

## 昆山市农田灌溉水利用系数测算分析与研究

王乙江<sup>1</sup>, 张剑刚<sup>1</sup>, 徐玉良<sup>1</sup>, 蔡聪<sup>2</sup>, 朱莉莉<sup>1</sup>, 赵忠福<sup>3</sup>

(1. 昆山市城市水系调度与信息管理处, 江苏 苏州 215300;

2. 昆山市花桥水利站, 江苏 苏州 215300; 3. 昆山市水利工程建设管理处, 江苏 苏州 215300)

**摘要:** 论述了昆山市“十二五”期间各样点灌区灌溉水利用系数测算结果, 对影响灌溉水利用系数的部分影响因素作了简要分析, 并根据样点灌区记录的耗电量与毛灌溉水量数据建立了经验模型。结果表明, 加大灌区资金投入可以明显提高灌区的灌溉水利用效率; 稻季降雨量增加对应灌溉水利用效率呈增加趋势; 灌区使用低压管道输水可以提高灌区的灌溉水利用效率; 加强农业用水管理对持续保持较高灌溉水利用系数有重要意义。根据 2014 年历史数据建立的幂指数经验关系估算 2015 年的毛灌水量, 经统计分析, 结果表明二者达到显著相关, 故可用幂指数经验关系估算灌区的农业用量。

**关键词:** 灌区; 灌溉水利用系数; 经验模型; 低压管道; 管理

**中图分类号:** [TV93]      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839 (2017) 02-0058-06

### The Analysis and study on agricultural irrigation water use efficiency in Kunshan

Wang Yijiang<sup>1</sup>, ZHANG Jiangang<sup>1</sup>, XU Yuliang<sup>1</sup>, CAI Cong<sup>2</sup>, ZHU Lili<sup>1</sup>, ZHAO Zhongfu<sup>3</sup>

( 1. Urban Water Scheduling and Information Management Department of Kunshan,  
Suzhou 215300, Jiangsu; 2. Kunshan Huaqiao Water Conservancy Station, Suzhou 215300,  
Jiangsu; 3. Water Resources Engineering Construction Management Office of Kunshan,  
Suzhou 215300, Jiangsu )

**Abstract:** Irrigation water use coefficient of irrigation districts in Kunshan during the 12th Five-Year Plan period is discussed. Some factors influencing the utilization coefficient of irrigation water are analyzed. The empirical model was established based on the data of the power consumption and the irrigation water quantity recorded in the sample irrigation area. The results showed that the irrigation water use efficiency could be obviously improved by increasing the investment of irrigated area, increasing rainfall in rice season, using low-pressure piped transfer water in irrigated area. It is of great significance for continuously maintaining a higher irrigation water use factor by strengthening the agricultural water management. According to the historical data of 2014, the empiric relationship of power exponent is used to estimate the gross irrigation quantity in the year of 2015, and the statistical analysis shows that they have significant correlation. Therefore, the empiric relationship of power exponent can be used to estimate the agricultural use of the irrigation area.

**Key words:** irrigation area; irrigation water use coefficient; empirical model; low-pressure piped; management

收稿日期: 2016-12-07

作者简介: 王乙江(1988-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水稻节水灌溉技术与推广工作。

