

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2018.03.43

变化环境下宝鸡峡灌区农业需水量的合理确定

唐雅君¹, 魏晓妹²

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 基于宝鸡峡灌区 11 个气象站 30 年的气象数据、20 年的作物种植面积资料及灌溉水利用系数等资料, 分别用彭曼公式和定额法计算宝鸡峡灌区农业需水量, 利用趋势法及灰色关联分析法分析其变化特征及驱动因素, 并将计算结果与实际农业用水量对比讨论。结果表明: 在众多变化环境因素共同作用下, 1991 - 2010 年间宝鸡峡灌区农业需水量呈下降趋势, 其主要影响因素是种植面积及粮食作物种植比的减小。中等年及干旱年实际用水量接近于非充分灌溉条件下定额法计算出的农业需水量, 湿润年实际用水量介于定额法计算出的农业需水量与基于彭曼公式计算出的农业需水量之间。基于上述结论考虑灌区实际用水需求, 提出灌区农业需水量合理确定方法。

关键词: 变化环境; FAO Penman - Monteith 法; 定额法; 农业需水量; 宝鸡峡灌区

中图分类号: S271

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)03-0254-07

Reasonable determination of agricultural water demand in Baojixia Irrigation district under changing environment

TANG Yajun¹, WEI Xiaomei²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Based on the 30 - year meteorological data, 20 - year crop planting area data and coefficient of irrigation water utilization factor of 11 weather stations in Baojixia Irrigation district, the water demand of agriculture was calculated by Penman formula and quota method respectively, then trend analysis and gray relational analysis were used to analyze its changing characteristics and driving forces and discuss the results of the calculation and actual agricultural water consumption. The consequence suggests that under the combined action of many kinds of environmental factors, the agricultural water demand in Baojixia irrigation district shows a decreasing trend during 1991 - 2010. The main driving factors affecting the change of agricultural water demand are the reduction of planting area and the reduction of planting ratio of grain crops. The actual water consumption in middle years and in the arid years is close to the agricultural water demand based on the quota method in the case of under - sufficient irrigation. The actual water consumption in wet years is larger than the agricultural water demand calculated based on the quota method, less than the agriculture water demand calculated based on the Penman formula. Based on the above conclusions and considering the actual water demand in irrigation districts, a reasonable method for determining agricultural water demand is proposed.

Key words: changing environment; FAO Penman - Monteith method; quota method; agricultural water demand; Baojixia Irrigation district

1 研究背景

农业需水在灌区总用水中占有较高比重, 农业

需水量的大小既受气候变化的影响, 也与灌区种植结构、灌溉种植面积及灌溉水利用系数等人为因素密切相关。目前, 关于变化环境对灌溉需水量的影

收稿日期: 2017-12-12; 修回日期: 2018-02-05

作者简介: 唐雅君(1995-), 女, 安徽蚌埠人, 硕士研究生, 研究方向水资源规划及利用。

通讯作者: 魏晓妹(1957-), 女, 甘肃甘谷人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为水文及水资源。

响研究较多, Irmak 等^[1]、Liu 等^[2] 研究表明参考作物需水量 ET_0 与各项气候因素间相关性密切, 流域 ET_0 空间变化较大; Tansey 等^[3] 研究表明, 由于作物对温度, 太阳辐射和水汽压亏缺的敏感性强, ET_0 与作物种类相关性强; Feng 等^[4] 基于 STELLA 的供需模型研究表明, 在未来气象因素综合作用下, 除湿润年以外, 供水不能满足要求; 宋悦等^[5] 研究了变化环境下泾惠渠灌区的净灌溉需水响应, 结果表明总种植面积下降、种植结构调整和气候变化的综合作用使得灌区净灌溉需水量出现了小幅度的增加, 影响净灌溉需水量的主要因素是参考作物需水量和种植面积; 李萍等^[6] 研究了变化环境下农业需水量演变趋势及驱动力, 指出影响农业需水量变化的主要驱动因素为种植面积、降水量和蒸发量, 降水量的减少和蒸发量的增多使得作物需水量明显增多, 而农作物种植面积的减少, 引起农业需水量的显著减少; 冯东溥^[7] 研究灌区供需水量对变化环境的响应和农业用水安全问题, 研究表明人类活动因子中对灌区农业需水量影响程度的大小顺序为种植面积、种植结构、灌溉水有效利用系数; 于涛^[8] 以玉米种植为例分析计算灌溉需水量, 并讨论定额法计算灌溉需水量时应注意的问题; 宋扬等^[9] 分析了泾惠渠灌区作物需水量特征及影响因素, 认为作物需水量与气温呈正相关, 与降水呈负相关, 与风速和相对湿度相关性较小, 气温、日照时数和相对湿度是影响作物需水量的主要因素; 张智韬等^[10] 分析了作物种植变化对灌溉需水量的影响, 泾惠渠灌区总的作物需水量和灌溉需水量的下降主要是由农作物种植面积大量减少所致, 种植结构的变化对其影响较小, 但灌区种植结构调整后的作物需水量状况更符合区域有效降水特点。

