

文章编号:1007-2284(2009)02-0070-04

灌溉水利用率影响因素的主成分分析 ——以漳河灌区为例

谭 芳¹, 崔远来¹, 王建漳²

(1. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072, 2. 湖北漳河工程管理局, 湖北 荆门 448156)

摘 要:基于漳河灌区 1973~2006 年共 34 年的资料,采用首尾测算分析法计算灌溉水利用率,根据灌溉水利用率及其影响因素长系列数据,采用主成分分析法对灌溉水利用率各影响因素的影响规律和影响程度进行计算分析。结果表明:塘堰供水比例、渠道衬砌率、节水改造投资和节水灌溉面积比对灌溉水利用率有较大正贡献率,而中稻灌溉定额、水稻种植比具有较大的负贡献率;反映当地种植结构及管理情况的塘堰供水比和中稻净灌溉定额、反映节水工程状况的渠道衬砌率和节水灌溉面积比对灌溉水利用率的影响较大,而反映自然条件的生育期降雨量及参考作物蒸发蒸腾量影响较小;灌溉水利用率整体随时间有上升的趋势,并存在明显波动,但这种波动在逐步减小,即灌溉水利用率的变化逐渐趋于平稳。

关键词:灌溉水利用率;影响因素;主成分分析法;贡献率

中图分类号:TV93, S274

文献标识码:A

Impact Factors of Irrigation Water Use Efficiency Based on Principal Component Analysis, Case from Zhanghe Irrigation District

TAN Fang¹, CUI Yuan-lai¹, WANG Jian-zhang²

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Hubei Zhanghe Hydranlic Project Administration Bureau, Jingmen 448156, Hubei Province, China)

Abstract: Based on the data of Zhang He Irrigation District from 1973 - 2006, the irrigation water use efficiency (IWUE) was calculated with the net irrigation water use and gross irrigation water use. According to the IWUE and its impact factors of different years, the impact laws and its degree of different factors which affect the IWUE were investigated with Principal Component Analysis. The results showed that the local water (pond) supply proportion, the lining rate of canal, the investment of water-saving transformation and the area ratio of water-saving irrigation have greater positive contribution rate to the IWUE, while rice irrigation quota and rice cultivation proportion have greater negative contribution rate; the local water supply proportion and the rice irrigation quota which reflect the cropping pattern and management level, and the lining rate of canal and the area ratio of water-saving irrigation which reflect the water-saving irrigation conditions have greatest impact on the IWUE, while natural factors, including rainfall in growth period and reference crop evapotranspiration, have litter impact; overall the IWUE is rising over time, and there is an obvious fluctuations, but this fluctuation has been gradually reduced, which means the change of IWUE is gradually stabilizing.

Key words: irrigation water use efficiency; impact factors; principal component analysis; contribution rate

灌溉水利用率是指某一时期灌入田间可被作物利用的水量与水源灌溉取水总量的比值(%) ,用 η_w 表示^[1]。它反映全灌区渠系输水和田间用水状况,是衡量从水源取水到田间作物吸

收利用过程中灌溉水利用程度的一个重要指标,也是评价农业水资源利用、指导节水灌溉和大中型灌区续建配套及节水改造健康发展的重要指标,同时也是领导宏观决策的重要依据。

灌溉水利用率与自然条件和人文因素有很大的相关关系^[2],不同时间内灌溉水利用率会随自然条件和人文因素的改变而发生相应的变化,但各个因素与灌溉水利用率的相关程度以及年际影响规律各不相同。同时各因素对灌溉水利用率的影响不是独立的比例关系,各因素之间也存在关联。对某个典

收稿日期:2008-08-29

基金项目:水利部公益性行业专项经费项目(200701002);国家自然科学基金项目(50579059、50879060)部分内容。

作者简介:谭 芳(1986-),女,硕士,从事节水与水资源管理研究。

型灌区而言,在时间序列上分析灌溉水利用率及其影响因素的变化规律,比较这些因素对灌溉水利用率的影响程度,对于探明提高该灌区灌溉水利用率的具体措施具有最直接的指导意义。本文以湖北省漳河灌区为例,利用灌区 1973~2006 年的灌水、气象、作物种植等资料,分析计算得到灌溉水利用率及其主要影响因素的长系列数据,采用主成分分析法分析影响灌溉水利用率各因素在时间序列上的影响规律及影响程度,利用分析所得主成分建立与灌溉水利用率的线性回归关系。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