## 0 引言

灌溉水利用系数是灌入田间可被植物利用的水量与灌溉水源取水总量的比值<sup>[1]</sup>,与灌区自然条件、灌区工程状况、用水管理、灌水技术等因素密切相关<sup>[2-3]</sup>。提高灌溉水利用系数对于发展灌溉农业、缓解水资源短缺、保障粮食安全和水资源安全战略目标等具有重要意义<sup>[4]</sup>。灌溉水利用系数也是最严格水资源制度“三条红线”的考核指标之一,“十二五”期间全国各省市、自治区都展开了灌溉水利用系数测算分析的工作,并且确定了到2020年全国农田灌溉水利用系数达到0.55以上的目标。除了测算灌溉水利用系数之外,如何科学合理分析掌握灌溉水利用系数的变化规律,为灌溉水利用系数如何长期保持在较高水平具有重要的意义。谢先红等<sup>[5]</sup>通过SWAT模型研究发现,灌溉水分生产率受降雨、气候条件的时空分布特征影响较大,而且随尺度增大明显,其尺度关系可以近似应用幂函数描述,函数的形式和参数与分形思想接近。王小军等<sup>[6]</sup>用分型理论分析了广东省75处灌区的工程评价值、盒子维数、灌区形状指数、参考作物蒸发蒸腾量ET<sub>0</sub>和当年降水量等5项指标对灌溉水利用系数影响的影响程度大小,为不同面积尺度灌区灌溉水有效利用系数的空间变异规律分析和尺度转换提供一种新的思路。吴旭春等<sup>[7]</sup>采用基于柯布一道格拉斯模型方法,分析计算了各灌区渠系防渗长度、高效节水灌溉面积、井灌排面积、渠道建设长度、总灌溉面积、渠道防渗对灌溉水利用系数的影响效应,并对其发展预期进行了评估。冯保清<sup>[8]</sup>分析计算了我国不同分区的灌溉水有效利用系数的年际与空间变化特征,并结合各地区不同的气候条件、灌区类型、节水灌溉工程现状及灌溉管理水平分析了导致各地区之间以及区域内各省(区、市)之间灌溉水有效利用系数差异性的关键因素,为进一步采取针对性措施提升灌溉水有效利用系数提供了重要参考。可以看出,不少学者对影响灌溉水利用系数的影响因子做出了不同方式的分析研究,具有重要的参考价值。本文选择昆山市近年来小型灌区农田灌溉水利用系数的实测数据,分析探讨影响小型灌区灌溉水利用系数的各种因素,为灌区今后持续保持较高灌溉水利用系数提供参考。

## 1 昆山市“十二五”农田灌溉水利用系数测算分析概况

### 1.1 昆山市地理位置和气候特征

昆山市位于江苏省东南部、上海与苏州之间(120°48′21″E~121°09′04″E、31°06′34″N~31°32′36″N),总面积927.7 km<sup>2</sup>,其中水域面积占23.1%。地处长江三角洲太湖流域圩区平原,境内河网密布,地势平坦,自然坡度较小。北部为地势低洼区,中部半高田区,南部为滨湖高田区。地面高程在2.8~3.7 m之间(吴淞高程,下同),平均高程为3.4 m。气候类型为北亚热带南部季风区,光照充足,雨量充沛。全年无霜期239 d,年平均气温17.6℃,年平均降水量1200.4 mm,年平均日照时间1789.2 h。

### 1.2 昆山市灌区概况

据昆山市第一次全国水利普查统计资料显示(如表1所示),昆山市11个行政镇共有50亩~2000亩面积规模大小的灌区229个,无2000亩以上规模灌区。总灌溉面积13.81万亩,其中固定泵站灌溉面积8.65万亩,流动泵站灌溉面积5.16万亩。截至2011年底,昆山市实际灌溉面积10.49万亩,其中粮田灌溉面积9.8万亩,其余部分为园林绿化灌溉面积。灌区面积较多镇主要集中在昆山市南部的张浦镇、千灯镇、锦溪镇和淀山湖镇,约占全市灌区总面积的67.3%。

### 1.3 昆山市“十二五”农田灌溉水利用系数测算样点灌区选择

昆山市水稻种植区主要分布在南部地区,因此样点灌区选择主要集中在南部,分别为:锦溪镇明东站、东淞港和红光站3个灌区,周庄镇云南北1个灌区,淀山湖镇红三南1个灌区,以及花桥镇天福星龙站1个样点灌区。其中,锦溪东淞港灌区为2013年增加样点灌区,花桥星龙站灌区为2014年新增加样点灌区,淀山湖民主分站样点灌区于2014年灌区改造,2015年恢复使用。

### 1.4 测算方法介绍

测算分析方法参照《全国农田灌溉水有效利用系数测算分析技术指导细则》,采用“首尾测算分析法”计算灌溉水利用系数,即灌入田间可供作物利用的水量(净灌溉用水量)与从水源取用的灌溉总水量(毛灌溉用水量)的比值作为灌区灌溉水有效利用系数,计算公式如下:

表 1 截止 2011 年昆山市灌区面积数据表

行政区划	灌区个数	总灌溉面积 (万亩)	固定站 灌溉面积 (万亩)	流动站 灌溉面积 (万亩)	2011 年 实际灌溉面积 (万亩)	2011 年 粮田灌溉面积 (万亩)
玉山镇	13	1.0348	0.525	0.5098	1.0348	1.0348
巴城镇	17	0.5128	0.023	0.4898	0.5128	0.4688
周市镇	22	0.7682	0.7314	0.0368	0.4351	0.4351
陆家镇	11	0.4157	0.323	0.0927	0.4157	0.4157
花桥镇	10	0.2177	0.1442	0.0735	0.2177	0.2177
淀山湖镇	32	1.2274	0.7606	0.4668	1.2055	1.164
张浦镇	36	2.8576	1.0405	1.8171	1.9296	1.9296
周庄镇	13	0.5687	0.5484	0.0203	0.5561	0.422
千灯镇	37	2.9081	2.1499	0.7582	1.7259	1.2933
锦溪镇	31	2.2995	2.1283	0.1712	1.4657	1.4657
开发区	7	1.0004	0.2761	0.7243	1.0004	0.9621
合计	229	13.8109	8.6504	5.1605	10.4993	9.8088

$$\eta = \frac{W_{\text{净}}}{W_{\text{毛}}}$$

式中:

$\eta$ —灌区灌溉水有效利用系数;

$W_{\text{净}}$ —灌区净灌溉用水总量,  $\text{m}^3$ ;

$W_{\text{毛}}$ —灌区毛灌溉用水总量,  $\text{m}^3$ 。

### 1.5 “十二五”农田灌溉水利用系数测算结果分析

由图 1 可知, 昆山市在 2012 ~ 2015 年间农田灌溉水利用系数处于逐年增长的趋势, 总体处于 0.658 ~ 0.728 之间, 4 年平均灌溉水利用效率达到 0.688, 远高于全国 2020 年设定的目标值 0.55。这与近年来国家高标准农田改造大量资金投入是分不开的, 同时昆山市灌区多属小型灌区, 固定泵站与流动泵站相结合, 导致灌溉水利用系数处于较高水平。

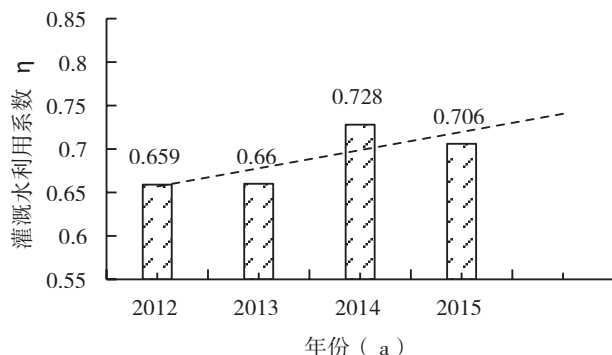


图 1 昆山市灌溉水利用系数测算结果 (2012 ~ 2015 年)

## 2 灌溉水利用系数影响因素分析

### 2.1 资金投入对灌溉水利用系数影响

昆山市 2009 ~ 2015 年各区镇机电灌排、灌区工程投入基本呈现逐年递增的趋势, 从 2009 年的 3901.5 万元增长至 2015 年的 7928 万元, 增长了 50.7%。其中 2012 年和 2013 年全市机电灌排、灌区工程投入均达到 15080.25 万元以上, 2013 年达到峰值 15795.2 万元 (如表 2)。总体看来, 近 7 年来昆山市在灌区灌排和田间工程改造上资金投入力度较大, 全市高标准灌区建设初具规模。

灌区资金投入对提高灌溉水利用效率较为明显, 基本与资金投入量成正比。因资金投入对灌区影响具有滞后性, 一般灌区改造资金投入后有 1 ~ 2 年的建设期, 故其发挥效益一般会有所滞后。为方便分析比较资金投入对灌溉水利用效率的影响, 本文将灌溉水利用率测算结果年份推前 1 年 (如图 2)。可以看出, 资金投入年际间变化趋势与灌溉水利用率变化关系一致性较好, 从 2011 年开始资金投入变化呈逐年增加, 至 2013 年到顶峰, 此时对应的灌溉水利用率也达到最大值 0.728。2014 年后资金投入较 2013 年有所减少, 灌溉水利用率也呈降低趋势。因此, 可以看出资金投入是影响灌溉水利用率的重要因素。

### 2.2 稻季降雨对灌溉水利用系数影响

表 2 昆山市 7 年各区镇机电灌排、灌区工程投入金额 (单位: 万元)

区 镇	2015 年	2014 年	2013 年	2012 年	2011 年	2010 年	2009 年
玉山镇	1183	1800	530	1585	1315.6	697	370
开发区	0	1360	1180	3560	2535.4	180	478
巴城	1090	621	1000	848	1011	940	588
陆家	220	227	0	150	470.76	490.55	0
花桥	355	500	830	1949.8	513.37	456	780
周市	440	1250	510	615	300.5	133.9	447.5
张浦	1380	1425	3895	2330	1112.57	394.6	320
淀山湖	720	205	450	489.3	488.19	475.1	190
锦溪	1578	3277	3133	1416.5	437	494.4	390
周庄	140	390	300	0	480	399.8	305
千灯	822	0	3967.2	2136.65	999.4	209.2	33
合计	7928	11055	15795.2	15080.25	9663.79	4870.55	3901.5

