

小型灌区灌溉水利用系数测定及影响因素研究

吴七斤^{1,2}, 顾太义³, 王甫¹

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市高淳区水务局, 江苏 南京 211300;

3. 上海市嘉定区河道水闸管理所, 上海 201899)

摘要:以上海市小型灌区为研究对象,采用首尾法测算2013年和2014年11个样点灌区的灌溉水利用系数,并采用主成分分析法对灌溉水利用系数各影响因素的影响程度和影响规律进行计算分析。结果表明:11个样点灌区中9个灌溉水利用系数在0.7以上,最大值为0.861,明显高于同期全国平均水平;水稻种植比、防渗渠道长度、渠道衬砌率和节水灌溉工程面积比对灌溉水利用系数影响较大,且防渗渠道长度、渠道衬砌率和节水灌溉工程面积比具有较大的正贡献率,而水稻种植比具有较大的负贡献,可通过优化灌区种植结构、继续开展节水灌溉工程建设、大力推行节水灌溉技术来提高灌溉水利用系数。

关键词:灌溉水利用系数;影响因素;首尾法;主成分分析法;小型灌区

中图分类号:S274.4

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2017)02-0244-05

Research on the measurement and influence factors of irrigation water utilization coefficient in small-sized irrigation area

WU Qijin^{1,2}, GU Taiyi³, WANG Fu¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Gaochun Water Affair Authority, Nanjing 211300, China; 3. Riverway and Sluice Management of Jiading District, Shanghai 201899, China)

Abstract: The utilization coefficient of irrigation water were calculated by using the head-tail method, which was focused on 11 small-sized irrigation areas during 2013 and 2014 in Shanghai City. The impact laws and degree of different influence factors which affected utilization coefficient of irrigation water were investigated with the principal component analysis. The results showed that the utilization coefficient of irrigation water in 9 of 11 sampled irrigation areas were above 0.7, of which, the maximum was 0.861, which was significant higher than average level of the whole country. Besides, rice cultivation proportion, seepage-proofing canal lengths, the lining rate of canal and the area ratio of water-saving irrigation had greater impacts on the utilization coefficient of irrigation water, and seepage-proofing canal lengths, the lining rate of canal and the area ratio of water-saving irrigation had great positive contribution rates, while rice cultivation proportion have great negative contribution rate. The utilization coefficients of irrigation water could be increased by optimizing the cropping structure, carrying out water-saving irrigation project construction as before, and vigorously extending water-saving irrigation technology.

Key words: utilization coefficient of irrigation water; influence factor; head-tail method; principal component analysis; small-sized irrigation area

中国农业灌溉用水占全国总用水量的近70%,其中的90%用于农田灌溉^[1]。随着社会经济的发展,农业面临着用有限水资源生产更多粮食的问题,提高农业水资源利用率和灌溉水利用效率迫在眉

睫^[2-3]。

灌溉水利用系数是指灌入田间可被作物利用的水量与水源地取用的灌溉总水量的比值^[4],它是评价农业水资源利用、进行区域科学配置、指导节水灌

收稿日期:2016-10-09; 修回日期:2016-12-19

基金项目:国家自然科学基金项目(51609065、51309080);江苏省水利科技项目

作者简介:吴七斤(1967-),男,江苏高淳人,高级工程师,研究方向为农田水利工程与节水灌溉。

通讯作者:王甫(1993-),男,安徽阜阳人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉利用与新技术。

溉发展以及政府部门进行宏观决策的重要依据^[5]。关于灌溉水利用系数的影响因素研究,国内学者主要是从与灌溉水利用系数相关的自然因素、种植结构、管理状况和节水灌溉状况等方面开展^[6-9]。崔远来等^[7]从与灌溉水利用系数相关的自然条件和管理因素角度进行分析;周和平等^[8]从与灌溉水利用系数相关的渠道防渗长度、高效节灌面积、渠道防渗率等因素展开分析;谭芳等^[9]主要通过多年实测资料研究影响因素的空间分布,及其与当地自然条件、灌区管理情况、种植结构、节水灌溉状况等因素之间的关系。

