

# 干旱灌区灌溉水利用效率若干问题分析

罗旭, 李芳松, 李凌锋

新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年6月24日; 录用日期: 2024年7月26日; 发布日期: 2024年8月26日

## 摘要

灌溉水利用系数是表征农业灌区灌溉工程基础和运行管理水平重要的综合性技术指标, 本文基于干旱新疆农业灌区灌溉工程和用水管理生产实践, 采用投入产出模型农田灌溉用水测验等方法, 在分析研究灌区投入与目标产出影响效应, 田间灌溉用水定额适宜尺度等技术问题的基础上, 提出了改进式灌区灌溉水利用系数测算方法, 为进一步探究改进农田灌溉水利用系数测算方式, 促进灌溉水资源利用效率评估分析水平提供技术参考。

## 关键词

干旱灌区, 灌溉水利用效率, 测算技术, 分析研究

# Analysis of Several Issues on Irrigation Water Efficiency in Arid Irrigation Areas

Xu Luo, Fangsong Li, Lingfeng Li

Xinjiang Institute of Water Resources and Hydropower Science, Urumqi Xinjiang

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jul. 26<sup>th</sup>, 2024; published: Aug. 26<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The irrigation water utilization coefficient is an important comprehensive technical indicator that characterizes the foundation and operational management level of agricultural irrigation engineering. Based on the irrigation engineering and water management production practice in arid Xinjiang agricultural irrigation areas, this article uses input-output models and agricultural irrigation water testing methods to analyze and study the impact of input and target output in irrigation areas, the appropriate scale of field irrigation water quota, and other technical issues. Based on this, an improved calculation method for irrigation water utilization coefficient in irrigation areas is proposed, providing technical reference for further exploring and improving the calcula-

tion method of irrigation water utilization coefficient in farmland, and promoting the evaluation and analysis level of irrigation water resource utilization efficiency.

## Keywords

Arid Irrigation Areas, Irrigation Water Efficiency, Measurement Techniques, Analysis and Research

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

新疆是我国西部内陆干旱沙漠绿洲纯灌溉农业区，农田灌溉高质量发展对驱动农业生产提质增效具有特殊举足轻重作用。为提升水资源利用效率，新疆在大面积发展以微滴灌为主要模式基础上，近年融合数字技术赋能智慧灌区，助力农业高效节水技术应用。基于经济社会生态可持续的农业灌区高效节水管理效果研究，灌溉水有效利用系数是一项重要的技术分析指标，灌溉水利用系数[1]集灌溉工程质量、灌溉技术水平和灌溉用水管理于一体综合指标，表征农业灌溉水资源利用效率的基本内涵。构建灌溉水利用指标体系有助于评价灌溉水的利用成效，蔡守华[2]等人提出由渠道水利用效率、渠系水利用效率、田间水利用效率、作物水利用效率和灌区灌溉水利用效率组成的灌溉水利用效率指标体系，并给出指标定义及计算方法。针对干旱绿洲灌区灌溉用水效率问题评估，翟家齐等人[3] [4]，基于干旱区灌溉农业生产和生态服务双重效益目标，从水循环视角分析干旱区农业灌溉水分在农田及农田之外转化与消耗机制，综合评估节水效果需要关注生态流量、土壤盐渍化、粮食产量和发电量各要素之间的互馈关系[5] [6]，并以此为理论基础，提出完善评估干旱灌区不同环节农业节水潜力计算方法。以投入产出系统视角，研究分析农业生产投入因素对灌溉水利用系数影响变化及策略近年有所研究，周和平等人[7]以投入产出模型分析相关因素对灌溉水利用系数影响结果表明，灌溉系统大力推进渠道防渗、井灌和高效农业节水建设，助力灌区综合灌溉水利用系数贡献明显；吕志鹏[8]采用主成分分析结果显示，灌溉用水效率正贡献率因素为井渠结合灌溉面积比、渠道衬砌率、当年节水改造投资、节水灌溉面积；负贡献率主要有常规灌溉定额及其作物种植比例；赵晓黎[9]总结不同年份灌溉水有效利用系数变化规律表明，灌区规模越大灌溉水有效利用系数越小，鞠艳等人[10]分析得出相似结果，灌溉水利用有效系数及其增长趋势与灌区规模呈负相关；王海宇等人[11]分析不同灌区类型对灌溉水利用系数影响表明，井灌区农田灌溉水利用系数相比大中型灌区较高。农田灌水定额和灌溉计划湿润层深度相互关联，影响灌溉引用水量及灌溉水利用系数，周黎勇[12]以干旱区砂土小区实测资料建立回归模型分析表明，田间水利用系数与灌水定额为负相关，与计划湿润层深度为正相关性较大，由此分析认为，不应统一定值而宜作物不同生育期湿润层深度确定灌水定额，客观反映田间灌水定额及灌溉水利用效率；雷媛等人[13] [14]以不同灌溉控制下限和计划湿润层深度，对冬小麦耗水研究分析表明，计划湿润层深度小、土壤含水率控制下限高，灌水定额和灌水间隔随之变得小而短，增加计划湿润层会使水分向深层 100 cm 集聚，利于土壤贮水节水空间，计划湿润层深度为 80 cm 时冬小麦产量相对最高。本文面向新疆干旱灌区农业灌溉水资源利用效率。