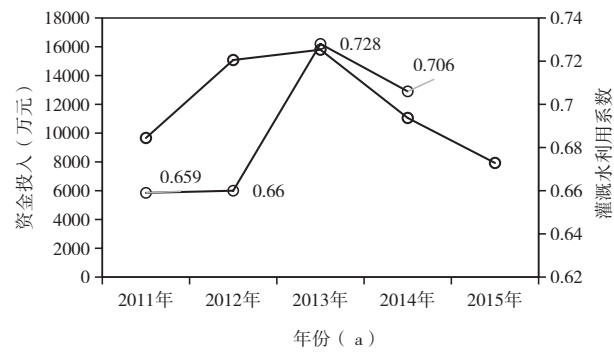


图 2 机电灌排、灌区工程投入与灌溉水利用系数对比分析

稻季降雨量对灌溉水利用系数有一定影响, 稻季降雨量增加时对应的灌溉水利用系数也较高 (如图 3)。2012 年稻季降雨量为 460.5 mm, 灌溉水利用系数最低为 0.659, 2014 年和 2015 年稻季降雨量在 740 mm 以上, 对应的灌溉水利用系数也都在 0.7 以上。可以说明稻季降雨较高时对提高灌溉水利用系数有一定的影响。降雨量较多时稻田地下水位一般处在较高水平, 减少了稻田的渗

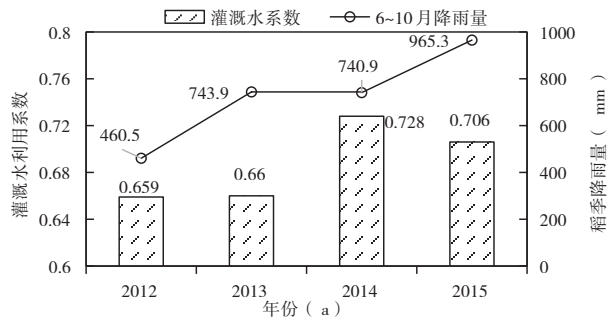


图 3 稻季降雨量与灌溉水利用系数之间关系对比

漏量, 对提高灌溉水利用系数具有一定的效果。

为更好的分析降雨量对灌溉水利用系数的影响, 分别选取 2014 年和 2015 年各样点灌区每月的降雨量与灌溉水利用系数的散点图, 分析二者之间的相关性 (如图 4)。结果表明, 在一定降雨范围内, 降雨量增多灌溉水利用率呈增加趋势。其中, 锦溪明东站样点灌区和花桥星龙站样点灌区线性关系较好, 线性相关系数分别达到了 0.897 和 0.62。周庄云南北站、锦溪东娄港站和锦溪红光站样点灌区也基本呈现线性增长趋势, 但其线性相关系数较低, 说明降雨量不是影响灌溉水利用系数的唯一因素。淀山湖红三南站样点灌区降雨量与灌溉水利用系数呈负相关, 经分析主要与灌水管 2015 年原始数据记录不精确有关, 此处仅供参考。图中黑色数据点为 2015 年 6 月份降雨量, 达到 471.4mm, 属于特殊年份降雨量, 为反映一般性规律, 特单独提出, 未作为数据拟合数据点。(文中降雨量数据引自各年《昆山市统计年鉴》)

2.3 管理措施对灌溉水利用系数影响

2.3.1 低压管道灌溉

在 7 个样点灌区中, 锦溪东娄港站样点灌区为变频恒压低压管道输水, 该样点灌区为 2013 年新增样点灌区。经实际测算结果表明, 2013 年东娄港样点灌区灌溉水利用系数为 0.637, 略低于全市平均水平 0.66; 2014 年和 2015 年该样点灌区灌溉水利用系数分别为 0.76、0.716, 高于全市平均水平的 0.728、0.706。说明低压管道灌溉能够较好



