

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.03.007

重庆市不同规模灌区农灌水有效利用系数测算与对比研究

张 威¹, 邵景安^{1,2}, 刘 毅¹, 陈 娟¹, 牟耀杰¹

1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331

摘要: 通过对重庆市不同规模灌区农田灌溉用水有效利用系数计算结果的比较研究, 对出现的中型灌区农田灌溉用水有效利用系数大于小型灌区的结果进行合理性分析, 并为重庆市农田灌溉用水有效利用系数的进一步提高, 提出相关建议, 为政府相关部门的科学决策提供参考。综合考虑重庆的地形、气候、土壤等因素, 根据选定灌区的实测数据, 采用首尾测算法计算 2017 年重庆市不同规模灌溉农田灌溉水的有效利用系数, 采用单因素和主成分分析法, 分析影响农田灌溉水有效灌溉系数的主要因素。1) 通过测算, 2017 年重庆市中型灌区农田灌溉水有效利用系数为 0.499, 小型灌区为 0.487, 推算全市为 0.495; 2) 在影响农田灌溉水有效利用系数的主要因素中, 当地的节水工程和管理状况所占的比例大于自然因素; 3) 中型灌区在节水工程的投资、管理和维护等方面均优于小型灌区; 4) 自然因素中, 降水量对农田灌溉水有效利用系数具有一定的负面影响。

关键词: 重庆市; 灌溉水有效利用系数; 首尾测算法; 对比研究

中图分类号: S274.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2020)03-0043-10

农田灌溉水有效利用系数(以下简称农灌水有效利用系数), 是指某个时间段或某次灌溉中被农田吸收的净用水量与渠首水源引入的总水量的比值。主要采用首尾测算分析法来计算, 方法为直接用灌入田间可被农作物吸收利用的水量(净灌溉用水量)与灌区从水源取用的灌溉总水量(毛灌溉用水量)的比值来计算^[1]。它能间接反映出灌区灌溉基础设施完好率、灌溉管理和技术的指标, 也能作为灌区农业灌溉水利用效率的重要评价指标^[2-4]。

重庆市是典型的山区城市, 多丘陵和山地地形, 可进行耕作的面积较少。同时, 重庆市大部分地区还处于喀斯特地貌区, 特别是山区农田灌溉用水短缺, 整体上的农灌水有效利用系数比较小, 提升农田灌溉水利用效率迫在眉睫。再者, 水资源与环境矛盾突出, 成为制约重庆市水资源可持续利用的主要因素^[5]。重庆市灌溉区具有田块偏小、坡度偏大、分布偏散的特点, 所以进行农灌水有效利用系数测算分析的难度较大。近年来, 测算农灌水有效利用系数较多的当属首尾测算分析法, 因其操作简便, 准确率较高, 同时能够减少工作量和测算过程中的一些不确定因素, 而被广泛使用^[6-9]。虽然有些学者对个别省市的农灌水有效利用系数进行了测算分析, 但得到的结果却存在着较大差异, 很多数据不够准确^[10]。本研究在重庆市农灌水有效利用系数测算分析的过程中发现, 中型灌区农灌水有效利用系数大于小型灌区, 这与小型灌区农灌水有效利用系数大于中型灌区的现象相反, 带着对结果准确性的疑问, 笔者进行了首尾测算法应用重庆市农灌水有效利用系数测算的可行性研究, 还采用单因素和主成分分析法, 找出其测算过程中的影响因素和存在的一些问题, 为今后的农田灌溉管理提出参考建议, 达到提

收稿日期: 2018-11-01

基金项目: 国家科技支撑计划课题项目(2015BAD07B04)。

作者简介: 张 威(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事土地利用与生态过程研究。

通信作者: 邵景安, 研究员。

高农灌水有效利用系数的目的。

1 材料与方法

1.1 区域概况

重庆市面积为 8.24 万 km^2 ，省界线形状类似一个“山”字，位于我国西南地区，同时还处于长江上游区域。重庆共统辖 38 个区县，其中有 26 个区、8 个县、4 个自治县。海拔高差 2 723.7 m，其境内的山地(76%)、丘陵(22%)面积占据全市范围大部分，河谷和平坝面积(2%)较少，因此山地多而耕地少。农作物主要有水稻、油菜、玉米、大豆、蔬菜等，主要灌溉方式为自流引水和提水。重庆的气候条件属于典型的亚热带季风气候，又有长江横贯全境，全年较为湿润温和，水资源较丰富。降雨量时空分布不平衡，在时间上主要集中在 5—9 月，所降水量占全年总降水量的 70% 以上，空间分布上，主要分布在东南部和东北部，降水量由东向西逐渐削减。