农业需水量的准确计算直接关系到灌区的供需水量平衡及水资源的合理配置, 探讨变化环境下灌区农业需水量的合理确定问题对农业水资源的合理利用具有重要的理论意义和应用价值。然而, 有关灌区农业需水量的确定由于研究者的出发点不同, 采用方法不同, 相应计算结果也存在较大的差异, 尤其是单一方法的计算结果也存在不确定性。在目前对农业需水量的研究中, 较常用的是 FAO Penman - Monteith 法^[11] 和定额法。FAO Penman - Monteith 法估算值精度高且具备良好的可比性。基于定额法计算农业需水量的方法简单, 在具有准确灌水定额的情况时, 确定水文年、选定合适的灌水定额后, 可以得到充分灌溉条件下和非充分灌溉条件下的农业需水量的计算

结果。但由于灌区供用水的主体与客体之间缺乏有机联系, 需水量计算与实际用水量脱节, 计算的农业需水量难以反映灌区群众的用水意愿、灌水习惯及比较利益等实际用水问题, 计算需水量难以指导灌区实际用水行为。针对上述情况, 本文利用 FAO Penman - Monteith 法和定额法计算宝鸡峡灌区农业需水量, 根据实际用水情况对灌区农业需水量进行分析, 提出灌区农业需水量合理确定方法。

2 资料与方法

2.1 灌区概况与资料来源

宝鸡峡灌区灌溉宝鸡、咸阳、西安 3 市 14 县(区)的 $19.44 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 农田, 其中有效灌溉面积 $18.85 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 是陕西省最大的国有灌区。同时, 该灌区具有 30 年的气象、20 年种植面积及灌溉用水量统计资料。灌区农作物主要由粮食作物和经济作物构成。粮食作物以冬小麦、玉米为主, 经济作物主要有油菜、棉花和果类。

研究所用的气象资料来自陕西省气象局, 包括灌区内 11 个气象站 1981 - 2010 年降水量、气温、蒸发量、相对湿度、日照时数和风速的逐月资料, 以及各站点海拔高度、经纬度等地理信息。通过调研获得灌区 1991 - 2010 年粮食作物和经济作物种植面积资料以及农作物总播种面积资料。

2.2 作物需水量的计算方法

FAO Penman - Monteith 公式计算参考作物需水量 ET_0 。公式如下:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

式中: ET_0 为参考作物需水量, mm/d; Δ 为饱和水汽温度曲线斜率, kPa/°C; Rn 为作物表面的净辐射量, MJ/(m² · d); G 为土壤热通量密度, MJ/(m² · d); e_s 为饱和水汽压, kPa; e_a 为实际水汽压, kPa; $e_s - e_a$ 为饱和气压亏缺量, kPa; T 为地面以上 2 m 处的平均温度, °C; γ 为湿度计常数, kPa/°C; u_2 为地面以上 2 m 处的风速, m/s。

