

文章编号:1672-3317(2014)03-0017-05

# 关中灌区需水与用水影响因素及变化趋势分析

王超<sup>1</sup>, 牛文全<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院/水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 根据陕西关中某典型灌区 1989—2011 年气象资料、作物种植资料及灌区实测引水量资料, 分析灌区灌溉需水量与实际引水量的关系。结果表明, 作物需水量主要受作物品种、气象等因素影响, 灌区灌溉需水量则受灌区规模、降雨量、作物种植面积及种植结构影响较大; 灌区实际引水量主要与灌区灌溉需水量及农户用水习惯有关, 同时还受区域水资源量、水质、含沙量及灌区引水计划等因素影响; 降雨量较多的年份, 灌区引水量有不降反增的趋势, 表明北方灌区水源调节能力低和水资源与灌区引水管理的特殊性。

**关键词:** 灌区; 作物需水量; 灌溉需水量; 引水量

中图分类号: S273

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2014.03.004

王超, 牛文全. 关中灌区需水与用水影响因素及变化趋势分析[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(3): 17-21.

## 1 材料与方法

研究区为陕西关中某水源无调节能力的抽水灌区。该灌区多年平均降水量为 532.6 mm, 种植作物以小麦、玉米、棉花和果树为主, 复种指数为 1.65。采用数据主要包括该灌区 1989—2011 年的气象资料、主要作物种植面积及灌区渠首实际引水量等资料。

采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算灌区参考作物需水量 ( $ET_0$ ), 依据灌区实测资料取得作物系数 ( $K_c$ )<sup>[3]</sup>, 从而得到作物需水量。并以月为计算时段, 根据农田水量平衡方程计算不同时段作物灌溉需水量。由于缺乏灌区土壤水分监测资料, 计算过程没有考虑时段始末以及作物生育期前后的土壤水分变化; 有效降水量按有效系数法<sup>[4]</sup>求得。对灌区 1966—2011 年降雨量资料进行频率分析, 得到 3 个不同水平的水文典型年, 湿润年  $P=25\%$  (1996 年)、中等年  $P=50\%$  (2004 年)、干旱年  $P=75\%$  (2005 年), 分别研究不同水文年灌区灌溉需水量与实际引水量的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌区作物需水量

#### 2.1.1 灌区主要作物全生育期需水量

根据灌区年气象资料、试验数据, 得到灌区主要作物 1989—2011 年的作物需水量, 如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 灌区各主要作物全生育期需水量变化比较稳定, 冬小麦、夏玉米、棉花、果树多年平均全生育期需水量分别为 418、453、721、849 mm。除冬小麦外, 果树、棉花和玉米的作物需水量逐年变化趋势基本一致, 这可能是因为作物生育期及其气象条件对作物的需水量有较大影响所致, 果树、玉米和棉花的生育期在时间上重叠较多, 该时段也是灌区的主要需水期; 冬小麦为跨年度作物, 从 3 月开始即进入需水旺期, 需水量逐年变化趋势与其他作物略有不同。

\*收稿日期: 2013-07-25

基金项目: 国家“十二五”高技术发展计划课题(2011AA100507)

作者简介: 王超(1986-), 男, 山东潍坊人。硕士研究生, 主要从事灌区节水灌溉理论与技术研究。

表 1 灌区主要作物全生育期需水量

mm

年份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
冬小麦	406.85	396.36	394.46	378.26	368.15	440.63	421.2	407.5	399.72	407.41	434.18	435.12
夏玉米	430.83	444.49	462.24	443.05	416.33	488.53	469.28	451.2	462.32	458.68	457.3	407.94
棉花	691.94	698.02	722.17	692.25	656.76	779.41	745.38	708.11	726.39	722.99	722.52	668.81
果树	821.78	812.52	838.49	807.11	771.97	907.74	872.69	830.19	848.26	839.95	845.18	807.39
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
冬小麦	414.91	398.08	385.16	441.76	448.39	481.49	484	449.87	417.41	424.18	378.21	
夏玉米	418.23	469.48	450.32	473.96	471.12	474.85	448.59	465.77	468.68	447.3	442.95	
棉花	668.76	730.27	711.63	760.8	766.02	778.67	741.81	747.57	732.99	712.52	698.15	
果树	802.48	858.74	833.92	901.03	909.86	932.67	897.53	891.22	849.95	835.18	807.01	

