

# 干旱风沙土灌区灌溉生产力分析

马建强

新疆白杨河流域管理局水利管理中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年12月10日; 录用日期: 2024年1月8日; 发布日期: 2024年1月17日

## 摘要

为探究干旱风沙土灌区不同灌溉模式条件下灌溉生产力效应, 本文基于和田灌区采用投入产出及灌溉技术指标分析, 结果表明: 1) 灌区常规灌溉方式的人均耕地、化肥施量、灌溉用水量、微灌总灌面占比、播种面积农机动力投入对产出均呈正效应, 其中灌溉用水效应偏低, 说明常规灌用水效率低尚有节水空间。2) 由常规灌溉方式向滴灌节水转变, 用水定额具有22%以上节省潜力。3) 滴灌方式投入因素对增产影响大小为: 灌溉水利用系数 > 微灌总灌面积占比 > 播种面积农机动力。提高灌溉水利用系数扩大滴灌应用规模、巩固完善农机管理, 是推进风沙土灌区灌溉水资源高效利用的重要支撑。

## 关键词

干旱灌区, 投入产出, 灌溉生产力, 效应

# Analysis of Irrigation Productivity in Arid Sandy Soil Irrigation Areas

Jianqiang Ma

Water Resources Management Center of Xinjiang Baiyang River Basin Management Bureau, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 8<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 17<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

To explore the effects of irrigation productivity under different irrigation modes in arid sandy soil irrigation areas, this article analyzes the input-output and irrigation technology indicators used in Hotan irrigation area. The results show that: 1) the per capita arable land, fertilizer application, irrigation water consumption, proportion of total micro irrigation area, and planting area of conventional irrigation methods in the irrigation area have a positive effect on output, with low irrigation water effect, This indicates that conventional irrigation has low water efficiency and there is still room for water conservation. 2) Transforming from conventional irrigation methods to drip

irrigation for water-saving, the water quota has the potential to save more than 22%. 3) The impact of drip irrigation input factors on yield increase is as follows: irrigation water utilization coefficient > proportion of micro irrigation total irrigation area > sowing area agricultural machinery power. Improving the irrigation water utilization coefficient, expanding the scale of drip irrigation application, and consolidating and improving agricultural machinery management are important support for promoting the efficient utilization of irrigation water resources in sandy soil irrigation areas.

## Keywords

Arid irrigation Areas, Input Output, Irrigation Productivity, Effect

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

新疆干旱和田风沙土壤灌区年均气温、降水和蒸发量分别为：11.9℃、38.9 mm 和 2545.4 mm，比新疆年均气温高出 45.6%，降水量减少 70.8%，蒸发量高出 14.7%，灌区灌溉面积 35.861 万  $\text{hm}^2$ ，占新疆总灌面积的 7.5%。2020 年灌区人均水资源 4465  $\text{m}^3$  高出新疆平均水平的 42%，灌溉用水定额 10,353  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，高出新疆灌区平均水平的 30%，灌区水资源供需不平衡的同时，灌溉用水量却普遍过高。和田灌区沙土类土壤质地耕地占比高达 90% 以上，是新疆风沙土及沙土质地分布最多的灌区，风沙土相对贫瘠水肥气热不协调，客观上增加了灌溉水资源耗量。干旱气候水文与农业人文环境，和田灌区形成了传统的林果树间作(套种)粮棉油种植、地面沟畦漫灌农业生产灌溉模式，随着节水技术发展，近年灌区滴灌技术有所应用。干旱风沙土壤灌区灌溉水生产效果，引起业界广泛关注与研究。贾易周等人[1]利用灌区粮食作物用水足迹，采用农业用水效率系统动力学模型分析用水效率及可变影响因素。李亚龙等人[2]采用灌溉面积、灌溉水利用系数、水分生产率和节水灌溉率等指标，研究流域灌区高效节水布局 and 节水灌溉技术应用。周和平等人[3]研究干旱区灌溉水利用系数，以柯布 - 道格拉斯模型分析相关因素对灌溉水利用系数效应。本文应用投入产出生产函数模型探寻灌溉要素主题作用及生产空间，以灌区灌溉用水观测分析为基础环节，形成基于高效滴灌模式投入产出技术指标分析，为干旱风沙土壤灌区水资源高效利用管理提供参考。