本文采用作物系数法^[12] 计算灌区主要作物需水量。对于某一具体的作物 j , 其整个生育期的需水量等于该作物在各个生育阶段的作物系数与同期参考作物需水量的乘积, 即:

$$(ET_c)_j = \sum (Kc_i)_j (ET_{0i})_j \quad (2)$$

式中: $(ET_c)_j$ 为第 j 种作物全生育期的需水量, mm;

$(ET_{0i})_j$ 为第 j 种作物第 i 月份的参考作物需水量, mm; $(Kc_i)_j$ 为第 j 种作物第 i 月份的作物系数, 根据《陕西省作物需水量及分区灌溉模式》^[13] 关中西部宝鸡峡灌区的作物系数得到。

2.3 灌区农业需水量的计算方法

(1) 基于作物需水量的灌区农业需水量计算方法。利用农田水量平衡方程^[14] 及作物种植面积, 计算得到灌区净灌溉农业需水量, 将净灌溉需水量除以灌溉水利用系数得到毛灌溉需水量。

农田水量平衡方程计算公式为:

$$I_N = \Delta W + ET_c - P_e - G \quad (3)$$

式中: I_N 为作物全生育期内的净灌溉需水量, mm; ET_c 为作物全生育期内总需水量, mm; ΔW 为作物生育期内土壤水分变化量, mm; P_e 为作物生育期内有效降水量, mm; G 为作物生育期内地下水补给量, mm。

在计算作物净灌溉需水量时, 考虑宝鸡峡灌区地下水埋深普遍大于 3 m 且灌区土壤水分变化量不明显, 故忽略地下水补给量及土壤水分变化量^[15]。上式可简化为:

$$I_N = ET_c - P_e \quad (4)$$

灌区作物生育期内的有效降水计算公式如下:

$$P_e = \delta \cdot P \quad (5)$$

式中: P_e 为作物生育期有效降水量, mm; P 为作物生育期降水量, mm; δ 为降水有效利用系数, 通过查阅《陕西省作物需水量及分区灌溉模式》^[13] 得到。

灌区农田净灌溉需水量为各种作物净灌溉需水量之和。作物净灌溉需水量由作物全生育期内的净灌溉需水量和作物种植面积相乘而确定, 其计算公式为:

$$W = \sum_{j=1}^N W_j = \frac{1}{1000} \sum_{j=1}^N A_j (I_N)_j \quad (6)$$

式中: W 为灌区农田净灌溉需水量, 10^8 m^3 ; W_j 为灌区第 j 种作物净灌溉需水量, 10^8 m^3 ; A_j 为灌区第 j 种作物的种植面积, 10^4 hm^2 ; $(I_N)_j$ 为第 j 种作物全生育期内的净灌溉需水量, mm; N 为作物种类数。

毛灌溉需水量^[16] 是包含损失在内的灌溉需水量, 采用下式计算:

$$W = \frac{W_j}{\eta} \quad (7)$$

式中: W 为毛灌溉需水量, m^3 ; W_j 为净灌溉需水量, m^3 ; η 为灌溉水利用系数。

(2) 基于定额法的灌区农业需水量计算方法。依据陕西省行业用水定额 (DB 61/T 943 -

2014)^[17], 确定作物灌溉用水定额。定额法计算公式如下:

$$\sum_{j=1}^N W_j = \sum_{j=1}^N (A_j \cdot M_j) \quad (8)$$

式中: W_j 为第 j 种作物净灌溉需水量, m^3 ; A_j 为第 j 种作物灌溉面积, hm^2 ; M 为第 j 种作物灌溉用水定额, m^3/hm^2 。

2.4 变化环境下农业需水量的变化特征与驱动因素的分析

基于彭曼公式计算出充分灌溉条件下的农业需水量后, 运用趋势法分析变化环境下农业需水量的演变特征及影响因素, 在此基础上, 利用灰色关联法^[18] 分析影响农业需水量变化的主要驱动因素。灰色关联分析法是一种多因素系统分析法, 计算关联度越大说明该变化环境因子对农业需水量的影响越大, 其计算步骤如下:

(1) 确定分析序列

设农业需水量为因变量序列, 降水量、日照时数、相对湿度、平均温度、平均风速、粮食作物比、种植面积、灌溉水利用系数为自变量序列。因变量序列为参考序列 X_0 , 自变量序列为 $X_i (i = 0, 1, 2, \dots, 7)$, 这 8 个序列构成一个矩阵 $X = (X_0, X_1, X_2, \dots, X_8)$ 。

(2) 求各序列的初值像

$$\begin{aligned} \text{令 } X'_i &= X_i/x_i(1) \\ &= (x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(m)) \end{aligned} \quad (9)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, 7$$

(3) 求差序列

$$\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)| \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, 7$$

$$\Delta_i = (\Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(m)) \quad (11)$$

$$i = 1, 2, \dots, 7$$

(4) 求两级最大差与最小差

$$M = \max_i \max_k \Delta_i(k), m = \min_i \min_k \Delta_i(k) \quad (12)$$

(5) 求关联系数

$$\gamma_{0i}(k) = \frac{m + 0.5M}{\Delta_i(k) + 0.5M} \quad (13)$$

$$k = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, 7$$

(6) 计算关联度

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \gamma_{0i}(k), i = 1, 2, \dots, 7 \quad (14)$$

由上述计算方法, 根据宝鸡峡灌区 20 年各气候因素与各人类活动因素的测量值, 得出各变化环境因子对农业需水量的灰色关联度表(表 1)。

表 1 变化环境因子对农业需水量的灰色关联度

种植 面积	粮食 作物比	日照 时数	相对 湿度	灌溉水 利用系数	风速	平均 温度	降雨量
0.798	0.761	0.752	0.746	0.742	0.739	0.717	0.670

2.5 农业需水量的合理确定

根据农业需水量以及实际用水量的对比分析,考虑变化环境因素对农业需水量的影响,同时考虑国家最严格水资源管理制度^[19]实施、节水灌溉技术^[20]推广以及群众灌溉意愿及用水需求,提出变化环境下灌区农业需水量的合理确定方法。

3 结果与分析

3.1 变化环境下农业需水量的变化特征及驱动因素分析

(1)农业需水量的变化趋势分析。根据宝鸡峡灌区 20 年农田净灌溉与毛灌溉需水量计算值绘出灌区农田灌溉需水量年际变化图如图 1 所示。根据图 1 中线性倾向分析,灌区农业需水量在近 20 年来总体呈下降趋势。

(2)变化环境对农业需水量的影响分析。影响农业需水量的变化环境因素分为气候因素和人类活动因素。其中对参考作物需水量影响较大的气候因子有温度、日照时数、风速、降水量、相对湿度。人类活动因子有作物种植结构、作物种植面积及灌溉水利用系数。

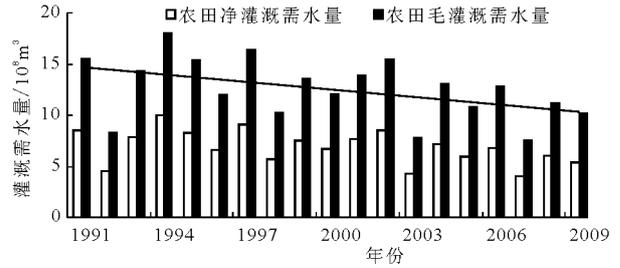


图 1 灌区农田灌溉需水量年际变化图

气候因素分析如下:

依据宝鸡峡灌区 20 年农业需水量计算值与各气候因素的测量值作出灌区各气候因素与农业需水量的对比图如图 2 所示。由图 2 看出,农业需水量和降水量、相对湿度呈负相关关系,农业需水量和日照时数、风速、平均温度呈正相关关系。图 2(a)为降水量与农业需水量对比图,灌区降水量增大,农业需水量则减小,在 2003 年,降水量达到最大值,农业需水量达到最小值。图 2(b)为相对湿度与农业需水量的对比图,灌区相对湿度增大,农业需水量则减小,在 2003 年,相对湿度达到最大值,农业需水量达到最小值。图 2(c)为日照时数与农业需水量的对比图,日照时数与农业需水量同增同减,农业需水量和日照时数的转折点也有很高的一致性。图 2(d)为风速与农业需水量的对比图,农业需水量和日照时数的曲线趋势相同。图 2(e)为平均温度与农业需水量的对比图,农业需水量和平均温度的曲线趋势及转折点的位置一致。