漳河灌区位于江汉平原西部,地跨荆门、荆州、宜昌 3 市,是湖北省重要的商品粮基地之一。漳河灌区属于亚热带大陆性气候区,年平均降雨量 969 mm,年平均蒸发量 1 425 mm,灌区内土壤以黏土及黏壤土为主,农作物以水稻为主。漳河水库为灌区主要水源,形成了以漳河水库为骨干,大中小相结合、蓄引提相调剂的长藤结瓜灌溉系统。漳河水库除提供灌溉水源外,还有防洪、发电、水产、旅游、航运和城市供水等综合功能^[4]。

漳河灌区工程建设期为 20 世纪 60 年代,受当时的社会环境及经济条件的限制,国家投入少,设计标准低,建成后至 1979 年的 14 年间,由于单纯依靠行政措施,不讲经济规律,形成了调度运用上的恶性循环,水资源浪费十分严重。1980 年,漳河水库工程管理局在全国率先实行了“按量配水,计量收费”的灌溉管理制度改革^[3,4],收到了明显成效。节水灌溉方面,20 世纪 90 年代后,工程措施和非工程措施的节水灌溉工作在漳河灌区同时展开。1995 年,漳河管理局对总干渠和三干渠进行了衬砌达标。2000 年开始进行为期 10 年的续建配套与节水改造工程^[5],逐步对 4 条干渠的部分险工险段进行了整治和配套,大力开展田间节水灌溉技术的研究和推广,使节水灌溉覆盖面积逐步扩大。目前,田间节水灌溉技术正在逐步被灌区广大农民所接受并运用^[5]。

1.2 灌溉水利用率及其影响因素观测

灌溉水利用效率的测算采用《全国现状灌溉水利用系数测算分析》课题组推荐的首尾测算分析法^[1],该方法直接统计灌区从水源引入(取用)的毛灌溉用水量,并通过分析测算得到田间实际净灌溉用水总量,将田间实际净灌溉用水总量除以同期的毛灌溉用水总量,所得比值的百分数即为灌溉水利用率。本文利用漳河灌区 1973~2006 年 34 年的灌水资料,采用首尾测算分析法计算出各年的灌溉水利用率。

漳河灌区是南方以种植水稻为主的大型长藤结瓜灌溉系统,综合考虑影响灌溉水利用率的主要因素以及所选典型灌区的特点,兼顾漳河灌区统计年鉴提供的资料,选定以下 9 个影响因素进行分析:生育期降雨量(X_1)、参考作物蒸发蒸腾量(X_2)、中稻实际灌溉面积(X_3)、塘堰供水比例(X_4)、中稻净灌溉定额(X_5)、水稻种植比例(X_6)、渠道衬砌率(X_7)、当年节水改造投资(X_8)、节水灌溉工程面积比(X_9),见表 1。

1.3 主成分分析的基本原理

主成分分析法是霍特林于 1933 年首先提出的^[6],是一种

表 1 灌溉水利用率影响因素分析考虑的因子

项目	代号	因素	单位
目标	Y	灌溉水利用率	%
自然因素	X_1	生育期降雨量	mm
	X_2	参考作物蒸发蒸腾量	mm
当地种植结构及管理情况	X_3	中稻实灌面积	667 hm ²
	X_4	塘堰供水比例	%
	X_5	中稻净灌溉定额	mm
	X_6	水稻种植比	%
节水灌溉状况	X_7	渠道衬砌率	‰
	X_8	当年节水改造投资	万元
	X_9	节水灌溉工程面积比	%

把多个指标化为少数几个综合指标的统计分析方法^[6-9]。在多指标(变量)的研究中,往往由于变量个数太多,且彼此之间存在着一定的相关性,使得所观测的数据在一定程度上有信息的重叠。当变量较多时,在高维空间中研究样本的分布规律就会增加计算量和分析问题的复杂性。主成分分析法采取降维处理方法,找出几个综合因子来代表原来众多的变量,使这些因子尽可能地反映原来变量的信息量,而且彼此之间互不相关,从而达到简化的目的^[7,8]。

