

基于遗传投影寻踪模型的延安市水资源利用效率分析

曹雷, 周维博, 庄妍

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 水资源是制约延安市社会经济发展的主要瓶颈,提高水资源利用效率对缓解该区域水资源短缺问题十分重要。本文选取万元工业产值用水量等7个指标,构建了水资源利用效率评价体系,建立遗传算法的投影寻踪模型,对用水效率进行分析评价。结果表明:延安市整体水资源利用效率较高,万元工业产值的用水水平为水资源利用效率的主要影响因素,并且根据最佳投影向量各指标提出了改善延安市水资源利用效率的措施。

关键词: 水资源; 水资源利用效率; 投影寻踪; 延安市

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2015)02-0126-03

Analysis of use efficiency of water resources based on model of genetic projection pursuit in Yan'an

CAO Lei, ZHOU Weibo, ZHUANG Yan

(School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Water resources is the main bottleneck restricting the social and economic development in Yan'an. Improving use efficiency of water resources is very important for alleviating water shortage problem in this region. This paper selected seven indicators such as water consumption per ten thousand Yuan industrial output to build water use efficiency evaluation system. At the same time, the efficiency of water resources was analyzed and evaluated by the projection pursuit model based on genetic algorithms. The result shows that the utilization efficiency of water resources is high in the whole region, and the water consumption per ten thousand Yuan industrial output is the main influence factor of utilization efficiency of water resources. According to the optimal projection vector, it put forward the improvement measures of enhancing the utilization efficiency of water resources in Yan'an.

Key words: water resources; use efficiency of water resources; projection pursuit; Yan'an

延安市地处我国西北黄土高原,水资源比较匮乏,随着近些年来石油煤炭工业的快速发展,使得紧张的水资源形势更加严峻,加之水资源浪费、污染和利用效率低等原因,水资源短缺已成为制约延安市经济发展的主要瓶颈,因此提高延安市水资源利用效率已成为实现可持续发展的必经之路。

我国主要通过用水水平来反映水资源利用效率^[1],许多学者在此方面做了大量研究。周维博^[2]采用模糊综合评判的方法进行了提高干旱半干旱地域灌区水资源综合效益的研究;陈爱侠^[3]在对陕西省水资源利用结构、动态特征、用水效率及动态变化研究的基础上,进行了陕西省水资源利用效率及其影响因素的分析;余兴奎等^[4]对云南省水资源利用

效率的研究,认为减少万元工业GDP用水量、提高单方水粮食产量和提高生活用水效率是提高水资源利用效率的关键因素;廖虎昌等^[5]采用地区生产总值、固定资产投资总额、全年供水量、用水人口等作为投入产出指标,运用数据包络分析方法对西部12省的水资源利用效率进行分析和评价。

目前,对延安市水资源的研究主要集中在水资源开发利用现状、水资源供需平衡分析和水资源承载力研究等方面,为进一步反映延安市的用水水平,并提高用水效率,为水资源的开发利用和节约用水提供依据,本文运用基于遗传算法的投影寻踪模型对延安市的水资源利用效率进行分析。

收稿日期:2014-08-14; 修回日期:2014-10-13

作者简介:曹雷(1990-),男,陕西咸阳人,硕士研究生,主要从事水资源开发利用方面的研究。

通讯作者:周维博(1956-),男,陕西乾县人,博士,博士生导师,从事水资源与水环境及节水灌溉方面的教学与研究工作。

1 研究区概况

延安市地处陕西南部,属黄河中游地区,水资源总量为13.35亿 m^3 ,其中地表水资源量13.35亿 m^3 ,地下水4.24亿 m^3 ,重复水资源量4.24亿 m^3 ,水资源可利用量6.81亿 m^3 ,可利用率为51.0%。2010年水资源利用效率为69%^[6],相比于2006年下降了7%,因此提高水资源利用效率对于延安市社会经济可持续发展以及节水型社会建设具有重大意义。

