

# 干旱区新疆农田土肥水影响效应

余 姣

新疆维吾尔自治区塔里木河流域喀什管理局, 新疆 莎车

收稿日期: 2023年9月6日; 录用日期: 2023年10月5日; 发布日期: 2023年10月12日

## 摘 要

为分析干旱新疆农田土肥水影响效应, 本文利用农业生产统计资料, 应用逐步回归统计检验法, 对多因素与目标投入产出指标筛选分析, 形成了反映农田投入产出主题 - 土壤质地面积占比、化肥纯施用量、灌溉用水量与主要作物产量关系, 采用柯布道格拉斯模型分析土肥水关联及影响效应, 结果表明: 耕地质量(基于壤土面积占比表征)和施肥水平及灌溉用水量即土肥水, 是农田投入产出的基本要素。耕地质量和施肥及灌溉用水量对作物产出边际效应大小为: 施肥水平 > 灌溉用水 > 耕地质量。土肥水对作物产出影响占比系数大小为: 灌溉水量 > 施肥量 > 耕地质量, 反映了灌溉、肥料及土壤质地条件主次关系, 体现了土肥水是新疆高标准农田核心内容及灌溉属性特征。优化分析灌溉用水量 $8344 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 与现状相近, 优化肥施量 $251 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 比现状可节省12%。分析结果为提升土壤肥力及水肥增效高质量发展提供依据。

## 关键词

新疆, 干旱灌区, 土肥水关联, 效应

# Effects of Soil, Fertilizer, and Water on Farmland in Arid Areas of Xinjiang

Jiao Yu

Xinjiang Uygur Autonomous Region Tarim River Basin Kashgar Management Bureau, Shache Xinjiang

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 5<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 12<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In order to analyze the impact of soil, fertilizer, and water on arid farmland in Xinjiang, this article uses agricultural production statistical data and applies stepwise regression statistical testing

文章引用: 余姣. 干旱区新疆农田土肥水影响效应[J]. 农业科学, 2023, 13(10): 879-889.

DOI: 10.12677/hjas.2023.1310123

method to screen and analyze multiple factors and target input-output indicators, forming a reflection of the theme of farmland input-output-soil texture area ratio, pure fertilizer application amount, irrigation water consumption and main crop yield. The Cobb Douglas model is used to analyze the correlation and impact effects of soil, fertilizer, and water, the results indicate that the quality of arable land (characterized by the proportion of loam soil area), fertilization level, and irrigation water consumption, namely soil, fertilizer, and water, are the basic elements of farmland input-output. The marginal effect of farmland quality and fertilization and irrigation water usage on crop output is as follows: Fertilization level > irrigation water usage > farmland quality. The proportion coefficient of the impact of soil, fertilizer, and water on crop output is as follows: Irrigation water amount > fertilization amount > farmland quality, reflecting the primary and secondary relationships between irrigation, fertilizer, and soil texture conditions, reflecting that soil, fertilizer, and water are the core content and irrigation attribute characteristics of high standard farmland in Xinjiang. Optimization analysis shows that the irrigation water consumption of 8344 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> is similar to the current situation, and the optimized fertilizer application rate of 251 kg/hm<sup>2</sup> can save 12% compared to the current situation. The analysis results provide a basis for improving soil fertility and improving water and fertilizer efficiency through high-quality management.

## Keywords

Xinjiang, Arid Irrigation Areas, Soil Fertilizer Water Correlation, Effect

Copyright © 2023 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

农业八字宪法[1]涵盖了农业生产全要素,随着长期生产实践尤其农业现代化快速推进,催生了“土、肥、水、种、智(质)、标、品、生(升)”新八字[2]。不难看出,时代不同但“土、肥、水、种”始终处于主体地位,表明土壤质量水肥种是现代农业提质增效基本要素[3]。耕地是农业的根本,耕地质量直接影响生产效果,赵彦锋等[4]以作物光、温、水、养分为指标对耕地地力进行评价管理,匡兵等[5]认为需要强化耕地利用投入产出绿色要素培育,提升中低产田综合生产力[6]。土壤质地是影响土壤持水通气作物生长状态的基本环境条件,李潮海等人[7]进行不同土壤质地对玉米根系生长影响分析表明,玉米生育期平均根量生长速率中壤土明显好于轻壤土和粘性土质,壤土类质地通气保肥保水性能好,适合作物生长发育及干物质积累[8],李沼鹤等[9]进行不同土壤质地三种保水剂保水性能试验,壤土施用保水剂含水量多于砂土和粘土,王萌萌等[10]田间试验表明,壤土类棉花生长面的土壤温度、土壤水分及产量好于砂土、黏土种植环境,中轻土壤质地农田水肥气热协调,为作物主动汲水提供了适宜环境[11]。土壤肥料是作物营养生长及产出的基本保障,王雪梅等[12]对新疆库车灌区不同耕作层壤土、砂壤土、黏土、黏壤土、砂土有效态微量元素监测结果表明,壤土、砂壤土有效态微量元素含量相对高,廖育林等[13]对长期施用化肥和稻草还田配施化肥施用增产明显并可以替代部分化学钾肥。土壤结构、营养肥料、灌溉水分对作物正常生长互为关联影响,土肥水效应及其管理模式成为主要研究内容[14];水肥是影响作物生长质量关键因素,目前水肥耦合研究进入成熟阶段[15];吴文勇等[16]认为灌溉水肥高效利用调控技术是现代农