目前测算农业灌溉水利用系数的方法主要有首尾法、典型渠段测量法、综合测定法等^[10],同时《全国农田灌溉水有效利用系数测算分析技术导则》推荐采用首尾法^[11],该方法在小型灌区得到了良好的推广^[12-14]。笔者以上海市农业灌溉水利用系数测算为基础,采用首尾法测算小型灌区灌溉水利用系数。同时,采用主成分分析法对影响灌区灌溉水利用系数的自然因素、种植结构、管理状况和节水灌溉状况等因素进行探讨,旨在为小型灌区测算分析工作提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

本试验于 2013 年和 2014 年在上海市(120°51'~122°12'E,30°40'~31°53'N)进行,上海市属于北亚热带季风气候,四季分明,春秋较短,冬夏较长,雨热同期、日照充分、雨量充沛。多年平均蒸发量为 1 436.1 mm,多年平均降水量为 1 171.1 mm,多年平均气温为 15.6℃。

截止 2012 年底,上海全市共有灌区 6 021 个,其中中型灌区 1 个(沧海桑田)、小型灌区 6 020 个(崇明岛大型灌区作为 1 882 个小型灌区),所有灌区均依靠泵站从河湖提水。考虑灌区所在区域、灌区面积和灌区管理水平的代表性,在试验区选择 8 个区,共 11 个小型灌区,试验区样点灌区分布如图 1 所示。

1.2 研究方法

1.2.1 首尾法 样点灌区毛灌溉用水量采用泵站电量估算法^[15],即采用泵站提水流量与提水时间相乘作为泵站提水总量,通过记录泵站启闭时间,得出每次提水时间,并采用 LSZ-1(B)超声波流速仪进行流速测量,对流量数据进行校核。样点灌区净灌溉用水量采用水位变化法和含水率变化法进行测

算,传统的水田净灌溉水量使用 WGZ-1 光电数字水位计进行测定;使用节水灌溉(控制灌溉技术、蓄水控灌技术等)的稻作区使用 TDR 读取土壤含水率变化进行测定,并通过测量灌水期间的入渗水量进行校正。同时,在每个小型灌区选择 3 块典型田块,在田块中选择适当位置 2~3 处打入木桩,作为测量基准点。最终,灌区灌溉水利用系数即为某一时 期灌区田间净灌溉用水总量与从灌溉系统取用的毛灌溉用水总量之间的比值。

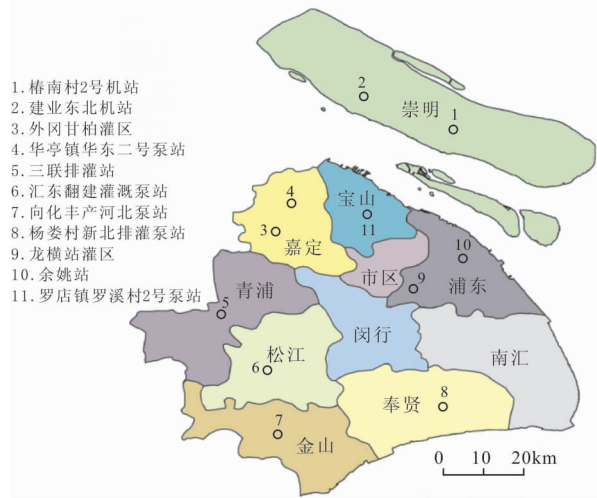


图 1 试验区(上海市)样点灌区位置分布图

$$\eta_w = W_j / W_a \quad (1)$$

式中: η_w 为灌区灌溉水利用系数; W_j 为灌区净灌溉用水量总量, m^3 ; W_a 为灌区毛灌溉用水量总量, m^3 。

1.2.2 主成分分析法 主成分分析(principal component analysis, PCA)也称主分量分析,是采用降维处理办法,在充分利用现有数据的基础上把多个指标转化为少数几个综合指标的统计分析方法^[16]。