实践，运用生产投入产出系统模型和灌溉技术调研分析等方法，对农业灌区投入与目标产出灌溉水利用系数影响生产效应、田间灌溉水用量适宜尺度及核定方法、改进灌区灌溉水利用系数测算方式技术

问题研究分析探索，为农业灌溉水资源有效利用高质量发展提供支撑。

## 2. 数据来源及研究方法

### 2.1. 研究区及数据来源

本研究面对干旱新疆农业灌区，综合考虑农业灌溉生产条件、自然地理、水土环境基本特征，选择北疆天山北坡带昌吉回族自治州农业高效节水灌区，农田主要为灰漠土和棕漠土类及轻中壤质少量重壤土分布土壤自然肥力中等。选择南疆灌区为南端北抵昆仑山环绕塔克拉玛干大沙漠带和田灌区，主要以林果间作粮棉油种植，多以常规沟畦灌溉为主滴灌节水技术为辅灌溉方式，农田多以风沙土和灰棕漠土及其粉沙或沙壤土质，壤土类土壤质地分布极少，土壤自然肥力贫瘠。本研究数据主要有：1) 农业灌区相关数据，源于《新疆维吾尔自治区统计年鉴》《新疆国民经济和社会发展统计公报》(2020)；2) 农业灌区灌溉水利用效率相关数据，源于《2023 新疆灌溉水有效利用系数测算分析成果报告》《2023 昌吉州农田灌溉水有效利用系数测算分析成果报告》《2022 和田地区农田灌溉水有效利用系数测算分析成果报告》《新疆农业用水定额地方标准》(DB65/3611-2014)；3) 农业灌区土壤质地空间分布检索于《国家地球系统科学数据中心共享服务平台》。

### 2.2. 研究方法

#### 2.2.1. 灌区多维投入对灌溉水利用影响判析

##### 1) 函数模型

以农业灌区多维因素投入与目标产出系统视角，对投入产出系统主要影响要因素及边际效应诊断评判，采用柯布 - 道格拉斯[15]模型分析：

$$y = ax_1^{b_1} x_2^{b_2} \quad (1)$$

式中： $y$  为投入产出系统的目标产出； $x_1$ 、 $x_2$  分别为投入产出系统不同的投入因素变量； $a$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  分别为投入产出系统不同投入因素待定系数。

该模型为农业投入产出数学描述，由式(1)分别对  $x_1$  和  $x_2$  求  $y$  偏导，得边际影响效应：

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = b_1 \frac{y}{x_1} \\ b_1 = \frac{\partial y}{\partial x_1} \bigg/ \frac{y}{x_1} = \frac{\partial y}{y} \bigg/ \frac{\partial x_1}{x_1} \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = b_2 \frac{y}{x_2} \\ b_2 = \frac{\partial y}{\partial x_2} \bigg/ \frac{y}{x_2} = \frac{\partial y}{y} \bigg/ \frac{\partial x_2}{x_2} \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)看出， $b_1$ 、 $b_2$  为投入产出系统不同投入因素的待定系数，体现出不同投入因素与目标产出关联引起的弹性变化量。由于农业灌区样本观测数据同质性大，因此采用该模型分析可解。

##### 2) 函数拓展

由于农业灌区投入产出系统存在多维因素与目标产出之间数据分析问题，因此，对式(1)进行拓展变换：

$$y = ax_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3} \cdots x_n^{b_n} \quad (3)$$

式中  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_n$  分别为投入产出系统不同的投入因素变量； $a$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_n$  为待定回归系数，基于

线性函数转化实现, 对式(3)两边取对数可得:

$$\lg y = \lg a + b_1 \lg x_1 + b_2 \lg x_2 + b_3 \lg x_3 + \dots + b_n \lg x_n \quad (4)$$

令  $y' = \lg y, A = \lg a, x'_1 = \lg x_1, x'_2 = \lg x_2, x'_3 = \lg x_3, \dots, x'_n = \lg x_n$

则式(4)变为:

$$y' = A + b_1 x'_1 + b_2 x'_2 + b_3 x'_3 + \dots + b_n x'_n \quad (5)$$

由式(5)看出, 回归系数大小表达了投入因素  $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$  对目标产出  $y$  的影响程度, 各回归系数之和构成系统弹性模量  $Ep$ :

$$Ep = b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_n \quad (6)$$

弹性模量临界度  $Ep \geq 1$ , 一般希望弹性模量值大为好。

### 2.2.2. 田间灌溉用水定额适宜尺度分析

灌溉水利用系数, 为渠系水、田间水利用系数乘积, 田间净灌水定额与灌区引用毛灌水定额比值等效[16] [17]:

$$\eta_{灌溉} = \eta_{渠系} \times \eta_{田间} = \frac{w_{田间净灌水定额}}{M_{引用毛灌水定额}} = \frac{1000\gamma H (\theta_2 - \theta_1)}{M_{引用毛灌水定额}} \quad (7)$$

式中:  $\eta_{灌溉}$  为农田灌溉水利用系数;  $\eta_{渠系}$ 、 $\eta_{田间}$  分别为渠系水利用系数和田间水利用系数;  $w_{田间净灌水定额}$ 、 $M_{引用毛灌水定额}$  分别为农田净灌水定额和灌区渠首引用毛灌水定额,  $m^3/hm^2$ ;  $H$  为农田灌溉土壤计划湿润层,  $m$ ;  $\gamma$  为湿润层土壤干容重,  $g/cm^3$ ;  $\theta_1$  为灌水前土层土壤质量含水率, %;  $\theta_2$  灌水后土层土壤质量含水率, %。