主成分分析法的具体过程如下^[6-9]。

(1)对原始数据进行标准化处理。公式如下:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{X_i}}{\sigma} \tag{1}$$

$$\overline{X_i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \tag{2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \overline{X_i})^2} \tag{3}$$

式中: X_{ij} 为原始值; Z_{ij} 为标准化值; $\overline{X_i}$ 和 σ 分别为第*i*个因素的样本均值和标准差,本文中*i*=1,2,...,9,*j*=1,2,...,34。

(2)计算标准化后数据的相关系数矩阵*R*:

$$R = (r_{ij}) \tag{4}$$

$$r_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sqrt{S_{ii}} \sqrt{S_{jj}}} \tag{5}$$

$$S_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \overline{X_i})^2 (X_{ij} - \overline{X_j})^2 \tag{6}$$

(3)计算相关系数矩阵的特征根和特征向量。根据特征方程 $|R - \lambda I| = 0$ 计算特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$,并使其从大到小排列,同时求得对应的特征向量。

(4)计算各主成分的方差贡献率和累计方差贡献率。方差贡献率:

$$\alpha_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \tag{7}$$

累计方差贡献率:

$$\alpha(k) = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \tag{8}$$

(5) 确定主成分个数。确定主成分个数的原则是用较少的主成分获取足够多的原始信息,实际上就是在 k 和 $\alpha(k)$ 之间进行权衡:一方面要使 k 尽可能的小,另一方面使 $\alpha(k)$ 尽可能的大。根据实际问题的需要,使前 k 个主成分的累积方差达到一定的要求即可。

(6) 写出主成分并求出各样本的主成分值,主成分用原始指标 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 可表示为:

$$F_i = a_{1i} X_1 + a_{2i} X_2 + \dots + a_{ni} X_n \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

2 数据处理及结果分析

2.1 主成分分析计算

主成分分析计算采用 SPSS 软件进行。输入各影响因素时间序列值,求得相关矩阵、特征根、主成分贡献率和累计贡献率如表 2、表 3。

表 2 相关系数矩阵计算

影响 因素	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	1.0								
X_2	0.802	1.0							
X_3	0.145	0.109	1.0						
X_4	0.452	0.355	- 0.012	1.0					
X_5	- 0.594	- 0.553	- 0.306	- 0.763	1.0				
X_6	- 0.048	- 0.024	0.027	- 0.452	0.502	1.0			
X_7	- 0.120	- 0.023	- 0.011	0.554	- 0.540	- 0.572	1.0		
X_8	- 0.193	- 0.112	0.013	0.532	- 0.378	- 0.222	0.740	1.0	
X_9	0.002	0.029	0.069	0.624	- 0.636	- 0.873	0.823	0.571	1.0

表 3 特征根及贡献率

主成分	初始特征值			提取的主成分		
	特征值	贡献率/ %	累计贡献 率/ %	特征值	贡献率/ %	累计贡献 率/ %
1	4.078	45.315	45.315	4.078	45.315	45.315
2	2.276	25.285	70.600	2.276	25.285	70.600
3	1.015	11.272	81.872	1.015	11.272	81.872
4	0.864	9.601	91.473			
5	0.346	3.846	95.319			
6	0.160	1.782	97.101			
7	0.124	1.378	98.479			
8	0.103	1.148	99.627			
9	0.034	0.373	100.0			

由表 3 知,前 3 个主成分特征值均超过 1,累计贡献率达 81.2%,可基本代表原来 9 个影响因素的全部信息^[6]。系统自动提取前 3 个主成分作为分析因素,进一步得到旋转后的因子荷载矩阵如表 4。

表 4 旋转后的主成分荷载

影响因素	荷 载		
	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
X_1	0.321	0.896	- 0.127
X_2	0.325	0.837	- 0.138
X_3	0.123	0.252	0.951
X_4	0.843	0.175	- 0.171
X_5	- 0.866	- 0.387	- 0.130
X_6	- 0.723	0.225	0.130
X_7	0.815	- 0.425	0.017
X_8	0.635	- 0.445	0.108
X_9	0.896	- 0.315	0.013

