

区域灌溉水利用效率测算分析

魏子涵¹, 魏占民¹, 张健¹, 梁天雨², 高红艳¹, 付晨星¹

(1. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2. 吉林省水利水电勘测设计研究院, 长春 130021)

摘要:在对内蒙古通辽市科尔沁左翼中旗水资源利用现状和农业灌区用水现状进行实际调查与分析的基础上, 根据首尾测算分析法的计算原理, 选择代表不同灌溉方式的典型样点灌区, 开展相关的田间测试试验, 分别用水量平衡法和田间测试法对典型样点灌区灌溉水利用效率进行客观、科学的计算, 从而得出科尔沁左翼中旗灌溉水利用效率。通过测试与评估农业灌溉中不同类型田块及不同灌溉技术下的灌溉水有效利用系数, 得出样点灌区主要灌溉方式低压管灌、喷灌和膜下滴灌的灌溉水利用系数分别为 0.865, 0.874, 0.906。在 2014 年的水文气象条件、灌区灌溉系统状况以及灌区的管理等综合因素条件下, 科尔沁左翼中旗的灌溉水有效利用系数为 0.880。计算结果符合灌区实际情况, 为进一步提高灌区灌溉水有效利用效率、更好的发展灌区节水灌溉提供决策依据。

关键词:灌溉水利用效率; 首尾测算分析法; 水量平衡法; 田间实测法; 灌溉方式

中图分类号: S274

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)06-0203-05

Measurement and Analysis of Irrigation Water Use Efficiency

WEI Zihan¹, WEI Zhanmin¹, ZHANG Jian¹, LIANG Tianyu², GAO Hongyan¹, FU Chenxing¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

2. Jilin Province Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute of Jilin, Changchun 130021, China)

Abstract: On the basis of actual investigation and analysis of water resources utilization and agricultural irrigation water in the Keerqinzuoyizhong Banner of Tongliao City in Inner Mongolia, according to the principle of method of initial and ending calculation, then choosing some typical sample irrigation districts, which represent the different form of irrigation and carry out the relevant field test, we calculate the irrigation water use efficiency of the typical sample irrigation objectively and scientifically with the method of water balance and field measurement, respectively, the utilization efficiency of irrigation water in Keerqinzuoyizhong Banner. Through the test and evaluation in agricultural irrigation of different types of field under different irrigation technology and irrigation water use coefficient, the main irrigation methods of sample irrigation districts are low pressure pipe irrigation, sprinkler irrigation and drip irrigation under plastic film, utilization coefficients of irrigation water are 0.865, 0.874 and 0.906, respectively. Under the comprehensive factors of the hydrological and meteorological conditions, the irrigation system and irrigation management in 2014, the water use coefficient is 0.880 in Keerqinzuoyizhong Banner. The calculation results are in accordance with the actual situation in the irrigation district in order to enhance the utilization efficiency of irrigation water better and develop water-saving irrigation district further, and offer the basis of decision.

Keywords: irrigation water use efficiency; method of initial and ending calculation; method of water balance; method of field measurement; irrigation methods

实施农业节水, 提高农业灌溉水利用效率, 受到了国家和地方政府及相关部门的高度重视。国家实行最严格的水资源管理制度, 将灌溉水有效利用率列为最严格的水资源管理制度中“三条红线”的控制指标之

一, 明确提出到 2015 年全国农田灌溉水有效利用率提高到 0.53 以上, 到 2020 年提高到 0.55 以上^[1]。在灌溉用水短缺的严峻形势下, 灌区灌溉工程不够完善, 灌溉管理粗放, 灌溉水损失严重, 灌溉用水效率与世界先

收稿日期: 2015-04-07

修回日期: 2015-06-09

资助项目: 内蒙古自治区水利厅专项: 内蒙古东部灌区灌溉水利用效率测试分析与评估

第一作者: 魏子涵(1989—), 女, 内蒙古赤峰市人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与管理决策方面的研究。E-mail: weizihan2008@126.com