## 2. 材料与方

### 2.1. 研究区概况

干旱和田风沙土壤灌区，南抵昆仑山北临塔克拉玛干大沙漠，是新疆南疆五地州级行政区之一，由和田市、和田县、墨玉、皮山、洛浦、策勒、于田、民丰 7 县 1 市。灌区年均气温 12.6~14.1℃，相对湿度 36.6%~42.7%，降水量 54.2~80.0 mm，蒸发量 1680.5 mm，干旱指数高达 20~30。新疆土壤类型 36 种和田灌区主要风沙土灰漠土及其粉沙质地分布[4]，属典型温带干旱大陆性气候，降水稀少、蒸发强烈、气候干旱、生态脆弱，为典型干旱荒漠绿洲新疆重要粮果类生产区。截止 2020 年和田灌区微灌节水面积 9.09 万  $\text{hm}^2$  仅灌溉面积的 25%；年供水量 40.23 亿  $\text{m}^3$ ，其中农业用水占比 92.3%，毛灌溉用水量 10,350  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，高出全疆平均水平三成[5]。2020 年粮、棉、油、果类单产分别为：4976  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、1506  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、1762  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、6511  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ；人均粮、果类为：308 kg、448 kg；国民经济生产总值 406.32 亿元，其中农业生产 46.49 亿元占比 11.4% [6]。2020 年水资源总量 108.99 亿  $\text{m}^3$  占新疆水资源[7]总量 13.4%，农业用

水量 37.1 亿  $\text{m}^3$  占新疆 9.7%，灌溉面积 35.86 万  $\text{hm}^2$  占新疆 7.5%，人均耕地 0.09  $\text{hm}^2$  比新疆少 55.3%，和田灌区生活着新疆面积占比 15% 的 250 万人组成的维吾尔族汉族回族等 22 个民族大家庭。

## 2.2. 数据来源

本研究数据主要有：1) 地州市县灌区相关数据，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) 地州市县级灌区水资源及利用相关数据，源于《新疆维吾尔自治区水资源公报》《新疆水利统计资料汇编》《新疆农业用水定额地方标准》；3) 新疆灌区土壤质地空间分布，源于《中国科学院资源环境科学数据中心共享服务平台》[8]，新疆气候中心和田 2009~2019 农业气象数据。

## 2.3. 研究方法

### 2.3.1. 投入系统灌溉影响效应判别

灌溉生产分析方面，由于基于多项投入与目标产出系统的考虑，从而对灌溉影响效应进行判别，为此基于投入产出主要影响要素及边际效应诊断，明晰灌区投入产出信息，采用柯布-道格拉斯[9]模型分析：

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

式中  $Y$  为产出； $x_1$ 、 $x_2$  分别为劳动、资本投入； $a$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  分别为待定系数。

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

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

由式(2)看出， $b_1$  为生产投入弹性，表现出一定比率产出变化； $b_2$  为资本投入弹性引起产出变化； $a$  为转换系数，各变量与参数有联系。

由式(1)可知， $b_1$ 、 $b_2$  系数表达了对因变量  $Y$  影响程度，由此构成投入产出弹性模量：

$$Ep = \sum_{i=1}^n b_i \quad (3)$$

弹性模量报酬递增临界度  $Ep \geq 1$ ，且  $Ep$  愈大为宜。

### 2.3.2. 灌溉生产力分析指标

基于多项投入与目标产出系统的灌溉生产力分析，包括了较多的分析技术指标，本文从以下几个主要的影响技术指标进行分析。

1) 田间水利用系数，农田灌水后计划湿润层作物根区储水与灌入田间水量关系：

$$Ea = V_s/V = (V_1 + V_2)/V = (V_1 + V_2)/(V_1 + V_2 + V_3 + V_4) \quad (4)$$

式中： $Ea$  为田间水有效利用系数； $V_s$  为灌水后计划湿润作物根区土壤储水量， $\text{m}^3$ ； $V_1$  为作物蒸腾量， $\text{m}^3$ ； $V_2$  为作物棵间土壤水分蒸发量， $\text{m}^3$ ； $V_3$  为田间深层渗漏水量， $\text{m}^3$ ； $V_4$  为田间灌水径流失水量， $\text{m}^3$ ；