由于灌水田间湿润入渗净灌水定额  $w_{田间净灌水定额}$ , 与田间土壤饱和用水定额  $m_{饱和水定额}$  (满足田间持水量, 土壤饱和和质量含水率  $\theta_{田持}$ , %), 存在田间水利用系数, 下式:

$$\begin{aligned} \eta_{田间} &= \frac{w_{田间净灌水定额}}{m_{饱和水定额}} \\ &= \frac{1000\gamma H (\theta_2 - \theta_1)}{1000\gamma H \theta_{田持}} \\ &= \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_{田持}} \end{aligned} \quad (8)$$

由式(8)看出, 田间水利用系数, 为灌水后灌溉湿润层  $H$  土壤含水率与田间土壤饱和含水率  $\theta_{田持}$  之比, 田间水利用系数大小, 取决于灌水湿润层  $H$  土壤含水率值, 如果灌水后田间净灌水定额大, 则相应土壤含水率也高, 甚至会出现大于土壤饱和和质量含水率  $\theta_{田持}$ , 基于这一变化关系, 考虑田间水利用系数 0.80~0.95 旱作物一般 0.90 以上[18], 研究分析评估田间作物灌水适宜土壤湿润层深度, 进而反映田间灌溉用水定额适宜尺度关系。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 灌区多维水利投入对灌溉水利用影响

选择昌吉州昌吉、阜康、呼图壁、吉木萨尔、玛纳斯、奇台县和木垒 7 个农业灌区作为水利投入与目标产出系统, 鉴于灌区统计数据与目标产出之间属性关系, 本文基于相关统计显著性检验对“毛用水量”“灌溉面积”“毛灌溉定额”“防渗渠道”“微灌面积占比”“耕地面积”“灌溉用井”“井灌水量”“农田资金”“粮食单产”等 10 个相关投入要素与“灌溉水利用系数”目标产出, 考虑不同投入因

素对目标产出影响基于逐步回归统计检验合理性分析，经 9 次筛选后确定：“毛用水量”“灌溉面积”“防渗渠道”“微灌面积占比”“井灌水量”5 项目投入对目标产出“灌溉水利用系数”具有较好的相关性。采用 7 个灌区投入要素与目标产出关系数据，由式(3)~式(5)回归得投入产出模型：

$$\begin{cases} \eta_{\text{昌吉灌区}} = 0.0992W^{0.00413}A^{-0.22346}F^{0.20143}B^{0.02965}J^{0.08267} \\ R^{**} = 0.999 > R_{(n-2=5;a=0.01)} = 0.874 \\ F^{**} = 444.33 > F_{(N2=7,N1=5;a=0.01)} = 7.46 \end{cases} \quad (9)$$

式中  $\eta_{\text{昌吉灌区}}$  为灌溉水利用系数； $W$  为毛用水量，万  $m^3$ ； $A$  为灌溉面积，万  $hm^2$ ； $F$  为防渗渠道， $km$ ； $B$  为微灌面积占比，%； $J$  为井灌水量，万  $m^3$ 。

经统计检验分析，拟合模型的相关系数  $R$  及方差  $F$  均大于临界值，模型拟合程度达到极显著水平，模拟与统计比较结果相差 0.18%~0.24% (图 1)，拟合方程代表性效果好，可对模型进行量化解析。

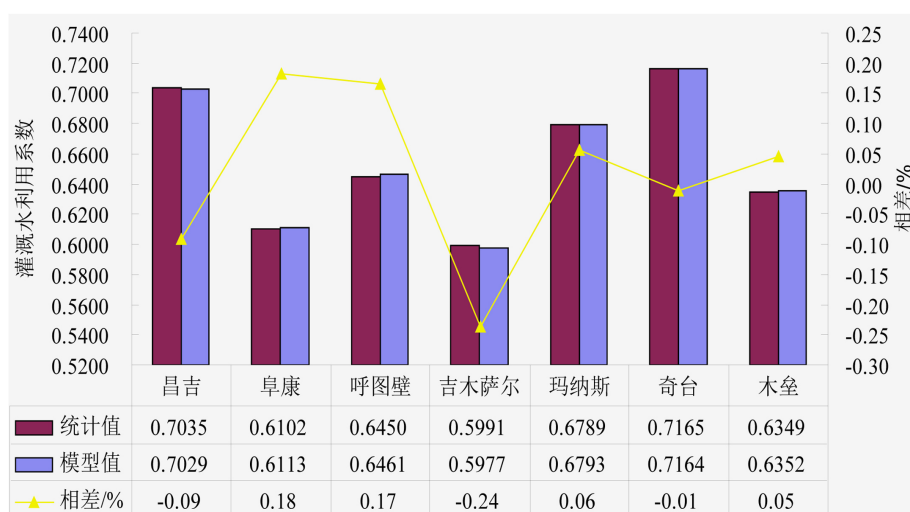


Figure 1. Comparison of simulation and statistical results  
图 1. 模拟与统计结果比较

Table 1. Effect of irrigation area elements on irrigation water use coefficient  
表 1. 灌区要素对灌溉水利用系数影响效应