通信作者: 魏占民(1966—), 男, 内蒙古呼和浩特人, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与新技术方面的研究。E-mail: wei_zhanmin@

aliyun.com

进水平还有较大差距^[2-3]。为了充分挖掘灌区节水潜力,加大灌区农业节水力度,提高灌溉水资源综合利用效率与效益,开展灌区灌溉水利用效率测试分析与评估是内蒙古通辽市水利发展亟待解决的问题,受到自治区党委与政府及水利部门的高度关注。

灌溉水有效利用系数是指灌区从水源取水到田间作物吸收利用过程中灌溉水利用程度或浪费程度的度量,可反映灌区灌溉工程质量、灌溉技术水平、用水管理水平和农艺技术水平^[4],表达节水措施实施效果,揭示灌区节水潜力,是对灌区进行纵向和横向科学评价的一项指标^[5]。无论是灌区灌溉水有效利用现状还是节水工程技术实施后的变化情况,无不受到国家和地方政府及相关部门的高度重视,通辽市灌溉农业在自治区国民经济中占用重要地位,农业灌溉用水也在通辽市水资源利用和配置中起着举足轻重的作用。而通辽市科尔沁左翼中旗近年来农业节水灌溉发展迅速,节水灌溉方式多种多样,本文拟计算 2014 年科尔沁左翼中旗的节水灌溉灌溉水有效利用效率。

1 试验设计及方法

1.1 试验区概况

科左中旗位于通辽市东北部,地处东经 121°08′—123°32′,北纬 43°33′—44°31′。西北、西、南、东南分别与扎鲁特旗、开鲁县、科尔沁区、科左后旗接壤;东、北分别与吉林省四平、兴安盟毗邻。全旗东西长 191 km,南北宽 32~116 km,总面积 1 472 km²。地势总体是西北高、东南低,由西向东倾斜,以平原地貌为主,最显著的特点是沙地分布广泛。气候属于北温带大陆性季风气候,年平均气温 5.2~5.9℃,年降水量 340~400 mm,年蒸发量 1 800~2 000 mm。科左中

旗春季短促,干旱多风;夏季炎热,雨量集中;秋季短暂降温快;冬季漫长寒冷。

流经科左中旗的河流有新开河、西辽河、乌力吉木仁河,均属于西辽河水系。近年来连年干旱,境内新开河、西辽河常年断流,中小型水库干涸,局部地下水位下降,水资源匮乏,地表水枯竭,科尔沁左翼中旗农业灌溉水源全部来自地下水,以机井提水形式进行灌溉,属于井灌区。井灌区在全旗各镇、苏木和国营农牧场均有分布。全旗井灌区现有灌溉机电井 37 167 眼,其中浅井 17 815 眼,深井 19 352 眼,工程完好率为 83%。现有机电井灌溉工程 30 849 处,有效灌溉面积 13.53 万 hm²,占总耕地面积的 46.03%,节水灌溉面积为 7.05 万 hm²。

1.2 试验方法

科左中旗土壤类型在东西方向上略有差异,南北方向上差异性较小,降雨量等气候因素有一定变化,地下水埋深较深。主要灌溉方式为低压管灌、膜下滴管和时针式喷灌,主要作物为玉米,其他作物有蔬菜、杂粮等,种植面积均小于 10%。本次测试分别在科左中旗上、中、下游针对主要作物选择 3 组样点灌区,每组选取 2 个重复样点灌区,共 6 个样点灌区。收集整理样点灌区的有关资料,并开展必要的田间观测,通过综合分析,得出样点灌区灌溉水有效利用系数,以此为基础加权平均到科尔沁左翼中旗,由点推及到面。样点灌区分别位于敖包苏木扎如德仓嘎查,努日木苏木白彦柴达木嘎查和保康镇巨宝山村。采用环刀法测定土壤容重及田间持水量,在实验室内采用筛分法和粒度仪法进行土壤颗粒分析并在 TAL 软件中按美国农业部土壤质地三角形确定根系层土壤质地,各样点灌区的土壤状况见表 1。