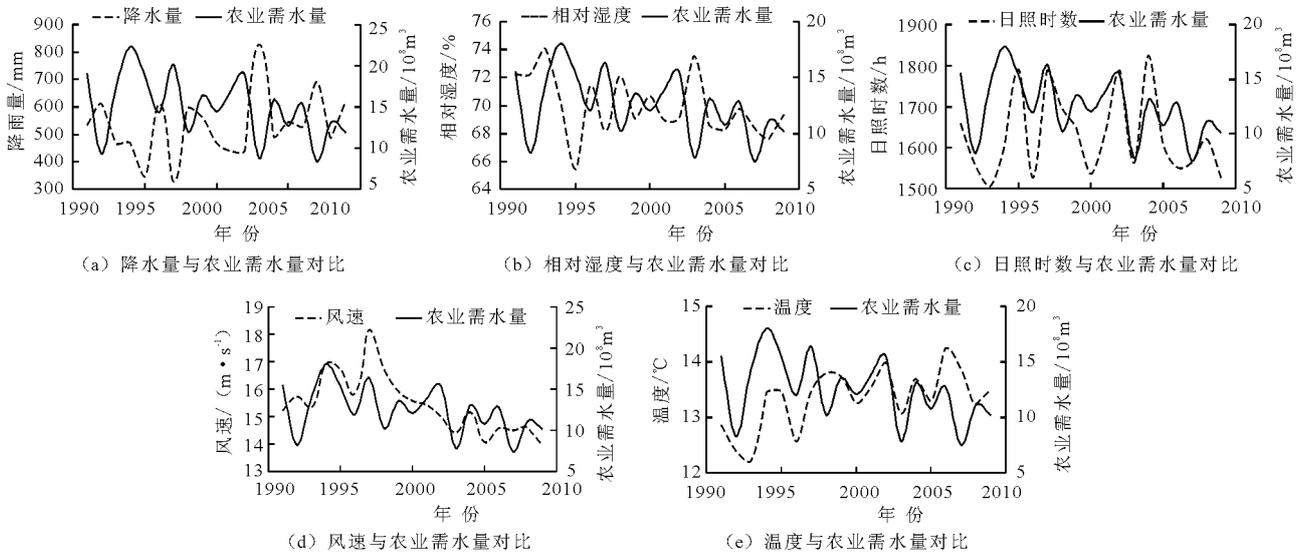


图 2 灌区各气候因素条件与农业需水量对比图

人类活动因素分析如下:

影响灌区农业需水量的人类活动因素主要有灌

溉水利用系数、粮食作物比及作物种植面积。灌溉水利用系数是指灌入田间可被作物利用的水量与渠

首引水量的比值,是衡量节水灌溉水平的一个重要指标。灌溉水利用系数与灌区农业需水量呈负相关关系,灌溉水利用系数的值越高,损耗的水量越少,农业用水效率越高。宝鸡峡灌区为大型灌区,灌溉渠系建设标准较高,灌溉制度管理规范,近30年来灌溉水利用系数保持在0.53~0.56,因此灌溉水利