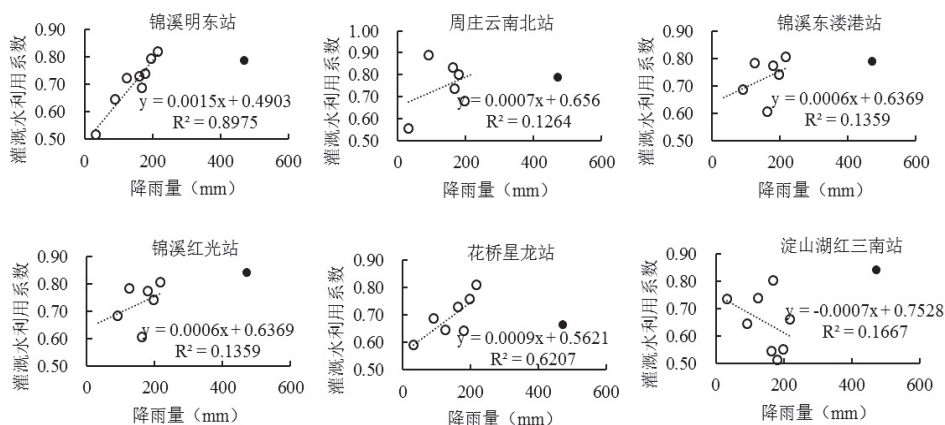


图4 各样点灌区月降雨量与月灌溉水利用系数结果分析(2014~2015年)

提高灌溉水利用系数,减少输水过程中的损耗,节约灌溉用水总量,适合经济条件满足的地区大面积推广使用。

### 2.3.2 用水管理方式

昆山市农业种植模式主要有三种:专业大户、家庭农场和专业合作社。其中,涉及水稻灌区的经营模式主要为专业大户和合作社两种。农业大户用水管理较为粗放,大部分从事农业生产的人员学历不高,年龄在50~70岁之间,接受新技术、新知识的能力不好,加之缺少水费征缴方面政策,农民缺少主动节水的动力。专业合作社通过土地流转,土地入股等形式,实现集体经营。一般由村干部和3~4名专业人员负责经营管理,年底按照约定分红。灌溉电费、肥料、用工等费用从集体收益中支出。这种模式有助于新技术的推广应用,但是在农业用水管理上由于缺少水费征收的环节,农民水权意识不明确,不利于农业节水技术的推行。今后,积极发展农业用水管理组织,加强水权意识的普及,对维持灌区灌溉水利用系数处于较高水平有重要的意义。

## 3 关于“流量与电量”经验关系研究

如何通过耗电量估算灌区毛灌溉用水量具有重要的参考价值,特别是在当前各灌电站尚未普遍安装流量计的情况下,为统计农业用水总量具有很好的现实意义。影响水泵工作效率的因素包括工况、电压、控制方式和河道水位等。本文根据样点灌区的实测数据,选择除花桥星龙站样点灌区(轴流泵)和锦溪东溇港站样点灌区(变频恒压)外的350HW-8混流泵为研究对象,假定各影响

因子基本在同一水平下,研究泵站耗电量与毛灌溉用水量之前的经验关系。

从2014年和2015年实测记录数据分析看出,耗电量与毛灌溉水量之间基本呈现幂指数关系(如图5和图6)。2014年稻季降雨量较多,灌水次数较少,数据点较2015年少。通过统计分析可以看出,2014年和2015年毛灌溉水量实测数据与模拟数据二者均达到显著相关水平( $F=0.404 < 1.451$ ,  $P < 0.05$ ) ( $F=0.344 < 1.337$ ,  $P < 0.05$ ),说明可以采用幂指数关系,用耗电量估算灌区的毛灌溉水量。

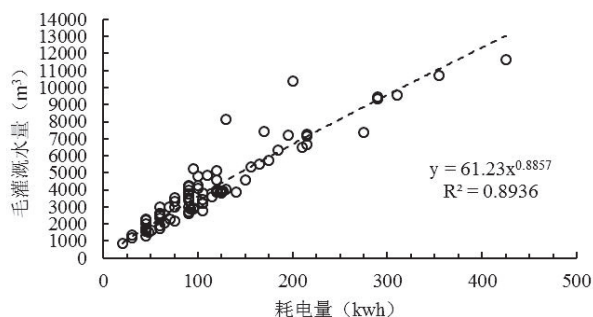


图5 耗电量与毛灌溉水量拟合关系(2014年)

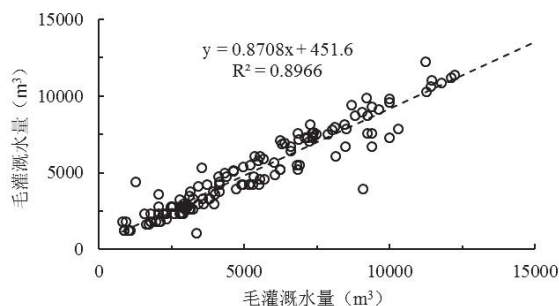


图6 耗电量与毛灌溉水量拟合关系(2015年)

