.706	0.676	0.01	0	0.545	0	0	0	0	0.694
		r_2	0.294	0.324	0.99	0.943	0.455	0.374	0.471	0.989	0.444	0.306
		r_3	0	0	0	0.058	0	0.626	0.529	0.011	0.556	0
	2014	r_1	0.232	0.526	0	0	0.372	0	0	0	0	0.694
		r_2	0.768	0.474	0.995	0.98	0.628	0.487	0.514	0.632	0.349	0.306
		r_3	0	0	0.005	0.02	0	0.513	0.486	0.368	0.651	0
	2015	r_1	0.065	0.432	0.07	0	0.667	0	0	0	0	0.694
		r_2	0.935	0.568	0.93	0.988	0.333	0.532	0.547	0.654	0.424	0.306
		r_3	0	0	0	0.013	0	0.468	0.453	0.346	0.576	0
	2016	r_1	0.109	0.466	0.09	0.01	0.72	0	0	0	0	0.694
		r_2	0.891	0.534	0.91	0.99	0.28	0.588	0.564	0.511	0.419	0.306
		r_3	0	0	0	0	0	0.412	0.436	0.489	0.581	0

4 评价结果分析

(1) 水资源短缺,供需矛盾突出。通过对东北三省水资源承载力进行研究,结果表明,东北三省2012—2016 年综合评分均值分别为,辽宁省 0.468 6,吉林省 0.684 0,黑龙江省 0.550 2,表明东北三省的水资源开发已有一定规模,虽然水资源供给在一定程度上能满足各省份的发展需要,但仍存在水资源短缺的现象。如辽宁省人均水资源量 2014 年、2015 年和 2017 年分别为:332.37,408.05,425.98 m^3,根据国际普遍通用的缺水标准,人均水资源量占有量低于 500 m^3 是为极度缺水地区,因此,水资源供需矛盾已制约着辽宁省社会经济的可持续发展。另外,对于黑龙江省,自建国以来农耕规模发展迅速,在大力发展井灌的地区,地下水位持续下降,且缺乏有效的补给,水资源供需矛盾突出(见表 6)。

表 6 2012—2016 年东北三省水资源承载力综合评价结果

地 区	隶属度/综合评分值	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	均值
辽宁省	b_1	0.267 2	0.301 6	0.138 6	0.156 8	0.280 4	0.228 9
	b_2	0.578 4	0.502 9	0.474 5	0.551 5	0.516 2	0.524 7
	b_3	0.154 3	0.195 5	0.386 7	0.291 6	0.203 6	0.246 3
	综合评分值 a	0.550 8	0.547 7	0.388 3	0.439 3	0.416 7	0.468 6
吉林省	b_1	0.377 9	0.349 6	0.252 9	0.369 9	0.384 8	0.347 0
	b_2	0.572 9	0.648 2	0.625 0	0.521 5	0.580 8	0.589 7
	b_3	0.049 1	0.002 1	0.122 0	0.108 5	0.034 3	0.063 2
	综合评分值 a	0.648 0	0.656 4	0.840 2	0.617 6	0.657 7	0.684 0
黑龙江	b_1	0.214 8	0.422 9	0.248 8	0.187 3	0.210 9	0.256 9
	b_2	0.676 8	0.440 0	0.582 8	0.660 8	0.629 8	0.598 0
	b_3	0.108 3	0.137 0	0.168 4	0.151 9	0.161 2	0.145 4
	综合评分值 a	0.547 9	0.628 7	0.536 2	0.515 9	0.522 3	0.550 2

(2) 水资源承载能力不均衡,辽宁省水资源承载能力降低。如图 1 所示,东北三省的水资源承载能力潜力分布不够均衡,吉林省水资源承载能力最大,黑龙江省第二,辽宁省水资源承载能力较弱。就近 5 a 水资源承载能力发展趋势而言,吉林省、黑龙江省保持着相对较高的水资源承载力综合分值,这表明两省更侧重于水资源开发利用的可持续发展。辽宁省则有明显的下降趋势,即水资源承载能力在逐步降低,这与辽宁省的以沈阳、大连市为核心的辽中南经济圈所造成的水资源利用效率不高,辽河区水质污染严重有关。

