

# Design and Implementation of Irrigation Water Effective Utilization Coefficient and Major Crop Water Requirement

Xuefei Xu, Xuexiang Hu

Yunnan Provincial Department of Hydrology and Water Resources Pu'er Branch, Pu'er Yunnan  
Email: 512726499@qq.com

Received: Jun. 30<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jul. 13<sup>th</sup>, 2017; published: Jul. 19<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The calculation of irrigation water effective use efficiency and main crop water demand are the practical needs of the implementation of the most stringent water resources management system. It is also an urgent requirement for irrigation system planning and rural water conservancy project designing. Based on the "irrigation water utilization technology guidelines" and "irrigation test specifications", the relevant technical requirements, the city's irrigation data and site were collected and surveyed; sample irrigation and typical plots were also selected. The effective calculation of the effective utilization coefficient of irrigation water and the implementation plan of the main crop water demand test were conducted. At the same time, the implementation of the project will fill the effective utilization coefficient of irrigation water and the main crop water demand in the Pu'er City, and provide scientific basis for promoting agricultural water saving management to improve the efficiency of irrigation water significance. The implementation of this project is expected to provide some useful reference for the design and implementation of similar projects.

## Keywords

Irrigation Water, Effective Utilization Coefficient, Crop Water Demand, Calculation and Test, Design and Implementation

---

# 农田灌溉水有效利用系数测算和主要作物需水量试验方案设计与实施

徐学飞, 胡学祥

云南省水文水资源局普洱分局, 云南 普洱  
Email: 512726499@qq.com

作者简介: 徐学飞, 男, 工程师, 本科, 主要从事水文情报预报, 水情自动化、信息化及地理信息化研究。

收稿日期：2017年6月30日；录用日期：2017年7月13日；发布日期：2017年7月19日

## 摘要

开展农田灌溉水有效利用系数测算和主要作物需水量试验工作,是贯彻落实最严格水资源管理制度的实际需要,也是灌溉系统规划、农村水利工程设计的迫切要求。本文以普洱市为例,依据《灌溉水利用率测定技术导则》和《灌溉试验规范》的相关技术规定,收集了全市灌区资料并选址查勘,选定了样点灌区和典型田块,制定了合理可行的农田灌溉水有效利用系数测算和主要作物需水量试验实施方案。同时,项目的实施将填补普洱市农田灌溉水有效利用系数和主要作物需水量的空白,为推动农业节水管理提供科学依据,对提高普洱市农田灌溉用水效率、促进全市高原特色现代化农业发展具有重要意义。本项目的实施以期望为类似工程的设计与实施提供一些有益的参考。

## 关键词

灌溉水, 有效利用系数, 作物需水量, 测算与试验, 设计与实施

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 项目概况

普洱市是实行最严格水资源管理制度及水生态文明建设试点城市,已被确定为代表云南省迎接国务院2016年实行最严格水资源管理制度工作考核的州市之一[1]。目前,全市最严格水资源管理各项相关工作正在有序进行中。但农田灌溉水有效利用系数作为最严格水资源管理制度考核的重点内容之一,也是普洱市绿色经济考核的重要指标,仍缺乏实测资料支撑。基于以上背景,为提高农业用水效率,将最严格水资源管理制度考核的具体指标落到实处,开展普洱市主要作物需水量试验及不同灌区灌溉水有效利用系数的实测分析工作,提出普洱市主要粮经作物需水量、作物系数、灌溉定额及灌溉制度,摸清全市各区域及各类型灌区灌溉水有效利用系数的现状,为推动全市农业节水管理、制定节水规划、合理评价节水灌溉发展成效及分析节水潜力提供重要基础,同时对全省农田灌溉水有效利用系数的测算起到重要示范和推动作用。

## 2. 技术流程

开展普洱市农田灌溉水有效利用系数测算和主要作物需水量试验工作流程如下:

第一,在对全市灌区综合调研的基础上,分类汇总各类型、不同档次灌区的灌溉面积、工程设施与用水状况等,分析全市样点灌区的代表性,确定各规模与类型样点灌区,结合灌区的作物种植面积等,在样点灌区内选择典型田块,在典型田块开展灌溉试验及灌溉水有效利用系数测算工作。

第二,同步开展主要作物需水量试验灌溉定额,试验中旱作的土壤墒情由智能云墒情监测仪监测记录,稻田水位数据由水位计监测记录。由土壤含水率及水位的变化可灌溉定额计算试验区净灌溉定额。根据灌溉定额样点灌区年度净灌溉定额与实测的样点灌区毛灌溉定额计算得到样点灌区灌溉水有效利用系数,并依次方法测算市级区域不同规模与类型灌区的灌溉水有效利用系数。

第三,通过气象要素监测、土壤墒情监测、水位数据监测、农事活动记录等资料,分析计算试验区相应作

物的需水量、灌溉定额及作物系数。

第四，对试验所得灌溉水有效利用系数及主要作物需水量进行综合分析，提出提高普洱市灌溉水有效利用系数的对策建议，提出普洱市主要作物的适宜灌溉制度。具体流程图如图 1 所示。

### 3. 方案设计

#### 3.1. 灌区规模及用水情况

##### 3.1.1. 灌区规模

截至 2015 年，普洱市有设计灌溉面积在 1.0~30.0 万亩之间的中型灌区 10 个，其中有设计灌溉面积在 1.0~5.0 万亩之间的中型灌区 3 个，5.0~15.0 万亩之间的中型灌区 7 个；全市中型灌区设计灌溉面积总和 60.91 万亩，有效灌溉面积总和 49.51 万亩。100 亩以上 1 万亩以下的小型灌区有 163 个，小型灌区设计灌溉面积总和 134.6 万亩，有效灌溉面积总和 113.9 万亩，灌区主要种植作物有水稻、玉米、烤烟、茶叶、咖啡、蔬菜等，灌水方式均为自流。

##### 3.1.2. 灌溉用水情况

据普洱市 2015 年水资源公报统计，2015 年普洱市农业灌溉用水量为 9.2492 亿 m<sup>3</sup>，农业用水消耗量为 6.2326 亿 m<sup>3</sup>。目前普洱市灌溉水有效利用系数采用经验值，介于 0.436 至 0.550 之间，平均为 0.498，最低为西盟县 0.436，最高为景谷县 0.550。因此，测定普洱市灌溉水有效利用系数非常必要。

#### 3.2. 样点灌区选取

##### 3.2.1. 样点灌区选择原则

根据《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《细则》)的规定，样点灌区的选择应具有代表性、可行性及稳定性等原则。在样点灌区、典型田块及外业监测过程中要综合考虑本地区不同规模与类型灌区的分布、各类型灌区配套水平、作物种植结构等情况，力求使农田灌溉水有效利用系数测算分析成果能够真实反映当地灌区整体特点及农业用水水平。其中，中型灌区按有效灌溉面积大小分为 3 个档次，即 1 万亩 ≤ A 中型 < 5 万亩、5 万亩 ≤ A 中型 < 15 万亩、15 万亩 ≤ A 中型 < 30 万亩，每个档次的样点灌区数量