2.1.2 不同水文典型年降雨量与作物需水量对比

通过对灌区资料分析发现,各年主要作物不同生育阶段的作物需水量变化趋势相同,同种作物各年同月的需水量差别不大。因此,选取作物各月的作物需水量多年平均值,分析不同水文典型年的降雨量与作物需水量的供求关系,如表 2 所示。

表 2 不同水文典型年降雨量与作物需水量

mm

月份	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
冬小麦	28.24	15.61	21.05	18.98	71.32	104.09	136.62					49.07
夏玉米								71.99	154.89	139.29	108.67	
棉花						53.65	77.19	119.95	182.71	168.38	102.39	56.13
果树	8.63	6.4	3.03	8.6	26.93	42.6	67.43	124.1	127.07	89.03	46.4	19.47
湿润年(1996)	57.41		7.01	5.03	6.74	39.11	21.61	103.02	75.61	85.41	103.72	55.23
中等年(2004)	52.32	20.01	0.51	41.81	12.51	11.41	18.21	29.03	66.22	117.21	92.81	17.33
干旱年(2005)	3.21	17.32	8.53	4.52	8.22	23.32	94.92	77.11	40.81	40.62	79.33	37.42

从表 2 可看出,各种作物需水高峰期分别为冬小麦在 4—5 月(抽穗灌浆期)、夏玉米在 7—8 月(抽雄灌浆期)、棉花在 7—8 月(开花结铃期)、果树在 6—8 月。

关中地区雨季期与灌区作物的需水高峰期基本一致,雨热同季特点较明显,3—4 月各作物逐渐进入需水高峰期,降雨量也随之增加。7—8 月正值作物需水关键期,降雨量也相对较大,但此时河流来水含沙量较大,影响灌区引水,灌区需采用包括地下水等多形式水源供水,以保证作物需水要求。1996 年降雨与作物需水吻合度较高;但 2005 年作物需水量较大而降雨偏少,在 7—8 月形成较大的需水缺口;2004 年降雨量则相对集中,降雨高峰期比作物需水高峰期滞后,降雨不能很好地缓解灌区前期需水压力,不利于作物生长。

2.2 灌区净灌溉需水量

由于灌区各年的气象条件(降雨)不同,所需要的灌溉用水量不同。只考虑有效降雨情况下,灌区多年净灌溉需水量、灌区年作物需水量以及降雨量之间的关系如图 1 所示。

由图 1 可知,灌区年作物需水量呈减少趋势,2001 年以前下降幅度较大(平均下降 1 489 万 m<sup>3</sup>/a),之后基本稳定。2000 年以前降雨量波动较大,以后降水呈增加趋势,2003 年的降雨量甚至达到 836.8 mm。灌区灌溉需水量呈现递减趋势,1989—