影响要素边际投入	对灌溉水利用系数增减效应(±)	收益>或<投入
每增 1 立方地表水	0.0000001	>
每增 1 公顷灌溉面积	-0.0170729	<
每增 1 km 防渗渠道	0.0001110	>
每增百分 1 微灌面积	0.0002392	>
每增 1 立方井灌水	0.0000040	>

由柯布道格拉斯边际效应式(2)分析，灌区系统 5 个投入因素对目标影响边际效应(表 1)结果表明，灌区毛用水量  $W$ 、防渗渠道  $F$ 、微灌面积占比  $B$  和井灌水量  $J$  投入，对灌溉水利用系数  $\eta_{\text{昌吉灌区}}$  表现为正效应，灌区灌溉面积  $A$ ，对灌溉水利用系数  $\eta_{\text{昌吉灌区}}$  表现为负效应，由此进一步引证了灌区规模愈大则难以推进灌溉水利用系数增加。边际效应大小为：微灌面积占比  $B$  > 防渗渠道  $F$  > 井灌水量  $J$  > 毛用水量  $W$ 。

由此看出, 推进灌区灌溉系统农业高效节水灌溉规模、输水渠道防渗、井提灌节水建设, 对于提升灌区灌溉水资源利用效率贡献效应明显。由式(6)可得灌区投入产出系统弹性模量  $E_p$  为 0.09443 远小于临界度  $E_p \geq 1$ 。这表明, 昌吉州灌区水利投入目标产出系统尚未处于良好状态, 灌区投入要素优化组合布局对提升灌溉水资源高效利用仍有发展空间。

### 3.2. 田间灌溉用水定额适宜尺度分析

综合考虑田间灌水后被作物可以利用的土壤灌溉湿润水、灌溉水入渗湿润呈现的田间水利用效率问题, 基于灌区田间净灌溉用水定额合理适宜性, 分析获得灌后湿润层深度尺度区间, 真实反映灌区田间水利用系数与田间净灌溉用水定额之间的关联性。图 2 和图 3 为选择的北疆昌吉壤土灌区和南疆和田风沙土灌区田间灌水前后监测信息: 位于昌吉灌溉中心试验站小麦、玉米、水稻、黄豆、土豆、谷子、棉花、向日葵等 13 种滴灌作物 94 个观测样本, 昌吉灌区小麦、玉米、棉花、蕃茄、葡萄等 9 种作物滴灌和小畦灌方式 129 个观测样本; 南疆和田风沙土灌区春玉米、核桃、杏树、红枣、玫瑰畦灌单或间作和滴灌粮食、葡萄等 11 种植类型 1142 个观测样本。采用式(7)式(8)分析灌水前后土壤含水率不同湿润层灌溉水储存及田间水利用率与湿润层深度分布状态。

由分析结果可知, 虽然各灌区土壤质地作物及灌溉方式不同, 灌后土壤含水率增加深度均达到 100 cm, 灌后水量湿润层深度相对较高在 60~70 cm, 70 cm 以下有所减少, 至 100 cm 仍有一定水量。对比常规与滴灌湿润层可知, 常规沟畦灌耕作层(0~30 cm)、上土层(30~60 cm)、中土层(60~80 cm)和下土层(80~100 cm), 灌溉湿润水为: 上土层较多、中土层次之、下土层和耕作层相对较少; 滴灌湿润水为: 耕作层和上土层基本相当, 中土层和下土层减小。由田间水利用系数  $\eta_{\text{田间}}$  变化来看, 随着  $\eta_{\text{田间}}$  的增加湿润层深度  $H$  而呈乘幂数增加(表 2), 当田间水利用系数达到 70% 时, 灌区不同灌溉方式作物湿润层深度呈现 70~85 cm 区间; 当田间水利用系数达到 75% 时, 灌区不同灌溉方式作物湿润层深度呈现 80~90 cm 区间。由玛纳斯灌区春麦滴灌田间水利用系数与湿润层(表 3)也可看出, 田间水利用系数在 0.80~0.90 区间, 灌水后灌溉湿润水量稳定数量对应 70 cm 土壤层面。分析表明, 由于土壤剖面灌溉湿润水下渗及田间水利用效应, 被作物吸收利用净灌溉用水定额, 适宜湿润层在 70~85 区间, 灌区净灌溉用水定额人为以计划湿润层 50~60 cm 测算, 未能真实反映田间净灌溉用水定额及用水量, 影响灌溉水利用系数准确客观表达。