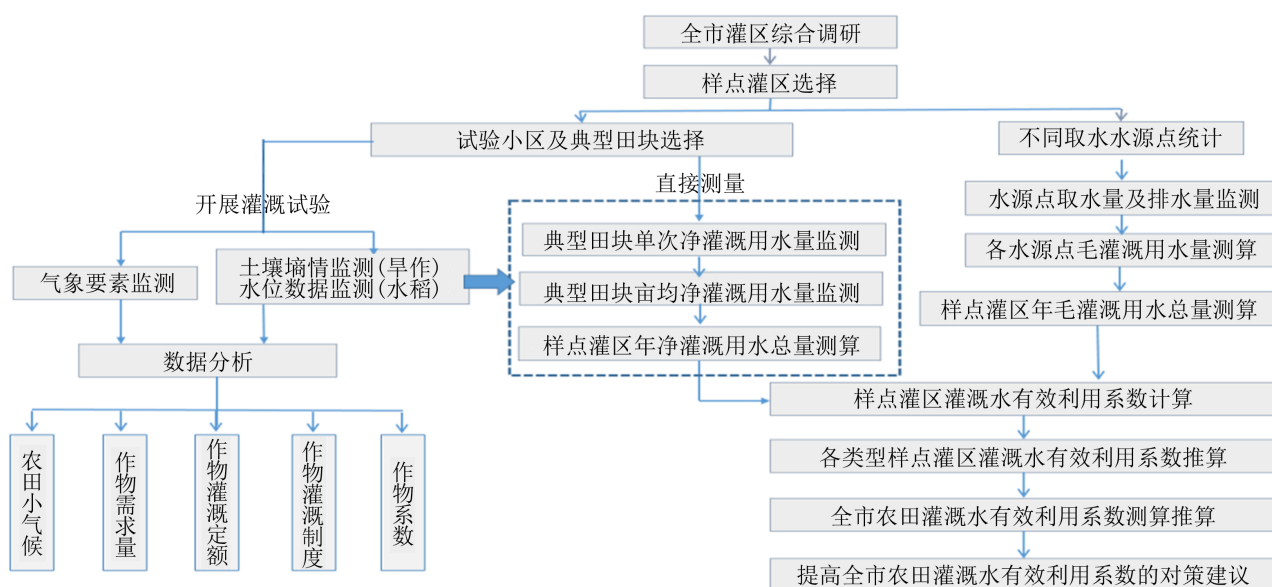


Figure 1. Flow chart of effective utilization of irrigation water for farmland and major crop water demand test techniques

图 1. 农田灌溉水有效利用系数测算和主要作物需水量试验技术工作流程图

不应少于本级区域相应档次灌区总数的 5%，各档次样点灌区有效灌溉面积不应少于本级区域相应档次灌区有效灌溉面积的 10%；小型灌区样点灌区数量按不少于全市小型灌区取样范围内(100 亩~10000 亩)数量的 0.5%，有效灌溉面积不小于该市级区域全部小型灌区有效灌溉面积的 1%为原则[2]。

### 3.2.2. 样点灌区的选取结果

通过对普洱市水资源开发利用情况及各类型灌区的现场查勘及调研，了解灌区的自然地理概况及其分布、灌区水利工程设施、灌溉水源和灌溉用水量、有效灌溉面积、种植结构等实际情况，收集了灌区灌水及其他社会经济统计数据、灌区平面布置图等基础资料(基础资料收集以 2015 年为现状年)。依据云南省用水定额分区，普洱市为滇西南区(III 区)，其中属 III-1 区的有江城县、孟连县、西盟县 3 个县；属 III-2 区的有澜沧县 1 个县；属 III-3 区的有思茅区、宁洱县、景谷县、墨江县、景东县、镇沅县 6 个县。按照样点灌区选择原则并结合普洱市灌区实际情况，选取中型灌区 5 个，全属于自流灌区，所选样点灌区有效灌溉面积占全市中型灌区有效灌溉面积总和的 56.69%；综合考虑取水类型及空间分布，选择 5 个小型样点灌区，小型样点灌区有效灌溉面积占普洱市小型灌区有效灌溉面积总和的 2.04%。样点灌区选取结果见表 1。

### 3.2.3. 典型田块的选取

典型田块的选取要求边界清楚、形状规则、面积适中；综合考虑作物种类、灌溉方式、畦田规格、地形、土地平整程度、土壤类型、灌溉制度与方法、地下水埋深等方面的代表性；有固定的进水口和排水口，配备量水设施[3]。对于播种面积超过灌区总播种面积 10%以上的作物种类，须分别选择典型田块。根据《细则》的规定，中型灌区样点灌区应至少在上、下游有代表性的农渠控制范围内分别选取，每种需观测的作物种类至少选取 3 个典型田块。小型灌区样点灌区应按照作物种类、耕作和灌溉制度与方法、田面平整程度等因素选取典型田块，每种需观测的作物种类至少选取 2 个典型田块。依据以上原则，结合普洱农业分局及种植情况，选取普洱市典型田块范围与数量，五个中型灌区各选取典型田块 2 块，五个小型灌区各选取典型田块 1 块，全市共计 15 块典型田块。