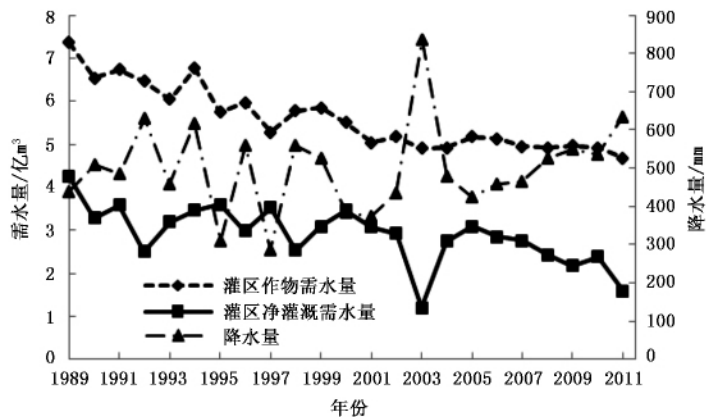


图 1 灌区灌溉需水量与降雨量逐年变化

1998 年平均年减少 791.6 万 m<sup>3</sup>/a,1999 年以后多平均年减少 261.4 万 m<sup>3</sup>/a。

农作物生长发育过程中消耗的水量主要来自于降雨、灌溉及地下水补给。由于降雨量年际及年内分配差异,各年灌溉需水量差异也很大。但受降雨时间及雨量年内分布随机性的影响,年降雨量的变化并不能完全反映作物生育期有效降雨量的变化情况,如 1994、1996、1998 年。

通过实际调查发现,灌区作物种植结构发生较大变化,以 2007 年为基础年,各年主要作物相对种植面积如表 3 所示。1989—1998 年灌区以冬小麦、夏玉米为主,果树和棉花的种植面积相对较少,受价格因素影响,棉花种植面积甚至呈减少趋势。另外,瓜果、蔬菜、药材和夏杂等作物的种植面积也逐年减少。1999—2007 年灌区冬小麦、夏玉米等主要粮食作物种植面积逐年下降,下降幅度分别为 0.422 万  $\text{hm}^2/\text{a}$ 、0.233 万  $\text{hm}^2/\text{a}$ ;果树和棉花等经济作物的种植面积则逐年增加,棉花多年平均增长 1.78 万  $\text{hm}^2/\text{a}$ 。2007 年后种植结构趋于稳定。灌区作物种植结构调整的主要动力之一是市场,市场价格的调整能促使农民选择性的扩大或减少某种作物的种植面积,从而影响灌区种植结构。

表 3 灌区各年主要作物相对种植面积

年份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
冬小麦	2.64	2.64	2.57	2.51	2.67	2.51	2.64	2.67	2.67	2.62	2.59	2.57
夏玉米	1.43	1.63	1.41	1.07	1.31	1.48	1.23	1.7	1.33	1.87	1.83	1.8
棉花	0.41	0.57	0.72	0.91	0.57	0.51	0.49	0.45	0.27	0.33	0.32	0.31
果树	0	0	0	0.03	0.07	0.13	0.2	0.29	0.18	0.13	0.11	0.09
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
冬小麦	2.26	2.04	1.83	1.18	1.49	1.33	1	1.08	1.14	1.22	1.21	
夏玉米	1.58	1.44	1.29	1	1.24	1.27	1	1.06	1.16	1.21	1.17	
棉花	0.42	0.54	0.66	0.89	0.69	0.93	1	0.93	0.93	0.88	0.87	
果树	0.12	0.2	0.28	0.45	0.43	0.48	1	0.62	0.74	0.79	0.8	

## 2.3 灌区灌溉需水量与实际引水量的对比分析

### 2.3.1 多年毛灌溉需水量与实际引水量

灌区毛灌溉需水量与实际引水量逐年变化曲线如图 2 所示,灌区毛灌溉需水量是在充分灌溉和只考虑降雨条件下计算得到的。由于只考虑了降雨因素,各年灌区实际引水量均小于灌区灌溉需水量。

由图 2 可看出,1989—2011 年灌区年毛灌溉需水量变化差异明显,多年变化呈现减少趋势。灌区实际引水量多年呈现减少趋势,但变化平稳。灌区实际引水量减少的原因除因种植结构调整外,灌区灌溉中采用节水灌溉新技术提高了田间水利用系数,灌区更新改造后减少了渠道输配水损失,增加了渠系水利用系数;另外,据调查,农户出外务工,疏于农田管理、甚至弃耕也是一个不可忽略的因素。