对农业生产影响少有研究。

本文以干旱新疆灌区为研究对象，基于农业生产历史系列数据，从多影响因素筛选出作物产量、土壤质地面积、化肥纯施用量、灌溉用水量四个指标，以投入产出关系模型分析农田土肥水影响效应，为农业水肥资源协同高效利用提供依据。

## 2. 研究区概况

新疆远离海洋疆域国土面积占比 1/6。年均降水 154.1 mm，年均蒸发 2125.4 mm，干旱指数 10~15，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，是我国典型的荒漠绿洲纯灌溉农业。新疆 14 个地州市级所属灌区分布于南疆、东疆和北疆片区，各区自然地理、水文水情、土壤类型、气候环境差异大。耕地土壤质地是农业生产的重要基础，新疆土壤类型 36 种[17]，但农田多棕钙土、草甸土、棕漠土、灰棕漠土、盐土、沙土分布，土壤质地多粉沙、沙壤、中轻壤、戈壁砾质土分布，土壤有机质含量高具有团粒结构土壤质地农田无分布。因此，新疆农业生产土壤质量与灌溉用水尤显重要。截止 2020 年新疆灌溉面积 602.09 万  $\text{hm}^2$  [18]，其中滴灌面积占比近 60%；农业用水 496.2 亿  $\text{m}^3$  占比 87.0%，单位面积灌溉用水 8241  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。2020 年农作播种面积 628.261 万  $\text{hm}^2$ ，其中粮、棉、油、蔬、瓜和糖类六大作物种植面积占比为 35.5%、39.8%、2.8%、5.1%、1.9% 和 1.0%；单产为 7100  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、2063  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、3070  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、53,055  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、41,136  $\text{kg}/\text{hm}^2$  和 38,084  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ，人均粮、棉、油、蔬、瓜和糖类为 616  $\text{kg}$ 、201  $\text{kg}$ 、21  $\text{kg}$ 、667  $\text{kg}$ 、186  $\text{kg}$  和 180  $\text{kg}$ ；2020 年新疆水资源总量 801.1 亿  $\text{m}^3$  占全国水资源[19]量的 2.53%，农业用水 496.2 亿  $\text{m}^3$  占全国的 13.7%，灌溉面积 604.75 万  $\text{hm}^2$  占全国的 8.9%，生活着占国土面积 17.3% 的新疆人口。

## 3. 数据及研究方法

### 3.1. 数据来源

本研究数据资料主要有：新疆 14 个地州市级所属农业灌区相关数据，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》(1978~2020 年)；新疆 14 个地州市级所属灌区水资源及利用相关数据，源于《新疆水资源公报》《新疆水利统计资料汇编》《新疆农业用水定额地方标准》(DB 65/3611-2014)；新疆 14 个地州市级土壤质地空间分布检索分析及气象要素数据，源于《国家地球系统科学数据中心共享服务平台》《新疆滴灌作物需水量与灌溉制度试验研究成果汇编》(2013~2018 年)。新疆地州市级农业灌区主要地理气象土壤要素，如表 1 所示。

**Table 1.** Overview of geometeorological soil elements in Xinjiang agricultural irrigation area

**表 1.** 新疆农业灌区地理气象土壤要素简况

地州市级	海拔/m	气温、积温/ $^{\circ}\text{C}$		无霜期/d	年降水/mm	年蒸发/mm	灌区主要土壤及分布	
		年均	$\geq 10$				土壤类型	土壤质地
和田地区	1262.8~1427.0	10.4~12.6	4065.3~4360.9	210~230	18.1~52.1	2309.7~2824.0	风沙土、棕漠土、灰棕漠土、盐土	粉沙，沙壤，壤土极少
喀什地区	1116.5~3090.9	3.3~13.3	1506.9~4363.7	79~241	43.2~72.3	2013.0~2618.4	棕漠土、绿洲灰棕漠土、风沙土	粉沙，沙壤，壤土较少
克州	1297.9~3505.2	6.5~13.1	2434.7~4697.7	138~261	74.3~229.0	1712.4~2938.7	棕漠土、绿洲灰棕漠土、盐(次生)土	沙壤、中轻壤质、重壤少
阿克苏地区	980.4~1395.6	7.8~11.6	3327.3~4378.8	162~248	45.1~117.3	1384.1~2871.9	棕漠土、绿洲灰棕漠土、盐(次生)土	多砂粉壤质、中壤土
巴州	846.0~2458.0	6.2~11.8	2524.0~4353.9	167~235	23.1~195.1	1820.4~2777.5	棕漠土、绿洲灰棕漠土、盐(次生)土	多砂粉壤质、中壤土