$V$ 为进入田间灌水量,  $\text{m}^3$ 。

2) 灌溉水利用系数[10], 灌水后田间作物利用净灌溉水与首部引水量关系:

$$\eta_w = \frac{W_j}{W_a} = \frac{M_{\text{综}} \cdot A}{W_a} \quad (5)$$

$$M_{\text{综}} = \frac{\sum_i^N M_i \cdot A_i}{A} \quad (6)$$

$$M_i = 667\gamma H(\beta_2 - \beta_1) \quad (7)$$

式中:  $\eta_w$ 为灌溉水利用系数;  $W_j$ 为净灌溉用水量,  $\text{m}^3$ ;  $W_a$ 为首部引水量,  $\text{m}^3$ ;  $M_{\text{综}}$ 、 $M_i$ 分别为灌区综合作物, 以及第  $i$  种作物净灌溉定额,  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ;  $A_i$ 为  $i$  种作物灌溉面积,  $\text{hm}^2$ ;  $N$ 为作物种类数量;  $A$ 为灌溉面积,  $\text{hm}^2$ ;  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 分别为灌水前后湿润层土壤含水率(占干土重), %;  $\gamma$ 为土壤干容重,  $\text{t}/\text{m}^3$ ;  $H$ 为作物湿润层深度,  $\text{m}$ 。

3) 灌溉增产节水率, 不同灌水技术引起的节水及增产效果:

$$\eta_j = \frac{m - m_k}{m} \times 100\% \quad (8)$$

$$\eta_c = \frac{C - C_k}{C} \times 100\% \quad (9)$$

式中:  $\eta_j$ 、 $\eta_c$ 分别为灌溉节水率及增产率, %;  $m$ 、 $m_k$ 、 $C$ 、 $C_k$ 分别为新旧对照灌水技术的用水量及产量,  $\text{m}^3$ 、 $\text{kg}$ 。

4) 灌溉水生产效率:

$$\text{WUE} = \frac{C}{m} \quad (10)$$

式中: WUE 灌溉水生产效率,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $C$ 为灌区作物产量,  $\text{kg}$ ;  $m$ 为灌溉用水量,  $\text{m}^3$ 。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 投入产出系统灌溉影响效应

根据灌区主要生产投入因素产出现状数据, 由式(1)~(2)拟合柯布 - 道格拉斯方程为:

$$\begin{cases} c = 0.427 \times 10^{-4} T^{0.42409} F^{0.13916} S^{2.27872} B^{0.60633} J^{0.76319} \\ R = 0.955^{**} \geq [R_{0.05} = 0.707, R_{0.01} = 0.834] \\ F = 4.12^* \geq [F_{0.05}(8,5) = 3.69, F_{0.01}(8,5) = 6.63] \end{cases} \quad (11)$$

式(11)检验达到极显著和显著水平, 投入因素对产出影响边际效应分析结果, 如表 1 所示。分析结果看出, 人均耕地  $\Delta T$ 、化肥纯施量  $\Delta F$ 、毛灌溉用水量  $\Delta S$ 、微灌总灌溉面积占比  $\Delta B$ 、播种面积农机动力  $\Delta J$  投入要素, 对产出粮棉油糖产量  $C$ , 均呈明显正边际效应, 对  $C$  影响大小为:

$\Delta T > \Delta J > \Delta B > \Delta S > \Delta F$ 。灌区投入产出系统, 人均耕地面积边际效应最大, 体现了灌区耕地质量规模的基础地位; 其次播种面积农机动力边际效应显著, 表现出灌区农机化作业处于较好水平状态; 再次毛灌溉用水量、微灌总灌溉面积占比(节灌率)、化肥纯施量, 虽然均呈正边际效应, 但边际效应尤其是化肥纯施量, 明显低于人均耕地和农机动力因素影响效果。分析结果表明, 现状灌区灌溉用水处于低效率低水平状态, 灌区灌溉尚有节水潜力和发展空间。