素有“山城”之称的重庆，因其特殊地形地貌，耕地多分布于山谷丘陵地区，具有特殊性的同时又兼具西南山区丘陵的代表性。具有西南地区相同的热带季风气候，温暖湿润的同时又有以火炉冠称的独特性。选取确定的样点灌区分布如图 1 所示。

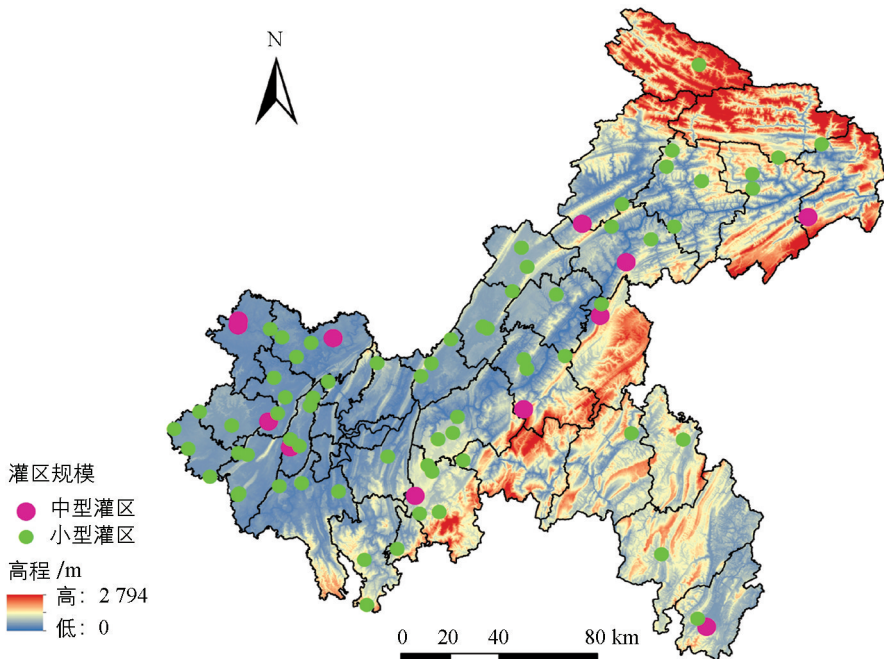


图 1 样点灌区分布图

1.2 研究方法

1.2.1 研究思路

重庆市农灌水有效利用系数的测算是以区县展开的，选取有代表性的区县，然后在各个区县下面确定不同规模和类型的样点灌区，每个灌区具有相应的典型田块，每个灌区内选取的种植农作物主要是水稻和蔬菜。首先，通过使用直接量测的方法，测量计算样点灌区典型田块每次灌水的田间净灌溉用水量 $W_{\text{田净}}$ 和渠首总引水量的毛灌溉用水总量 $W_{\text{样毛}}$ ；其次，利用 $W_{\text{田净}}$ 推算出样点灌区的年净灌溉用水总量 $W_{\text{样净}}$ ，同时推算样点灌区年毛灌溉用水总量 $W_{\text{样毛}}$ ；然后，得出各个样点灌区的农灌水有效利用系数 $\eta_{\text{样}}$ ；最后，加权平均计算得出不同规模灌区农灌水有效利用系数，再通过加权平均计算获得全市地区的农灌水有效利用系数 $\eta_{\text{市}}$ 。测算流程如图 2 所示。

1.2.2 样点灌区选取及代表性

全样点灌区的选取首先考虑农田规模、地形特点、种植结构等基础因素，再把农田基础设施状况、灌水管理与节水资金投入等作为重点考虑因素，总之，要让选择确定的样点灌区可以代表区域的实际状况。