主成分分析具体过程是:提取试验区灌溉水利用系数变异的主要影响因素,考虑自然条件、当地种植结构及管理状况、节水灌溉状况等几个主要方面,选择生育期降雨量、作物需水量、灌区实灌面积、灌区毛灌溉用水量、水稻种植比、水稻净灌溉定额、防渗渠道长度、渠道衬砌率和节水灌溉工程面积比等 9 个变量作为样点灌区的影响因素,详见表 1,采用以下步骤进行主成分分析:

- (1) 对所有原始数据进行标准化处理;
- (2) 计算标准化后数据的相关系数矩阵 R ;
- (3) 计算相关系数矩阵的特征值和特征向量;
- (4) 确定并计算各主成分的方差贡献率以及累计方差贡献率;
- (5) 确定主成分个数;

(6) 综合比较分析。

表1 灌区灌溉水利用系数影响因素

主要类型	影响因素	指标变量
自然条件	生育期降雨量/mm	X_1
	作物需水量/mm	X_2
当地种植结构及管理状况	灌区实灌面积/hm ²	X_3
	灌区毛灌溉用水量/(m ³ ·hm ⁻²)	X_4
	水稻种植比/%	X_5
	水稻净灌溉定额/(m ³ ·hm ⁻²)	X_6
节水灌溉状况	防渗渠道长度/km	X_7
	渠道衬砌率/%	X_8
	节水灌溉工程面积比/%	X_9

2 结果与分析

2.1 灌溉水利用系数测算结果

表2是2013年和2014年上海市样点灌区灌溉水利用系数测算结果。表2显示,2013年和2014

年测试的11个样点灌区除嘉定的外冈甘柏灌区和宝山的罗店镇罗溪村2号泵站以外,其余9个灌区灌溉水利用系数均在0.7以上,最高的是浦东的余姚新站。采用首尾法测定的样点灌区灌溉水利用系数两年间的年际变化在±4.3%以内,且11个样点灌区中有6个年际变化在±1%以内。据资料显示^[17],2013年全国小型灌区灌溉水利用系数为0.524,上海市小型灌区灌溉水利用系数明显高于全国平均水平,原因在于:(1)上海市小型灌区一般两级渠(管)道到田间,渠(管)道输水距离较短,且每次灌溉时渠道工作时间较短,因此渗漏损失量较小;(2)近年来,上海市农田水利建设投入较大,对现有的输水明渠、管道以及配套设施进行了升级改造,输水损失得到有效控制,据不完全统计2012年底全市节水灌溉工程覆盖率已达76%,在全国属于先进水平;(3)上海市小型灌区整体管理运行水平稳步提升,群众有良好的节水意识。

表2 2013年和2014年上海市样点灌区灌溉水利用系数测算结果

编号	灌区名称	所处位置	实灌面积/hm ²	渠道毛灌溉总量/10 ⁴ m ³		净灌溉水总量/10 ⁴ m ³		灌溉水利用系数	
				2013	2014	2013	2014	2013	2014
1	椿南村2号机站	崇明	26.67	19.78	16.82	14.70	11.93	0.743	0.711
2	建业东北机站	崇明	26.67	22.79	17.68	16.43	12.69	0.721	0.718
3	外冈甘柏灌区	嘉定	34.67	29.85	23.07	20.36	16.08	0.682	0.697
4	华亭镇华东二号泵站	嘉定	30.00	24.34	19.71	18.04	14.29	0.741	0.725
5	三联排灌站	青浦	26.67	22.13	17.93	16.77	13.55	0.758	0.756
6	汇东翻建灌溉泵站	松江	23.33	16.54	14.70	12.18	10.60	0.736	0.721
7	向化丰产河北泵站	金山	36.67	32.95	25.71	24.12	18.90	0.732	0.735
8	杨娄村新北排灌泵站	奉贤	36.67	29.31	23.84	21.13	17.83	0.721	0.748
9	龙横站灌区	浦东	12.00	8.28	7.21	6.27	5.49	0.758	0.761
10	余姚站	浦东	38.00	25.58	24.43	22.02	20.99	0.861	0.859
11	罗店镇罗溪村2号泵站	宝山	20.00	13.70	13.11	9.39	9.06	0.685	0.691