### 3.3. 以灌溉用水定额“常量”视角改进灌溉水利用系数测算

灌区田间净灌溉用水定额与农田土壤质地灌溉方式及作物种类环境条件有关, 当农田灌溉环境条件相对稳定时, 田间净灌溉用水定额具有基本灌溉用水定额[19]相对稳定属性, 鉴于此种情形, 田间净灌溉用水定额可视为相对稳定“常数项”, 由此, 只需对灌区不同灌溉类型及作物监测得出灌溉用水定额基础参数, 注重提升灌区引用水量精准监测水平。提出灌溉水有效利用系数测算改进方法, 如图 4 所示。基于田间净灌溉用水定额相对稳定常数项, 考虑灌区不同作物种植灌溉面积和引用毛水量变化, 测算灌溉水利用系数成果具快捷实效性。与此同时, 鉴于田间净灌溉用水定额相对稳定常量化参与, 替代每年灌区动态式监测田间净灌溉用水定额, 引起对灌溉水利用系数产生弹性影响, 为此, 提出灌溉水利用系数研判修正方法: 1) 当测算灌区综合作物亩均用水量和平均灌水次数 2 个参数, 与本灌区多年平均或上年值同比有所增加时, 说明灌区引用水量偏多情形影响下得出  $\eta_{\text{灌溉}}$ , 于是可进一步分析修正。2) 当测算灌区综合作物亩均用水量和平均灌水次数 2 个参数, 与本灌区多年平均或上年值同比有所下降时, 说明灌区引用水量偏少情形影响下得出  $\eta_{\text{灌溉}}$ , 可作进一步分析修正。3) 当测算灌区综合作物亩均用水量和平均灌水次数 2 个参数, 与本灌区多年平均或上年值同比基本或大致相同时, 说明灌区引用水量趋于正常用水情形下得出  $\eta_{\text{灌溉}}$  成果。

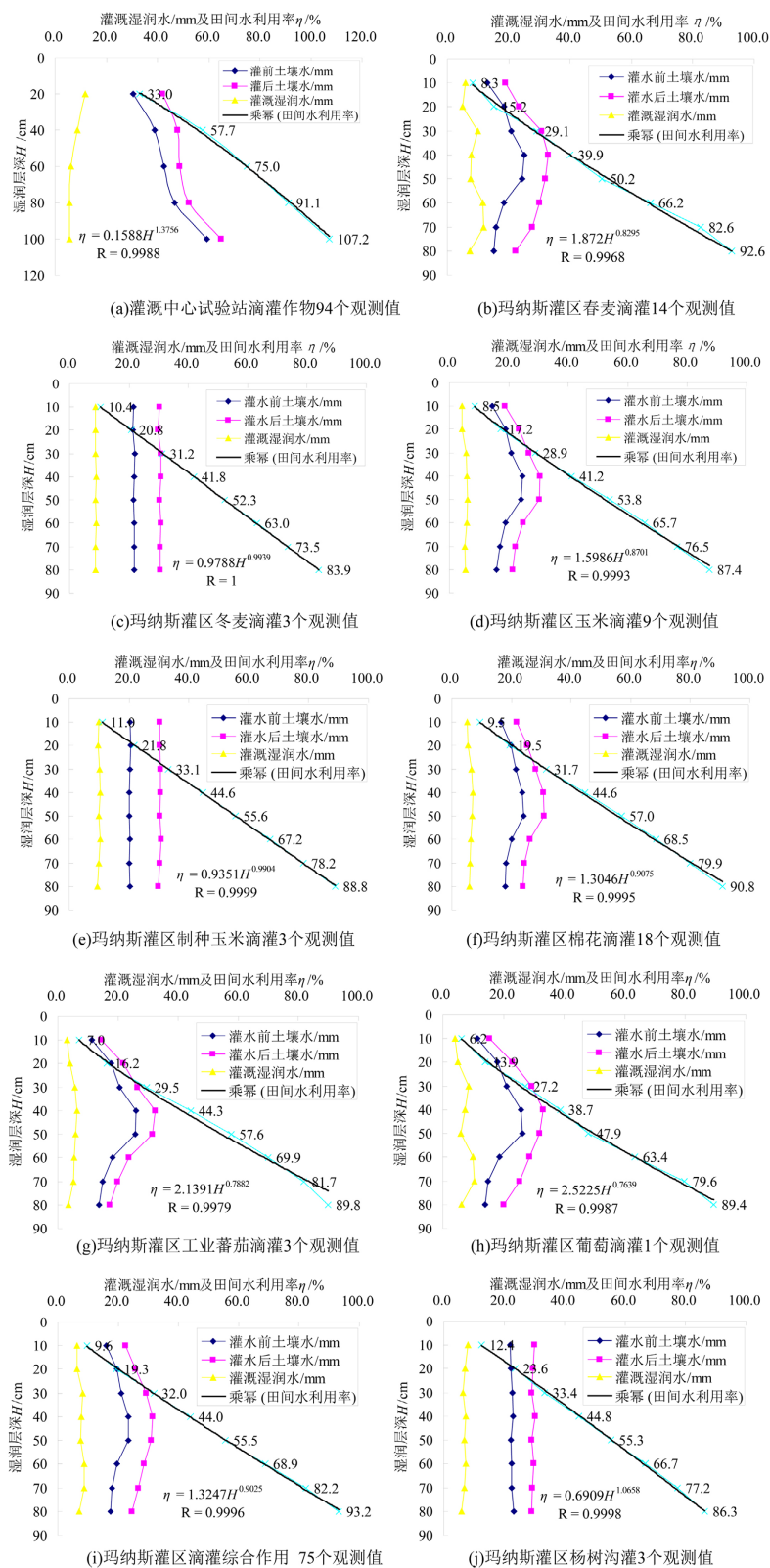


Figure 2. Changes in soil moisture layer and field water utilization rate before and after irrigation in Changji loam irrigation area, northern Xinjiang