Continued

吐鲁番市	1.0~ 977.8	11.3~ 14.4	4518.1~ 5391.3	263~ 295	8.0~ 25.2	2597.3~ 3403.9	灰漠土、灰(灌溉) 棕漠土、砾质沙土	中壤土、砾石土质
哈密地区	469.0~ 1728.6	2.0~ 10.0	1735.0~ 4178.3	101~ 279	12.0~ 243.9	1606.4~ 4401.3	灰漠土、灰(灌溉) 棕漠土、砾质沙土	沙壤、中壤质、砾石土质
乌鲁木齐市	600.3~ 935.0	5.0~ 8.0	3335.0~ 3547.5	170~ 181	235.1~ 200.1	2100.0~ 2171.8	灰漠土、灰(灌溉) 棕漠土、草甸土	轻中壤质、砾石土质
克拉玛依市	522.1~ 340.0	7.0~ 7.3	3500.3~ 3595.5	160~ 175	150.0~ 179.0	2129.6~ 2500.0	灰漠土、灰(灌溉) 棕漠土、沙土	轻中壤质、戈壁砾石土
昌吉州	471.4~ 1650.1	2.4~ 7.3	1732.2~ 3561.3	123~ 174	127.6~ 318.7	1635.7~ 2350.0	灰漠土、灰(灌溉) 棕漠土、草甸土	轻中壤质、少量重壤土
博州	320.1~ 1133.0	3.8~ 7.7	2395.4~ 3582.5	138~ 174	102.2~ 222.7	1501.7~ 1563.3	灰漠土、灰(灌溉) 棕漠土、草甸土	轻中壤质、少量重壤土
塔城地区	291.0~ 1493.5	2.4~ 7.6	1688.0~ 3685.6	133~ 183	143.2~ 273.5	1225.8~ 2114.4	棕钙土、灌溉棕钙土、草甸土	轻中壤质、砾质土
伊犁州	600.0~ 1848.6	3.0~ 9.5	1316.7~ 3534.0	100~ 179	220.1~ 507.6	1259.2~ 1887.0	淡栗钙土、早作栗钙土、草甸土	轻中壤质、少量重壤土
阿勒泰地区	475.6~ 1225.6	1.0~ 4.8	1983.9~ 3081.2	75~ 160	110.1~ 205.1	1371.2~ 2331.1	棕钙土、薄层淡棕钙土、草甸土	轻中壤质、戈壁砾质土

### 3.2. 研究方法

#### 3.2.1. 函数模型

为研究灌区投入因素对产出目标关联影响效应，采用柯布 - 道格拉斯[20]模型量化分析：

$$Y = ax_1^{b_1} x_2^{b_2} \tag{1}$$

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

该模型对投入产出之间依存关系数学描述，具有的特点体现在：① 由式(1)分别对  $x_1$  和  $x_2$  求  $Y$  偏导，可得边际影响效应：

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial x_1} = b_1 \frac{Y}{x_1} \\ b_1 = \frac{\partial Y}{\partial x_1} \bigg/ \frac{Y}{x_1} = \frac{\partial Y}{Y} \bigg/ \frac{\partial x_1}{x_1} \\ \frac{\partial Y}{\partial x_2} = b_2 \frac{Y}{x_2} \\ b_2 = \frac{\partial Y}{\partial x_2} \bigg/ \frac{Y}{x_2} = \frac{\partial Y}{Y} \bigg/ \frac{\partial x_2}{x_2} \end{cases} \tag{2}$$

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； $b_2$  为资本投入弹性体现出资本引起产出变化； $a$  为转换系数。模型中各变量与参数是有联系的。② 在农业灌区分析中，多数样本观测数据与统计目标之间相同属性关系较大，以该模型分析是可解的。

#### 3.2.2. 函数扩展

由于灌区多因素投入产出数据，故需对式(1)拓展变换：

$$Y = ax_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3} \cdots x_n^{b_n} \tag{3}$$

式中  $a$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_n$  为待定系数，以线性函数转化实现，对式(3)两边取对数得：

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

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

则式(4)变为：

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

由式(5)看出，回归系数大小直观地表达了投入要素  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) 对因变量  $Y$  系统影响程度，各回归系数之和构成系统弹性模量：

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

一般希望弹性模量  $Ep$  值愈大为好，且临界度  $Ep \geq 1$ 。

弹性模量系统不同因素影响程度占比系数：

$$K = \sum_{i=1}^n b_i / Ep \quad (7)$$

式中  $K$  为由不同  $b_i$  与弹性模量  $Ep$  比值； $n$  为变化系数  $b_i$  数目。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 数据筛选分析

本文基于相关统计显著性检验方法，分别对“粮食总产”、“油料总产”、“棉花总产”、“主要作物产量”、“粮食产值”、“油料产值”、“棉花产值”和“农业总产值”8个产出目标进行了逐步回归，考虑到不同阶段作物单价对历史数据系列合理性影响，因此，综合筛选确定“主要作物产量”(粮、棉、油、甜菜、蔬菜、果瓜、苜蓿)作为产出目标。农业产出直接或间接投入因素较多，统计资料已有信息主要有：耕地面积(或种植面积，或地膜覆盖面积)、壤土面积占比、施用肥料(化肥纯用量)、灌溉用水量(或用水总量，或单位面积用水量)、灌溉面积(或常规节水面积，或高效节水面积)、农机总动力(大中型拖拉机及配套农具)六类投入，良种推广、合理密植、田间管理等物化活化投入因素，因未量化统计尚未此相关数据。