## 3.3. 监测方案及各参数分析测算

### 3.3.1. 总体监测方案

灌溉水有效利用系数测算方法多，也越来越准确、细致，但实际应用于灌区的并不多，根据《细则》中的

Table 1. Selection results at sample irrigation area in Pu'er City

表 1. 普洱市样点灌区选取结果

分类	灌区名称	设计灌溉面积 (万亩)	有效灌溉面积 (万亩)	所属行政区	取水类型	农业分区	主要作物
中型灌区	川河灌区	13.54	13.54	景东县	自流	滇西南 III-3	水稻、玉米、甘蔗、烤烟、马铃薯、大豆、蔬菜、蚕桑
	上允坝灌区	7.24	5.65	澜沧县	自流	滇西南 III-2	甘蔗、烤烟、玉米、水稻、大豆、蔬菜、小麦、咖啡、橡胶
	中叶灌区	2.61	2.61	墨江县	自流	滇西南 III-3	烤烟、玉米、水稻、大豆、蔬菜
	宁洱灌区	5.14	2.54	宁洱县	自流	滇西南 III-3	玉米、水稻、辣椒、葡萄
	南垒河灌区	6	3.73	孟连县	自流	滇西南 III-1	甘蔗、玉米、水稻、大豆、蔬菜、
小型灌区	泡猫河水库灌区	0.7	0.7	思茅区	自流	滇西南 III-3	玉米、水稻、蔬菜
	马散村灌区	0.4	0.4	西盟县	自流	滇西南 III-1	玉米、油菜、陆稻、米茅
	大炳洲泵站	0.2	0.2	镇沅县	提水	滇西南 III-3	烤烟、玉米、水稻
	永平坝灌区	0.25	0.25	景谷县	自流	滇西南 III-3	甘蔗、玉米、水稻
	曼莲河灌区	0.78	0.78	江城县	自流	滇西南 III-1	玉米、水稻、香蕉、咖啡

推荐,本次普洱市以首尾测算法作为主要测算方法。对毛灌溉用水量的计算采用统计加测量的方法进行。根据不同的灌溉用水取水方式确定不同的监测手段,主要采用水位流量关系曲线法和直接测量法。监测方式以田间固定监测和临时采样监测相结合的方式进行。其中,田间固定监测需要安装气象站及土壤水分监测仪,水稻的灌溉定额监测则通过安装压力式自记水位计,临时采样监测采用速测土壤水分仪进行监测。本项目中开展主要作物灌溉试验的15个试验小区均为典型田块,灌溉试验中灌前和灌后土壤墒情或水位数据可直接作为单次灌溉灌溉定额使用。

### 3.3.2. 样点灌区灌溉水有效利用系数各参数测算

#### (1) 典型田块灌溉定额监测

根据《灌溉试验规范》(SL 13-2015)有关规定,在每次灌水前后监测典型田块内不同作物年内相应生育期内计划湿润层的土壤质量含水率或体积含水率(或田间土层变化),计算该次亩均灌溉定额 $w_{\text{田净}i}$ ,得出该典型田块不同作物种类年亩均灌溉定额 $w_{\text{田净}}$  [4]。

旱作物灌水量,根据典型田块灌溉前后计划湿润层土壤含水率的变化确定某次亩均灌溉定额,计算公式如下:

$$w_{\text{田净}i} = 0.667 \frac{\gamma}{\gamma_{\text{水}}} H (\theta_{g2} - \theta_{g1}) \quad (1)$$