用系数对农业需水量的影响无法从与农业需水量对比关系图观察得出。

图3为灌区粮食作物比及种植面积与农业需水量对比图。由图3可知,农业需水量和粮食作物比、种植面积呈正相关关系。

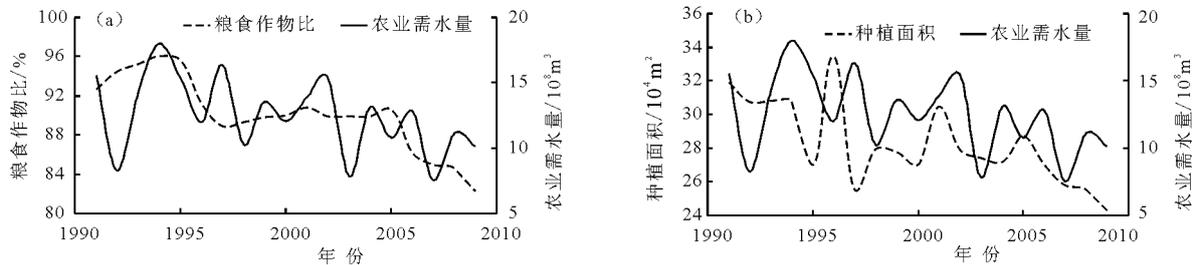


图3 灌区粮食作物比及种植面积与农业需水量对比图

3.2 农业需水量的主要驱动因素分析

根据表1中的数据,各变化环境因子对农业需水量影响的排序如下:种植面积>粮食作物比>日照时数>相对湿度>灌溉水利用系数>风速>平均温度>降水量,种植面积为灌区农业需水量减少的最大影响因子。

3.3 变化环境下农业需水量与实际用水量的对比分析

(1)农业需水量与用水量变化趋势及变化特征分析。基于彭曼公式计算的灌区1991-2010年充分灌溉条件下农业需水量与实际用水量的变化趋势如图4所示,20年来灌区农业需水量及用水量均呈逐年下降的趋势。

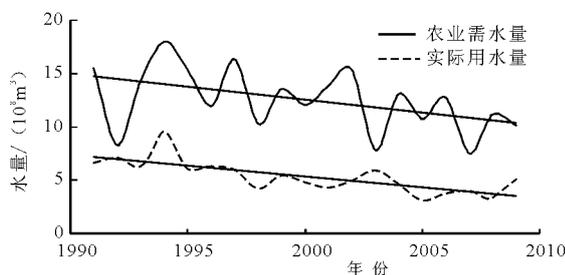


图4 农业需水量与实际用水量变化趋势图

灌区农业需水量与实际用水量数据基本统计特征值如表2所示。综合分析图4及表2可知,充分灌溉条件下灌区农业需水量的均值、最大值、最小值均大于实际用水量的各特征值。充分灌溉条件下灌区农业需水量与实际用水量的最大值出现在1994年,降水量为465.764 mm,降水频率为68%;实际用水量在2005年达到最小值,降水量为545.818 mm,降水频率是42%;农业需水量在2007年达到

最小值,降水量为688.964 mm,降水频率为12%。因此可以认为接近干旱年时灌区农业需水量与实际用水量达到最大值,在接近湿润年时农业需水量与实际用水量达到最小值。

表2 宝鸡峡灌区农业需水量与实际用水量

项目	数据基本统计特征值		
	均值	最小值	最大值
实际用水量	5.329	3.069	9.535
农业需水量	12.537	7.499	18.014

(2)不同水文年灌区农业需水量与用水量的比较分析。灌区不同水文年充分和非充分灌溉条件下农业需水量与实际用水量的对比结果如表3所示,在中等年及干旱年时,实际用水量既小于基于定额法计算出的农业需水量,也小于基于彭曼公式计算出的农业需水量,更接近于非充分灌溉条件下基于定额法计算出的农业需水量。基于定额法计算的非充分灌溉条件下的农业需水量是考虑在保证作物需水要求的同时又考虑节水原则的情况,而在灌区实际用水中,受水价、经济利益及灌水习惯的影响,农民会根据经验对农田进行灌溉,在保证作物需水要求的同时又充分考虑用水成本问题,所以利用非充分灌溉条件下的灌溉用水定额计算出的农业需水量更接近实际用水量。在湿润年时,实际用水量大于基于定额法计算出的农业需水量,略小于基于彭曼公式计算出的农业需水量,分析原因是湿润年时供水充足,充分灌溉以提高农作物产量,对农田进行了充分的灌溉。此外,可能存在种植观念改变,农业灌溉政策的调整最终导致实际用水量偏小的情况。出

现实际用水量与农业需水量存在较大差距的原因可能是我国城市化进程加快,城镇居民生活用水和工业用水大幅增加,但供水不足,通过挤占农业用水来维持国民经济的高速发展,导致灌溉供水无法保证农田产量,所以需要提高农田灌溉的重视程度以合理的利用水资源。