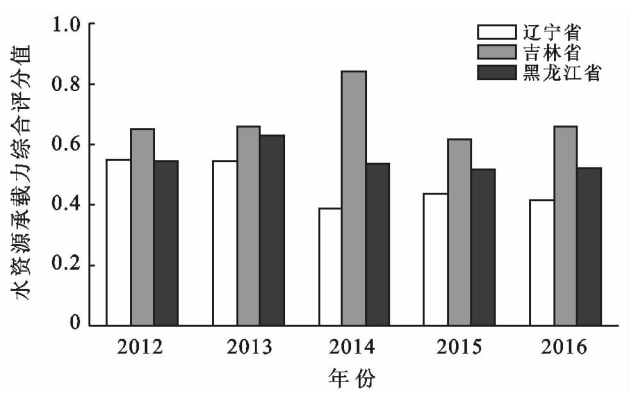


图 1 2012—2016 年东北三省水资源承载力综合评分值对比

(3) 2012—2016 年,辽宁省对 v_1,v_2,v_3 的隶属度均值为 0.228 9,0.524 7,0.246 3,v_2,v_3 的隶属度高于 v_1 的,综合评分均值为 0.468 6,表明辽宁省水资源开发利用已经有一定的规模,进一步开发利用的空间相对有限。相比较而言,吉林省对 v_1,v_2,v_3 的隶属度均值为 0.347 0,0.589 7,0.063 2,综合评分均值为 0.684 0,黑龙江省对 v_1,v_2,v_3 的隶属度均值为 0.256 9,0.598 0,0.145 4,综合评分均值为 0.550 2。两省的 v_1,v_2 的隶属度明显高于 v_3 的,尤其是吉林省,表明吉林省和黑龙江省的水资源承载能力相对较强,水资源可以进行进一步的分开发利用。

(4) 通过考察各评价指标对 v_1,v_2 和 v_3 的隶属度,可以更有针对性的提出提高水资源利用率的对策建议。2016 年东北三省数据表明,辽宁省 u_1(人均水资源量)对 v_3 的隶属度为 0.598,u_5(人均日生活用水量)对 v_3 的隶属度为 0.679,表明人口数量的增多,水资源使用不合理,导致水资源承载力的下降,进而制约了辽宁省的可持续发展。建立合理的水价体系,可以提高水资源使用主体的节水意识,以提高水资源的使用效率。吉林省 u_2(水资源利用率)对 v_1 的隶属度为 0.663,u_9(生态用水率)对 v_1 的隶属度 0.667,u_{10}(森林覆盖率)对 v_1 的隶属度为 0.535,可见生态环境的可持续发展对于水资源的承载能力有很重要

的影响。黑龙江省(生态用水率)对 v_3 的隶属度为 0.581,u_7(万元农业增加值用水量)对 v_2 和 v_3 的隶属度分别为 0.564 和 0.436,表明高耗水或低用水效率的农作模式,制约了黑龙江省的可持续发展,因此应在逐步减少农业用水量方面想对策,如建立合理的农业用水水价体系。

(5) 2016 年辽宁省对 v_2 的隶属度大于对 v_3 和对 v_1 的隶属度,而对 v_3 的隶属度又大于对 v_1 的隶属度,因此表明辽宁省对水资源的开发利用已经达到一个相对稳定的规模,并且水资源进一步开发利用的空间相对有限。吉林省、黑龙江省对 v_2 的隶属度大于对 v_3 和对 v_1 的隶属度,而对 v_1 的隶属度大于对 v_3 的隶属度,因此表明吉林省和黑龙江省对水资源的开发利用已经达到一个相对稳定的规模,但是水资源进一步的开发潜力较大。

5　水资源承载力提升的对策与建议

党的十九大对加快生态文明体制改革、推进绿色发展作出了战略部署,明确指出"必须坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式","推进资源全面节约和循环利用,实施国家节水行动"。因此,我们应做到量水而行,适水发展,合理利用地区水资源,节约与高效并举,建设资源节约,环境友好型社会是实现东北地区可持续发展的必然选择。

5.1　优化产业结构,合理配置水资源

建立有利于产业结构优化调整的水资源配置机制。在坚持保护优先,防治结合的前提下,国家进行宏观调控,加快产业结构和能源结构的调整。如在缺水的地区禁止高耗水、高污染企业生产经营,并将这些企业向水资源丰富的沿海地区集中,以确保水资源的合理配置,并到达优化产业结构的目的。大力发展循环经济,培育现代产业体系,发展绿色优势产业,实现经济发展方式转变和产业转型。

(1) 秉承"优水优用"的宗旨,按照水质和用途,对水资源进行差异化配置。工业生产可以采用外引水,农业灌溉可以采用河水,城市景观绿化可以采用经处理的污水,而优质地下水资源主要用于城市居民生活用水。