图 2. 北疆昌吉壤土灌区灌水前后土壤湿润层及田间水利用率变化

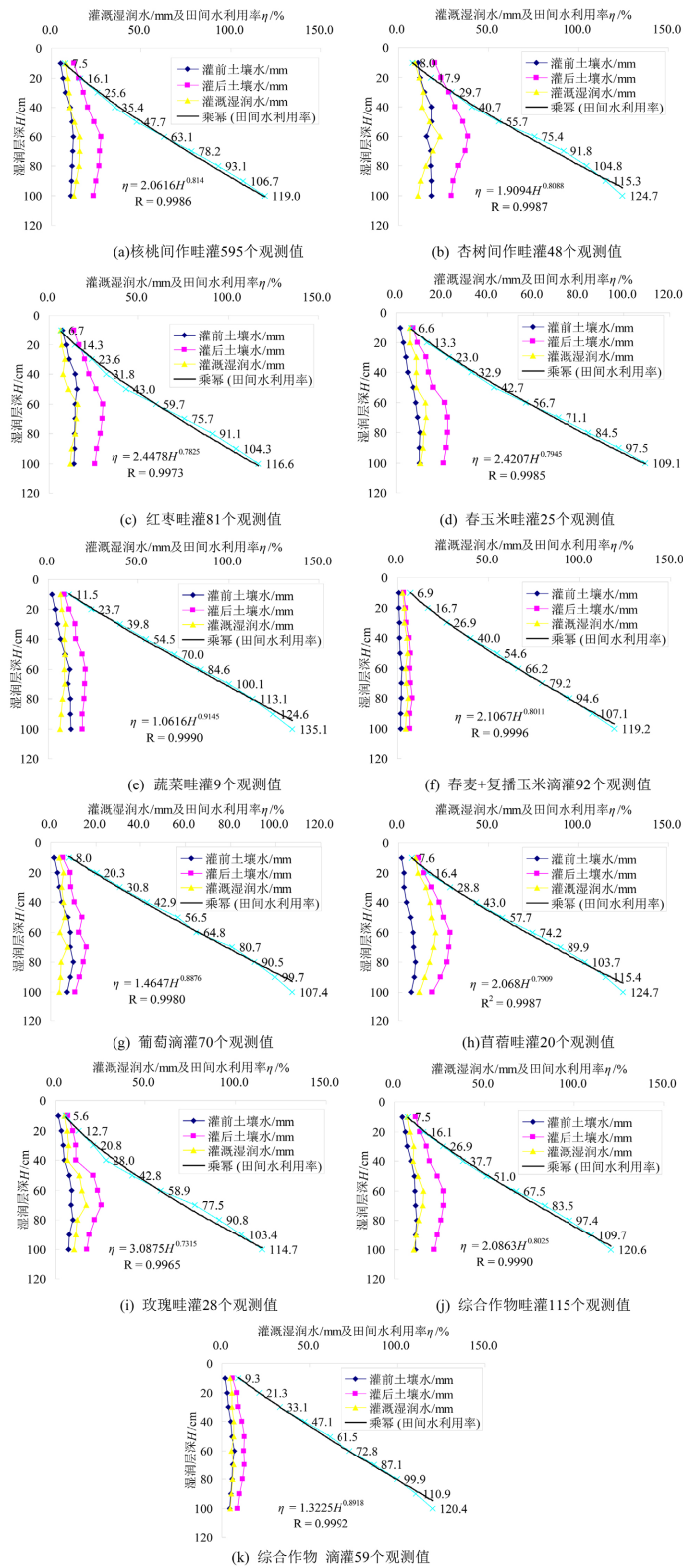


Figure 3. Changes in soil moisture layer and field water utilization rate before and after irrigation in the Hetian wind sand irrigation area of southern Xinjiang

图 3. 南疆和田风沙土灌区灌水前后土壤湿润层及田间水利用率变化



**Table 2.** Analysis of field water use coefficient and wet layer depth in irrigation areas  
**表 2.** 灌区田间水利用系数与湿润层深度分析

