

# 新疆干旱区田间水利用系数影响因素分析

周黎勇

(新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049)

**摘要:** 依据新疆干旱区砂土地测坑小区的实测资料,对灌水定额、计划湿润层深度与田间水利用系数进行多因子相关分析,建立回归模型。结果表明:田间水利用系数与灌水定额负相关,与计划湿润层深度正相关,且与计划湿润层深度相关性较大,三者关系可用二元回归模型描述。该研究结果说明在作物灌溉制度的制定中,不应统一采用作物需水高峰期的有效湿润层深度作为计划湿润层深度进行计算灌水定额。根据作物不同生育期有效湿润层深度来确定灌水定额,可有效提高田间水利用率。

**关键词:** 灌水定额; 计划湿润层深度; 田间水利用系数; 相关分析

中图分类号: S273.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)03-0233-04

## Analysis of influence factor of field water utilization coefficient in Xin Jiang arid region

ZHOU Liyong

(Xinjiang Institute of Water Resources and Hydropower Research, Urumqi 830049, China)

**Abstract:** Based on data of the leaching-pond experiment, this paper carried out multiple factor correlation analysis to irrigation quota, wetting layer depth and field water utilization coefficient, and established a regression model. The results showed that the field water utilization coefficient is negative correlation and with irrigation quota, and is positive correlation with the depth of planning-wetting. The relationship between the three can be described by bivariate regression model. The results insicated that it is not necessary to use the effective wetting layer depth of crop water requirement in peak period as the plan wetting layer to calculate the irrigation quota. Using the effective wetting layer depth in different period of crop growth to calculate irrigation quota can effectively improve the utilization rate of field water.

**Key words:** irrigation quota; planning-wetting layer depth; field water utilization coefficient; regression analysis

新疆降水稀少,蒸发强烈,水资源短缺一直是制约新疆“绿洲农业”发展的瓶颈因素。而现状农业用水占总用水量的94.8%以上,灌水方法以地面灌溉为主,约占灌溉面积的54%。根据相关研究,传统地面灌条件下灌溉水渗漏严重,农田灌溉水有效利用系数低下(截至2015年底,全疆农田灌溉水有效利用系数为0.52左右,不含兵团)。农业节水建设已成为新疆国民经济可持续发展的一项重要的战略措施。

灌溉水有效利用系数是评价农田灌溉用水效率的关键指标,目前对于水分利用效率<sup>[1-8]</sup>和输水利用系数研究较多,农田水利工程建设也主要是围绕

如何提高输水效率开展,而针对组成灌溉水利用系数的另一主要参数——田间水利用系数的研究相对较少<sup>[9-11]</sup>。田间水利用系数的高低不仅反映田间水的有效利用程度,而且反映灌水技术水平的高低。就田间尺度而言,影响传统地面灌田间水利用系数的因素主要为土壤质地、畦田规格、土地平整度、地面坡度、计划湿润层深度及灌水定额等。由于作物根系的发育情况是一个变量,作物需要的有效湿润层深度在作物不同的生育期,随着作物根系的发育将逐渐增加。在进行灌水定额设计时采用作物需水高峰期的有效湿润层深度作为计划湿润层深度进行计算。但是,目前仅见计划湿润层深度或灌水定额

收稿日期:2015-12-22; 修回日期:2016-04-25

基金项目:新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务经费资助项目(KY2015092)

作者简介:周黎勇(1974-),男,重庆人,高级工程师,研究方向:水资源与农田水利、节水灌溉。

等单因素对田间水利用系数影响分析的报道,双因素以及多因素对田间水利用系数的影响分析较少。因此,本次试验考虑在其它因素固定的情况下,分析湿润层深度和灌水定额对砂土地田间水利用系数的影响规律。

## 1 试验区概况

试验区位于库尔勒市西尼尔镇,地处亚欧大陆中心,塔里木盆地东北缘区,地形比较平缓,海拔高度一般为 988 ~ 991m,东经 86°09' ~ 86°10',北纬 41°34' ~ 41°35',地形总的趋势是北高南低。土壤质地为沙壤土,该区域多年平均降水量 53.3 ~ 62.7 mm,集中于 6 ~ 8 月份。多年平均蒸发量 2 273 ~ 2 788 mm,平均相对湿度为 45% ~ 47%,多年平均气温 11.48℃。全年以晴天为主,日照时间长,昼夜温差大,年日照时数 3 036.2 h,大于 10℃ 的积温 4 000℃ 以上,无霜期 191 d。试验区土壤为砂土,0 ~ 100 cm 平均容重 1.56 g/cm<sup>3</sup>。种植作物为棉花,株行距为 15 cm × 10 cm,种植模式为一膜四行。试验区地下水位在 3 m 以下,不考虑地下水补给影响。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验方案布置