(2) 合理开发利用污水资源。随着城市用水量的增长,城市工业和生活污水的排放量也随之增长。因此,合理开发利用污水资源,将污水资源转换成可以被重新利用的水资源,是解决水资源短缺问题的新方法,同时,实现污水资源化也是保护生态环境的新的发展方向。

(3) 加强水资源的统一管理,减少优质水的消耗。根据各地的水资源情况,按照"优先开发地表水,严格控制地下水"的原则,提高地下水的开采成本,用经济手段遏制地下水的超采。辽河区水资源开发过度,地表水量不足,近年新建引浑济辽的调水工程,在一定程度上缓解了用水矛盾,但仍不能满足用水需求。由于过量开采地下水,造成严重的地面沉降,形成大面积的降落漏斗,导致工业用井加深,企业用水成本不断增长,居民生活用水困难,对水资源的正常循环产生了消极影响。

5.2　建立合理的水价体系

大量实践表明,实现水资源科学管理最行之有效的方法是充分利用经济杠杆的作用,与此同时,经济杠杆的充分利用可以促进各用水主体节水意识的提高,以及对节水设备技术的创新。而建立合理的水价体系是使经济杠杆作用得以充分发挥的最简单有效的途径,也是行政与法律手段得以顺利执行的基础。因此,在制定科学的成本核算和成本约束机制,使水价的制定更加科学合理的基础上,我们应做好以下工作。

(1) 适当提高水价基准,促进用水单位和个人自觉减少浪费,从而提高节约用水水平。前文中 2016 年辽宁省 u_1(人均水资源量)对 v_3 的隶属度为0.598,u_5(人均日生活用水量)对 v_3 的隶属度为 0.679,表明生活用水量的多少制约了辽宁省水资源的可持续利用发展。而水价的合理制定可以有效促进居民的节水意识。在制定水价标准时,应根据水资源的不同用途采用差异化的水价标准。并且实行累进递增,上下浮动水费制度。与此同时,还应根据地区、季节、用水时段的不同,来制定因地制宜的适合当地经济发展的差异化的水价体系。

(2) 建立科学合理的农业水价形成机制。根据农业水价中存在的问题,制定合理的农业用水价格,可以提高农业用水的效率,并有效减少水资源的浪费。前文中 2016 年黑龙江省 u_7(万元农业增加值用水量)对 v_3 的隶属度为 0.436,表明该省应适度修正以追求粮食高产为目的的高耗水或低用水效率的农作模式,逐步减少农业用水量。首先,可以考虑在农业用水水价中区别地表水与地下水的价格,促使农业用水尽量使用外引水、河水或循环水,以减少优质的地下水资源的消耗。其次,取消农业用水水价中各种不合理费用的收取,使农业水价的收取更加公开透明。

5.3　加速推进水资源费改税进程

水资源收益以费的形式存在,收取时缺乏强制

性,致使部分地区存在少征、漏征甚至不征的现象,与此同时还存在资金截留和挪用等问题[10-11]。因此,对水资源进行税费改革是大势所向势在必行的。水资源进行税费改革对经济发展有重要意义。①可以通过税收杠杆的作用调节地下水与地表水不合理的比价关系,鼓励使用地表水,抑制使用地下水,确保达到水资源保护的目的,促进经济的可持续发展;②可以通过税收效应改变经济参与主体的市场行为,利用税制设计,对企业形成倒逼机制,通过引导企业转变生产方式和淘汰部分落后产能,促进经济发展方式的转变;③可以理顺水费关系,完善资源税制,进而规范财税秩序。进一步推进水资源税改革,需做好以下工作。

(1) 完善取水许可证制度,从税源上保证纳税人实现全覆盖。取水许可证制度作为中国水资源管理的一项重要制度,对于合理优化水资源配置,限制对水资源的无节制开采,以及控制不合要求项目的进行都有重要意义。因此,有关部门应规范取水许可制度。对需要用水的单位和个人进行仔细排查,排查出符合用水条件的单位和个人,及时办理相关的取水许可证;对高超采、高耗水等纳税人实施重点管控;对未按要求安装取水计量设施的单位和个人勒令其在短时间内完成设备的安装。对于不符合要求的单位和个人一律不予发放取水许可证,避免不科学的取用水,对生态环境和经济社会发展产生不良影响。完善取水许可证制度,保证纳税人的全覆盖,同时也为水资源的科学管理提供法律依据。