表 3 不同水文年农业需水量与实际用水量 $10^8 m^3$

典型年	充分灌溉		非充分灌溉	实际用水量
	定额法	彭曼公式	定额法	
湿润年	5.55	8.26	3.98	7.06
中等年	7.58	12.77	5.54	3.76
干旱年	10.83	15.41	7.49	4.91

3.4 变化环境下灌区农业需水量的合理确定

实际用水量和基于彭曼公式计算的充分灌溉条件下农业需水量的对比分析见表 4,不同水文年实际用水量和基于定额法计算的充分与非充分灌溉条件下农业需水量对比分析表如下表 5 所示。根据两表所列数据,并结合不同计算结果分析及实际用水需求,对灌区需水量的合理确定进行分析。

由表 4 可知,实际用水量与基于彭曼公式计算的充分灌溉条件下农业需水量倍比为 30% ~ 40% 的年份降水量少,属干旱年,供水不足;倍比为 40% ~ 50% 的年份属中等年,农业供水有限;但偶有年份,如 1992 年 2003 年,倍比为 86%、75%,是由于在 1992 年及 2003 年降水量极大,供水量充足,实际用水量接近

充分灌溉条件下彭曼公式计算出的农业需水量。

表 4 实际用水量和基于彭曼公式计算的充分灌溉条件下农业需水量的对比分析

年份	实际用水量/ $10^8 m^3$	基于彭曼公式的充分灌溉条件下农业需水量/ $10^8 m^3$	实际用水量和农业需水量的倍比/%
1991	6.64	15.54	43
1992	7.06	8.26	86
1993	6.32	14.29	44
1994	9.54	18.01	53
1995	6.03	15.40	39
1996	6.26	11.99	52
1997	6.00	16.35	37
1998	4.23	10.25	41
1999	5.40	13.57	40
2000	4.76	12.05	40
2001	4.28	13.89	31
2002	4.91	15.41	32
2003	5.87	7.80	75
2004	4.62	13.10	35
2005	3.07	10.79	28
2006	3.76	12.77	29
2007	4.01	7.50	53
2008	3.39	11.13	30
2009	5.11	10.15	50

表 5 不同水文年的实际用水量和充分与非充分灌溉条件下农业需水量对比分析

项 目	湿润年				中等年		干旱年	
	2009	1996	1992	1998	1991	2006	2002	2001
各年份的降水频率/%	22.95	24.85	25.09	28.05	45.70	48.03	74.64	75.66
定额法计算的充分灌溉条件下农业需水量/ $10^8 m^3$	4.66	5.97	5.55	5.16	8.62	7.58	10.83	11.65
定额法计算的非充分灌溉条件下农业需水量/ $10^8 m^3$	3.36	4.22	3.98	3.66	6.58	5.54	7.49	8.03
各年份的实际用水量/ $10^8 m^3$	5.11	6.26	7.06	4.23	6.64	3.76	4.91	4.28
实际用水量与定额法充分灌溉条件下农业需水量倍比/%	110	105	127	82	77	50	45	37
实际用水量与定额法非充分灌溉条件下农业需水量倍比/%	152	148	177	116	101	68	65	53

由表 5 可知,湿润年实际用水量为基于定额法计算出的充分灌溉农业需水量的 80% ~ 110%,是

基于定额法计算出的非充分灌溉农业需水量的 120% ~ 150%;中等年的实际用水量为基于定额法

计算出的充分灌溉农业需水量的 50% ~ 80%, 是基于定额法计算出的非充分灌溉农业需水量的 70% ~ 100%; 干旱年的实际用水量为基于定额法计算的充分灌溉农业需水量的 35% ~ 45%, 是基于定额法计算出的非充分灌溉农业需水量的 50% ~ 70%。通过农业需水量与实际用水量的对比分析可知, 在湿润年供水充足的条件下, 灌溉充分, 实际用水量偏高; 在中等年及干旱年时, 灌区普遍供水不足, 实际用水量偏小。考虑国家最严格水资源管理制度实施, 农业需水量合理确定值应控制在根据彭曼公式计算出的充分灌溉条件下农业需水量的 40% ~ 60%, 并用定额法进行校核, 不宜低于非充分灌溉条件下定额法确定农业需水量, 以避免减产, 充分考虑水资源利用效率和灌溉的经济性, 不宜超过充分灌溉条件下定额法确定农业需水量的计算值。