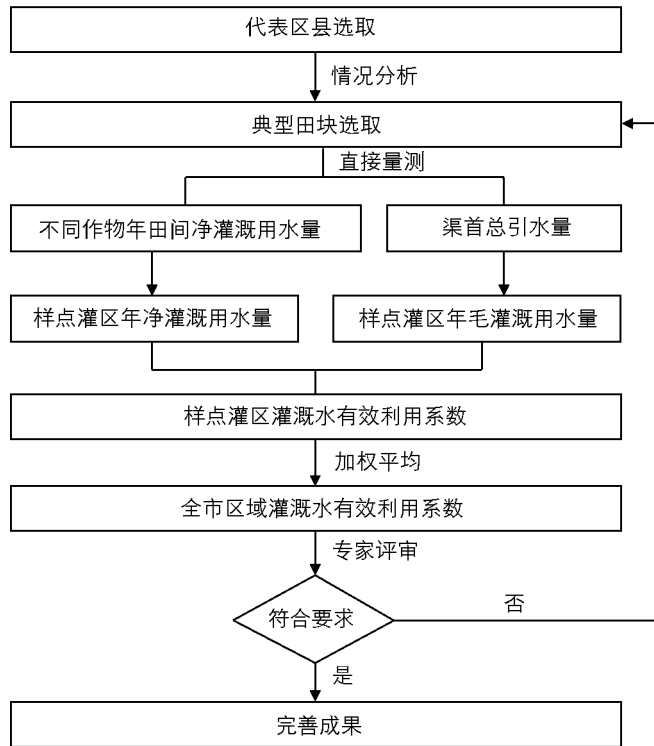


图 2 农灌水有效利用系数测算流程图

1) 地形、地理位置及经济发展. 重庆市的大型灌区为中小型打捆灌区, 2012 年后大型灌区拆分成中小型灌区进行测算分析^[11]. 加之整个市区范围内多丘陵和山地, 耕地基本都在山地丘陵地带, 农田灌溉形式大多以自流水为主. 在综合考虑重庆市各个灌区的地形特点、水系分布、土壤类型、作物种植结构、水利基础设施、管理水平等因素前提下, 将重庆市分为主城区、渝西、渝东北和渝东南 4 个地区. 38 个区县再加万盛经开区, 除去渝中区、江北区、南岸区、九龙坡区及沙坪坝区 5 个区县, 最终在其他 34 个区县中选取样点灌区, 其中主城区选取 4 处, 渝西地区选取 41 处, 渝东北选取 25 处, 渝东南选取 9 处. 其中 24 处位于山区, 53 处位于丘陵, 2 处位于平坝. 从地理位置分布和经济发展水平上都能够代表区域的平均水平, 具有较好的代表性.

2) 基础设施和管理水平. 管理水平高低按照相关专家评价分为“优”“中”“差”三级, 2017 年全市选取的 79 处样点灌区, 其中 12 个中型灌区中相对管理水平为“优”的有 4 处, “中”的 5 处, “差”的 3 处. 67 个小型灌区中相对管理水平为“优”的 16 处, “中”的 36 处, “差”的 15 处. 管理水平的“优”“中”“差”三级呈正态分布, 广泛分布在每个代表区县中, 具有较好的代表性. 在工程完好程度、渠系配套和观测监测设施配备上, 中型灌区相对较好的有 7 个, 较差的 5 个, 小型灌区相对较好的有 32 个, 较差的有 35 个, 从工程灌溉条件的选择上也具备一定的代表性.

综上所述, 样点灌区的选取准则基本上合乎《全国农田灌溉水有效利用系数测算分析技术指导细则》(以下简称《指导细则》)中的代表性、可行性和稳定性原则. 同时, 经过专家实地考察样点灌区的基本情况, 确定所选样点灌区是可行性灌区, 具备较好的代表性. 详细样点灌区概况如表 1 所示.

表 1 各样点灌区有效灌溉面积

样点灌区规模与类型		数量/处	提水灌区/处	自流灌区/处	有效灌溉面积/万 hm ²
中型灌区	3 333~10 000 hm ²	4	1	3	1. 173
	667~3 333 hm ²	8	1	7	1. 733
小型灌区		67	12	55	1. 449
总计		79	14	65	4. 356

1.2.3 典型田块选取及代表性

按照《指导细则》里面对典型田块的要求,本研究综合考虑了研究区域内的作物类型、灌溉方式、地形特点、土壤类型等因素,进行代表性选取,对所选典型田块的代表性详细剖析如下:

1) 作物种类和灌溉方式. 所选取的 79 处样点灌区共 222 个典型田块,其中,中型灌区上下游依次选取 3 个典型田块,小型灌区上下游分别选择 2 个典型田块,其中作物类型为水稻的 203 个、蔬菜 13 个、玉米 4 个、油料 2 个. 主要灌溉作物以水稻为主,90% 以上的水稻采用淹水灌溉,但灌溉设施较少,成规模的灌溉更少,仅遇天旱时各地区根据实际情况分散灌溉,最重要的是引水进行灌溉只是补充灌溉,大部分属于雨养型灌溉,灌溉方式基本符合灌区的实际情况.

2) 地形特点. 地貌类型以丘陵和山地居多,山地、丘陵以及河谷和平坝所占面积分别为 76%,22% 和 2%. 重庆的田块多是依山而耕,坡地较多,受地形地貌特点限制,畦田规格都较小,小于 0.33 hm² 的典型田块有 197 个,0.33~0.67 hm² 有 23 个,大于 0.67 hm² 的有 2 个. 大多采取横畦形式实施浇水,田块大体上平整度都不高. 本次所选择的典型田块 90% 以上位于山地丘陵,80% 以上均采用了横畦的方式进行灌溉. 地形地貌也大致符合实际情况.