2.2 灌溉水利用系数影响因素分析

2.2.1 主成分分析

(1)对2013年和2014年上海市小型灌区灌溉水利用系数影响因素进行分析,得到其初始特征值和累积率分别见表3和表4。由表3和表4可知,在众多的成分中前3个成分的特征值均超过1,累积贡献率分别为82.562%和84.852%,能基本反映影响灌溉水利用系数的大部分信息。

(2)计算主成分荷载矩阵,见表5。

由表5可知,2013年和2014年中水稻种植比、防渗渠道长度、渠道衬砌率及节水灌溉工程面积比在第1主成分上有较高荷载,说明第1主成分主要

表3 特征值及贡献率(2013年)

成份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差/%	累积/%	合计	方差/%	累积/%
1	4.434	49.264	49.264	4.434	49.264	49.264
2	1.642	18.244	67.508	1.642	18.244	67.508
3	1.355	15.054	82.562	1.355	15.054	82.562
4	0.994	11.041	93.603			
5	0.398	4.423	98.026			
6	0.103	1.146	99.171			
7	0.045	0.505	99.676			
8	0.025	0.278	99.954			
9	0.004	0.046	100.000			

反映灌区种植结构和节水灌溉状况;实际灌溉面积和水稻净灌溉定额在第 2 主成分上有较高荷载,说明第 2 主成分主要反映灌区管理状况;生育期降雨量和水稻净灌溉定额在第 3 主成分上有较高荷载,说明第 3 主成分主要反映灌区所处的自然条件和灌区管理状况。

2.2.2 结果分析

(1)第 1 主成分中 X_5 (水稻种植比)、 X_7 (防渗渠道长度)、 X_8 (渠道衬砌率)和 X_9 (节水灌溉工程面积比)影响较大,这些因素主要反映了当地节水灌溉工作情况及种植结构,同时说明灌区的种植结构和节水灌溉工程状况比自然因素、灌区管理状况对灌溉水利用系数的影响大,且第 1 主成分的贡献率在 50%左右,可以基本代表所有因素的综合影响情况^[9]。由表 5 和上述主成分表达式还可以看出,渠道衬砌率和节水灌溉工程面积比具有较大的正贡献率,而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:①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情况,节水灌溉实质是一种提高灌溉水利用系数的灌水模式,节水灌溉工程越完善,灌溉水利用系数也会越高;②由于水稻田面蒸发和渗漏量较早作物大,且在灌溉过程中容易出现田埂漏、跑水等现象,其灌溉水利用系数普遍低于旱作物,因此水稻种植比与灌溉水利用系数呈负相关。

表 4 特征值及贡献率(2014 年)

成份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差/%	累积/%	合计	方差/%	累积/%
1	4.514	50.152	50.152	4.514	50.152	50.152
2	1.815	20.165	70.317	1.815	20.165	70.317
3	1.308	14.534	84.852	1.308	14.534	84.852
4	0.780	8.668	93.519			
5	0.355	3.948	97.467			
6	0.163	1.807	99.274			
7	0.034	0.378	99.652			
8	0.024	0.267	99.919			
9	0.007	0.081	100.000			