2 研究方法

2.1 投影指标的建立

设根据一定标准产生的样本的水资源利用状况指标为 $\{x(i,j) \mid i=1 \sim p; j=1 \sim n\}$ 。其中, n,p 分别为样本个数和指标个数。为统一各指标之间的量纲和各水资源利用状况指标的变化范围,使投影寻踪模型更具一般性,可对统计指标进行标准化处理^[7],即:

$$x(i,j) = \frac{x^*(i,j) - \min x(i,j)}{\max x(i) - \min x(i)} \quad (1)$$

式中: $\max x(i)$ 为第 i 个水资源利用状况指标的最大值; $\min x(i)$ 为第 i 个水资源利用状况的最小值。

2.2 构造投影指标函数

投影寻踪模型就是把 p 维数据 $\{x^*(i,j) \mid i=1 \sim p\}$ 综合成以 $a = [a(1), a(2), \dots, a(p)]$ 为投影方向的一维投影值 $z(j)$,然后根据 $z(j)$ 的一维散布图案进行选择,即:

$$z(j) = \sum_{i=1}^p a(i)x(i,j) \quad (2)$$

2.3 构造投影目标函数

在综合投影值时,要求投影值 $z(j)$ 应可能大的提取 $x(i,j)$ 中的变异信息,即 $z(j)$ 的标准差 S_z 达到尽可能大;同时投影值 $z(j)$ 的局部密度 D_z 达到最大,基于此,投影目标函数可构造为:

$$Q(a) = S_z D_z \quad (3)$$

$$S_z = \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n [z(j) - Ez]^2}{n-1} \right\}^{0.5} \quad (4)$$

$$D_z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^p (R - r_{ij}) u(R - r_{ij}) \quad (5)$$

式中: E_z 为 $z(j)$ 的平均值; S_z 为 $z(j)$ 的标准差; D_z 为投影值 $z(j)$ 的局部密度; R 为局部密度的窗口半径,它的选取既要使包含在窗口内的投影点的平均个数不太少,避免滑动平均偏差太大,又不能使它随

着 n 的增大而增加太高, R 一般可取值为 αS_z , α 可以为0.1、0.01、0.001等,依据投影点 $z(j)$ 在区域内的分布情况进行适当调整,距离 $r_{ij} = |z(i) - z(j)|$; $u(R - r_{ij})$ 为单位阶跃函数,当 $R - r_{ij} \geq 0$ 时其函数值为1,当 $R - r_{ij} < 0$ 时,其函数值为0。

2.4 优化投影指标函数,确定最佳投影方向

当方案集给定时,投影寻踪函数 $Q(a)$ 只随投影方向的变化而变化,最佳投影方向就是最大可能暴露高维数据某类特征结构的投影方向,可通过求解投影指标函数最大化问题来估计最佳投影方向。

$$\max Q(a) = S_z D_z \quad (6)$$

$$s. t \sum_{i=1}^p a^2(i) = 1, \quad -1 \gg a(i) \ll 1 \quad (7)$$

这是一个以 $a(i)$ 为优化变量的复杂非线性优化问题,用常规的优化方法处理较难。模拟生物优胜劣汰规则与群体内部染色体信息交换机制的加速遗传算法(RAGA)是一种通用的全局优化方案,用来求解上述问题简便而有效,具体算法可参见文献[8]。目标函数达到极值时得到最佳投影方向 a 。

2.5 评估

将获得的最佳投影方向 a 代入(2)式,得到各个样本的投影值 $z(j)$,根据 $z(j)$ 的数值大小对样本进行评价分析。

3 延安市水资源利用效率的评价

3.1 水资源利用效率评价指标体系的构建

由于水资源利用效率是一个多层次、多目标的系统^[9],各项指标的评价结果常常是不相容的,单项指标的大小很难代表水资源综合效率的高低,因此在进行水资源利用效率评价时,要根据目标确定一组相互关联的评级指标体系。

本文根据延安实际情况从水资源综合利用效率、工业用水效率、农业用水效率和生活用水效率四个方面出发,选取影响水资源利用的7个指标:人均综合用水量、万元GDP用水量、万元工业产值用水量、工业用水比例、万元农业产值用水量、农田灌溉用水量和人均生活用水量,构建延安市水资源利用效率评价指标体系。

3.2 数据处理与分析

(1)数据归一化处理。在分析目标区域的水资源利用效率时,不同评价指标的单位数量存在较大差异,需要对不同的指标数据进行归一化处理。本文以2010年延安市统计年鉴中评价指标数据为基础,进行归一化处理,结果见表1。