3) 土壤类型. 重庆市灌区的耕作土壤多为粘质土(40%)、壤土(40%)和砂质土(20%). 本次测算分析选择的典型田块,粘质土占比约 41%,壤土占比约 36%,砂质土占比约 23%,与全市灌区土壤类型基本相符. 一般而言,沟谷地带土壤含水率高,本次测算的样点灌区 75% 位于丘陵沟谷地带,25% 位于山顶和山脊,5% 位于平坝,其土壤含水率与耕地的实际灌溉情况基本一致.

1.2.4 毛灌溉与净灌溉用水量实测

1) 毛灌溉用水量测算. 对于自流引水的灌区,主要是在主干渠使用流量流速测量仪测流速,或者使用安置的巴歇尔槽等量水槽. 用水位标尺读取每次灌水水位并记录持续时间,利用水位流量关系推算出每次的灌溉放水量,从而得到渠首水量;对于提水灌区,有采用安装的超声波流量计测得水量,有按提灌站运行时数和设计流量确定取水,也有采用测算抽水后的蓄水池面积与水深得到单次抽水的水量. 测算过程中需加入其他水源的供水量并且扣除非农田灌溉用水量的部分.

2) 净灌溉用水量测算. 主要采用直接量测法,在田间有水层的情况下,使用量水尺测量灌溉前后的田面水深,即可得到单位面积净灌溉用水量. 在观测位置安装测桩,利用测桩+水尺测量灌溉前的水位,正常灌溉后每 10 min 测定田间水层,至田间水层达到稳定,记录田间灌溉后的水位,同时对降水及排水前后进行观测记录,计算灌溉前后的水位变动状况得到单位面积净灌溉用水量. 当田间无水层时,首先要通过测量计算田间土壤计划湿润层的深度,记录灌溉前后的土壤水分和水深变化情况,便可得到各个田块每次注水的田间单位面积净灌溉用水量. 还可通过田块多个观测点的计划湿润层厚度数据进行平均,得到土壤平均含水量,再按照灌溉前后田间土壤含水量情况得到单位面积净灌溉用水量,从而获取净灌溉用水量.

3) 矫正方法. 样点灌区引水(取水)量直接从渠首进行统计复核,各样点灌区塘堰坝等的供水水量计算的检验参考水文手册和经验数据,对同一供水系统的农田灌溉用水量进行重点复核. 在观测记录方面采取两人同时蹲点的方式,一人观测记录,另一人复核校正. 另外在典型田块的入口安装三角堰、巴歇尔槽或水表,在田块出水口安装三角堰,使典型田块形成一个封闭的用水单元,计量进出口的水量来校验田块的净灌溉用水量.

1.2.5 计算方法

使用的是首尾测算分析法来计算农灌水有效利用系数,用直接灌入田间可被作物吸收利用的水量(净灌溉用水量)与灌区从水源取用的灌溉总水量(毛灌溉用水量)的比值来计算灌区农灌水有效利用系数^[1]. 计算公式如下:

$$\eta = \frac{W_{\text{净}}}{W_{\text{毛}}} \quad (1)$$

式中: η 为样点灌区农灌水有效利用系数; $W_{\text{净}}$ 为样点灌区净灌溉水总量,单位为 m³; $W_{\text{毛}}$ 为样点灌区毛灌溉水总量,单位为 m³. 具体公式和步骤参考《指导细则》,不再赘述.

中型灌区农灌水有效利用系数的测算为,以两个规模的样点灌区农灌水有效利用系数测算值为依据,使用算术平均法计算得出 667~3 333 hm² 和 3 333~10 000 hm² 灌区的农灌水有效利用系数;然后加权平均这两个规模的毛灌溉用水量,得出全市中型灌区的农灌水有效利用系数。而小型样点灌区农灌水有效利用系数的计算,主要以各个小型样点灌区农灌水有效利用系数为基础,直接通过算术平均法得出。计算得出的部分样点灌区农灌水有效利用系数如表 2 所示。

