

# 基于多元回归模型的菏泽市粮食产量主要影响因素分析及对策建议

王妍, 何文

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年4月28日; 录用日期: 2024年5月29日; 发布日期: 2024年6月27日

## 摘要

粮食是人类的生命线, 是国家的基石。为了提高菏泽市粮食产量, 本文基于双对数多元线性回归模型来探究影响菏泽市粮食产量的主要因素。本文搜集了菏泽市2000~2022年粮食产量及其相关指标的统计数据, 分别以菏泽市粮食总产量、粮食单产量、人均粮食产量为被解释变量, 选取粮食播种面积、农用化肥施用折纯量、农业机械总动力、农药施用量、有效灌溉面积、乡村劳动力资源、全年平均温度、全年降水量、全年日照时数为解释变量, 建立双对数多元线性回归模型, 通过逐步回归法消除多重共线性, 最终得到粮食播种面积、农药施用量、有效灌溉面积、乡村劳动力资源、全年降水量是影响菏泽市粮食产量的主要因素。最后, 针对主要影响因素提出对策建议。

## 关键词

菏泽市, 粮食产量, 主要影响因素, 多元线性回归, 对策建议

# Analysis of Main Influencing Factors of Grain Yield in Heze City Based on Multiple Regression Model and Strategic Recommendations

Yan Wang, Wen He

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Apr. 28<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 29<sup>th</sup>, 2024; published: Jun. 27<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Food is the lifeline of humanity and the cornerstone of a country. In order to increase the grain

output in Heze City, this article explores the main factors affecting the grain output in Heze City based on a double-log multiple linear regression model. The article collected statistical data on grain output and related indicators in Heze City from 2000 to 2022, with total grain output, grain yield per unit area, and per capita grain output as dependent variables. Independent variables included grain sowing area, pure amount of chemical fertilizer application, total agricultural machinery power, pesticide application amount, effective irrigation area, rural labor resources, average annual temperature, annual precipitation, and annual sunshine hours. A double-log multiple linear regression model was established, and multicollinearity was eliminated through stepwise regression. The main factors affecting grain output in Heze City were determined to be grain sowing area, pesticide application amount, effective irrigation area, rural labor resources, and annual precipitation. Finally, strategic recommendations were proposed based on these main influencing factors.

## Keywords

Heze City, Grain Output, Main Influencing Factors, Multiple Linear Regression, Strategic Recommendations

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

“粮食是财富，也是力量。”粮食是人类生存和发展的重要基础，也是国家稳定和繁荣的基石，充足的粮食供应才能保证国家的繁荣和人民的幸福。粮食生产是第一要务，一个国家要发展，必须保证民众吃饱穿暖，粮食对人民来说是不可或缺的。2023年中央农村工作会议强调，要抓好粮食和重要农产品生产，稳定粮食播种面积，推动大面积提高粮食单产，巩固大豆扩种成果，探索建立粮食产销区省际横向利益补偿机制，做好农业防灾减灾救灾工作。党的二十大报告提出，全方位夯实粮食安全根基，牢牢守住十八亿亩耕地红线，逐步把永久基本农田全部建成高标准农田，健全种粮农民收益保障机制和主产区利益补偿机制，确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中。

菏泽市位于山东省西南部，地处鲁苏豫皖四省交界地带，南北长 157 千米，东西宽 140 千米，占地面积 12,239 平方千米。菏泽市地处黄河下游，地势平坦，土层深厚，适宜种植小麦、玉米、水稻等粮食经济作物。菏泽市是山东省第一产粮大市，2022 年，山东省粮食总产量 5543.8 万吨，菏泽市粮食总产量 794.9 万吨，约占山东省粮食总产量的 14.34%。

菏泽市作为粮食生产的重要区域，粮食产量直接关系到城市居民的口粮供应，提高粮食产量，能够确保人民群众的温饱和生活质量。粮食是农业的基础和支柱，菏泽市作为农业大市，大部分农民从事粮食种植和农业生产，保持良好的粮食产量水平，可以增加农业生产、提高农民收入，推动农村经济的发展。充足的粮食供应能够保障菏泽市城乡市民的正常生活需求，维护社会稳定。在供给侧结构性改革的背景下，提高粮食产量还可以增加市场供应，稳定物价，维护社会和谐稳定。作为全国粮食生产重要区域之一，菏泽市的粮食产量还关系到国家的粮食安全。保持稳定的粮食产量，有助于缓解我国对外进口粮食的依赖，提高我国的自给能力，加强国家的粮食战略布局。