基于逐步回归统计检验及合理性，对六类投入要素筛选分析认为，土壤质量状况是衡量耕地质量的重要内容之一，是农业生产极为宝贵土壤资源，以各地灌区壤土类土壤质地面积占灌溉面积比重，即“壤土面积占比”作为投入因素变量，可较好地反映各地不同灌区壤土面积占比条件下的农业产出效果。鉴于无农家肥施用量统计数据主选化肥纯用量。新疆降水稀少蒸发强烈，灌溉用水是极为重要的物化投入要素。由投入产出系统分析可知，投入产出系统参与因素越多拟合及相关性越好，然而，对于“农机总动力”拟合及相关性很好，但对于产出目标却产生负效应，出现了投入产出系统数据缺乏同质属性，导致农机发展对目标产出无意义的逻辑问题。因此，考虑灌区信息同质及相关性检验，确定筛选壤土面积占比、化肥纯用量、灌溉用水量与主要作物产量形成投入产出数据系统。

### 4.2. 投入产出土肥水影响因素分析

#### 4.2.1. 土肥水关系模型

新疆14个农业灌区主要作物产量  $C$  与土壤质地壤土面积占比  $t$ ，化肥纯施用量  $f$ ，灌溉用水量  $s$  三因素历时多年数据，采用式(1)至(5)进行拟合得到柯布-道格拉斯模型如表2所示。经统计检验分析表明，模型相关系数  $R$  及方差  $F$  均大于临界值，拟合程度达到极显著水平，模拟与统计比较结果相差

**Table 2.** Douglas model of input factors and output of main crops in Xinjiang irrigation area over the years  
**表 2.** 新疆灌区历年投入因素与主要作物产出道格拉斯模型

历年	道格拉斯模型	相关系数 $R$	方差 $F$
1978	$C = 0.0028$ $t^{0.23341}$ $f^{0.36330}$ $s^{0.70173}$	0.965**	45.82**
1980	$C = 0.0027$ $t^{0.23341}$ $f^{0.36330}$ $s^{0.70173}$	0.965**	45.82**
1985	$C = 0.0037$ $t^{0.23341}$ $f^{0.36330}$ $s^{0.70173}$	0.965**	45.82**
1990	$C = 0.0057$ $t^{0.23341}$ $f^{0.36330}$ $s^{0.70173}$	0.965**	45.82**
1995	$C = 4.0281$ $t^{0.18794}$ $f^{0.61008}$ $s^{0.15656}$	0.952**	32.56**
1996	$C = 6.1840$ $t^{0.18610}$ $f^{0.68156}$ $s^{0.11717}$	0.962**	42.14**
1997	$C = 3.9410$ $t^{0.18193}$ $f^{0.63657}$ $s^{0.15498}$	0.963**	42.99**
1998	$C = 9.6907$ $t^{0.15554}$ $f^{0.68564}$ $s^{0.15600}$	0.963**	42.64**
1999	$C = 2.4746$ $t^{0.14514}$ $f^{0.60010}$ $s^{0.21411}$	0.958**	37.29**
2000	$C = 0.8746$ $t^{0.20535}$ $f^{0.60787}$ $s^{0.29042}$	0.969**	50.73**
2001	$C = 1.2356$ $t^{0.19814}$ $f^{0.64050}$ $s^{0.26160}$	0.975**	65.28**
2002	$C = 4.1323$ $t^{0.15684}$ $f^{0.73773}$ $s^{0.17627}$	0.978**	71.88**
2003	$C = 1.0536$ $t^{0.19754}$ $f^{0.64403}$ $s^{0.28908}$	0.980**	84.55**
2004	$C = 0.9418$ $t^{0.16506}$ $f^{0.66942}$ $s^{0.29851}$	0.981**	83.82**
2005	$C = 1.7747$ $t^{0.16085}$ $f^{0.71011}$ $s^{0.24266}$	0.981**	81.13**
2006	$C = 1.3713$ $t^{0.16014}$ $f^{0.69626}$ $s^{0.26767}$	0.981**	83.38**
2007	$C = 0.7703$ $t^{0.15527}$ $f^{0.68863}$ $s^{0.30271}$	0.980**	79.33**
2008	$C = 0.0076$ $t^{0.23341}$ $f^{0.36330}$ $s^{0.70173}$	0.965**	45.82**
2009	$C = 0.0061$ $t^{0.21359}$ $f^{0.27630}$ $s^{0.74836}$	0.964**	43.80**
2010	$C = 0.0121$ $t^{0.19875}$ $f^{0.33147}$ $s^{0.68504}$	0.962**	40.91**
2011	$C = 0.0109$ $t^{0.19108}$ $f^{0.34600}$ $s^{0.69342}$	0.967**	48.28**
2012	$C = 0.0113$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
2013	$C = 0.0118$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
2014	$C = 0.0123$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
2015	$C = 0.0128$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
2016	$C = 0.0140$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
2017	$C = 0.0137$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
2018	$C = 0.0134$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
2019	$C = 0.0131$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
2020	$C = 0.0141$ $t^{0.18605}$ $f^{0.38814}$ $s^{0.67519}$	0.957**	36.43**
综合平均	$C = 0.0437$ $t^{0.19327}$ $f^{0.48707}$ $s^{0.55183}$	0.986**	49.31**