表 2 部分样点灌区农灌水有效利用系数

所在区县	样点灌区	净灌溉用水量/万 m ³	毛灌溉用水量/万 m ³	农灌水有效利用系数
北碚区	小桥灌区	49.072	102.190	0.480
巴南区	跃进灌区	24.662	49.492	0.498
渝北区	卫星灌区	39.593	81.000	0.489
涪陵区	红旗灌区	48.981	101.620	0.482
长寿区	渣渣桥灌区	34.057	70.600	0.482
江津区	永和灌区	9.699	19.924	0.487
合川区	双河灌区	964.072	1999.320	0.482
永川区	牛门口灌区	64.949	133.010	0.488
南川区	杜家沟灌区	31.352	65.100	0.482
綦江区	下朝阳灌区	35.419	75.200	0.471
潼南区	红岩嘴灌区	503.926	940.160	0.536
铜梁区	拦河堰灌区	43.594	88.950	0.490
大足区	江明灌区	21.209	45.650	0.465
荣昌区	龙滩子灌区	37.052	76.792	0.483
璧山区	金堂灌区	116.339	238.400	0.488
万州区	新田灌区	137.701	279.200	0.493
梁平区	红光灌区	48.744	104.220	0.468
城口县	蒲池灌区	18.257	38.500	0.474
丰都县	弹子台灌区	332.255	676.690	0.491
垫江县	东坎灌区	14.086	29.340	0.480
忠县	田丰水库灌区	5.710	12.200	0.468
开州区	龙安灌区	860.956	1 778.100	0.484
云阳县	金龙灌区	49.251	102.180	0.482
奉节县	明水灌区	9.332	18.100	0.516
巫山县	放马大堰灌区	148.522	301.200	0.493
巫溪县	红岩灌区	10.021	21.200	0.473
黔江区	丛山灌区	79.045	164.300	0.481
武隆县	东风灌区	95.084	171.200	0.555
石柱县	桃花大堰灌区	266.219	531.800	0.501
彭水县	三门坝灌区	15.998	31.505	0.508
秀山县	孝溪灌区	384.918	739.800	0.520
酉阳县	哨玉河大堰灌区	31.681	63.021	0.503
万盛经开区	万盛大槽灌区	18.269	38.124	0.479

根据分析计算得到的全市不同规模灌区农灌水有效利用系数平均值和相应的灌区毛灌溉用水量进行加权平均,推求全市农灌水有效利用系数平均值为 0.495,如表 3 所示。

表 3 不同规模灌区农灌水有效利用系数

灌区规模	毛灌溉用水量/万 m ³	农灌水有效利用系数	全市农灌水有效利用系数
中型灌区	8 525.18	0.499	0.495
小型灌区	4 160.52	0.487	

2 结果与分析

从上述测算结果中,我们可以得到 2017 年重庆市农灌水有效利用系数为 0.495,中型灌区农灌水有效利用系数与小型灌区农灌水有效利用系数相差不大,可是却小于小型灌区农灌水有效利用系数。一般灌区的规模与灌区的灌溉水有效利用系数呈负相关^[12-14]。灌区规模越小,其农灌水有效利用系数越大,而重庆市不同规模灌区农灌水有效利用系数与一般规律不符,冯保清^[12]也曾测算分析出西南地区个别省份灌区规模与灌区的农灌水有效利用系数出现了反常现象。接下来侧重论述形成此现象的原因及影响因素。

2.1 因素选取

农灌水有效利用系数的大小转变受到多重因素的影响,主要囊括自然和人为两大方面。本研究基于多年测算过程中数据指标收集的难易程度以及重庆市的实际情况,利用灌溉水流向跟踪法,查找、挑选影响灌区农灌水有效利用系数的主要因素^[15]。通过从渠首取水,到渠道引水,最后到农田的灌水,分析在水流动过程中的影响因素,能够较好地确保所选因素的全面性和代表性。首先,要考虑渠首取水,农田水利基础设施的完好率与节水工程和投资有关,何时取水以及取多少水,这与管理水平有关;其次,渠道引水,渠道的衬砌率和渠道长度代表节水工程和投资,其地形地貌影响渠道长度,进而土壤类型影响引水过程中的下渗状况,此过程中天气状况影响蒸散发;最后到达农田的灌水量为影响综合定额因素,水流所覆盖的面积影响实际灌溉面积因素,漫灌的农田也会受降水因素的影响。

基于上述分析,再结合样点灌区和典型田块的选取原则,将选取的因素分为自然因素包含降水、地形和土壤等方面,资源因素包括典型田块面积、人均耕地面积、粮食每公顷产量等,管理因素包括综合定额、实际灌溉面积等,工程因素包括节水灌溉工程面积、防渗漏系长度、完成节水工程投资等方面。

2.2 因子分析

样点灌区农灌水有效利用系数会受到多种因素的综合影响,通过主成分分析找出影响最大的因素,从而能进一步为提高灌区农灌水有效利用系数的措施方法提供理论支撑。通过实地调查收集每个灌区的原始数据,再结合灌区实际情况采用理论分析、频率统计和专家咨询等方法选取当年降水量(X_1)、灌区高程(X_2)、当年蒸散发量(X_3)、典型田块面积(X_4)、人均占有耕地(X_5)、粮食每公顷产量(X_6)、综合定额(X_7)、实际灌溉面积(X_8)、防渗漏系长度(X_9)、当年节水灌溉工程面积(X_{10})、当年完成节水工程投资(X_{11})和干渠衬砌防渗率(X_{12})12 个影响因素作为实验分析对象(表 4)。