但从 2000~2022 年菏泽市的粮食产量呈现波动式增长，说明仍有一些因素制约着菏泽市粮食产量的

增加, 因此探究影响菏泽市粮食产量主要因素对菏泽市粮食增产具有重要意义。

为了提高菏泽市粮食增产, 本文基于双对数多元线性回归模型, 探究影响菏泽市粮食总产量的主要因素。为了使回归结果更加精准可靠, 本文从《山东省统计年鉴》《菏泽市统计年鉴》搜集了 2000~2022 年菏泽市粮食产量及其相关指标的统计数据。粮食单产量和人均粮食产量与粮食总产量成正相关, 因此, 为了更好的探究影响粮食产量的主要因素, 分别以菏泽市粮食总产量、粮食单产量、人均粮食产量为被解释变量, 选取粮食播种面积、农用化肥施用折纯量、农业机械总动力、农药施用量、有效灌溉面积、乡村劳动力资源、全年平均温度、全年降水量、全年日照时数为解释变量, 建立双对数多元线性回归模型, 通过逐步回归法消除多重共线性, 最终分别得到: 粮食播种面积、农药施用量、乡村劳动力资源、全年降水量是影响粮食总产量的主要因素; 农药施用量、乡村劳动力资源、全年降水量是影响粮食单产量的主要因素; 粮食播种面积、农药施用量、有效灌溉面积是影响粮食人均产量的主要因素。最后, 针对主要影响因素提出对策建议, 以促进菏泽市粮食增产。

## 2. 文献综述

梳理过往国内外有关粮食产量影响因素的文献。如朱坤林(2023)等依据灰色关联分析基本原理, 以 2008~2020 年商丘市粮食产量及农用化肥使用折纯量、农药使用量、耕地灌溉面积、粮食播种面积、农业机械总动力、农用塑料薄膜使用量、乡村从业人员、农村用电量为研究对象, 分析商丘市粮食产量的影响因素, 结果表明: 粮食播种面积、耕地灌溉面积、乡村从业人员的波动是影响商丘市粮食产量的重要因素; 化肥施用折纯量、农药使用量是影响商丘市粮食产量的次要因素; 农村用电量和农用塑料薄膜使用量影响相对较小[1]。和亚晴(2023)等运用 Eviews 8.0 软件构建多变量双对数模型, 选取粮食作物面积、有效灌溉面积、受灾面积、农村用电为自变量, 利用方差膨胀系数、异方差(怀特检验)、自相关(BG 检验)等计量经济方法对中国 31 个省市区的粮食生产进行了统计分析, 最后得到粮食播种面积和有效灌溉面积是影响中国粮食产量的主要因素[2]。王诗雨(2021)通过面板模型, 纳入地市和时间变动对山东省 17 个地市 2006~2016 年间粮食产量的影响因素进行分析, 最后对粮食高质高量增产提出针对性建议[3]。王培旭(2019)探究了许昌市粮食产量主要影响因素, 选取 2006~2016 年该市下辖 5 个县的粮食产量、农业从业人员、粮食播种面积、农业机械动力、化肥用量、农药用量的面板数据, 通过 Stata 软件对影响许昌市历年粮食产量的主要因素进行实证分析[4]。邬舒静(2016)根据 2005~2014 年安徽省 16 个地级市的农业生产统计资料, 从自然、科技和经济 3 个宏观层面选取 10 个影响因素指标, 利用面板数据模型对粮食及其所包含的稻谷、小麦、玉米、薯类和大豆 5 类主要粮食作物产量的影响因素进行了分析[5]。王新华(2015)利用湖北省 2004~2011 年间 17 个地级市的面板数据, 使用柯布-道格拉斯生产函数实证分析了湖北省粮食产量影响因素。结果表明, 农业劳动力、耕地面积、农业机械化对湖北省粮食产量有显著影响, 而化肥施用量对湖北省粮食产量没有显著影响[6]。

本文基于前人的研究成果并结合菏泽市粮食数据可得情况, 在影响菏泽市粮食总产量、粮食单产量、人均粮食产量因素上选取了粮食播种面积、农用化肥施用折纯量、农业机械总动力、农药施用量、有效灌溉面积、乡村劳动力资源、全年平均温度、全年降水量、全年日照时数, 建立双对数多元线性回归模型, 采用逐步回归法消除多重共线性, 优化模型。