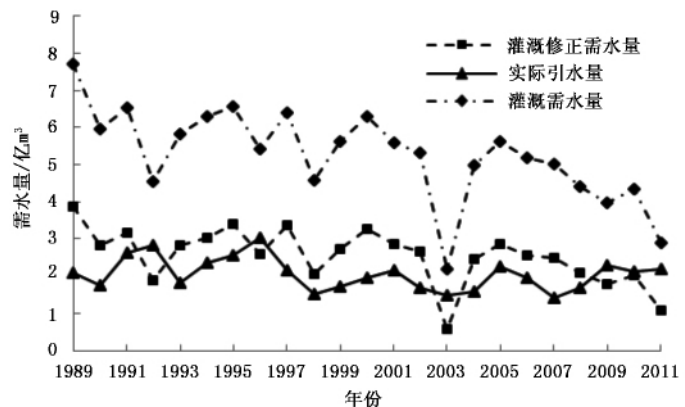


图 2 灌区灌溉需水量与实际引水量

以 2003 年为基年,确定降雨量与灌溉满足比相对值如表 4 所示。由表 4 可知,除 1992、1996、2003 年外,各年的灌溉满足比基本稳定,表明灌区引水管理较灵活,能够适应和满足灌溉需求。1992、1996、2003 年灌溉满足比较大,是由于降雨量大,而灌区不具备水源调节能力,灌区加大了引水力度。在降雨量较少、水源不足的年份和季节,灌区可采用提前蓄水灌溉、充分利用地下水源实行渠、井联合灌溉等措施缓解水源不足;在降雨丰沛的年份,灌区会及时调整引水计划,加大灌区引水量,增大灌溉面积或者秋、冬季泡田等使得实际引水量有所增加。

表 4 灌区各年灌溉满足比与降雨量

年份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
灌溉满足比	0.2	0.22	0.3	0.46	0.23	0.28	0.29	0.41	0.25	0.24
降雨量/mm	438	507	486	630	460	618	310	560	285	558
年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
灌溉满足比	0.23	0.23	0.28	0.24	0.5	0.24	0.3	0.28	0.21	0.28
降雨量/mm	525	383	372	435	837	479	423	457	466	524

考虑到灌区实际灌溉过程属于非充分灌溉,另外井灌用水及地下水补给也应予以考虑。因此,对灌区灌溉需水量进行了修正,灌区实际灌溉面积约占灌区作物种植面积的 85%时,设定灌溉满足系数为 0.8;根据灌区实际,将灌区井灌及地下水补给量按照 15%的作物总需水量(ET)计算;非充分灌溉系数 0.9,灌区灌溉水利用系数取 0.55。

由图 2 可知,灌区修正灌溉需水量与灌区实际引水量吻合较好,除降雨量较大年份外,修正需水量略大于实际引水量,这反映出灌区缺水的事实,同时农民疏于田间管理,存在着少灌或不灌现象。因此,为保证区域粮食生产安全、稳定,灌区应协调流域水主管部门,加大对灌区调水、配水,另外应通过各种手段(包括市场引导、政策扶持等)号召农民多引水,提高水资源利用效率。

### 2.3.2 不同典型年灌溉需水与实际引水对比

分析灌区灌溉需水量与实际引水量逐月变化过程,可为灌区合理调配水源提供依据。不同水文典型年逐月需水量与实际引水量如表 5 所示,表中个别月份灌溉修正需水量为负值,说明该月修正后土壤储水量有盈余。

表 5 不同水文典型年逐月灌溉需水量与实际引水量

万 m<sup>3</sup>

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1996 年	灌溉需水量	410.47	349.78	2305	2115.8	4998.8	2348.1	5682.1	4980.5	2196.2	86.948	-217.3	482.86
	实际引水量	1862.1	2390.6	5519.9	2666	4617.7	1410.8	930.6	2300	212.5	0	3570.2	4985.2
2004 年	灌溉需水量	391.91	-21.39	1869.1	4106.8	5163.3	4113.4	5293	1899	1108.4	1174.5	-57.44	1.8014
	实际引水量	1525.5	2105.5	796.36	3001.8	1400	3352.7	2200	665.45	0	0	0	945.45
2005 年	灌溉需水量	378.15	388.09	2007.5	3940.1	4028.1	3117.9	6901.1	4232.2	2002.6	825.74	48.252	89.592
	实际引水量	990.91	2467.3	4416.4	2223.6	1601.8	3170.9	5125.5	1147.3	0	0	114.55	847.27