表 1 延安市 2010 年各行政区评价指标数据归一化处理结果

行政区	人均综合 用水量	万元 GDP 用水量	万元工业 产值用水量	工业用 水比例	万元农业 产值用水量	农田灌溉 平均用水量	人均生活 用水量
宝塔区	0.616	0.755	0.561	0.809	0.619	0.745	0.675
延 长	0.591	0.540	0.780	0.312	0.550	0.526	0.641
延 川	0.681	0.860	0.872	0.779	0.597	0	0.459
子 长	0.647	0.728	0.781	0.727	0.600	0.861	0.681
安 塞	0.733	0.903	0.894	0.875	0.671	0.967	1.000
志 丹	0.259	0.954	0.952	0.778	0.207	0.498	0.523
吴 起	0.650	1.000	0.986	0.696	0.806	1.000	0.998
甘 泉	0	0.308	0.713	0.355	0	0.730	0
富 县	0.435	0	0.653	0.067	0.489	0.507	0.696
洛 川	0.836	0.996	1.000	0.475	0.993	0.975	0.989
宜 川	0.793	0.368	0	0.061	0.866	0.805	0.903
黄 龙	1.000	0.731	0.466	0	1.000	0.907	0.947
黄 陵	0.101	0.756	0.742	1.000	0.717	0.615	0.480

(2) 最佳投影值的确定。用 Matlab 实现加速遗传算法,取 $\alpha = 0.001$, 即 $R = 0.001 S_z$, 计算得最佳投影向量为 $a = (0.2306 \ 0.3337 \ 0.6582 \ 0.4413 \ 0.0975 \ 0.3654 \ 0.2539)$ 。

最佳投影向量各分量值代表了各评价指标对总体目标的贡献和方向,各分量所代表的指标顺序依次为:人均综合用水量、万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量、工业用水比例、万元农业增加值用水量、农田灌溉用水量、人均生活用水量。

从最佳投影向量 a 的数值可以看出,各评价指标 $a(j)$ 均为正值,说明各评价指标投影方向一致,并且认为万元工业增加值用水量对延安市的水资源综合利用效率贡献最大,其后依次为工业用水比例、农田灌溉用水量、万元 GDP 用水量、人均生活用水量、人均综合用水量,万元农业增加值用水量对延安市水资源综合利用效率的贡献最小。

把最佳投影方向代入式(3)中,得到延安市 13 个区县的综合投影值 $Z(j)$:

$$Z(j) = (1.6242 \ 2.6267 \ 2.4123 \ 2.9838 \ 4.3820 \ 3.7274 \ 3.7896 \ 1.9876 \ 0.8587 \ 2.7152 \ 3.5969 \ 3.5141 \ 2.7281)$$

在 $Z(j)$ 中的数值越大,表示对应行政区的水资源综合利用效率越高,可知,安塞县的水资源利用效率最高,其次分别为吴起、志丹、宜川、黄龙、子长、黄陵、洛川、延长、延川、甘泉、宝塔、富县。各区县水资源利用效率具体投影值见图 1。

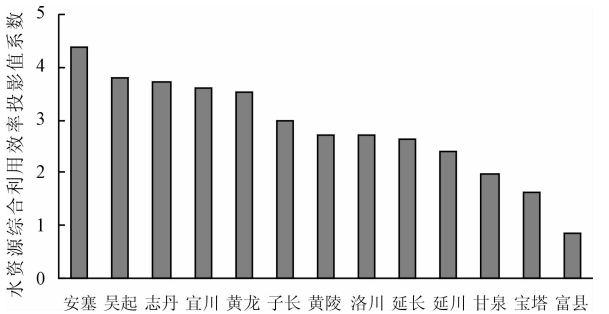


图 1 各区县水资源综合利用效率投影值

(3) 原因分析。在对 13 个行政区的水资源利用效率排序中,从地区分布可以看出:排名较高的区县集中分布在延安市北部较为缺水的地区,如安塞、吴起和志丹。排名低的区县主要分布在延安市水资源相对较多的南部,如甘泉和富县,说明水资源的缺乏程度对利用效率的影响很大。从产业结构可以看出:排名较高的地区均是石油化工产业较为突出的,以吴起、志丹为代表;主要依赖农业经济的地区,水资源利用效率排名均靠后,以甘泉、富县为代表;宝塔区由于在工业上的用水量很大,且工业类型以综合型为主,并非单一的石油化工类型,因此与延安市其他水资源利用效率较高的县区相比水资源利用效率较低,导致排名不高。

4 结 语

通过本文评价结果分析,得出延安市整体的水
(下转第 134 页)

域水量和泥沙负荷的影响,研究取得以下结论:

(1)构建的水沙耦合模型具有较好的模拟精度,水量模拟相对误差均在 10% 以内,确定性系数在 0.7 以上,泥沙模拟相对误差均在 20% 以内,确定性系数在 0.5 以上,模型可以满足模拟的精度规范要求,模型可以用来进一步分析土地利用模式对印江河流域泥沙和水量的影响;

(2)不同土地利用模式情景对印江河流域生态水文影响不同,旱地面积增加 10%,印江河径流深和土壤侵蚀模式相应增加 11.5% 和 12.9%,林地面积增加 10%,流域径流深和土壤侵蚀模式相应减少 7.5% 和 14.63%,草地面积增加 10%,印江河流域减少 6.3% 和 6.78%。

参考文献:

- [1] 黄奕龙,傅伯杰,陈利顶.生态水文过程研究进展[J].生态学报,2003,23(3):580-587.
- [2] 王朗,徐延达,傅伯杰,等.半干旱区景观格局与生态水文过程研究进展[J].地球科学进展,2009,24(11):1238-1246.

- [3] 赵志轩.白洋淀湿地生态水文过程耦合作用机制及综合调控研究[D].天津:天津大学,2012.
- [4] 夏佰成,胡金明,宋新山.地理信息系统在流域生态水文过程模拟研究中的应用[J].水土保持研究,2004,11(1):5-8.
- [5] 刁一伟,裴铁璠.森林流域生态水文过程动力学机制与模拟研究进展[J].应用生态学报,2004,15(12):2369-2376.
- [6] 杨大文,雷慧闽,丛振涛.流域水文过程与植被相互作用研究现状评述[J].水利学报,2010,41(10):1142-1149.
- [7] 胡金明,邓伟,夏佰成.LASCAM 水文模型在流域生态水文过程研究中的应用——模型理论基础[J].地理科学,2005,25(4):427-433.
- [8] 姜尚堃,李飞,陈立峰.遥感技术在分布式水文模型中的应用研究进展[J].水资源与水工程学报,2013,24(1):174-180.
- [9] 曾思育,杜鹏飞,陈吉宁.流域污染负荷模型比较研究[J].水科学进展,2006,17(1):108-112.
- [10] 韩旖旎,牛健植,张由松.SWAT 和 WetSpa Extension 在罗玉沟流域的应用比较[J].水资源与水工程学报,2014,25(3):133-137.

(上接第 128 页)

资源利用效率与全国平均水平相比处于较高水平,这与延安市整体的产业布局结构有密切关系,由 13 个县区的排序可以看出,石油化工产业发展突出的区县,水资源利用效率都较高,而依赖农业经济为主的区县,水资源利用效率都相对较低,总体而言,延安市整体的水资源利用效率较高。

由最佳投影向量中万元工业产值用水量比重最大,其次为工业用水比例和农田亩均灌溉用水量,可知要进一步提高延安市的水资源利用效率,可以从以下几个方面入手:①转变产业结构,优化工业布局,主要以低耗水、高产出的工业类型为主进行发展;②鼓励节水农业,发展集水农业,采用先进灌溉技术,增加单位农业用水的产出;③加强污水回用,限制耗水行业,减少高耗水工业的发展,进一步提高工业废水的回用率。

参考文献:

- [1] 许新宜,王红瑞,刘海军,等.中国水资源利用效率评估报告[M].北京:北京师范大学出版社,2010.

- [2] 周维博.干旱半干旱地域提高灌区水资源综合效益研究进展与思考[J].干旱区资源与环境,2003,17(5):91-96.
- [3] 陈爱侠.陕西省水资源利用效率及其影响因素分析[J].西北林学院学报,2007,22(1):178-182.
- [4] 余兴奎,何士华,高飞.云南省水资源利用效率评价[J].中国农村水利水电,2012(3):78-90.
- [5] 廖虎昌,董毅明.基于 DEA 和 Malmquist 指数的西部 12 省水资源利用效率研究[J].资源科学,2011,33(2):273-279.
- [6] 周维博.延安市水中长期供求规划[R].西安:长安大学,2013.
- [7] 封志明,郑海霞,刘宝勤.基于遗传投影寻踪模型的农业水资源利用效率综合评价[J].农业工程学报,2005,21(3):66-70.
- [8] 金菊良,杨晓华,丁晶.基于实数编码的加速遗传算法[J].四川大学学报(工程科学版),2000,32(4):20-24.
- [9] Howell T A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture[J]. Agronomy Journal, 2001,93(2):281-289.