## 3. 实证研究

### 3.1. 指标遴选

见表 1。

**Table 1.** Selection table of variable indicators that affect grain output in Heze City**表 1.** 影响菏泽市粮食产量的变量指标遴选表

宏观层面	影响因素
自然因素	粮食播种面积 A/公顷
	全年平均温度 T/摄氏度
	全年降水量/毫米
科技因素	全年日照时数/小时
	农用化肥施用折纯量 C/吨
	农业机械总动力 M/千瓦
	农药施用量 P/吨
经济因素	有效灌溉面积 I/千公顷
	乡村劳动力资源 L/万人

### 3.2. 数据选取

本文搜集了菏泽市 2000~2022 年粮食产量及其相关指标的统计数据, 为了使回归结果更加准确、可靠, 本文数据均来源于《山东省统计年鉴》《菏泽市统计年鉴》。变量设定见表 2。

**Table 2.** Variable settings**表 2.** 变量设定

名称	单位	代号	计算公式
因变量			
粮食总产量	吨	G	第 t 年粮食总产量
粮食单产量	吨/公顷	U	第 t 年粮食总产量 ÷ 第 t 年粮食播种面积
人均粮食产量	吨/万人	O	第 t 年粮食总产量 ÷ 第 t 年乡村劳动力资源
自变量			
粮食播种面积	公顷	A	第 t 年粮食播种面积
农用化肥施用折纯量	吨	C	第 t 年农用化肥施用折纯量
农业机械总动力	千瓦	M	第 t 年农业机械总动力
农药施用量	吨	P	第 t 年农药施用量
有效灌溉面积	千公顷	I	第 t 年有效灌溉面积
乡村劳动力资源	万人	L	第 t 年乡村劳动力资源
全年平均温度	摄氏度	T	第 t 年平均温度
全年降水量	毫米	R	第 t 年降水量
全年日照时数	小时	D	第 t 年日照时数

注: t 在 2000~2022 年之间, 包括 2000 和 2022 年。

### 3.3. 设定模型

为了使回归模型更好地拟合数据, 建立被解释变量分别为粮食总产量、粮食单产量、人均粮食产量三个双对数多元线性回归模型, 即对解释变量和被解释变量同时取对数, 将非线性关系转化为线性关系, 从而进行回归分析。模型设立如下:

(1) 被解释变量为粮食总产量

$$\ln G = \beta_0 + \beta_1 \ln A + \beta_2 \ln C + \beta_3 \ln M + \beta_4 \ln P + \beta_5 \ln I + \beta_6 \ln L + \beta_7 \ln T + \beta_8 \ln R + \beta_9 \ln D + \mu$$

(2) 被解释变量为粮食单产量

$$\ln U = \beta_0 + \beta_1 \ln C + \beta_2 \ln M + \beta_3 \ln P + \beta_4 \ln I + \beta_5 \ln L + \beta_6 \ln T + \beta_7 \ln R + \beta_8 \ln D + \mu$$

(3) 被解释变量为人均粮食产量

$$\ln O = \beta_0 + \beta_1 \ln A + \beta_2 \ln C + \beta_3 \ln M + \beta_4 \ln P + \beta_5 \ln I + \beta_6 \ln T + \beta_7 \ln R + \beta_8 \ln D + \mu$$

### 3.4. 模型估计

(1) 模型一：被解释变量为粮食总产量

$$\ln G = \beta_0 + \beta_1 \ln A + \beta_2 \ln C + \beta_3 \ln M + \beta_4 \ln P + \beta_5 \ln I + \beta_6 \ln L + \beta_7 \ln T + \beta_8 \ln R + \beta_9 \ln D + \mu$$

运用 Stata17.0 软件, 输入相关统计数据, 利用 OLS 对模型进行双对数多元线性回归, 回归结果见表 3。

**Table 3.** Model 1 multiple regression results

**表 3.** 模型一多元回归结果

	Eestimate	Std.Error	t-value	Pr (> t )	
$\beta_0$	-2.5731	1.463	-1.759	0.102	
lnA	0.9281	0.141	6.59	0.000	**
lnC	-0.0314	0.145	-0.217	0.832	
lnM	0.0214	0.044	0.484	0.636	
lnP	-0.3232	0.134	-2.41	0.032	**
lnI	0.0703	0.166	0.423	0.679	
lnL	1.7355	0.526	3.298	0.006	**
lnT	-0.3539	0.302	-1.171	0.263	
lnR	-0.0553	0.026	-2.122	0.054	
lnD	-0.1633	0.107	-1.52	0.152	