由表 5 可看出,4—9 月是灌区灌溉需水高峰期,灌区灌溉需水量在此期间达到最大值,而实际引水量要远小于灌区灌溉需水量。1—2 月、10—12 月是灌区灌溉需水较少的时段,除 1996 年加大引水和实施秋、冬季泡田以提高田间水量外,其他年份引水量都较少,9—10 月灌区主要耗水作物进入成熟期,需水量相应减少。

1996 年年降雨量虽然较大,但 5 月以前降雨偏少,3 月以后灌区灌溉需水量即开始增加,灌区在水源有保证的情况下加大了实际引水量,3 月的引水量达到 5 520 万 m<sup>3</sup>;6—10 月,灌区实际引水量与灌区灌溉蓄水量却呈现出较大差额,这可能是由于降雨量大,水源含沙量偏大,引水条件受到限制;10 月之后,由于水源来水充足,灌区继续加大引水量,通过泡田或蓄水灌溉保证水资源充分利用。2004 年,总的灌区需水量与实际引水量都较少,3—10 月灌区实际引水量均小于修正后的灌区需水量,但差额不大,较大值出现在 5 月和 7 月,分别为 3 763 万 m<sup>3</sup> 和 3 093 万 m<sup>3</sup>。2005 年虽然总降雨量较小,但降雨分布与作物需水吻合度较高,灌区通过加大引水力度、多方调水以满足灌区需水要求,但需水关键期的 5、7、8 月,实际引水量尚不足。

## 3 结 论

1)1989—2011 年,灌区主要作物的作物需水量变化较稳定,而灌区灌溉需水量则受降雨量、作物种植结构影响较大。降雨量的增加和灌区种植结构的调整使得灌区灌溉需水量呈减少趋势。降雨量及其年内分布对灌区需水量与需水过程均有影响。

2)灌区实际引水量多年呈略减少趋势,1989—2011 年灌区实际引水量基本小于修正后的灌区灌溉需水量,灌区水资源短缺。降雨较多的年份,灌区引水量增加,表明北方灌区灌溉管理具有特殊性。年降雨量相近的年份并没有表现出相同的灌水需求。

需说明的是,计算灌区作物需水量没有考虑气象因素及土壤特性的空间变异性,没有考虑计算时段始末的土壤水分变化情况。

### 参考文献:

- [1] 秦大庸,于福亮,裴源生.宁夏引黄灌区耗水量及水均衡模拟[J].资源科学,2003,25(6):19-24.
- [2] 赵文举,马孝义,吕静涓,等.灌区水量分配的公平性研究[J].灌溉排水学报,2009,28(4):59-61.
- [3] 陕西省水利水土保持厅,西北农业大学.陕西省作物需水量及分区灌溉模式[M].北京:水利电力出版社,1992.
- [4] 尚虎君.作物需水量计算模型组件及灌区需水过程研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.

# Effect Factors and Tendency of Water Demand and Water Use in Guanzhong Irrigation District

WANG Chao<sup>1</sup>, NIU Wen-quan<sup>1,2</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences/the Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Based on the climate data, crop informations and observations of water diversion in Guanzhong irrigation district of Shaanxi province from 1989 to 2011, the relationship between irrigation water demand and actual water diversion was analyzed. The results demonstrated that crop water requirements were mainly affected by crop species and meteorological condition, etc., while key effect factors for irrigation water demand were irrigation district scale, precipitation, plant area and crop species. The actual water diversion had a significant correlation with farmers' water use habit and was also influenced by regional water resources, water quality, sediment concentration and district management. In rainy years, the actual water diversion tended to increase, which indicated the weakness of water regulation and distinctiveness of water resources and water diversion management in northern irrigation districts.

**Key words:** irrigation district; crop water requirement; irrigation water demand; quantity of water with-draw