表 1 各样点灌区土壤状况

样点灌区	分层及深度/cm	土壤质地	干容重/(g·cm ⁻³)	田间持水量/%	样点灌区	分层及深度/cm	土壤质地	干容重/(g·cm ⁻³)	田间持水量/%
扎如德仓 1 号	0—20	砂土	1.596	13.5	柴达木 7 号	0—20	壤砂土	1.465	13.8
	20—40	砂壤土	1.562	12.9		20—40	壤砂土	1.415	14.3
	40—60	粉壤土	1.557	18.8		40—60	砂壤土	1.372	16.5
	60—80	砂土	1.599	12.1		60—80	砂壤土	1.297	15.8
	80—100	壤砂土	1.568	14.6		80—100	壤砂土	1.455	12.6
扎如德仓 2 号	0—20	砂土	1.655	10.7	巨宝山 1 号	0—20	壤砂土	1.527	13.1
	20—40	砂土	1.603	11.5		20—40	壤砂土	1.537	16.0
	40—60	壤砂土	1.582	15.9		40—60	砂壤土	1.478	19.2
	60—80	壤砂土	1.599	15.0		60—80	砂壤土	1.503	17.6
	80—100	砂土	1.604	13.8		80—100	壤砂土	1.656	14.5
巴彦柴达木 6 号	0—20	砂壤土	1.593	17.9	巨宝山 2 号	0—20	壤砂土	1.588	13.7
	20—40	壤砂土	1.412	16.4		20—40	壤砂土	1.591	14.4
	40—60	壤砂土	1.456	15.7		40—60	砂壤土	1.572	16.8
	60—80	壤砂土	1.353	14.8		60—80	粉壤土	1.466	17.7
	80—100	砂壤土	1.363	18.6		80—100	砂壤土	1.538	16.5

努日木苏木白彦柴达木嘎查两个样点灌区采用的灌溉方式是低压管灌,在单井控制区选择测试田块,对于分段灌溉取一个灌溉段作为测试田块,对于不分段灌溉取该支管控制范围条田作为测试田块;敖包苏木扎如德仓嘎查两个样点灌区采用的灌溉方式是膜下滴灌,在单井控制区内的近端和远端支管控制范围内各选择测试田块;保康镇巨宝山村两个样点灌区采用的灌溉方式是时针式喷灌,在喷灌机控制区内沿喷灌机运行轴线的控制范围内,选择测试田块。

1.3 观测内容

(1) 灌溉面积:各样点灌区和测试田块灌溉面积采用测尺和 RTK 进行精确测量。(2) 灌溉水量:根据井灌区的实际情况,进入典型田块的毛灌溉水量的测定,统一在地下水井出口采用超声波流量计测定其流量,按灌水时段计算测试田块和样点灌区的灌水量,每轮灌水测定 1 次。(3) 土壤含水率:在每个测试田块上、中、下游均匀选取 9 个采样点,利用不锈钢取土钻取样,放入铝盒用胶带缠封后,送实验室,采用烘干法测定其土壤含水率。对每个采样点按每层厚

度 20 cm 采取土样,共取 5 层,即 100 cm。每次灌水前 1 d 和灌后 1~2 d 采集土样。(4) 有效降雨量:在各典型样点灌区布设雨量筒,动态观测全生育期各次的降雨量,以此为基础,采用相关公式计算有效降雨量。(5) 地下水位埋深:在各典型样点灌区选择灌溉井利用人工观测或自记水位计的方法动态观测地下水位的变化。(6) 气象资料:收集周边气象站在作物各生育期内的降水量、空气湿度、2 m 高风速、大气温度及日照时数等气象要素。

2 灌溉水有效利用系数测算分析

2.1 作物腾发量计算

此次试验收集了科左中旗及周边的科尔沁区、开鲁县、扎鲁特旗、科左后旗的气象站的日最高气温、最低气温、日最大湿度、最小湿度、日太阳辐射、日平均风速(2 m 处)等气象数据,采用联合国粮农组织推荐 Penman-Monteith 公式^[6]计算出参政站处的日参考作物腾发量,在此基础上,采用距离反比法估算各样点灌区处的日参考作物腾发量,插值的权重见表 2。