注：统计检验临界值  $R = 0.433\sim 0.549$ ； $F = 8.70\sim 26.87$ 。

正负 0.3%~ -9.8% (见图 1)，拟合方程代表性效果好，可对模型进行量化解析。

## 4.2.2. 土肥水对作物产出效应

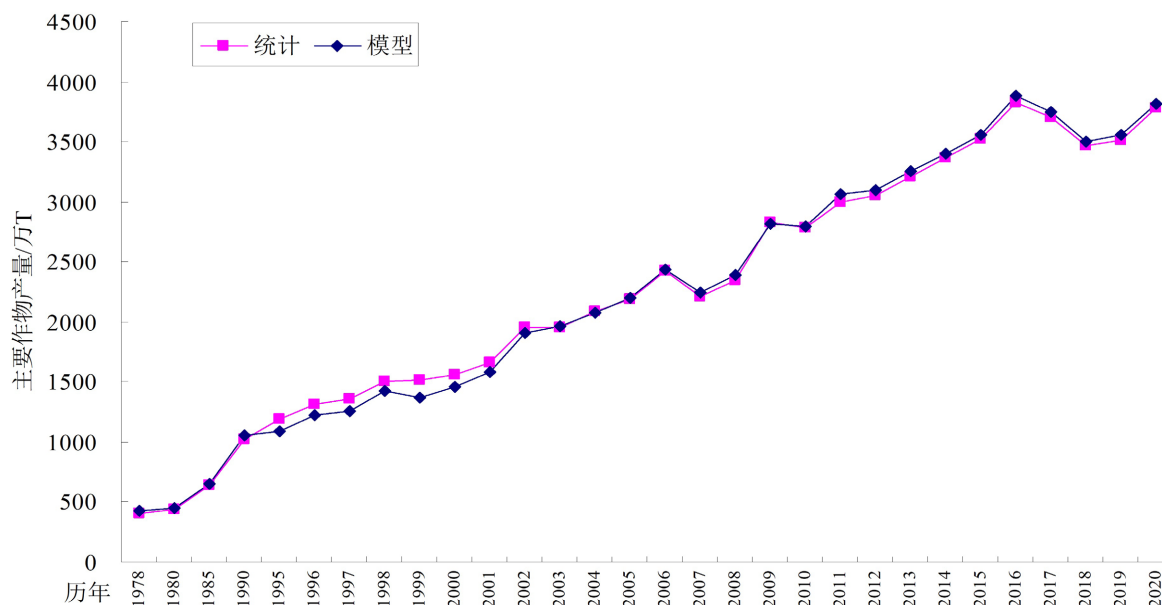


Figure 1. Comparison of simulation and statistical results

图 1. 模拟与统计结果比较

Table 3. Effect of input factors on yield of main crops in irrigation area (kg)

表 3. 灌区投入因素对主要作物产量影响效应(kg)

历年	$\Delta t$	$\Delta f$	$\Delta s$	历年	$\Delta t$	$\Delta f$	$\Delta s$	历年	$\Delta t$	$\Delta f$	$\Delta s$
1978	0.466	10.855	1.050	2002	1.507	26.461	1.101	2013	2.937	9.198	4.734
1980	0.501	8.863	1.050	2003	1.898	21.937	1.762	2014	3.081	9.373	5.027
1985	0.737	10.567	1.270	2004	1.694	22.065	1.879	2015	3.217	9.510	5.294
1990	1.171	14.212	2.047	2005	1.732	22.306	1.598	2016	3.499	10.024	5.899
1995	1.099	16.665	1.050	2006	1.903	22.130	1.884	2017	3.384	9.378	5.914
1996	1.199	18.189	1.050	2007	1.682	18.025	1.898	2018	3.168	8.486	6.061
1997	1.218	15.694	0.613	2008	2.686	8.567	4.408	2019	3.215	8.319	5.903
1998	1.149	18.399	0.713	2009	2.964	7.394	5.569	2020	3.457	8.585	6.543
1999	1.082	17.822	1.014	2010	2.713	8.150	4.971	综合	2.146	12.538	3.350
2000	1.573	18.914	1.398	2011	2.813	8.230	5.178				
2001	1.613	19.502	1.293	2012	2.786	8.977	4.459				

Table 4. Proportion coefficient of different factors affecting the elastic modulus of irrigation district