分区	灌区田间监测样本	乘幂数拟合方程	相关系数 $R$	田间水利用系数对应湿润深 $H$			
				$\eta_{田=0.70}$	$\eta_{田=0.75}$	$\eta_{田=0.80}$	$\eta_{田=0.85}$
北疆 昌吉 壤土 灌区	灌溉中心试验站滴灌作物 94 个观测值	$\eta_{田} = 0.1588H^{1.3756}$	0.999	84	88	92	96
	玛纳斯灌区春麦滴灌 14 个观测值	$\eta_{田} = 1.8720H^{0.8295}$	0.997	79	86	92	99
	玛纳斯灌区冬麦滴灌 3 个观测值	$\eta_{田} = 0.9788H^{0.9939}$	1.000	73	79	84	89
	玛纳斯灌区玉米滴灌 9 个观测值	$\eta_{田} = 1.5986H^{0.8701}$	0.999	77	83	90	96
	玛纳斯灌区制种玉米滴灌 3 个观测值	$\eta_{田} = 0.9351H^{0.9904}$	0.999	78	84	89	95
	玛纳斯灌区棉花滴灌 18 个观测值	$\eta_{田} = 1.3046H^{0.9075}$	0.999	81	87	93	100
	玛纳斯灌区工业蕃茄滴灌 3 个观测值	$\eta_{田} = 2.1391H^{0.7882}$	0.998	84	91	99	107
	玛纳斯灌区葡萄滴灌 1 个观测值	$\eta_{田} = 2.5225H^{0.7639}$	0.998	78	85	92	100
	玛纳斯灌区滴灌综合作用 75 个观测值	$\eta_{田} = 1.3247H^{0.9025}$	0.999	81	88	94	101
玛纳斯灌区杨树沟灌 3 个观测值	$\eta_{田} = 0.6909H^{1.0658}$	0.999	76	81	86	91	
南疆 和田 风沙 土灌 区	核桃间作畦灌 595 个观测值	$\eta_{田} = 2.0616H^{0.8140}$	0.998	76	83	90	96
	杏树间作畦灌 48 个观测值	$\eta_{田} = 1.9094H^{0.8088}$	0.998	86	94	101	109
	红枣畦灌 81 个观测值	$\eta_{田} = 2.4478H^{0.7825}$	0.997	73	79	86	93
	春玉米畦灌 25 个观测值	$\eta_{田} = 2.4207H^{0.7945}$	0.998	69	75	82	88
	蔬菜畦灌 9 个观测值	$\eta_{田} = 1.0616H^{0.9145}$	0.999	98	105	113	121
	春麦+复播玉米滴灌 92 个观测值	$\eta_{田} = 2.1067H^{0.8011}$	0.999	79	86	94	101
	葡萄滴灌 70 个观测值	$\eta_{田} = 1.4647H^{0.8876}$	0.998	78	84	91	97
	苜蓿畦灌 20 个观测值	$\eta_{田} = 2.0680H^{0.7909}$	0.998	86	94	102	110
	玫瑰畦灌 28 个观测值	$\eta_{田} = 3.0875H^{0.7315}$	0.996	71	78	86	93
综合作物畦灌 115 个观测值	$\eta_{田} = 2.0863H^{0.8025}$	0.999	80	87	94	101	
综合作物滴灌 59 个观测值	$\eta_{田} = 1.3225H^{0.8918}$	0.999	86	93	100	107	

**Table 3.** Water use coefficient and wet layer of spring wheat drip irrigation field in Manas irrigation area  
**表 3.** 玛纳斯灌区春麦滴灌田间水利用系数及湿润层

湿润层/cm	灌水前 土壤水/( $m^3 \cdot hm^2$ )	灌水后 土壤水/( $m^3 \cdot hm^2$ )	灌溉湿润 水量/( $m^3 \cdot hm^2$ )	田间水利用系数
10	129.0	189.0	60.0	0.083
20	183.0	234.0	51.0	0.152
30	207.0	307.5	100.5	0.291
40	250.5	330.0	79.5	0.399
50	243.0	318.0	75.0	0.502
60	184.5	300.0	115.5	0.662
70	159.0	277.5	118.5	0.826
80	151.5	223.5	72.0	0.926