试验区种植作物为棉花,在主要生育期内(5 ~ 9月)开展试验测坑相关数据的监测。将棉花生长期划分为播种期、苗期、蕾期、花铃期、吐絮期 5 个生育阶段。根据相关研究,新疆干旱地区正常年份情况下,棉花全生育期内植株耗水量为 500 ~ 600 mm,根系主要活动层从苗期的 20 cm 到花铃期的 80 cm,一般在进行灌水定额设计时采用 80 cm 度作为计划湿润层深度进行计算。根据当地实际情况,灌水定额设计 3 个灌溉水平,分别为 3 750、5 250、6 750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;灌水次数均为 5 次。试验处理设计见表 1 试验处理设计表。

试验区共划分为 9 个试验测坑,每个测坑面积为 1.2 m × 2.4 m = 2.88 m<sup>2</sup>。测试中假定测坑地面坡度为零坡度,田间地面高差为零,灌水均匀度不对田间水利用系数造成影响。测坑由 PVC 板与四周分隔,板缝采用玻璃胶密封,因此可以假定每个测坑 0 ~ 100 cm 层土壤水分不与周围产生影响。

表 1 试验处理设计表

灌水定额/(m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	灌水次数	试验处理方案		
3750	5	处理 5-1	处理 5-2(重复 1)	处理 5-3(重复 2)
5250	5	处理 7-1	处理 7-2(重复 1)	处理 7-3(重复 2)
6750	5	处理 9-1	处理 9-2(重复 1)	处理 9-3(重复 2)

### 2.2 数据采集及方法

灌水前在每个测坑小区中利用土钻 + 铝盒进行取样,取样深度为 0 ~ 20、20 ~ 30、30 ~ 40、40 ~ 50、50 ~ 60、60 ~ 70、70 ~ 80、80 ~ 90、90 ~ 100 cm,采用烘干法测定土壤含水率,测得的土壤含水率为质量含水率。灌水后 48 h 在灌前取样处采集土样,测定方法同上。

### 2.3 田间水利用系数计算方法

田间实测试验完成之后,对所测得数据进行相关处理,求得田间灌水定额与土体水分增量,计算出田间水利用系数。

根据测定的灌前、灌后土壤含水率,利用相应的土壤容重,求出土壤的体积含水率。再根据每个测坑小区相同深度的控制体积,计算出每个测坑小区相同深度的土体水分增量;这样计划湿润层深度范围内的土体水分增量就是不同深度的土体水分增量的累计。可用式(1)计算。

$$\Delta V = \sum_{i=1}^n h_i B L r (\omega_2 - \omega_1) / 100 \quad (1)$$

式中:  $\Delta V$  为由灌溉引起的土体内土壤水分增量, m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;  $h_i$  为田间沿土壤垂直方向第  $i$  测点所代表的土层厚度, 脚标  $i$  代表第  $i$  层土体 ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ), 本次试验中土壤垂直方向取样层数为 9, 所以  $n = 9$ ;  $B$  为试验小区宽度, m;  $L$  为试验小区长度, m;  $r$  为土壤 0 ~ 100 cm 平均容重, kg/m<sup>3</sup>;  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  分别代表灌前、灌后土壤质量含水率。

田间水利用系数计算可用式(2)计算。

$$\eta_{\text{田}} = \frac{\Delta V}{V} \quad (2)$$

式中:  $\eta_{\text{田}}$  为田间水利用系数;  $V$  为灌水定额, m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 田间水利用系数与灌水定额、计划湿润层深度的偏相关分析

实际上,田间水利用系数的大小主要受灌水定

额与计划湿润层深度的共同影响,因此需用偏相关分析分别计算“田间水利用系数”在“灌水定额”的影响下与“计划湿润层深度”的偏相关系数和“田间水利用系数”在“计划湿润层深度”的影响下与“灌水定额”的偏相关系数。利用 SPSS 软件计算,田间水利用系数在灌水定额的影响下与计划湿润层深度的偏相关系数为 0.969, 概率  $p$  值为  $0.000 < 0.05$ , 可以认为田间水利用系数在灌水定额的影响下与计划湿润层深度有显著相关性,且为正相关;田间水利用系数在计划湿润层深度的影响下与灌水定额度的偏相关系数为  $-0.634$ , 概率  $p$  值为  $0.001 < 0.05$ , 可以认为田间水利用系数在计划湿润层深度的影响下与