2.2 结果分析

(1) 第 1 主成分中在塘堰供水比例(X_4)、中稻灌溉定额(X_5)、水稻种植比(X_6)、渠道衬砌率(X_7)、节水改造投资(X_8)和节水灌溉面积比(X_9)上均占有较大比重,荷载分别为 0.843、- 0.866、- 0.723、0.815、0.635、0.896,这些因素代表了当地种植结构及管理情况和节水灌溉工程状况,同时在生育期降雨量(X_1)和参考作物蒸发蒸腾量(X_2)上的比重较小。由此可以说,灌区的种植结构及管理状况和节水灌溉工程状况对灌溉水利用率的影响较自然因素要大,由于在各因素上所占比例较大,且第 1 主成分的贡献率接近 50%,第 1 主成分基本代表了所有因素的综合影响情况。

从数据中还可以看出,塘堰供水比例、渠道衬砌率和节水灌溉面积比具有较大的正贡献率,而中稻灌溉定额、水稻种植比具有较大的负贡献率,这与实际情况也是相符的。原因如下:塘堰供水与水库供水相比,由于一般采用就近取水原则,输水路经短,沿途渗漏量小,且管理比较到位,因此塘堰供水比例的提高可以显著提高灌溉水利用率。由于水稻作物田面蒸发和渗漏较大,且在灌溉管理过程中容易出现水量浪费的情况,比如田埂漏、跑水等,其灌溉水利用率一般都低于旱作物的灌溉水利用率,因此水稻种植比与灌溉水利用率呈负相关关系。漳河灌区最主要的作物是水稻,而水稻种植主要是中稻,中稻灌溉定额越大,渗漏、蒸发和浪费掉的水也就越多,灌溉水利用率也就越低。渠道衬砌率和节水灌溉面积比代表灌区的节水灌溉工程发展状况,节水灌溉本身就是一种通过提高灌溉水利用率来节约水资源的灌水模式,节水灌溉工程状况越好,灌溉水利用率相应越高。提高渠道衬砌率可以提高渠系水利用系数,推行节水灌溉是提高灌溉水利用率和节约水资源的最直接措施。在第 1 主成分的所有因素荷载中,节水灌溉面积比为 0.896,位居首位,这说明在漳河灌区增加节水灌溉面积是提高灌溉水利用率最重要的措施。

(2)第2主成分主要反映自然因素对灌溉水利用率的影响力,在生育期降雨和参考作物蒸发蒸腾量上的荷载分别为0.896和0.837。分析表明,自然因素对灌溉水利用率的影响比较复杂,因为自然因素会左右人为管理因素,对灌溉水利用率既有直接影响也有间接影响。当降雨较少时,相应灌溉用水量就大,灌区及农民相应会珍惜对灌溉水的有效利用,从而提高灌溉水利用率;同时,降雨较少的年份一般蒸发蒸腾量大,输配水过程中的蒸发渗漏损失也大,又可能导致灌溉水利用率的降低。表4中2个自然因素的荷载均为正值,说明在漳河灌区,灌溉水利用率受到自然条件的负面影响较小,也即当地的管理层能够根据当年自然因素的变化而采取相应的措施,体现了漳河灌区的灌溉管理处于较高水平。

(3)第3主成分在中稻实灌面积上的荷载值最大,高达0.951,在其他因素上荷载值均较小。在一定区域和种植结构下,实灌面积大说明灌溉比较到位,水量分配比较均匀,相应灌溉水利用率也就越高。但是,由于第3主成分只有0.112的贡献率,所以中稻实灌面积对灌溉水利用率没有显著的影响。

2.3 主成分计算结果回归分析

通过以上主成分分析计算,得到影响灌溉水利用率的3个主成分 F_1, F_2, F_3 ,以及各主成分与灌溉水利用率的影响规律和影响程度。利用主成分分析中得到的主成分在各因素上的荷载和原始数据,通过加权计算得各主成分值。为了进一步建立这3个主成分与灌溉水利用率更直观的数量关系,并对灌溉水利用率进行宏观分析和预测,以主成分为自变量建立其与灌溉水利用率的线性回归方程。计算不同主成分与灌溉水利用率的相关系数如表5。

表5 灌溉水利用率与主成分相关系数				
成分	灌溉水利用率	第1主成分	第2主成分	第3主成分
灌溉水利用率	1.0	0.371	0.452	0.475
第1主成分	0.371	1.0	0.0	0.0
第2主成分	0.452	0.0	1.0	0.0
第3主成分	0.475	0.0	0.0	1.0