主成分分析选择的是 SPSS 19.0 软件进行操作,最首要标准化原始的数据,然后再进行主成分的提取。基本步骤为:分析—降维—因子分析。先用方差最大法得到特征根,显示变量之间存在必然程度的相关性,主成分分析才具有合理性(表 5)。再运用 KMO 和 Bartlett 球度依次进行检验(表 6),输出结果中 KMO 的值为大于 0.5,且 Bartlett 球度检验统计量的伴随几率小于显著性水平 0.05,所选择代表的变量适合做因子分析。

表 4 影响农灌水有效利用系数的因素

主要类型	影响因素	单 位
自然因素	当年降水量(X_1)	mm
	灌区高程(X_2)	m
	当年蒸散发量(X_3)	mm
资源因素	典型田块面积(X_4)	hm ²
	人均占有耕地(X_5)	hm ² /人
	粮食亩均产量(X_6)	kg/hm ²
管理因素	综合定额(X_7)	m ³ /hm ²
	实际灌溉面积(X_8)	万 hm ²
工程因素	防渗渠系长度(X_9)	km
	当年节水灌溉工程面积(X_{10})	万 hm ²
	当年完成节水工程投资(X_{11})	万元
	干渠衬砌防渗率(X_{12})	%

表 5 相关系数矩阵

自变量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
X_1	1.000											
X_2	-0.087	1.000										
X_3	-0.307	-0.129	1.000									
X_4	-0.192	-0.101	0.115	1.000								
X_5	-0.012	-0.194	0.037	-0.175	1.000							
X_6	0.107	0.040	0.387	-0.094	0.089	1.000						
X_7	0.095	-0.081	0.328	-0.074	0.169	0.798	1.000					
X_8	0.099	0.061	0.535	-0.026	0.126	0.861	0.829	1.000				
X_9	0.183	0.050	0.188	-0.176	0.129	0.658	0.584	0.588	1.000			
X_{10}	-0.116	-0.238	0.128	0.113	-0.010	0.135	0.247	0.112	0.102	1.000		
X_{11}	0.136	-0.107	-0.220	-0.071	0.147	-0.127	0.007	-0.114	-0.005	0.141	1.000	
X_{12}	0.045	0.033	0.540	-0.008	0.099	0.933	0.838	0.950	0.524	0.138	-0.127	1.000

表 6 KMO 检验和 Bartlett 球度检验结果

Kaiser-Meyer-Olkin 测量取样适当性		0.772
Bartlett 的球形检验	近似卡方	264.696
	$df.$	28
	显著性	0.000

表 7 输出的是主成分的提取结果, 其累计程度由大到小排序, 前 3 个成分的特征值均大于 1, 其累计贡献率到达 80.65%, 可以证明主成分提取较为理想。

最后经过方差极大旋转法后, 通过对因子载荷旋转使得主成分因子具有清晰的意义, 从表 8 中可看出, 第 1 主成分中当年实际灌溉面积(X_8)、防渗渠系长度(X_9)、节水灌溉工程面积(X_{10})、当年完成节水工程投资(X_{11})所占比例大, 当年间水量(X_1)、灌区高程(X_2)和人均占有耕地(X_5)在第 2 主成分中的比例大,

代表了自然因素和资源因素的影响, 同样第 3 主成分中灌区高程(X_2)、当年蒸散发量(X_3)和综合定额(X_7)也分别代表了自然因素和资源因素对农灌水有效利用系数的影响。

表 7 主成分提取的结果

主成分	初始特征值			主成分提取			因子旋转		
	特征值	贡献率/%	累积/%	特征值	贡献率/%	累积/%	特征值	贡献率/%	累积/%
1	3.432	16.263	59.166	3.432	16.263	59.166	3.373	16.678	58.841
2	1.301	15.025	74.191	1.301	15.025	74.191	1.334	15.250	74.091
3	1.202	6.459	80.650	1.202	6.459	80.650	1.228	6.559	80.650
4	0.817	5.007	85.657						
5	0.768	4.233	89.890						
6	0.632	3.021	92.911						
7	0.576	2.633	95.544						
8	0.424	2.084	97.628						
9	0.351	1.315	98.943						
10	0.179	0.525	99.468						
11	0.086	0.412	99.880						
12	0.013	0.120	100						

表 8 因子旋转荷载

影响因素	荷 载		
	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
X_1	0.054	-0.401	-0.027
X_2	-0.060	-0.256	0.354
X_3	0.056	-0.031	-0.505
X_4	0.129	0.330	0.039
X_5	-0.068	0.205	0.124
X_6	0.013	0.110	-0.119
X_7	0.002	0.019	0.375
X_8	0.250	0.004	-0.046
X_9	0.272	-0.042	0.097
X_{10}	0.275	0.031	-0.043
X_{11}	0.222	-0.077	-0.015
X_{12}	0.024	-0.002	0.348