**Table 1.** Marginal effects of production factors in the input-output system of irrigation areas**表 1.** 灌区投入产出系统生产要素边际效应

生产要素边际投入量	对粮棉油糖产量 $C$ 影响增(+)、减(-)	边际收益 > 或 < 边际投入
人均耕地每 1 $\text{hm}^2$ 增量 $\Delta T$	+22559.37	>
化肥施量每 $\text{hm}^2$ 增 1 kg $\Delta F$	+3.46	>
毛灌溉用水量每增 1 mm $\Delta S$	+13.39	>
微灌总灌面每增 1 占比 $\Delta B$	+121.69	>
农机动力每 $\text{hm}^2$ 增 1 kw $\Delta J$	+691.16	>

### 3.2. 灌区灌溉生产力分析

#### 3.2.1. 田间灌溉用水

灌区土壤环境灌溉技术种植模式灌溉用水定额, 是灌溉供水重要的基础数据。为获取和田灌区不同作物种植模式全生长期灌溉用水量, 基于不同灌溉类型作物面积及灌水制度, 采用传统取土钻 100 cm 土壤层深土壤水分烘干法, 对农田作物每次灌水前后大范围 980 个代表区测点形成了 20,020 个观测数据。由观测结果可知, 虽然灌区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, 灌后增加水量湿润层深度多出现 60~70 cm, 70 cm 土层以下有所减少, 至 100 cm 仍有较多灌溉水量。由常规灌溉与滴灌比较可知, 常规沟畦灌溉土壤耕作层(0~30 cm)、上土层(30~60 cm)、中土层(60~80 cm)和下土层(80~100 cm), 灌溉水储量占比分别为: 14%~24%、26%~35%、23%~32%和 20%~28%, 灌溉水储量占比大小表现为上土层较多、中土层次之、下土层较少和耕作层相对最小; 滴灌耕作层、上土层、中土层和下土层, 灌溉水储量占比分别为: 28%~34%、31%~35%、19%~24%和 12%~18%, 表现为耕作层和上土层基本相当, 中土层减少、下土层最小。由此可见, 常规沟畦灌 80~100 cm 下土层灌水后仍有 20% 以上灌溉水储存, 滴灌相对减少 10% 左右, 80% 以上集中于中土层及耕作层。和田灌区农田地下潜水埋深基本在 4 cm 以上, 除生长多年林果树深根系之外, 大田作物难以获得地下水补给完全依靠灌溉水。

**Table 2.** Comprehensive crop irrigation systems for conventional and drip irrigation in irrigation areas**表 2.** 灌区常规与滴灌综合作物灌溉制度

灌区	常规沟畦灌技术			滴灌技术		滴灌节水		
	灌水定额/mm	灌水次数	灌溉用水定额/mm	灌水定额/mm	灌水次数	灌溉用水定额/mm	节水量/mm	节水率/%
皮山	105	8.5	893	45	12.5	562	331	37.1
和田	80	8.7	695	42	13.0	542	153	22.0
墨玉及和田	81	8.1	654	42	11.5	481	173	26.4
洛浦	105	8.5	893	45	12.5	565	328	36.7
策勒	89	10.0	885	45	13.5	606	279	31.6
于田	87	7.8	679	43	11.3	487	192	28.3
民丰	90	8.5	765	42	12.5	526	239	31.3
全灌区	89	8.5	752	43	12.3	528	223	29.7

综上, 灌区风沙土粉沙质地居多, 考虑既适宜林果作物套种充分利用下层土壤水分, 又不至于产生灌溉水深层渗漏, 田间灌水计划湿润深度以 80 cm, 同时, 大量样本灌水定额平均和中位数及标准差基本接近差异性小, 说明灌区风沙土剖面质地层次单一差异性不大, 因此, 不同灌区灌水定额可以多监测