表 5 主成分荷载

影响因子	成份(2013 年)			成份(2014 年)		
	1	2	3	1	2	3
生育期降雨量	-0.261	0.083	0.810	-0.272	0.167	0.879
作物需水量	-0.585	0.030	-0.046	-0.610	0.052	0.158
实际灌溉面积	-0.193	0.937	0.092	-0.237	0.912	0.020
毛灌溉定额	-0.545	0.421	0.482	-0.620	0.579	0.256
水稻种植比	-0.919	-0.220	-0.260	-0.914	-0.274	-0.193
水稻净灌溉定额	0.079	-0.702	0.613	0.124	-0.671	0.621
防渗渠道长度	0.952	0.149	0.069	0.942	0.204	0.094
渠道衬砌率	0.983	0.042	0.067	0.976	0.106	0.092
节水灌溉工程面积比	0.983	0.122	0.048	0.967	0.197	0.069

(2)第 2 主成分中 X_3 (实际灌溉面积)和 X_6 (水稻净灌溉定额)影响较大,这些因素主要反映了灌区的管理状况。实际灌溉面积具有较大的正贡献率,水稻净灌溉定额具有较大的负贡献率。分析表明,在一定区域规模和种植结构情况下,实际灌溉面积大,意味着灌溉水量分配比较均匀,相应灌溉水利用系数也就越高;水稻净灌溉定额越大,对应的渗漏、蒸发和浪费损失的水也相应增加,灌溉水利用系数也就越小。

(3)第 3 主成分中 X_1 (生育期降雨量)影响较大,反映的是自然因素对灌区灌溉水利用系数的影响,且生育期降雨量具有较大的正贡献率。分析表明,自然因素会影响人为管理因素,对灌溉水利用系

数既存在直接影响也存在间接影响。当降雨较少的年份,相应灌溉用水总量增加,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降低。

3 讨论

首尾法测算灌区灌溉水利用系数过程中无法直接反映干、支、斗、农等各个输水环节水量损失情况,不利于深入研究各输水过程中水资源利用率。但利用首尾法时不涉及渠系水和田间水利用系数等参数测算,测量工作得到简化,尤其是小型灌区众多的上海市,为每个灌区配备专业测试设备和人员,在短期内较难实现,因此首尾法是上海市小型灌区较适宜的测试方法。同时,测定毛灌溉用水量时利用泵站

电量估算法,方法简单,测试成本低廉,较为实用,但该方法的推算前提是井或外河的动水位变化较小。上海市为平原灌区,泵站设计扬程较小而流量较大,进水位的变化对出水量-耗电量关系曲线的影响也较大,仅测定单位时间内用电量、出水量、泵站净扬程之间的关系,用耗电量推算出水量而未考虑进水位变化情况,测试出的毛灌溉用水量势必带来一定误差^[14]。为提高测算精度,本文采用在泵站出水口安装超声波流速仪进行流速测量,从而对流量数据进行校核,获得了良好的效果。

大量学者研究表明,节水灌溉工程状况与灌区灌溉水利用系数关系密切^[8-9,18]。周和平等^[8]研究表明推进渠道防渗和高效节水农业建设,对提升灌区灌溉水利用系数作用显著;王小军等^[18]研究表明节水灌溉面积和完成投资对灌溉水利用系数提高影响较大。本研究也得出类似结论,增加渠道防渗以及节水灌溉工程面积对提高灌溉水利用系数非常重要。同时,也有研究指出作物种植结构,特别是水稻种植比灌溉水利用系数影响较大^[9,13],本研究也得到类似结论,水稻生育期耗水量大,其种植面积的增加势必带来更大的灌溉用水量,且水稻田面蒸发和深层渗漏较早作物大,在灌溉过程中还容易出现田埂漏、跑水等现象,从而使得灌溉水利用系数降低。但水稻仍是上海市的主要粮食作物,为解决水稻种植与灌溉水利用系数之间的矛盾,可以一方面加大节水灌溉工程建设,降低田埂漏、跑水量,另一方面推行水稻节水灌溉技术,比如控制灌溉^[19]、蓄水-控灌^[20]等,通过降低灌水下限以及提高蓄水上限,提高水分利用率,降低灌溉用水量,增加灌溉水利用系数。