(2) 加大对水资源基础设施的投入,为监控税源提供保障。税收征管前期的水量核定工作,是水资源费改税能否顺利进行的关键。目前中国水资源税采取的是从量计征方式,也就是说纳税人用水量直接决定其赋税,因此,政府取水计量设施的投入对纳税人而言就显得非常重要。政府可以对不同企业通过进行财政出资或给与部分补贴、税收减免优惠以及投资退税等方式,实现取用水计量设施的普遍安装,并大力推广用水量在线监控设备安装,保证税务部门可以对企业的取用水信息实现实时监控,以减少税收征收成本,提高税收征管效率。

(3) 建立健全水资源税征收管理办法,规范征收管理。目前中国仍有一些城市没有开征水资源税,对此政府应采取措施,强制其限期开征。并加快对水资源税征收和管理法律法规的制定。为了维护国家作为水资源所有者的合法权益,应尽快出台国家的《水资源税征收管理办法》,使得水资源税的征收和管理更加规范合理。

5.4 进行资产化管理,推行水资源产权制度改革

对水资源进行资产化管理的目的主要是通过对资源在投入产出管理的过程中实现资源的有偿使用,从而确保水资源所有者即国家的权益得以实现,提高水资源资产的自我增值性,以及增强水资源产权的可流转性。换言之,对水资源资产化管理的核心内容就是产权管理。

党的十九大报告提出统筹山水林田湖草系统治理,其实质是强化对自然资源产权的管理,而水资源的产权管理正处于一个相对落后的位置。因此,加快水资源产权制度改革是势在必行,迫在眉睫的。水资源产权制度改革,是在政府的宏观调控下,用市场配置水资源的一种新途径。通过对水权进行转换,使得水商品的观念得到加强,并使水资源的稀缺性得以体现。现代水权制度包括水权配置制度、水权交易制度、水权监督管理制度[12]。因此,对于水资源产权制度的改革主要从水资源使用权的确权登记、水资源使用权的交易流转以及对水资源产权流转的监督管理这 3 个方面进行。

(1) 水资源使用权的确权登记是水权交易的基础和前提,权利界定是整个水权制度建设的关键和重点环节。在水资源使用权确权登记工作中,应明确水权交易的范围、类型、程序、费用、期限等内容。做好确权登记工作为实现水资源使用权的交易流转确立法律前提,另外还应当加强对水资源评估管理的工作。

(2) 水资源使用权的交易流转是高效配置水资源的一种有效途径,并且也是水权改革的最终目的。为了更好的推进水资源使用权的交易流转,并且更大程度的活跃市场,应加快对水资源交易平台的建立。建立水资源交易平台,执行水权交易公开招投标制度,可以确保国家所有者权益得以更好的实现。建立水资源交易平台,可以依托中国水权交易所开展水权交易;也可以秉承《国务院办公厅关于印发整合建立统一的公共资源交易平台工作方案的通知》(国办发[2015]63 号)的精神,在现有的产权交易平台上,增加水权交易功能。全国各地区应根据自身的条件和需求,充分发挥市场在水资源配置中的决定性作用,实现市场价格机制的杠杆作用。

(3) 为保证水资源产权流转得以规范有序高效的进行,应加强对水资源产权流转过程的监督管理,以及对水资源产权流转后的用途的管制。对非法取水或超许可取水等行为进行强制处置,并且建立跨区域跨部门的联合巡查机制,更好的实现对水资源产权流转过程的监督管理。

(下转第 193 页)

态效益稳步上升。因此可以看出,通过积极调整项目区土地利用结构,增加林草封育、梯田等水土保持措施实施面积,加强水土保持治理工程建设,增强丹江口库区及上游地区群众水土保持意识,能够有效改善区内水土流失现状,有利于项目区生态环境及其各项功能向良性发展。

(2) 基于灰色关联系统的 TOPSIS 模型对样本数据进行了深入挖掘,采用组合赋权方法可以有效避免主客观问题,组合赋权法评价结果能很好的反映出治理效益的动态变化情况,且与项目区“水土流失面积”的客观实际基本相符。因此,该模型能为同类水土保持工程效益评价提供新的思路。

4.2 建 议

(1) 模型分析结果为今后“丹治”工程“十三五”规划及类似工程的建设有一定的指导作用。工程建设过程中加强监督检查和成果质量把关,措施配置完成后的最近一段时间要加强措施的维护与监管,使各项措施顺利度过“幼儿期”,以保障项目中后期如期发挥其功效。

(2) TOPSIS 模型分析方法目前在小流域应用较多,而在大尺度、大范围的工程效益评价中涉及较少,此外该模型与其他分析方法的组合使用也鲜有探讨,该方法的应用可为大范围、大尺度的水土保持工程效益评价提供一条新的思路。

[参 考 文 献]

[1] 朱明润,乔明叶,梁士奎,等. 改进的 TOPSIS 模型在污水灌溉安全性评价中的应用[J]. 长江科学院院报,2010,27(8):25-28.