点算术平均确定。近 10 年灌区有效降水量表明，作物生长期 3~9 月有效降水量 16.1~25.1 mm，各月仅 0.3 至 7.6 mm，降水对作物影响程度可忽略。由此，基于田间观测综合作物灌溉制度(表 2)结果表明，常规沟畦灌水定额 80~105 mm，灌水次数 8~10，田间灌溉用水定额 650~890 mm。滴灌灌水定额 40~45 mm，灌水 11~13 次，田间灌溉用水定额 480~610 mm，比常规沟畦节水 150~330 mm，节水幅度 22%~37%。

### 3.2.2. 灌溉水生产力

基于和田灌区灌溉供水及节水规模、种植作物面积及产量[11] [12] [13]等基本参数，综合常规与滴灌综合作物田间灌溉制度(表 2)成果，由式(4)~(10)分析灌区灌溉水生产力主要技术指标结果(表 3)表明，由传统常规沟畦灌溉向滴灌规模化发展，灌区可由目前田间水利用系数 0.881、灌溉水利用系数 0.593、粮棉油糖单产 5845 kg/hm<sup>2</sup>和灌溉水生产效率 0.78 kg/m<sup>3</sup>，分别提高到 0.927、0.612、6899 kg/hm<sup>2</sup>和 1.31 kg/m<sup>3</sup>；灌溉用水定额由目前的 752 mm 减少到 528 mm，节水增产率可达到 29.7%和 18.0%，灌区高效滴灌方式灌溉生产力可得以显著提升。

**Table 3.** Main technical indicators of irrigation water productivity in irrigation areas

**表 3.** 灌区灌溉水生产力主要技术指标

灌区	常规灌溉模式					高效滴灌模式						
	田间灌溉水利用系数	灌溉水利用系数	灌溉用水定额/mm	粮棉油糖产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	灌溉水生产效率/(kg/m <sup>3</sup> )	田间灌溉水利用系数	灌溉水利用系数	灌溉用水定额/mm	粮棉油糖产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	灌溉水生产效率/(kg/m <sup>3</sup> )	节水/%	增产/%
符号	$Ea$	$\eta_w$	$m$	$C$	WUE	$Ea$	$\eta_w$	$m$	$C$	WUE	$\eta_j$	$\eta_c$
和田市	0.862	0.588	695	4648	0.67	0.907	0.606	542	5445	1.00	22.0	17.2
和田县	0.858	0.585	654	4597	0.70	0.904	0.603	481	5265	1.09	26.4	14.5
墨玉县	0.852	0.578	654	4416	0.68	0.897	0.602	481	5057	1.05	26.4	14.5
皮山县	0.889	0.606	893	5256	0.59	0.936	0.625	562	6328	1.13	37.1	20.4
洛浦县	0.885	0.605	893	3790	0.42	0.931	0.624	565	4834	0.86	36.7	27.5
策勒县	0.893	0.607	885	5668	0.64	0.940	0.626	606	6653	1.10	31.6	17.4
于田县	0.891	0.611	679	5521	0.81	0.938	0.630	487	6381	1.31	28.3	15.6
民丰县	0.898	0.616	765	12,862	1.68	0.945	0.635	526	15,076	2.87	31.3	17.2
全灌区	0.881	0.593	752	5845	0.78	0.927	0.612	528	6899	1.31	29.7	18.0

### 3.2.3. 灌溉因素对产出影响

为进一步分析基于滴灌方式投入产出系统灌溉生产力影响效应，保持灌区基本投入要素不变，考虑可变因素为滴灌方式灌溉用水量  $S$ ，新增因素为灌溉水利用系数  $\eta_w$ ，形成滴灌系统数据如表 4 所示，由表 4 数据以式(1)~(3)构建灌区滴灌方式投入产出柯布 - 道格拉斯函数为：