4 结 论

在众多变化环境因素共同作用下, 宝鸡峡灌区近 20 年农业需水量呈下降趋势, 并用灰色关联分析法计算出各变化环境因子与灌区农业需水量的灰色关联度, 认为导致近 20 年灌区农业需水量下降的主要变化环境因素是种植面积的减小及粮食作物种植比的减小。

对比分析不同水文年条件下实际用水量与农业需水量, 得出灌区农业需水量的合理确定值为根据彭曼公式计算出充分灌溉条件下灌区农业需水量的 40% ~ 60%, 并用定额法进行校核, 其值应介于定额法计算出的非充分灌溉及充分灌溉条件下农业需水量之间。

参考文献:

- [1] IRMAK S, KABENGE I, SKAGGS K E, et al. Trend and magnitude of changes in climate variables and reference evapotranspiration over 116-yr period in the Platte River Basin, central Nebraska - USA[J]. *Journal of Hydrology*, 2012, s 420 - 421(4): 228 - 244.
- [2] LIU Changming, ZHANG Dan, LIU Xiaomang, et al. Spatial and temporal change in the potential evapotranspiration sensitivity to meteorological factors in China (1960 - 2007)[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(1): 3 - 14.
- [3] TANSEY M K, FLORESLOPEZ F, YOUNG C A, et al. Assessment of climate change impacts on agricultural water demands and crop yields in California's Central Valley [C]// AGU Fall Meeting. AGU Fall Meeting Abstracts, 2012.
- [4] FENG Dongpu, WEI Xiaomei, JIANG Yanan, et al. Simulation of agricultural water supply and demand at irrigation district under climate change using STELLA[J]. *Nongye Gongcheng Xuebao/transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(6): 122 - 128.
- [5] 宋悦, 粟晓玲. 变化环境下泾惠渠灌区净灌溉需水的响应[J]. *节水灌溉*, 2015(7): 90 - 94.
- [6] 李萍, 魏晓妹. 变化环境下农业需水量演变趋势及驱动力[J]. *排灌机械工程学报*, 2013, 31(9): 822 - 828.
- [7] 冯东溥. 灌区供需水量对变化环境的响应及农业用水安全评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [8] 于涛. 定额法计算灌溉需水量[J]. *现代农业科技*, 2013(14): 202.
- [9] 宋扬, 李慧, 周维博, 等. 泾惠渠灌区作物需水量特征及影响因素[J]. *排灌机械工程学报*, 2016, 34(8): 703 - 708.
- [10] 张智韬, 粟晓玲, 党永仁, 等. 泾惠渠灌区作物种植结构变化对灌溉需水量的影响[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(10): 122 - 130 + 100.
- [11] 王仰仁. 灌溉排水工程学报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [12] 孙世坤, 蔡焕杰, 王建. 石羊河流域春小麦灌溉需水量时空分布研究[J]. *节水灌溉*, 2010(5): 22 - 27.
- [13] 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.
- [14] 刘钰, 汪林, 倪广恒. 中国主要作物灌溉需水量空间分布特征[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 6 - 12.
- [15] 张丽, 魏晓妹, 赵凤伟, 等. 宝鸡峡灌区农田灌溉水量供需平衡分析[J]. *人民黄河*, 2007, 29(4): 46 - 48.
- [16] LIU Y, TEIXEIRA J L, ZHANG H J, et al. Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China plain[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 36(3): 233 - 246.
- [17] 陕西省质量监督局. DB 61/T 943 - 2014 陕西省地方标准行业用水定额[S]. 陕西省水利厅, 2014.
- [18] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [19] 王立洪, 管瑶. 节水灌溉技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
- [20] 国务院. 国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见[Z]. 2012 - 01 - 12.