表 4. 灌区弹性模量不同因素影响程度占比系数

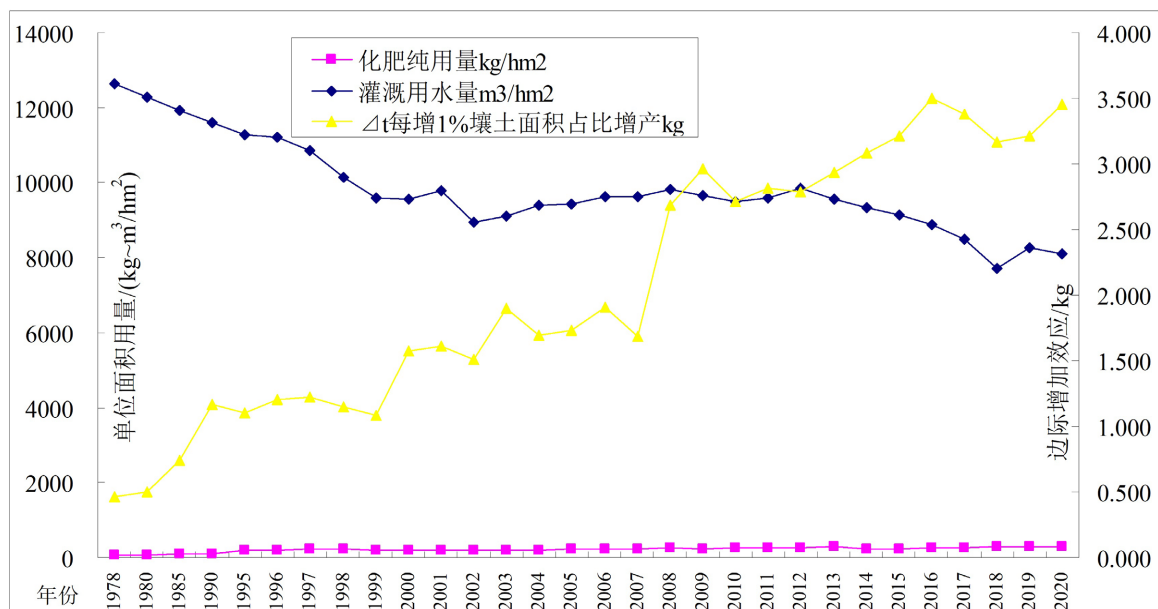
历年	$K_1$	$K_2$	$K_3$	历年	$K_1$	$K_2$	$K_3$	历年	$K_1$	$K_2$	$K_3$
1978	0.180	0.280	0.540	2002	0.146	0.689	0.165	2013	0.149	0.311	0.540
1980	0.180	0.280	0.540	2003	0.175	0.570	0.256	2014	0.149	0.311	0.540
1985	0.180	0.280	0.540	2004	0.146	0.591	0.263	2015	0.149	0.311	0.540

Continued

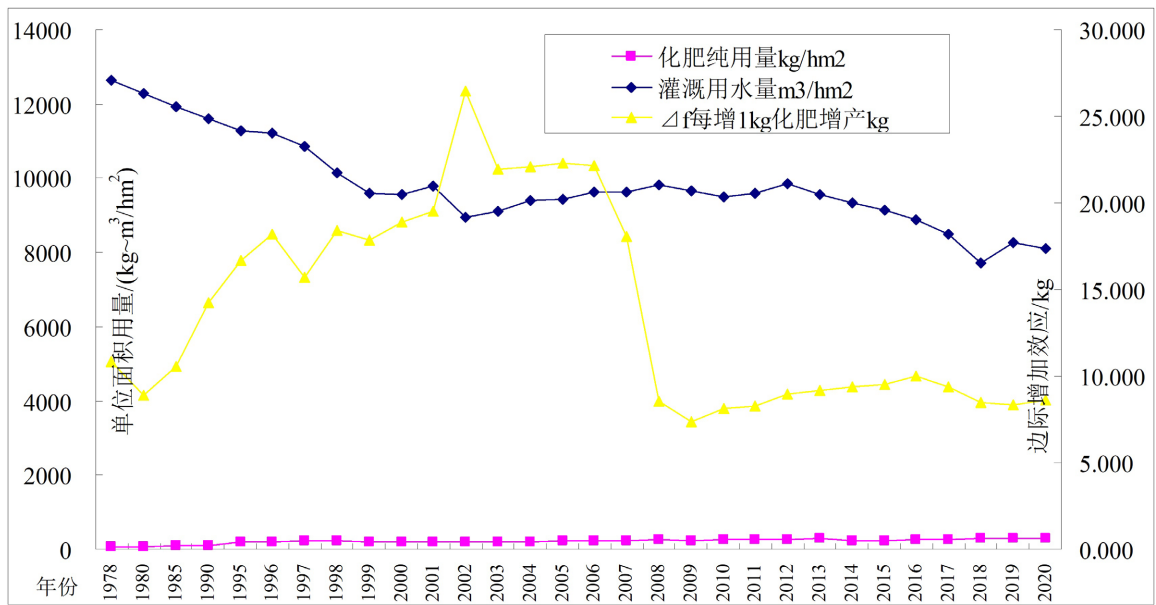
1990	0.180	0.280	0.540	2005	0.144	0.638	0.218	2016	0.149	0.311	0.540
1995	0.197	0.639	0.164	2006	0.142	0.619	0.238	2017	0.149	0.311	0.540
1996	0.189	0.692	0.119	2007	0.135	0.601	0.264	2018	0.149	0.311	0.540
1997	0.187	0.654	0.159	2008	0.180	0.280	0.540	2019	0.149	0.311	0.540
1998	0.156	0.688	0.156	2009	0.172	0.223	0.604	2020	0.149	0.311	0.540
1999	0.151	0.626	0.223	2010	0.164	0.273	0.564	综合	0.157	0.395	0.448
2000	0.186	0.551	0.263	2011	0.155	0.281	0.564				
2001	0.180	0.582	0.238	2012	0.149	0.311	0.540	$E_p$		1.232	