2.3 分析结果

综合表 8 可知, 通过主成分贡献率可知, 第 1 主成分这些因素主要代表了灌区工程因素和管理因素, 且累计贡献率为 59.166%, 基本上能解释每个影响因子的全部影响. 对于农灌水有效利用系数的影响因素来说, 当地的节水工程和管理状况所占比例大于自然因素和资源因素. 近年来, 重庆市各个区县积极开展农田水利工程建设, 并加大了资金投入, 通过标准化建设, 对渠道进行整修和防渗处理取得了一定的成效. 所以节水工程建设的程度间接地对灌区农灌水有效利用系数造成了正面影响, 也说明了节水工程投资和建设程度越高, 相对的农灌水有效利用系数也就越高. 实际灌溉面积代表灌区的管理水平因素, 也具有较强的正面影响, 通过管理让渠道的水量充分灌溉到田间每处地方, 提高了灌溉水的利用效率.

第 2 主成分中当年降水量和当年蒸散发量荷载都为负数, 说明这两个自然因素对农灌水有效利用系数具有一定的负面影响, 对于重庆市多年平均降水量超过 1 000 mm, 平均相对湿度远远大于 70% 的气候条件来说, 显得十分合理. 自然因素会影响人为管理因素, 降水较少时, 农户会自觉地节约农业用水, 从而使得农田灌溉水得到较充分的利用, 效率得到小幅提高. 同时, 相应的输水过程中的蒸散发量也会较大, 又有可能导致农灌水有效利用系数的下降. 也表明了重庆市湿润温和的气候状况对农灌水有效利用系数的影响较大.

3 结论与建议

3.1 结论

通过本次研究,采用首尾测算分析法计算分析得到重庆市农灌水有效利用系数的方式可行,重庆市2017年中型灌区农灌水有效利用系数为0.499,小型灌区农灌水有效利用系数为0.487,推算全市农灌水有效利用系数为0.495,测算成果能较好地表明实际情况。从工程建设角度来看,达到节水灌溉工程标准时大、中、小型和纯井灌区的灌溉水利用率应该分别达到0.5,0.6,0.7和0.8^[16]。因此,重庆市各个灌区的农灌水有效利用系数与标准要求还有一定的差距,提升的空间还很大。

在测算结果中出现中型灌区农灌水有效利用系数大于小型灌区的反常现象,通过对比分析,其原因主要有,中型灌区节水工程投资多于小型灌区,积极开展的农田水利设施建设也是先从中型灌区开始,渠道整修和防渗处理明显优于小型灌区;相比之下中型灌区得到了更好的管理和维护,而且中型灌区多集中管理,而小型灌区多为分散管理,在效率上中型灌区高于小型灌区,专业管理人员又集中在中型灌区,小型灌区管理人员缺乏的现象较为常见;前文中也分析得出降水量对有效利用系数的影响呈负相关,测算得到的中型灌区的年平均降水量稍小于小型灌区,也证明了中型灌区农灌水有效利用系数稍大于小型灌区的结果是合理可信的。

3.2 建议

近年来,重庆市中型灌区与小型灌区农灌水有效利用系数的差值正在慢慢缩小,但达到《指导细则》中规定的标准还需一段时间,为了重庆市农灌水有效利用系数的逐步有效推进,针对上文分析结果提出建议如下:

1) 针对节水工程状况因素:加强灌区农田水利设备的配套建设,重点放在小型灌区。并加强配置量水设施,并对陈旧的观测设施进行及时的维修和更新,加强重要的干支渠道衬砌并做好防渗处理。逐步推进标准化建设,加强平田整地等措施力度。可配置一些雨水收集设施和管道在炎热的夏季用以灌溉,充分利用雨水和减少蒸散发量,以提高灌溉水利用效率。

2) 针对管理状况因素:支持和扶持乡镇节水服务组织建设,推广“管理所+村社干部+农户”的“1+2”模式,积极筹备农民用水者协会,实行节水灌溉绩效考核制度。向农户发放节水措施和技巧的学习手册,推广和传授节水方法,并深入农户实地调研,广泛听取农民的建议,让农户在管理中发挥主人翁作用,以弥补专业管理人员人手不够的缺陷。加强部门间的联系和交流,进一步强化责任意识,对技术测算人员积极开展培训工作。