式中: $w_{\text{田净}i}$ 为典型田块某次亩均灌溉定额, $\text{m}^3/\text{亩}$ ;  $H$ 为灌水期内典型田块土壤计划湿润层深度, $\text{mm}$ ;  $\gamma$ 为典型田块 $H$ 土层内土壤干容重, $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\gamma_{\text{水}}$ 为水的容重,一般可取 $1, \text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\theta_{g1}$ 为某次灌水前典型田块 $H$ 土层内土壤质量含水率,%;  $\theta_{g2}$ 为某次灌水后典型田块 $H$ 土层内土壤质量含水率,% [2]。

水稻灌水量,根据普洱市实际情况,在本次测算中不考虑水稻的湿润灌溉,只考虑淹水灌溉,但在水稻育秧期,应将育秧期某次灌水的亩均灌溉定额按秧田与试验田的面积比例折算到本田,计入水稻年内生育期亩均灌溉定额,淹水灌溉用水量计算如下:

$$w_{\text{田净}i} = 0.667 (h_2 - h_1) \quad (2)$$

式中: $h_1$ 为某次灌水前典型田块田面水深, $\text{mm}$ ;  $h_2$ 为某次灌水后典型田块田面水深, $\text{mm}$  [2]。

#### (2) 样点灌区灌溉定额总量测算

在计算典型田块灌溉定额的基础上,计算某灌区同区域第 $i$ 种作物的年灌溉定额,计算公式如下:

$$w_i = \frac{\sum_{l=1}^N w_{\text{田净}i} \cdot A_{\text{田}l}}{\sum_{l=1}^N A_{\text{田}l}} \quad (3)$$

式中: $w_i$ 为样点灌区同片区第 $i$ 种作物的亩均灌溉定额, $\text{m}^3/\text{亩}$ ;  $w_{\text{田净}i}$ 为同片区第 $i$ 种作物第 $l$ 个典型田块亩均灌溉定额, $\text{m}^3/\text{亩}$ ;  $A_{\text{田}l}$ 为同片区第 $i$ 种作物第 $l$ 个典型田块灌溉面积,亩; $N$ 为同片区第 $i$ 种作物典型田块数量,个。

再根据灌区内不同分区不同作物种类灌溉面积,结合不同作物在不同分区的年亩均灌溉定额,计算得出样点灌区年净灌溉用水总量 $W_{\text{样净}}$ ,计算公式如下:

$$W_{\text{样净}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_{ij} \cdot A_{ij} \quad (4)$$

式中: $W_{\text{样净}}$ 为样点灌区年净灌溉用水总量, $\text{m}^3$ ;  $w_{ij}$ 为样点灌区 $j$ 个片区内第 $i$ 种作物亩均灌溉定额, $\text{m}^3/\text{亩}$ ;  $A_{ij}$ 为样点灌区 $j$ 个片区内第 $i$ 种作物灌溉面积,亩; $m$ 为样点灌区 $j$ 个片区内的作物种类,种; $n$ 为样点灌区片区数量,个;中型灌区 $n=2$ ,小型灌区 $n=1$  [2]。

#### (3) 样点灌区毛灌溉用水量的测算

灌区毛灌溉用水总量  $W_{\text{毛}}$  是指灌区全年从水源(一个或多个)取用的用于农田灌溉的总水量, 该水量通过实测确定。样点灌区年毛灌溉用水总量的计算公式如下:

$$W_{\text{样毛}} = \sum_{i=1}^n W_{\text{样毛}i} \quad (5)$$

式中:  $W_{\text{样毛}}$  为样点灌区年毛灌溉用水总量,  $\text{m}^3$ ;  $W_{\text{样毛}i}$  为样点灌区第  $i$  个水源取水量,  $\text{m}^3$ 。  $n$  样点灌区水源数量, 个[2]。