灌水定额有显著相关性,且为负相关。

### 3.2 田间水利用系数与灌水定额、计划湿润层深度的回归分析

分析灌水定额和计划湿润层深度对田间水利用系数的影响,可以建立二元回归模型来探讨它们之间的关系:

$$Y = a + bx_1 + cx_2 + d \quad (3)$$

式中:  $Y$  为田间水利用系数;  $x_1$  为计划湿润层深度,  $m$ ;  $x_2$  为灌水定额,  $m^3/hm^2$ 。

利用 SPSS 统计分析软件对灌水定额、计划湿润层深度和田间水利用系数进行二元回归分析, 统计分析结果见表 2。

表 2 统计分析结果汇总表

模型	R	R <sup>2</sup>	调整 R <sup>2</sup>	标准估计 计误差	更改统计量					Durbin - Watson
					R <sup>2</sup> 更改	F 更改	df1	df2	Sig.	
1	0.97	0.941	0.937	0.055715	0.941	192.876	2	24	0	0.493

表 2 中  $R$  为复相关系数,它表示模型中所有自变量( $x_1, x_2$ )与因变量 $Y$ 之间的线性回归关系的密切程度大小,它的取值介于 0 和 1 之间, $R$  越大说明线性回归关系越密切。调整  $R^2$  的值越大,说明模型拟合效果得越好。标准估计误差是残差的标准差,其大小反映所建立的模型预测因变量的精度。剩余标准差越小,说明建立的模型效果越好。表 2 中  $R$  为 0.970, 调整的  $R^2$  为 0.937, 标准估计误差为 0.055715, 说明采用二元影响回归模型对三者进行回归分析是合适的。

利用 SPSS 软件对灌水定额、计划湿润层深度和田间水利用系数进行二元影响回归分析, 回归分析结果见表 3。

表 3 回归模型系数表

模型	非标准化系数		标准偏 回归系数	t	Sig.
	B	标准误差			
(常量)	0.256	0.053		4.791	0.000
计划湿润 层深度	0.008	0.000	0.950	19.225	0.000
灌水量	-0.003	0.001	-0.199	-4.020	0.001

表 3 中常数项为 0.256, 计划湿润层深度偏相关系数为 0.008, 灌水定额偏相关系数为  $-0.003$ , 于是得到回归方程:

$$Y = 0.256 + 0.008x_1 - 0.003x_2 \quad (4)$$

式中: $Y$  为田间水利用系数;  $x_1$  为计划湿润层深度,  $cm$ ;  $x_2$  为灌水定额,  $m^3/hm^2$ 。

对式(4) 进行方差分析的检验结果见表 4。其

中,  $F$  统计量等于 192.876, 概率  $P$  值 0.000 小于显著性水平 0.05, 所以该模型是有统计学意义的, 即灌水定额、计划湿润层深度和田间水利用系数之间的线性关系是显著的。

表 4 方差分析表

模型	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	1.197	2	0.599	192.876	0.000 <sup>a</sup>
残差	0.074	24	0.003		
总计	1.272	26			

以田间水利用系数实测值为横坐标, 拟合值为纵坐标, 得到图 1。从图 1 中可以看出两者具有明显的线性相关性, 相关系数是 0.941, 说明模型具有可靠性。

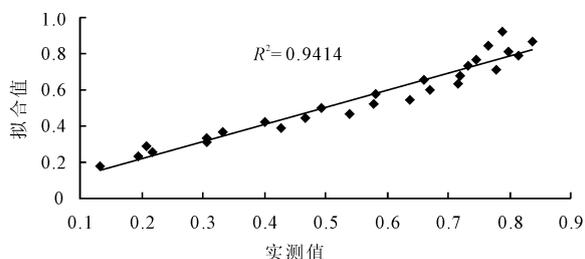


图 1 田间水利用系数拟合值与实测值关系图

## 4 结 论

(1) 通过对砂土地小区试验测得的田间水利用系数、灌水定额、计划湿润层深度的相关分析可知, 田间水利用系数与灌水定额负相关, 与计划湿润层深度正相关, 且与计划湿润层深度相关性较大, 说明计划

湿润层深度是影响田间水利用系数的主要因素。

(2) 灌水定额、计划湿润层深度和田间水利用系数可建立二元回归方程,通过可靠性检验说明模型是可靠的。

(3) 在作物灌溉制度的制定中,不应统一采用作物需水高峰期的有效湿润层深度作为计划湿润层深度进行计算灌水定额。根据作物不同生育期有效湿润层深度来确定不同的灌水定额,可有效提高作物田间水利用系数。

(4) 在其它土质及大田中,灌溉水利用系数与灌水定额、计划湿润层深度的相关性仍需进一步研究。

(5) 采用烘干法测定土壤灌前与灌后土壤含水率在本文中未考虑时间差,测定时间间隔对田间水利用系数的影响程度需进一步研究。

#### 参考文献:

[1] 肖俊夫,刘战东,段爱旺,等. 不同灌水处理对冬小麦产量及水分利用效率的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2006,25(2):20-23.