采用模型边际效应式(2)，投入因素对主要作物产量影响边际效应分析结果如表 3 所示。结果表明，随着土壤质地壤土面积占比  $t$ ，化肥纯用量  $f$ ，灌溉用水量  $s$  投入因素的增加，灌区系统年份及其不同阶段，作物产量  $C$  均表现为正效应。灌区历年土肥水对作物产出综合边际效应为：每增 1%壤土面积占比  $\Delta t$  作物产量可增 2.146 kg；每增 1 kg 化肥纯用量  $\Delta f$  作物产量可增 12.538 kg；每增 1  $m^3$ ，灌溉用水  $\Delta s$  作物产量可增 3.350 kg，综合边际效应大小：化肥纯用量  $\Delta f >$  灌溉用水量  $\Delta s >$  壤土面积占比  $\Delta t$ 。这说明化肥纯用量与灌溉用水量物化投入因素，对灌区产量变化及交互影响作用明显，壤土面积占比边际效应变化相对稳定。采用式(6)~(7)得灌区系统弹性模量不同因素影响程度占比系数，如表 4 所示。由分析结果可知，总体弹性模量  $E_p$  大于 1 为正效应状态，历年土肥水对作物产出影响程度综合占比系数为：壤土面积占比  $K_1 = 0.157$ 、化肥纯用量  $K_2 = 0.395$ 、灌溉用水量  $K_3 = 0.448$ ，因素影响程度占比系数大小为  $K_3 > K_2 > K_1$ 。这反映了农田生产基本要素灌溉水、肥料及土壤质地的主次关系，体现了灌溉农业生产投入要素关系基本特点，表征了土肥水为主体高标准农田建设重要性。

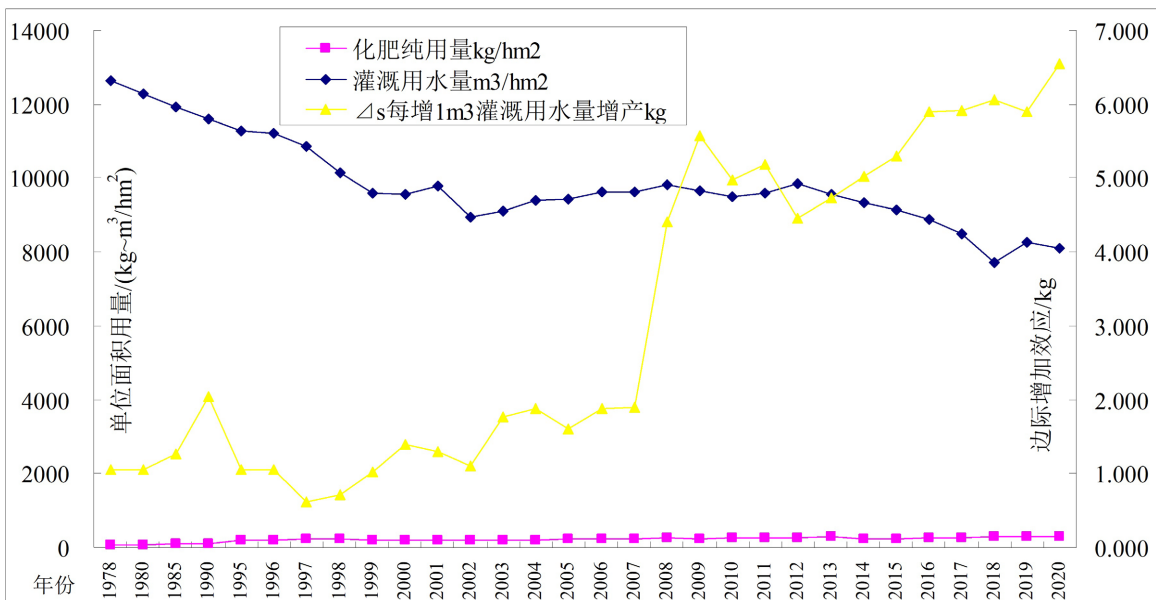
### 4.2.3. 土肥水关联性分析



(a)



(b)



(c)

**Figure 2.** Correlation between input factors and marginal effects in irrigation areas. (a) The relationship between the pure amount of fertilizer and irrigation water consumption and  $\Delta t$ ; (b) The pure amount of fertilizer and irrigation water consumption are related to  $\Delta f$ ; (c) The relationship between the pure amount of fertilizer and irrigation water consumption and  $\Delta s$

**图 2.** 灌区投入因素与边际效应关联性。(a) 化肥纯用量和灌溉用水量与  $\Delta t$ ; (b) 化肥纯用量和灌溉用水量与  $\Delta f$ ; (c) 化肥纯用量和灌溉用水量与  $\Delta s$

基于农田 1978 至 2020 年长系列信息, 获得化肥纯用量、灌溉用水量与边际效应关联分析结果如图 2 所示。可以看出, 化肥纯用量由 1978 年的  $58 \text{ kg/hm}^2$  增至 2020 年的  $303 \text{ kg/hm}^2$ , 年均  $215 \text{ kg/hm}^2$ ; 灌溉用水量由 1978 年的  $12,649 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  减至 2020 年的  $8117 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 年均  $9830 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。在此肥水投入状态下, 壤土面积占比  $\Delta t$  边际效应呈平稳上升走势; 化肥纯用量  $\Delta f$  边际效应 1978 至 2002 年先增后快速下

跌,2008至2020年呈现较平稳略升走势;灌溉用水量 $\Delta s$ 边际效应1978至2007年呈现小幅增加后至2020年表现为快速上升走势。分析表明,农田化肥施用强度偏大,出现了化肥投入产出报酬递减效应,科学合理减少化肥投入已显出来。农田灌溉用水量1978至1998年间高达12,649~10,132 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,进入2000年后随着新疆农业节水尤其是滴灌高效节水技术推广应用,灌溉用水量逐年稳中有降至2020年的8241 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,比1978年12,649 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>节省34.8%。由此看出,随着农业节水技术发展,农田灌溉用水量逐步减少节省了水量,呈现出灌溉水资源利用效率及作物产量提升态势,体现了土肥水主导因素投入产出边际报酬递增响应。