表5表明,各主成分之间相关系数为0,说明各主成分之间是相互独立的;第1、第2、第3主成分与灌溉水利用率之间的相关系数分别为0.371、0.452和0.475,且在0.01置信水平下均达到显著相关,说明三者对灌溉水利用率均有影响。以灌溉水利用率为因变量(y),第1主成分(F_1)、第2主成分(F_2)、第3主成分(F_3)为自变量,利用SPSS软件进行多元回归分析,得到三元一次线性回归方程 $y=57.714-0.011F_1-0.008F_2+0.034F_3$,相关系数 $r=0.713$,且在0.01置信水平下达到显著,说明回归方程有效。利用此回归方程可以算得各年的灌溉水利用率,主成分拟合值与原始计算值的对照见图1。

由图1可见,灌溉水利用率拟合值与计算值的变化趋势一致,拟合效果较好。但是拟合值变化相对平稳,波动幅度较小,这是因为在拟合过程中逐步排除了一些影响不大的因素的不利影响。从图1还可以看出,随着时间的推移,灌溉水利用率有上升的趋势,并且波动逐渐变小,特别在2000年漳河灌区开展续建配套与节水改造工程之后,这种变化尤其明显,说明了

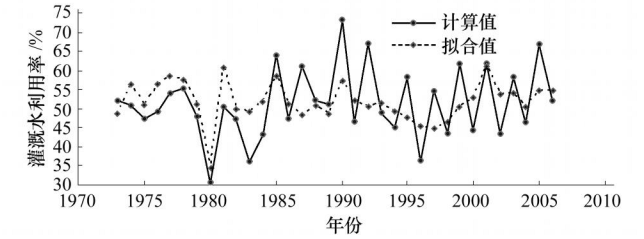


图1 灌溉水利用率主成分拟合值与计算值对照图
灌区运行水平的稳健提高。

3 结 论

(1)种植结构及管理情况和节水灌溉工程状况对漳河灌区灌溉水利用率的影响较明显,塘堰供水比例、渠道衬砌率、节水改造投资和节水灌溉面积比对灌溉水利用率有较大的正贡献率,而中稻灌溉定额、水稻种植比有较大的负贡献率。因此,针对漳河灌区实际情况,合理分配旱作物和水稻的种植比例,加强科学管理,进一步加大渠道等输配水工程的除险加固和渠道的防渗力度,大力推行田间节水灌溉技术是提高灌溉水利用率的主要措施。

(2)漳河灌区灌溉水利用率随时间有上升趋势,但存在明显波动。从首尾测算分析法计算值和主成分拟合值也可以看出,这种波动在逐步减小,反映了灌区管理水平的逐步提高,因此可以预测灌溉水利用率的变化会趋于平稳上升,但不会无限增大。

(3)本文所采用的方法具有通用性,其主要结论对漳河灌区这类南方以种植水稻为主的大型长藤结瓜灌溉系统亦适用,但对于北方井灌区、渠井联合应用灌区、中小型灌区等,由于灌溉水利用率的影响因素和不同影响因素的作用程度具有很大差异,还需区别讨论。

参考文献:

[1] 《全国灌溉水利用系数测算分析》专题组. 全国现状灌溉水利用系数测算分析报告[R]. 2007.

[2] 熊 佳. 灌区灌溉水利用效率时空变异规律研究[D]. 武汉:武汉大学, 2008.

[3] 陈泽民. 漳河水库志(1990 - 2000 年)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[4] 湖北省水利水电勘测设计院. 湖北省漳河灌区续建配套与节水改造规划报告[R]. 2000.

[5] 洪 林,吴玉婷,代 宇,等. 漳河灌区节水型社会的特征及目标体系研究[J]. 中国水利, 2005, (15):38 - 44.

[6] 许 丛,操 勤,袁 媛. 基于主成分分析法的安徽省生态环境质量研究[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(2):118 - 119.

[7] 鲁 欣,秦大庸,刘 俊,等. 宁夏粮食产量主要影响因子分析[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(6):65 - 70.

[8] 李清翠,张振华,姚付启,等. 烟台地区水面蒸发量主成分分析法研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(3):289 - 292.

[9] 鲍卫锋,黄介生,孔祥元. 基于主成分分析法的流域水循环效应[J]. 武汉大学学报(工学版), 2007, 40(2):29 - 33.