3) 针对自然因素:将量水设备和水文监测设施结合起来,每次灌溉量和降水量数据都需要记录,加强大面积灌水时期和强降水前后的水量监测,减少降水的影响和确保数据精准性。在灌区内建立气象站点,初步形成雨情自动测报系统,减少与区县级气象站点数据的误差。无论观测过程中降雨与否,测算人员都须严格遵循计划和厉行节约用水的理念。

4) 总之,影响农灌水有效利用系数的因素有多种,分析过程较为复杂,建议对相关影响因素数据进行长期积累,再依据所搜集数据建立模型进行预测,也可以进行农灌水有效利用系数影响因素的拓展研究。

参考文献:

- [1] 高峰,赵竞成,许建中,等.灌溉水利用系数测定方法研究[J].灌溉排水学报,2004,23(1):14-20.
- [2] 付强,刘巍,刘东,等.黑龙江省灌溉水利用率分形特征与影响因素分析[J].农业机械学报,2016,47(9):147-153.
- [3] 付强,刘巍,刘东,等.黑龙江省灌溉用水效率指标体系空间格局研究[J].农业机械学报,2015,46(12):127-132.
- [4] 操信春,吴普特,王玉宝,等.不同灌溉水分生产率指标的时空变异与相关关系[J].农业机械学报,2014,45(4):189-194.
- [5] 崔莹,谢世友,柳芬,等.重庆市水资源可持续利用能力的模糊评价[J].西南大学学报(自然科学版),2017,39(4):115-123.
- [6] 许建中,赵竞成,高峰,等.灌溉水利用系数综合测定法实例分析[J].中国农村水利水电,2005(1):55-58.

- [7] 崔远来, 熊 佳. 灌溉水利用效率指标研究进展 [J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 590-598.
- [8] 周和平, 张明义, 周 琪, 等. 新疆地区农业灌溉水利用系数分析 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 100-107.
- [9] 魏子涵, 魏占民, 张 健, 等. 区域灌溉水利用效率测算分析 [J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 203-207.
- [10] 刘玉乐. 天津市灌溉水利用率测算研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [11] 崔正荣. 重庆灌溉水有效利用系数现状分析 [C]//重庆市水利学会. “合理配置和高效利用水资源 服务城乡发展”专题研讨会论文集. 重庆: 重庆出版社, 2013: 82-87.
- [12] 冯保清. 我国不同尺度灌溉用水效率评价与管理研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2013: 68-71, 81.
- [13] 李睿冉, 刘 旭. 我国典型灌区灌溉水利用系数的调研分析 [J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2012, 43(3): 465-469.
- [14] 司振江, 孙雪梅, 吕纯波, 等. 黑龙江省 2016 年农田灌溉水有效利用系数测算分析与评价 [J]. 黑龙江水利, 2017, 3(7): 1-6.
- [15] 郝利芬. 灌溉用水有效利用系数测算分析方法及其影响因素研究 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2009.
- [16] 中华人民共和国水利部. 节水灌溉工程技术标准: GB/T 50363-2018 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.

A Comparative Study of the Effective Utilization Coefficients of Irrigation Water in Irrigation Areas of Different Scales in Chongqing

ZHANG Wei¹, SHAO Jing-an^{1,2}, LIU Yi¹,
CHEN Juan¹, MOU Yao-jie¹

1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China;

2. Key Laboratory of Surface Process and Environment Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

Abstract: In order to improve effective utilization coefficient of farmland irrigation water in Chongqing and help the relevant administrations to make scientific decisions, the effective utilization coefficient of farmland irrigation water of irrigation areas of different scales in Chongqing in 2017 was calculated with the method of head-and-tail algorithm and its major influencing factors were analyzed by means of single factor and principal component analyses, with comprehensive consideration of Chongqing's topography, climate, soil and others. Through calculation, the effective utilization coefficient of farmland irrigation water was found to be 0.499 and 0.487 in Chongqing's medium-sized irrigation areas and small-scale irrigation areas in 2017, respectively. It was inferred that the average for the whole city was 0.495. Of the major influencing factors, the proportion of local water-saving engineering projects and their management was larger than that of the natural factors. The medium-sized irrigated areas were superior to the small ones in terms of investment, management and maintenance of the water-saving projects. Of the natural factors, precipitation had a certain negative effect on the effective utilization coefficient of farmland irrigation water. In conclusion, using the head-and-tail algorithm to calculate the effective utilization coefficient of farmland irrigation water in irrigation areas of different scales is feasible. Moreover, it is reasonable and credible that the effective utilization coefficient of irrigation water in medium-irrigated areas is greater than that in small irrigated areas. The methods to improve the effective utilization coefficient of irrigation water in Chongqing are summarized in terms of nature, management and water-saving engineering.

Key words: Chongqing; effective utilization coefficient of irrigation water; head-and-tail algorithm; comparative study