**Table 4.** Input output system of efficient drip irrigation mode in irrigation areas

**表 4.** 灌区高效滴灌模式投入产出系统

灌区	粮棉油糖产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	灌溉水利用系数	人均耕地面积/hm <sup>2</sup>	化肥纯施量/(kg/hm <sup>2</sup> )	灌溉用水量/mm	滴灌总灌面积占比/%	播种面积农机动力/(kw/hm <sup>2</sup> )
代码	$C$	$\eta_w$	$T$	$F$	$S$	$B$	$J$
和田市	5445	0.606	0.03	274.4	542	24.3	5.5
和田县	5265	0.603	0.09	201.9	481	24.5	3.5
墨玉县	5057	0.602	0.08	273.4	481	12.2	5.2

续表

皮山县	6328	0.625	0.13	237.9	562	26.0	5.5
洛浦县	4834	0.624	0.10	306.9	565	27.1	3.9
策勒县	6653	0.626	0.15	124.4	606	32.0	8.6
于田县	6381	0.630	0.14	118.6	487	35.2	1.1
民丰县	15,076	0.635	0.16	344.4	526	51.7	18.4
全灌区	6899	0.619	0.11	235.2	531	29.1	6.5

$$\begin{cases} C = 2.97 \times 10^{16} \eta_w^{15.161} T^{-0.225} F^{-0.308} S^{-3.529} B^{0.150} J^{0.457} \\ R = 0.996^{**} \geq [R_{0.05} = 0.707, R_{0.01} = 0.834] \\ F = 21.74^{**} \geq [F_{0.05}(8,5) = 3.69, F_{0.01}(8,5) = 6.63] \end{cases} \quad (12)$$

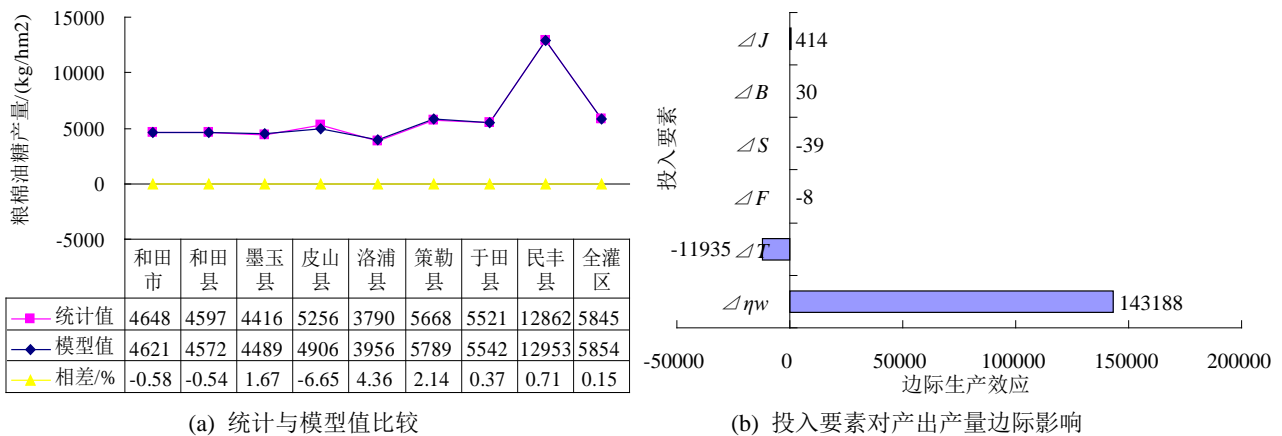


Figure 1. Analysis of input-output model for drip irrigation system in irrigation areas