4 结 论

(1)通过首尾法测算 2013 年和 2014 年上海市小型灌区灌溉水利用系数普遍在 0.7 以上,明显高于同期全国平均水平。

(2)种植结构和节水灌溉工程状况对上海市小型灌区灌溉水利用系数影响明显,防渗渠道长度、渠道衬砌率和节水灌溉工程面积比具有较大的正贡献率,而水稻种植比具有较大的负贡献率。因此,针对灌区实际情况,优化种植结构,加强节水灌溉工程建设,大力推行低压管道等节水灌溉技术是提高灌溉水利用系数的主要措施。

(3)本次仅对上海市部分小型灌区进行灌溉水利用系数测算,测算分析结果具有局限性,更大尺

度、更大规模的灌溉水利用系数仍须继续进行研究。

参考文献:

- [1] 操信春,吴普特,王玉宝,等. 中国灌区水分生产率及其时空差异分析[J]. 农业工程学报,2012,28(13):1-7.
- [2] 操信春,吴普特,王玉宝,等. 水分生产率指标的时空差异及相关关系[J]. 水科学进展,2014,25(2):268-274.
- [3] 操信春,吴普特,王玉宝,等. 不同灌溉水分生产率指标的时空变异及相关关系[J]. 农业机械学报,2014,45(4):189-194.
- [4] 崔远来,李远华,陆垂裕. 灌溉用水有效利用系数尺度效应分析[J]. 中国水利,2009(3):18-21.
- [5] 彭世彰,艾雨坤. 提高灌溉水利用系数,保障国家粮食安全与水安全[J]. 水资源保护,2012,28(3):79-82.
- [6] 茆智. 灌溉用水有效利用系数测算分析有助于进一步明确农业节水的主攻方向[J]. 中国水利,2009(3):5-6.
- [7] 崔远来,董斌,李远华. 水分生产率指标随空间尺度变化规律[J]. 水利学报,2006,37(1):45-51.
- [8] 周和平,张明义,周琪,等. 新疆地区农业灌溉水利用系数分析[J]. 农业工程学报,2013,29(22):100-107.
- [9] 谭芳,崔远来,王建漳. 灌溉水利用率影响因素的主成分分析——以漳河灌区为例[J]. 中国农村水利水电,2009(2):70-73.
- [10] 高峰,赵竞成,许建中,等. 灌溉水利用系数测定方法研究[J]. 灌溉排水学报,2004,23(1):14-20.
- [11] 中国灌溉排水发展中心. 全国农田灌溉水有效利用系数测算分析技术指导细则[Z]. 2013.
- [12] 陈强富,刘海巍,袁园,等. 首尾法在小型灌区灌溉水利用系数测算中的应用[J]. 中国农村水利水电,2013(3):73-74+77.
- [13] 费远航,余冬立,孟佳佳,等. 河网区不同尺度灌区节水潜力分析[J]. 排灌机械工程学报,2015,33(11):971-976.
- [14] 蔡聪,王乙江,张剑刚,等. 小型水稻灌区灌溉水利用系数测算方法[J]. 中国科技论文,2015,10(19):2330-2334.
- [15] 樊峻江,周纲,王洁. 灌区灌溉水利用系数测试方法的改进[J]. 水利水电科技进展,2013,33(6):44-47.
- [16] 李浩鑫,邵东国,尹希,等. 基于主成分分析和 Copula 函数的灌溉用水效率评价方法[J]. 农业工程学报,2015,31(11):96-102.
- [17] 中国灌溉排水发展中心,水利部农村饮水安全中心. 2013 年中国灌溉排水发展研究报告[R]. 2014.
- [18] 王小军,张强. 广东省灌溉水有效利用系数影响因素的动静态分析[J]. 水利水电科技进展,2015,35(2):6-11.
- [19] 彭世彰. 节水高产水稻控制灌溉技术[J]. 河海科技进展,1991(4):75-77.
- [20] 郭相平,袁静,郭枫,等. 水稻蓄水-控灌技术初探[J]. 农业工程学报,2009,25(4):70-73.