#### 4.2.4. 水肥投入优化分析

由灌区主要作物产量 $C$ 与灌溉用水量 $s$ 、化肥纯用量 $f$ 系列数据,拟合二元二次多项式函数方程:

$$C = 0.04696f^2 - 0.0001243s^2 + 0.0003029fs - 23.55f + 2.074s \quad (8)$$

相关系数 $R = 0.821 > R_{(n-2,0.01)} = 0.463$ 为极显著水平代表性好。对式(8)求导优化结果得到,灌溉用水量8344 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>与现状接近,化肥纯用量251 kg/hm<sup>2</sup>,优化结果虽然高出国际公认化肥安全施用上限225 kg/hm<sup>2</sup> [21]的12%,但已明显低于现状303 kg/hm<sup>2</sup>施肥水平。与此同时,干旱新疆耕地天然土壤质量及肥力水平低下,相应增加了施肥量,优化后的水肥投入对应主要作物产量6333 kg/hm<sup>2</sup>基本达到现状水平。

## 5. 结论

本文针对干旱区农田土肥水影响效应问题,以农业灌区生产投入产出方法,利用灌区长期生产统计资料,采用柯布道格拉斯模型进行综合分析,取得了以下基本成果:

(1) 反映新疆农业耕地质量水平状态的壤土面积农田面积占比、肥料施用量、灌溉用水量,是影响农业生产产出的基本因素。(2) 新疆农业耕地土壤质量和施肥以及灌溉用水量对作物产出边际效应主次为:施肥量、灌溉用水及耕地质量;与此同时,对作物产出影响系数主要为:灌溉用水量、肥料及土壤质地,由此分析结果,进一步印证了土肥水是新疆纯灌溉农业高质量发展的重点。

## 参考文献

- [1] 陈东琼. 试述新中国成立后第一代中央领导集体对“三农”的理论探索[J]. 福建党史月刊, 2014(2): 5-8.
- [2] 孙建. 新时代农业八字宪法: 土肥水种、智标品生, 助力乡村振兴生态产品价值实现[EB/OL]. [https://www.sohu.com/a/582678973\\_121123817](https://www.sohu.com/a/582678973_121123817), 2022-09-05.
- [3] 郭圣福. 农业“八字宪法”评析[J]. 党史研究与教学, 2008, 206(6): 34-39.
- [4] 赵彦锋, 程道全, 陈杰, 等. 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1197-1208.
- [5] 匡兵, 范翔宇, 卢新海. 中国耕地利用绿色转型效率的时空分异特征及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2021, 37(21): 269-277.
- [6] 韩贵清. 藏粮于地藏粮于技向中低产田要效益[J]. 奋斗, 2022(14): 75-77.
- [7] 李潮海, 李胜利, 王群. 不同质地土壤对玉米根系生长动态的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(9): 1334-1340.
- [8] 龙会英, 张德, 金杰. 土壤质地对柱花草生长发育、生物量及土壤肥力变化的影响[J]. 土壤, 2017, 49(5): 1049-1052.
- [9] 李沼鹤, 师庆东, 韩舒, 等. 三种不同保水剂在不同土壤质地和埋深条件下保水性能的比较[J]. 节水灌溉, 2018(6): 28-34.
- [10] 王萌萌, 何新林, 吕廷波, 等. 土壤质地对机采棉土壤水热状况及生长发育影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(10): 28-33.
- [11] 龙怀玉, 武雪萍, 张淑香, 等. 作物主动汲水技术内涵与研究进展[J]. 农业工程学报, 2020, 36(23): 139-152.
- [12] 王雪梅, 柴仲平, 毛东雷. 不同质地耕层土壤有效态微量元素含量特征[J]. 水土保持通报[J]. 2015, 35(2):

---

189-192.

- [13] 廖育林, 郑圣先, 聂军, 等. 长期施用化肥和稻草对红壤水稻土肥力和生产力持续性的影响[J]. 中国农学, 2009, 42(10): 3541-3550.
- [14] 潘正伟. 园艺植物栽培中的土肥水管理模式分析[J]. 农村科学实验, 2019(5): 50-51.
- [15] Hu, T.H., Li, K.P., Xiong, K.N., *et al.* (2022) Research Progress on Water-Fertilizer Coupling and Crop Quality Improvement and Its Implication for the Karst Rock Desertification Control. *Journal Agronomy*, **12**, 903-903. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040903>
- [16] 吴文勇, 龚时宏, 李久生, 等. 现代灌溉水肥调控原理与技术研究进展[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(1): 81-89.
- [17] 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所. 新疆土壤与改良利用[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1981: 25-46.
- [18] 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: 55-65.
- [19] 水利部. 中国水资源公报[R]. 2020: 1-21. <http://szyzx.mwr.cn/xxfw/szygb/202302/P020230330491437932859.pdf>
- [20] 展广伟, 主编. 农业技术经济学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1986: 147-215.
- [21] 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.