图 1. 灌区滴灌系统投入产出模型分析

经检验式(12)为极显著水平, 统计与模型值相差-6.65~4.36%平均 0.15% (图 1(a)), 模型具有较好代表性可量化解析。由投入要素产出影响边际效应(图 1(b))看出, 6 项投入要素: 灌溉水利用系数  $\Delta \eta_w$ 、人均耕地面积  $\Delta T$ 、化肥纯施量  $\Delta F$ 、灌溉用水量  $\Delta S$ 、滴灌总灌面积占比  $\Delta B$ 、播种面积农机动动力  $\Delta J$ , 对粮棉油糖产量  $C$  呈正边际效应影响因素为 3 个, 其大小程度为:  $\Delta \eta_w > \Delta J > \Delta B$ , 说明灌溉水利系数、滴灌面积发展, 农业机械化装备水平, 成为滴灌投入产出系统的重要影响标志。对粮棉油糖产量  $C$  呈负边际效应因素及大小程度为:  $\Delta T > \Delta S > \Delta F$ 。由常规灌溉与滴灌投入因素比较看出, 相同人均耕地面积、化肥纯施量和灌溉用水定额 3 个因素, 常规灌溉投入产出系统呈正效应, 而在滴灌投入产出系统仅采用滴灌节水灌溉定额, 其它 2 个因素保持不变, 投入对产出影响均由正边际效应变成负效应, 这一结果恰好说明, 滴灌方式投入产出中, 人均耕地、化肥纯施量、灌溉用水定额, 对产出效应由原递增变成递减, 反映出原常规灌溉人均耕地少成为影响产出主要问题, 在滴灌系统转化为非主要影响因素; 原化肥纯施量 235 kg/hm<sup>2</sup>, 高出国际公认安全施用上限 225 kg/hm<sup>2</sup> [14]施肥水平, 在滴灌系统可不增用量且平衡收益; 原常规沟畦大灌溉用水, 采用滴灌节水定额, 适宜作物需水要求符合节水标准[15]且可获得节水增产效应。灌区高效滴灌系统总体弹性模量  $Ep = 11.71 > 1$ , 报酬受益远大于临界状态, 表明滴灌生产要素投入产出处于良好报酬递增阶段, 发展滴灌应用规模对提升和田灌区水资源高效利用具有重要作用。

## 4. 结论

本文基于多因素投入与目标产出系统视角, 对干旱和田风沙土灌区农业灌溉生产力进行综合研究分析结果显示: 1) 常规沟畦灌溉方式, 灌溉用水量、微灌总灌面积占比、化肥纯施量投入呈正效应, 但明显低于人均耕地和农机动力因素影响效果, 分析结果进一步映证了常规灌溉用水利用效率低下的同时, 且具有较大的节水发展空间。2) 基于灌区作物用水观测分析的2万个观测数据取得了风沙土灌区综合作物灌溉制度。3) 风沙土灌区灌溉生产力分析揭示了常规灌溉向滴灌方式转变, 投入产出系统呈现出报酬递增态势, 显示出现有灌溉用水及化肥纯施量资源投入不增反减的状态之下, 同样可以获得节水增产效果。

## 参考文献

- [1] 贾易周, 刘子西, 唐莲. 基于系统动力学的青铜峡灌区农业用水效率调控研究[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(4): 137-144.
- [2] 李亚龙, 范琳琳, 王建鹏. 长江流域灌溉效率指标分析[J]. 中国农村水利水电, 2017(12): 1-6.
- [3] 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.
- [4] 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所编著. 新疆土壤与改良利用[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1977.
- [5] 新疆维吾尔自治区水利厅. 新疆水利统计资料汇编[Z]. 2020.
- [6] 新疆维吾尔自治区统计局编. 新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [7] 新疆维吾尔自治区水利厅. 新疆水资源公报[Z]. 2020.
- [8] 中国科学院资源环境科学数据中心. 中国土壤质地空间分布数据[Z]. 2008.
- [9] 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.
- [10] 王忠, 周和平, 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: 180-186.
- [11] 刘梦洁, 梁飞, 李全胜, 等. 膜下滴灌与细流沟灌对玉米生长及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2023, 56(8): 1515-1530.
- [12] 赵经华, 杨庭瑞, 周和平, 等. 渗灌对玉米生长指标及产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(6): 58-66.
- [13] 周和平, 赵经华, 翟超, 等. 渗滴灌溉节水降耗应用试验[J]. 中国科学: 技术科学, 2019, 49(1): 76-86.
- [14] 刘钦普, 孙景荣, 濮励杰. 中国及欧美主要国家化肥施用强度与综合效率比较研究[J]. 农业工程学报, 2020, 36(14): 9-16.
- [15] 王忠, 周和平, 张江辉, 等. DB65/3611-2014. 新疆维吾尔自治区农业灌溉用水定额[S]. 乌鲁木齐, 2015.