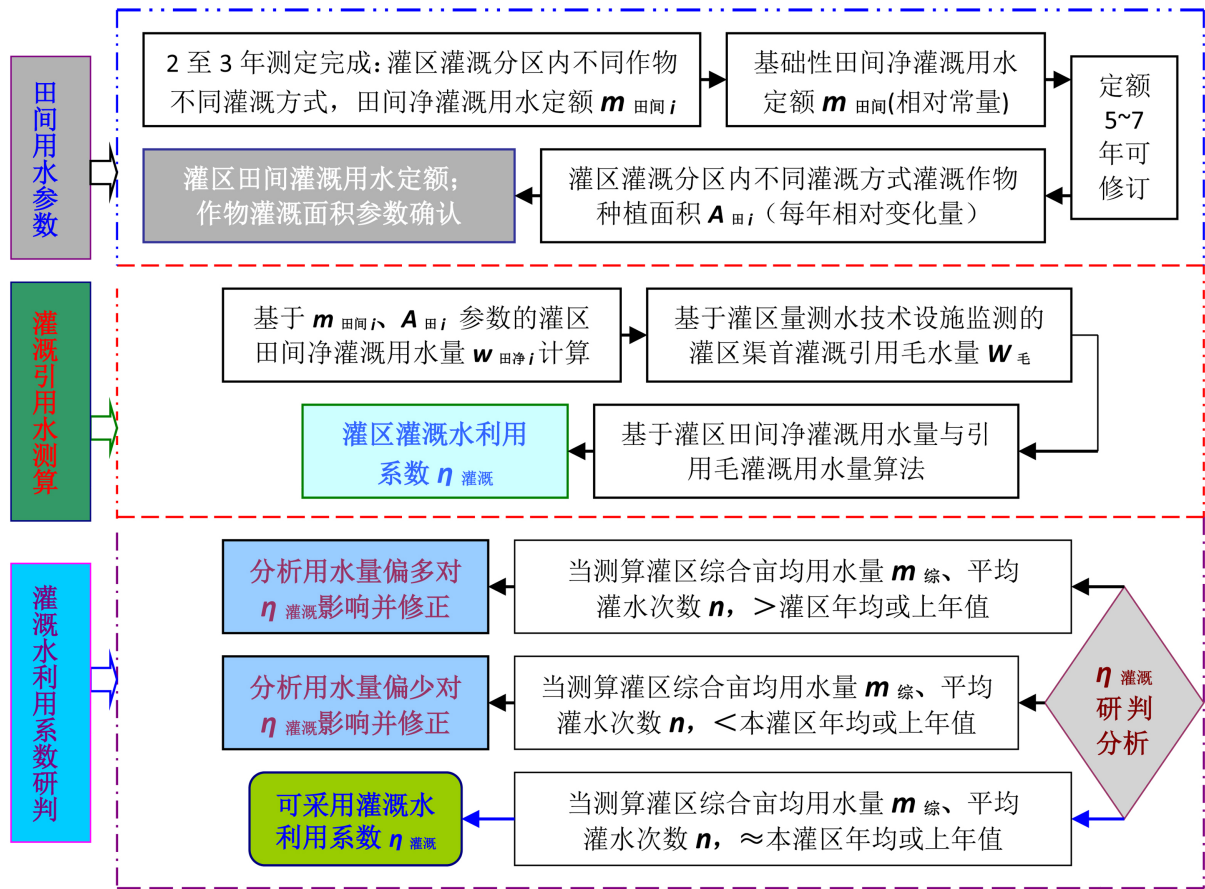


Figure 4. Improvement of the calculation method for irrigation water utilization coefficient in irrigation areas  
图 4. 灌区灌溉水利用系数测算方法改进

#### 4. 结论

基于干旱新疆灌区灌溉用水管理实践, 探析灌区不同投入因素灌溉用水定额及测算方法对灌溉水利用系数影响。以北疆昌吉州 7 个农业灌区为投入与目标产出系统, 北疆昌吉壤土灌区和南疆和田风沙土灌区为代表, 开展田间灌溉用水土壤水分监测, 采用投入产出模型农田灌溉用水测验等方法分析。灌区投入因素对灌溉水利用系数边际正效应大小: 微灌面积占比  $>$  防渗渠道  $>$  井灌水量  $>$  毛用水量, 提升高效节水规模、输水渠道防渗、井提灌建设作用明显, 农田灌水适宜湿润层 70~85 cm 真实反映灌区灌溉用水效果, 提出基于田间净灌溉用水定额为常量灌溉水利用系数测算改进方法。

#### 基金项目

新疆维吾尔自治区“天山英才”科技创新领军人才项目(2022TSYCLJ0069)。

#### 参考文献

- [1] 周和平, 王忠, 张江辉. 新疆农业用水定额技术研究应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012: 180-183.
- [2] 蔡守华, 张展羽, 张德强. 修正灌溉水利用效率指标体系的研究[J]. 水利学报, 2004, 35(5): 111-115.
- [3] 翟家齐, 赵勇, 刘宽, 等. 干旱区灌溉绿洲农业节水潜力形成机制与评估方法[J]. 水利学报, 2023, 54(12): 1440-1451.
- [4] 赵勇, 董义阳, 翟家齐, 等. 考虑生态耗水的干旱区绿洲灌溉用水效率评价指标与方法——以宁夏引黄灌溉绿

- 洲为例[J]. 水资源保护, 2023, 54(12): 1440-1451.
- [5] Siderius, C., Biemans, H., Kashaigili, J. and Conway, D. (2022) Water Conservation Can Reduce Future Water-Energy-Food-Environment Trade-Offs in a Medium-Sized African River Basin. *Agricultural Water Management*, **266**, Article ID: 107548. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107548>
- [6] Raeisi, L.G., Morid, S., Delavar, M. and Srinivasan, R. (2019) Effect and Side-Effect Assessment of Different Agricultural Water Saving Measures in an Integrated Framework. *Agricultural Water Management*, **223**, Article ID: 105685. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105685>
- [7] 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.
- [8] 吕志鹏. 基于主成分分析的某灌区灌溉水有效利用系数影响因素研究[J]. 地下水, 2023, 45(4): 138-139.
- [9] 赵晓黎. 西藏自治区农田灌溉水利用系数影响因素分析及建议[J]. 南方农业, 2023, 17(14): 226-228.
- [10] 鞠艳, 杨星, 毕克杰, 等. 江苏省农田灌溉水有效利用系数年际变化及其影响因素分析[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(12): 123-130.
- [11] 王海宇, 张月珍, 董平国. 武威市基于灌溉水有效利用系数的农业节水增效措施研究[J]. 水资源开发与管理, 2022, 8(3): 29-33, 38.
- [12] 周黎勇. 新疆干旱区田间水利用系数影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(3): 233-236.
- [13] 雷媛. 不同灌溉控制下限和计划湿润深度下冬小麦耗水特性及其模拟[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [14] 雷媛, 刘战东, 张伟强, 等. 不同灌溉控制指标对冬小麦生长及耗水特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(4): 8-15.
- [15] 王雅鹏, 凌远云, 龙文军. 农业技术经济学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 58-65.
- [16] 中国灌溉排水发展中心, 中国农业科学院农田灌溉研究所, 武汉大学, 等. SL/Z 699-2015 灌溉水利用率测定技术导则[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [17] 中国灌溉排水发展中心, 武汉大学, 水利部农田灌溉研究所, 等. SL 13-2015 灌溉试验规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [18] 中国灌溉排水发展中心, 水利部农村水利司, 中国农业大学, 等. GB/T 50363-2018 节水灌溉工程技术标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [19] 水利部农村水利司, 中国灌溉排水发展中心, 中国水利水电科学研究院, 等. GB/T 29404-2012 灌溉用水定额编制导则[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.