#### (4) 区域灌溉水有效利用系数推算

以中型灌区 2 个档次样点灌区灌溉水有效利用系数为基础, 采用算术平均法分别计算 1~5 万亩、5~15 万亩灌区的灌溉水有效利用系数; 然后将汇总得出的 1~5 万亩、5~15 万亩灌区年毛灌溉用水量加权平均得出普洱市中型灌区的灌溉水有效利用系数; 小型灌区灌溉水有效利用系数采用算术平均法得到。因此, 在已知各规模与类型灌区灌溉水有效利用系数和年毛灌溉用水量的情况下, 灌溉水有效利用系数按下式计算:

$$\eta_{\text{w市}} = \frac{\eta_{\text{w中型}} \cdot W_{\text{a中型}} + \eta_{\text{w小型}} \cdot W_{\text{a小型}}}{W_{\text{a中型}} + W_{\text{a小型}}} \quad (6)$$

式中:  $W_{\text{a中型}}$ 、 $W_{\text{a小型}}$  分别为全市中、小型灌区的年毛灌溉用水量, 万  $\text{m}^3$ ;  $\eta_{\text{w中型}}$ 、 $\eta_{\text{w小型}}$  分别为全市中、小型灌区灌溉水有效利用系数[2]。

### 3.3.3. 主要作物需水量试验设计与方法

#### (1) 试验目的

开展普洱市主要作物需水量试验, 观测主要作物在淹水灌溉模式(农民常规灌溉模式)下全生育期的气象特征、灌溉定额、计划湿润层土壤水分的变化、物候及其他生殖生理指标, 分析研究作物全生育期需水总量和净灌溉用水量、不同生育阶段需水规律和作物系数以及淹水灌溉模式下的灌溉制度, 为科学计算主要作物灌溉定额提供依据。

#### (2) 处理设计

以普洱市种植业区划、农业发展规划为依据, 综合考虑全市各县区的地理位置、地形、土壤、气候条件、水资源特征及管理等因素, 分别在孟连县设 1 个水稻、蚕豆轮作灌溉试验点, 景谷县设 1 个玉米、小麦轮作灌溉试验点, 思茅区设 1 个蔬菜灌溉及 1 个水稻、小麦轮作试验点, 景东县设 1 个水稻、大豆轮作试验点, 澜沧县设 1 个水稻、玉米、蚕豆轮作试验点。旱作物分别在江城设置 1 个咖啡试验点, 宁洱设置 1 个茶叶试验点, 墨江设置 1 个烤烟、小麦轮作试验点, 西盟设置 1 个油菜、陆稻、米荞轮作试验点, 几个灌溉试验点水肥管理按当地群众习惯模式进行, 不做受旱处理试验。

#### (3) 试验小区建设

在各个试验点分别建设试验小区开展灌溉试验(见图 2), 每个试验点建设 3 个重复试验小区, 每个小区面积  $60 \text{ m}^2$  ( $5 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ )。试验小区之间用田埂隔开(水稻试验区田埂需做防渗处理); 每个小区在进水口处安装 1 个水表, 在主管道上安装 1 个水表, 共安装 4 个水表; 在每个小区中部靠近作物根系的位置安装 1 套土壤水分监测仪, 每个水稻小区安装一个自计水位计; 在每个试验小区附近开阔地带安装云智能气象站 1 套。

#### (4) 观测项目及方法

旱作和水稻均需要进行气象监测同时需要记录作物生育期灌溉用水量、生长发育指标、日常农事活动以及收获时的产量。此外旱作需要记录作物计划湿润层内土壤含水率的变化情况, 地下水埋深较浅的地方还需要增加地下水位观测; 水稻需要记录稻田内水层深度的变化以及稻田的垂向渗漏。普洱市主要作物灌溉试验所需观测的主要项目及方法如表 2 所示。

#### (5) 主要作物需水量测算方法

参考作物需水量计算采用 Penman-Monteith 公式计算参考作物蒸发蒸腾量(ET<sub>0</sub>), 其计算公式为[5]:

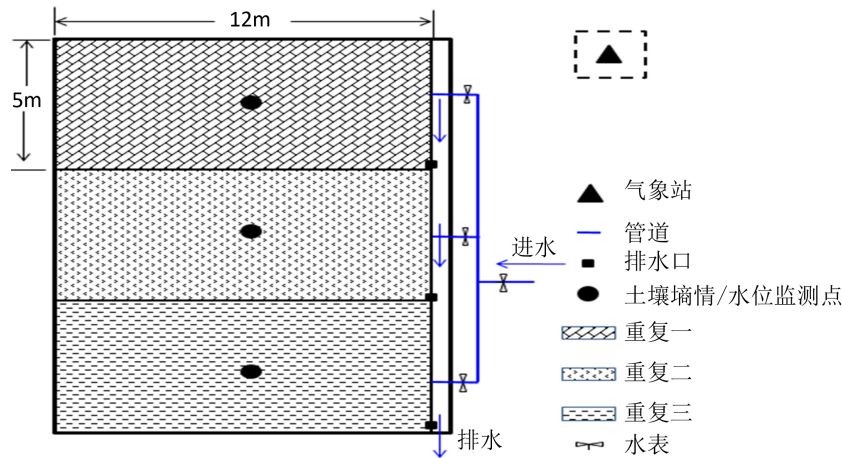


Figure 2. Layout of the main crop water demand test plot  
图 2. 主要作物需水量试验小区布置图

Table 2. Observation items and test methods  
表 2. 观测项目与试验方法

序号	观测项目	要素	方法
1	灌水量	灌水前后水表读数及时间	采用人工观测，灌水前后记录
2	渗漏量	水稻田间垂向渗漏量	制作铁皮桶，埋设于稻田间，人工记录每日桶内水位下降情况。
3	水位变化	稻田水位变化	每天早 8 点采用自记水位计或测针观测水位变化情况
4	地下水位	地下水埋深	采用土钻打井，预埋 PVC 管和水位计观测地下水位
5	生长发育指标	株高、茎粗、分蘖数、穗长、千粒重、叶面积指数	采用人工观测，各生育期观测一次
6	气象	气温、风速、风向、相对湿度、降雨量、太阳辐射	采用云智能气象站观测，每 1 小时采集一次数据
7	土壤含水率	10~60 cm 深度土壤含水率	采用云智能土壤水分传感器监测每 1 小时采集并发送一次数据
8	考种测产	作物样方产量、小区产量及亩产量	作物采收时，按照小区编号及时记录
9	农事活动	播种、灌水、施肥、撒药、除草、采摘等农事活动的起始时间、打药和施肥的数量、天气	人工记录

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (7)$$

式中： $ET$  为参考作物蒸发蒸腾量(mm/d)； $\Delta$  为饱和水汽压与温度曲线的斜率(kPa/°C)； $R_n$  为作物冠层表面的净辐射(MJ/(m<sup>2</sup>·d))； $G$  为土壤热通量(MJ/(m<sup>2</sup>·d))，在逐日估算时取； $T$  为日平均气温(°C)，按最高气温( $T_{max}$ )和最低气温( $T_{min}$ )的算术平均值计算； $u_2$  为 2m 高度处的风速(m/s)； $e_a$  为饱和水汽压(kPa)； $e_d$  为实际水汽压(kPa)； $e_a - e_d$  为饱和水汽压差，(kPa)； $\gamma$  为干湿表常数(kPa/°C)。

旱作物实际作物需水量计算采用水量平衡法计算[2]，计算公式为：

$$ET_{ci} = \Delta W_i + P_i + M_i + K_i + C_i \quad (8)$$

式中： $ET_{ci}$  为第  $i$  天作物实际需水量(mm)； $\Delta W_i$  为第  $i$  天作物计划湿润层内土壤储水量的变化值，通过体积含水率变化和计划湿润层深度的乘积求得(mm)； $P_i$  为第  $i$  天作物计划湿润内储存的有效降水总量(mm)； $M_i$  为第  $i$  天有效灌溉水总量，是灌溉前和灌溉后土壤计划湿润层内储水量变化值(mm)； $K_i$  为第  $i$  天地下水补给量，在有底测坑或地下水埋

深大于 2.5 m (砂土、沙壤土)、3.5 m (壤土、粘壤土、粘土)条件下, ; 为第  $i$  天内的排水量, 本文主要指土壤计划湿润层在降水或灌溉之后向下渗漏的水量(mm)。