表 2 样点灌区估值时采用的气象站及其估值权重

样点灌区	科尔沁区	开鲁县	扎鲁特旗	科左后旗	科左中旗
扎如德仓 1 号	0.5800	0.2763	0.0033	0.0209	0.1195
扎如德仓 2 号	0.5776	0.2782	0.0033	0.0210	0.1199
巴彦柴达木 6 号	0.2256	0.0257	0.0012	0.0106	0.7370
巴彦柴达木 7 号	0.2429	0.0269	0.0012	0.0109	0.7180
巨宝山 1 号	0.0309	0.0052	0.0003	0.0027	0.9608
巨宝山 2 号	0.0336	0.0056	0.0003	0.0029	0.9576

根据科左中旗调查和试验资料分析,利用 FAO-56^[6]推荐的 84 种作物的标准作物系数和修正公式,并依据当地气候、土壤、作物和灌溉条件对其进行修正。2014 年各样点灌区玉米的生育期为 4 月底—9 月中旬。各样点灌区作物生育期间的作物系数修正后,玉米的作物系数为 0.38~1.20。根据计算结果,

作物生育期内的实际腾发量结果见表 3。

2.2 有效降雨量计算

在典型样点灌区布设雨量筒,动态观测全生育期各次的降雨量,再采用 FAO-56^[6]中降雨量与有效降雨量的经验公式(表 4)估算样点灌区全生育期的有效降雨量。

表 3 样点灌区参照作物腾发量及作物实际腾发量计算结果

样点灌区	种植作物	参照作物腾发量 ET ₀ /mm					作物实际腾发量 ET _c /mm				
		生长初期	快速生长期	生长中期	生长后期	合计	生长初期	快速生长期	生长中期	生长后期	合计
扎如德仓 1 号	玉米	94.10	184.93	240.82	103.14	622.99	38.58	153.46	288.98	89.07	570.09
扎如德仓 2 号	玉米	94.09	184.92	240.73	103.11	622.85	38.58	153.45	288.88	89.04	569.95
巴彦柴达木 6 号	玉米	100.65	186.26	227.36	97.17	611.43	41.27	156.72	272.83	84.83	555.63
巴彦柴达木 7 号	玉米	100.86	186.40	227.13	97.12	611.51	41.35	156.84	272.55	84.77	555.52
巨宝山 1 号	玉米	91.17	186.82	232.92	98.98	609.90	37.38	155.79	279.51	85.86	558.54
巨宝山 2 号	玉米	91.20	186.84	232.88	98.98	609.91	37.39	155.81	279.46	85.86	558.52

表 4 FAO-56 中降雨量与有效降雨量的关系

降雨量/mm	<5	5~30	30~50	50~100	100~150	>150
降雨量有效利用系数	0	0.85	0.8	0.75	0.65	0.55

2014 年科左中旗所选取的 6 个典型样点灌区玉米作物生育期内各生育阶段的有效降水量如图 1 所示。

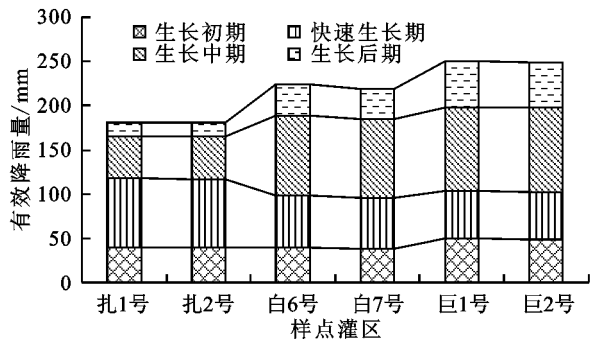


图 1 玉米各生育阶段有效降雨量

2.3 地下水利用量计算

通过观测地下水位观测井,科尔沁左翼中旗地下

水位均大于 5 m,故全生育期不同阶段作物根系对地下水的利用量为零。

2.4 样点灌区灌溉水利用效率的计算

2.4.1 田间实测法 田间实测法也称计划湿润层法,即在灌水前后取土样,利用灌水前后的土壤含水率、分层干容重数据计算样点灌区的净灌水定额。其计算公式如下:

M=1000H(θ₂−θ₁) (1)

式中:M——净灌水定额(mm);H——时段内作物计划湿润层深度(m);θ₁——灌水前土壤体积含水率(以占土壤体积%计);θ₂——灌水后土壤体积含水率(以占土壤体积%计)。

基于水量平衡法的通辽市科左中旗各样点灌区灌溉水利用系数计算结果见表 5。

表 5 基于田间实测法的样点灌区灌溉水利用系数计算结果

样点 灌区	单井控制 面积/hm ²	种植 作物	灌溉 方式	测试 次数	毛灌 水定额/mm	净灌 水定额/mm	灌溉水利用系数		
							单次 系数	样点灌 区系数	样点灌 区均值
扎如德仓 1 号	4.13	玉米	膜下滴灌	1	50.51	46.34	0.917	0.907	0.904
				2	33.46	30.03	0.898		
				3	38.61	34.60	0.896		
				4	32.17	29.54	0.918		
				5	54.05	50.13	0.927		
				6	48.91	44.51	0.910		
				7	48.26	43.25	0.896		
				8	45.04	40.34	0.896		
扎如德仓 2 号	6.85	玉米	膜下滴灌	1	46.73	43.03	0.921	0.901	
				2	42.49	39.13	0.921		
				3	38.25	32.41	0.847		
				4	36.42	33.31	0.915		
				5	51.59	46.75	0.906		
				6	48.56	43.51	0.896		
				7	43.10	38.68	0.898		
				8	49.78	45.10	0.906		
巴彦柴达木 6 号	11.71	玉米	低压管灌	1	146.60	124.59	0.850	0.850	0.849
巴彦柴达木 7 号	9.45	玉米	低压管灌	1	154.42	130.99	0.848	0.848	
巨宝山 1 号	33.33	玉米	喷灌	1	87.30	77.51	0.888	0.872	0.871
				2	108.17	92.56	0.856		
巨宝山 2 号	33.33	玉米	喷灌	1	93.03	80.88	0.869	0.869	
				2	96.10	83.46	0.868		

2.4.2 水量平衡法 因为样点灌区均为旱作物,依据水量平衡原理计算得出作物生育期内主要作物的净灌溉定额^[7]。公式如下:

M=ET_c−P_e−G_e±ΔW (2)

式中:M——作物净灌溉定额(mm);ET_c——作物的蒸腾蒸发量(mm);P_e——作物生育期内的有效降水量(mm);G_e——作物生育期内地下水利用量(mm);

ΔW——作物生育期始末土壤储水量变化值(mm)。

基于水量平衡法的通辽市科左中旗各样点灌区灌溉水利用系数计算结果见表 6。

2.4.3 不同灌溉方式灌溉水利用系数 将基于田间实测法和水量平衡法计算出的各灌区不同灌溉方式的灌溉水利用系数汇总,取两种方法的均值作为样点灌区的灌溉水利用系数,见表 7。

2.5 科左中旗灌溉水有效利用系数计算

灌区灌溉水利用系数根据样点灌区不同灌溉方式的灌溉水利用系数及其灌溉面积,采用加权平均法计算,公式如式(3)所示:

$$\eta_{\text{灌区}} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_i \cdot A_i}{A} \quad (3)$$