用2014年耗电量与毛灌溉用水量的幂指数关系估算2015年的毛灌溉用水量,经过相关性分析可以看出二者相关系数为0.8966(如图7),经统计方差分析二者为显著相关水平( $F=0.188 < 1.337$ ,  $P < 0.05$ )。说明在指导耗电量数据条件下,使用幂指数函数经验关系估算毛灌溉水量是可行的。但是为更加准确,可以收集相同水泵型号的连续几年的耗电量与毛灌溉水量数据,进行经验拟合,得出昆山地区某一泵型的电量与毛灌溉水量的幂指数关系。这样可以消除降雨年型、管理水平等因素的误差,使估算结果更加接近真实值。在流量计尚未普遍使用的情况下,更好的估算农业用水总量,为相关部门提供数据支撑。

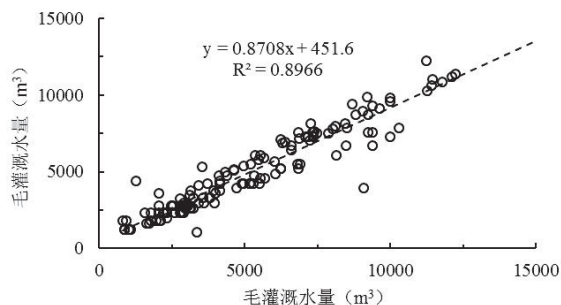


图7 毛灌溉水量实测值与经验计算值相关性分析  
(2015年)

## 4 结论与展望

本文主要分析论述了昆山市“十二五”期间农田灌溉水有效利用系数测算结果,对影响灌溉水利用系数测算结果的主要因素做出了基本分析,并结合样点灌区的耗电量与毛灌溉水量的记录数据,通过数据拟合得出了估算农业用水总量的计算方法。主要结论如下:

(1)资金投入是影响灌溉水利用系数的重要因素,通过资金投入完善灌区灌排设施,可以提高灌区的输水效率,且资金投入具有滞后性,一般发挥效益为投入年的后一年。

(2)在一定范围内降雨量增加对提高灌溉水利用效率具有正相关性,通过样点灌区逐月降雨量与灌溉水利用系数分析可知,降雨量大的月份

灌溉水利用系数呈较高趋势,分析原因主要为降雨量增加,减少了灌溉水量的地下渗漏。

(3)推广使用低压管道灌溉是保证灌溉水利用系数较高水平的重要措施,样点灌区中采用低压管道灌溉的样点灌区灌溉水利用系数较全市平均灌溉水利用系数要高。

(4)可以利用耗电量与毛灌溉水量的幂指数关系估算农田毛灌溉水量,对缺少安装计量设备的灌区,用耗电量估算毛灌溉水量的方式是可行的。

昆山地处太湖流域平原河网区,境内主要以小型灌区为主,固定泵站结合流动泵站的基本情况决定了区域内的小型灌区能保持在较高水平。今后除了通过资金投入之外,加强农田用水管理的组织制度建设,提高农民的知识水平、节水意识、水权意识,以及推行农业用水合作组织等模式都对灌溉水利用系数提高有积极意义。

## 参考文献:

- [1] 郎景波,李铁男,王维国.基于农业灌溉区域性特点灌溉水利用系数的分析[J].黑龙江水利科技,2010(2): 30-30.
- [2] 李强.肃州区农业灌溉水利用率测算方法及影响因素分析[J].甘肃水利水电技术,2010,46(2): 45-47.
- [3] 刘战.灌溉水利用系数的影响因素及提高措施[J].陕西水利,2009(4): 137-138.
- [4] 彭世彰,高晓丽.提高灌溉水利用系数的探讨[J].中国水利,2012(1): 33-35.
- [5] 谢先红,崔远来.灌溉水利用效率随尺度变化规律分布式模拟[J].水科学进展,2010,21(5): 681-689.
- [6] 王小军,张强,古璇清.基于分形理论的灌溉水有效利用系数空间尺度变异[J].地理学报,2012,67(9): 1201-1212.
- [7] 吴旭春,周和平.新疆灌区灌溉水利用系数影响因素研究[J].人民黄河,2011,33(9): 93-97.
- [8] 冯保清.我国不同分区灌溉水有效利用系数变化特征及其影响因素分析[J].节水灌溉,2013(6): 29-32.

(责任编辑:王宏伟)