[2] 张霞,刘晓清,王亚萍,等. 秦岭生态功能区水土保持治理效益评价[J]. 水土保持研究,2012,19(2):86-90.

[3] 陈威. 改进 TOPSIS 模型在水土保持工程效益评估中的应用[J]. 吉林水利,2016(7):50-53.

[4] 李可,尚薇,卢斌,等. 论水土保持生态修复[J]. 水利规划与设计,2012(4):50-53.

[5] 水利部水土保持司. 水土保持综合治理效益计算方法[J]. 林业工作参考,2001(2):53-78.

[6] 魏志萍,彭彰普,刘金鹏. 甘肃省秦安县水土保持生态服务价值评价[J]. 水利规划与设计,2015(8):33-36,41.

[7] 肖淳,邵东国,杨丰顺. 基于改进 TOPSIS 法的流域初始水权分配模型[J]. 武汉大学学报:工学版,2012,45(3):329-334.

[8] 董凤新. 开发建设项目主体工程水土保持分析与评价[J]. 水利技术监督,2015,23(5):41-43.

[9] 华荣祥,张富,田青,等. 甘肃省水土保持措施的综合效益分析[J]. 水土保持通报,2012,32(2):211-214.

[10] 余雁,梁樑. 多指标决策 TOPSIS 方法的进一步探讨[J]. 系统工程,2003,21(2):98-101.

[11] 曾雪婷,李永平,崔亮,等. 基于熵权 TOPSIS 法的水保项目管理评价[J]. 人民黄河,2015,37(5):80-83.

[12] 崔亮,李永平,曾雪婷,等. 基于熵权 TOPSIS 法的水保工程水补偿效益评价[J]. 人民黄河,2015,37(12):88-91.

(上接第 188 页)

(4) 全面推广水权改革要充分考虑区域性差异特点。应因地制宜地推行全国水权制度改革,无论水权确权登记还是水权交易,抑或是水权监督管理,都应当根据不同地区的水资源条件、社会经济条件、生态环境条件等要素,恰当选择适合本地区经济发展并且可实现的水权改革模式,以使水资源得到合理高效的利用,进而有助于发展中国的节水产业,建设节水型社会,并进一步推动中国经济社会的可持续发展。

[参 考 文 献]

[1] 张国良. 21 世纪中国水需求[M]. 北京:中国水利水电出版社,1998:131-138.

[2] 段青春,刘昌明,陈晓楠,等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报,2010,65(1):82-90.

[3] 王壬,陈兴伟,陈莹. 区域水资源可持续利用评价方法对比研究[J]. 自然资源学报,2015,30(11):1943-1955.

[4] 闵庆文,余卫东,张建新. 区域水资源承载力的模糊综合评价分析方法及应用[J]. 水土保持研究,2004,11(3):14-16,129.

[5] 赵强,李秀梅,高倩,等. 基于模糊综合评判的山东省水资源承载力评价[J]. 生态科学,2018,37(4):188-194.

[6] Hou Guanyu, Tang Deshan. Fuzzy comprehensive evaluation of water resources capacity based on vague method[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014,5:501-504.

[7] Jiang Xiandong, Nie Bingbing. Evaluation on water resource carrying capacity in Shandong Province during 2005—2014[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016,44(9):103-105,161.

[8] 段新光,栾芳芳. 基于模糊综合评判的新疆水资源承载力评价[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(S1):119-122.

[9] 温利华,刘红耀,姚海娇,等. 北方八省市水资源承载力研究[J]. 水土保持研究,2013,20(6):168-172,176.

[10] 李松森. 市场经济体制下国家征税依据的深层次思考[J]. 财政研究,2008(10):69-71.

[11] 王晓洁,郭宁,杨梦,等. 水资源费改税试点:成效、问题及建议[J]. 税务研究,2017,8(1):43-47.

[12] 田贵良. 国家试点省(区)水权改革经验比较与推进对策[J]. 环境保护,2018,46(13):28-35.