表 6 基于水量平衡法的样点灌区灌溉水利用系数计算结果

样点 灌区	种植 作物	灌溉 方式	作物腾	有效降	地下水	土壤	净灌溉	毛灌溉	灌溉水利用系数	
			发量 ET _c / mm	雨量 P _e / mm	利用量 G _e /mm	储水量 ΔW/mm	定额/mm	定额/mm	系数	样点灌 区均值
扎如德仓 1 号	玉米	膜下滴灌	570.1	181.16	0	67.33	321.6	351.00	0.916	0.908
扎如德仓 2 号	玉米	膜下滴灌	569.95	181.12	0	66.49	322.34	356.91	0.903	
巴彦柴达木 6 号	玉米	低压管灌	555.64	224.42	0	200.4	130.81	146.60	0.892	0.883
巴彦柴达木 7 号	玉米	低压管灌	555.52	218.74	0	202.12	134.66	154.42	0.872	
巨宝山 1 号	玉米	喷灌	558.54	249.81	0	138.69	170.04	195.47	0.870	0.877
巨宝山 2 号	玉米	喷灌	558.52	248.72	0	142.41	167.39	189.13	0.885	

表 7 科左中旗不同灌溉形式的灌溉水利用系数计算结果

灌区	种植 作物	灌溉 方式	灌溉水利用系数		
			田间 实测法	水量 平衡法	样点灌 区系数
科左中旗	玉米	低压管灌	0.846	0.883	0.865
		膜下滴灌	0.904	0.908	0.906
		喷灌	0.871	0.877	0.874

表 8 科左中旗灌溉水利用系数计算结果

灌区 名称	种植 作物	灌溉 方式	灌溉面积/ (万 hm ²)	灌溉水利用系数	
				样点灌 区系数	灌区 系数
科左中旗	玉米	低压管灌	4.05	0.865	0.880
		喷灌	0.57	0.874	
		膜下滴灌	2.44	0.906	

3 结 论

本文以 2014 年数据为基础,计算了科尔沁左翼中旗的灌溉水有效利用效率。科尔沁左翼中旗主要种植作物为玉米,各样点灌区灌溉方式主要是低压管灌、喷灌和膜下滴灌,灌溉水利用系数分别为 0.865,0.874,0.906,均达到《节水灌溉工程技术规范》(GB/T50363-2006)^[7]中规定的低压管灌区灌溉水利用系数不低于 0.86,喷灌区灌溉水利用系数不低于 0.85 和膜下滴灌区灌溉水利用系数不低于 0.9 的要求。

本文结果表明,在 2014 年的水文气象条件、灌区灌溉系统状况以及灌区的管理等综合因素条件下,灌

式中:η_{灌区}——灌区灌溉水利用系数;η_i——第 i 种灌溉方式下的灌溉水利用系数;A_i——第 i 种灌溉方式下的灌溉面积(万 hm²);A——灌区总灌溉面积(万 hm²)。

根据加权平均法,2014 年科左中旗节水灌溉水有效利用系数计算结果见表 8。

区的灌溉水有效利用系数为 0.880,达到我国《节水灌溉工程技术规范》(GB/T50363-2006)^[7]中规定,灌区的灌溉水利用系数,井灌区不应低于 0.80。这与科尔沁左翼中旗的灌溉规模、工程状况和管理水平基本情况相符,进一步验证了测算分析方法的正确性和可靠性,研究成果可以科学准确地计算出科尔沁左翼中旗农业灌区灌溉水利用现状,为正确制定合理可行的节水灌溉发展规划,缓解水资源供需矛盾提供科学的数据支撑。

参考文献:

[1] 国务院. 关于实行最严格的水资源管理制度的意见[Z]. (国发[2012]3 号)

[2] 毛显强,钟瑜. 面向市场经济的中国水资源可持续利用策略[J]. 中国人口·资源与环境. 2002. 12(2):48-52.

[3] 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]. 北京:中国灌溉排水发展中心. 2007.

[4] 李英能. 浅论灌区灌溉水利用系数[J]. 中国农村水利水电, 2003(7): 23-26.

[5] 韩振中,裴源生,李远华,等. 灌溉用水有效利用系数测算与分析[J]. 中国水利. 2009(3):11-14.

[6] Allen R G, Pereira L S, D Raes, et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements [M]. FAO Irrigation and Drainage Paper 56,1998.

[7] 中华人民共和国水利部. 节水灌溉工程技术规范[S]. 2006.