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (9)$$

作物系数计算, 作物系数( $K_c$ )是计算作物需水量的重要参数, 它反映了作物本身的生物学特性、产量水平、土壤耕作条件对作物需水量的影响, 作物系数反映了作物在整个生长季节耗水的变化, 在不同的生育阶段有不同的值。作物系数的计算方法在 FAO-56 中主要分为单作物系数法和双作物系数法, 本文采用单作物系数法计算普洱市内各种特色农作物的作物系数[2]。 $K_c$ 的计算公式为: 式中:  $K_c$ 为作物系数(无量纲);  $ET_c$ 为实际作物需水量(mm/d);  $ET_0$ 为参考作物需水量(mm/d)。

#### 4. 项目实施与计划

为贯彻落实最严格水资源管理制度, 圆满完成普洱市农田灌溉水有效利用系数考核目标任务, 根据相关技术规程规范要求, 本项目实施工作期为 3 年(2017~2019 年)。即通过对所选样点灌区开展为期三年的灌溉试验及灌溉水有效利用系数监测, 形成普洱市主要作物需水量、灌溉定额、作物系数计各类型灌区灌溉用水有效利用系数分析年度成果, 在 3 年测算成果的基础上编制《普洱市农田灌溉水有效利用系数测算及灌溉试验成果报告》。该项目主要由普洱市水务局负责此项工作的组织领导及项目实施过程中的监督管理; 样点灌区所属各县(区)水务局及灌区管理局负责为本项目的实施提供相关工作配合。普洱市水文水资源局作为技术支撑单位负责项目具体实施及相关报告的编制。

#### 5. 结语

本文紧扣最严格水资源管理制度考核要求, 依据《灌溉水利用率测定技术导则》和《灌溉试验规范》的相关技术规定, 经过对全市灌区资料的收集并结合选址查勘, 选定样点灌区和典型田块, 制定合理可行的农田灌溉水有效利用系数测算和主要作物需水量试验技术方案。主要监测水稻、蚕豆、玉米、小麦、大豆、咖啡、茶叶、烤烟、油菜、陆稻、米苕及各类蔬菜全生育期作物需水量、灌溉用水量及作物系数。建成具有 70 个左右半固定监测点的普洱市农田灌溉用水效率监测网络, 为普洱市农田灌溉水有效利用系数测算及特色粮经作物灌溉用水定额制定提供基础支撑。也填补了普洱市农田灌溉水有效利用系数和主要作物需水量的空白, 对推动农业节水管理提供科学依据, 提高普洱市农田灌溉用水效率, 促进全市高原特色现代化农业发展具有重要意义。

#### 参考文献 (References)

- [1] 云南省人民政府关于实行最严格水资源管理制度的意见(云政发〔2012〕3号).  
The people's government of Yunnan province about the opinion of the strictest water resources management system (Yunnan Provincial Government and Reform Commission(2012)No.3). (in Chinese)
- [2] 全国农田灌溉水有效利用系数测算分析专题组. 全国农田灌溉水有效利用系数测算分析技术指导细则(2013年12月编制)[S].  
UNTHG of Calculation and Analysis of Effective Utilization Coefficient of Irrigation Water in Farmland. Technical guidance rules for calculation analysis of effective utilization coefficient of irrigation water in the country (established In December 2013). (in Chinese)
- [3] 灌溉水利用率测定技术导则(SL/Z 699-2015)[S]. 水利部, 2015.  
Technical guidance for irrigation water utilization measurement (SL/Z 699-2015). MWR, 2015. (in Chinese)
- [4] 灌溉试验规范(SL13-2015)[S]. 水利部: 中国水利水电出版社, 2015.  
Irrigation experiment standard (SL13-2015). MWR: China Water & Power Press, 2015. (in Chinese)
- [5] 灌溉与排水工程设计规范(GB50288-99)[S].  
Irrigation and drainage engineering design specifications (GB50288-99). (in Chinese)