[2] 刘浩,孙景生,段爱旺,等. 不同灌水水平对日光温室萝卜产量及水分利用效率的影响[J]. 节水灌溉, 2007(6):21-23+27.

[3] 宋文,张玉龙,韩巍,等. 渗灌灌水定额对温室黄瓜产量和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2010,26(8):61-66.

[4] 张平良,郭天文,李书田,等. 不同覆盖种植方式与平衡施肥对旱地春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014,32(4):169-173.

[5] 张洪波. 不同补灌时期和拟湿润层深度对小麦产量和水分利用效率的影响[D]. 泰安市:山东农业大学, 2015.

[6] 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.

[7] 周英捷,傅丰贝,李伏生. 水肥调控下糯玉米生长、产量和水分利用效率研究[J]. 干旱地区农业研究, 2014,32(3):114-118+126.

[8] 彭世彰,徐俊增,黄乾,等. 控制灌溉水稻叶片水平的水分利用效率试验研究[J]. 农业工程学报, 2006,22(11):47-52.

[9] 杨玫,孙西欢,栗岩峰,等. 灌水定额对田间水利用系数的影响[J]. 太原理工大学学报, 2003,34(3):364-366.

[10] 许建中,赵竞成,高峰,等. 灌溉水利用系数传统测定方法存在问题及影响因素分析[J]. 中国水利, 2004(17):39-41.

[11] 彭世彰,高晓丽. 提高灌溉水利用系数分析的探讨[J]. 中国水利, 2012(1):33-35.

(上接第232页)

[10] 刘蓉,文军,张堂堂,等. 利用 MERIS 和 AATSR 资料估算黄土高原塬区蒸散发量研究[J]. 高原气象, 2008,27(5):949-988.

[11] 周方录,黄金柏,王斌. 黄土高原水蚀风蚀交错区水分有效性的季节变化[J]. 农机化研究, 2012,34(12):40-47.

[12] Lee L M, Kassim A, Gofar N. Performances of two instrumented laboratory models for the study of rainfall infiltration into unsaturated soils [J]. Engineering Geology, 2010, 117(1):78-89.

[13] 樊军. 水蚀风蚀交错带土壤水分运动与数值模拟研究[D]. 杨凌:中国科学院水利部水土保持研究所, 2005.

[14] 梁冰,姜利国. 非饱和带水分运动模型的 Picard 解法及参数灵敏度分析[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5):23-27.

[15] 朱忠礼,林柳莺,徐同仁. 海河流域不同下垫面土壤水分动态模拟研究[J]. 地球科学进展, 2012,27(7):778-787.

[16] 周立花,延军平,徐小玲,等. 黄土高原淤地坝对土壤水分及地表径流的影响——以绥德县辛店沟为例[J]. 干旱区资源与环境, 2006,20(3):112-115.

[17] 邸苏闯,游松财,刘喆惠. 基于 GIS 的水量平衡模型在黄土高原地区土壤水分模拟中的应用[J]. 中国农村

水利水电, 2012(5):11-17.

[18] 卢龙彬. 中小尺度流域降雨-径流数值模型研究——以六道沟流域为例[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2014.

[19] 赵培培. 黄土高原小流域典型坝地土壤水分和泥沙空间分布特征[D]. 北京:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2010.

[20] Kimura R, Liu Y, Takayama N, et al. Heat and water balances of the bare soil surface and the potential distribution of vegetation in the Loess Plateau, China[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 63(2):439-457.

[21] Qi Y, Huang J B, Zhao Y S, et al. Research on infiltration rate of topsoil in combination with steady infiltration model and penetration resistance test [C] // Proceeding of the 4th International Conference on Civil Engineering and Transportation, Xiamen, China, 2014:744-746; 1113-1119, Dec. 24-25.

[22] Yu X X, Zhang X M, Niu L L. Simulated multi-scale watershed runoff and sediment production based on Geo WEPP model[J]. International Journal of Sediment Research, 2009, 24(4):465-478.