注: \*为 10% 水平下显著, \*\*为 5% 水平下显著, \*\*\*为 1% 水平下显著。

回归后的模型为:  $\ln G = -2.5731 + 0.9281 \ln A - 0.0314 \ln C + 0.0214 \ln M - 0.3232 \ln P + 0.0703 \ln I + 1.7355 \ln L - 0.3539 \ln T - 0.0553 \ln R - 0.1633 \ln D + \mu$ 。回归后的模型  $R^2$  为 0.995, 调整后的  $R^2$  为 0.992, F 的检验值为 306.9, 方程总体显著, 各个统计变量的变动所引起的菏泽市粮食总产量变动为 99.5%。但 lnC、lnM、lnI、lnT、lnR、lnD 的 t 值不显著, 说明该模型不是最优预测模型, 可能存在多重共线性。运用 Python 软件, 对各变量进行相关系数分析, 得出每个变量之间的相关系数矩阵, 结果如表 4 所示。

**Table 4.** Correlation coefficient matrix between variables in Model 1

**表 4.** 模型一各变量之间的相关系数矩阵

	lnA	lnC	lnM	lnP	lnI	lnL	lnT	lnR	lnD
lnA	1.00	0.49	0.41	-0.72	0.71	0.92	0.74	0.09	0.20
lnC	0.49	1.00	0.66	0.09	0.32	0.48	0.23	-0.04	0.05
lnM	0.41	0.66	1.00	-0.02	0.17	0.34	-0.01	0.07	-0.08

续表

lnP	-0.72	0.09	-0.02	1.00	-0.53	-0.60	-0.60	-0.06	-0.02
lnI	0.71	0.32	0.17	-0.53	1.00	0.89	0.76	-0.06	0.24
lnL	0.92	0.48	0.34	-0.60	0.89	1.00	0.79	0.06	0.26
lnT	0.74	0.23	-0.01	-0.60	0.76	0.79	1.00	-0.05	0.14
lnR	0.09	-0.04	0.07	-0.06	-0.06	0.06	-0.05	1.00	-0.17
lnD	0.20	0.05	-0.08	-0.02	0.24	0.26	0.14	-0.17	1.00

通过相关系数矩阵, 根据统计推断检验可知, 模型存在多重共线性, 需要对其进行修正。

采用逐步回归法消除多重共线性, 优化模型。被解释变量分别对解释变量做一元线性回归, 按照赤池信息准则 AIC (同时衡量拟合优度和模型复杂性) 的数值大小, 从小到大依次为 lnC、lnM、lnI、lnT、lnD、lnR、lnP、lnL、lnA, 从 AIC 数值最小的变量开始, 逐步剔除 t 值不显著变量。从 lnC 开始, lnC 的 t 值不显著, 予以剔除, 剔除后 lnM、lnI、lnT、lnD 的 t 值仍不显著, 重新排列解释变量 AIC 的顺序, 最小的为 lnM, 再剔除 lnM, 以此类推, 直到最终留下的变量 t 值都显著, 最终留下变量 lnA、lnP、lnL、lnR, 即 lnG 与 lnA、lnP、lnL、lnR 的回归模型是最优的。经过逐步回归后的结果见表 5。

**Table 5.** Results after stepwise regression of Model 1  
**表 5.** 模型一逐步回归后的结果

	Estimate	Std.Error	t-value	Pr (> t )	
$\beta_0$	-0.002074	0.179584	-0.012	0.99093	
lnA	0.816199	0.068681	11.884	2.37E-09	***
lnP	-0.199058	0.046331	-4.296	0.0000555	***
lnL	0.751332	0.104598	7.183	2.18E-06	***
lnR	-0.024910	0.009551	-2.608	0.019029	**

注: \*为 10%水平下显著, \*\*为 5%水平下显著, \*\*\*为 1%水平下显著。

逐步回归后的结果为:  $\ln G = -0.002074 + 0.816199\ln A - 0.199058\ln P + 0.751332\ln L - 0.024910\ln R + \mu$ 。逐步回归修正后的模型  $R^2$  为 0.9951, 调整后的  $R^2$  为 0.9933, F 的检验值为 541.5, 相比修正前检验值高, 说明修正后的模型更具有解释性。其中, 粮食播种面积对粮食总产量有正面影响, 在其它条件不变的情况下, 当粮食播种面积增加 1%, 会使粮食总产量提高 0.816199%; 农药施用量与粮食总产量呈负相关关系, 不符合预期假设, 但菏泽市农药施用量数据从 2000~2022 年呈现先增加后减少的趋势, 而粮食总产量总体呈增长趋势, 因此, 农药施用量仍是影响粮食总产量的主要因素; 乡村劳动力资源对粮食总产量有正面影响, 在其它条件不变的情况下, 当乡村劳动力资源增加 1%, 会使粮食总产量提高 0.751332%; 降水量与粮食总产量呈负相关关系, 可能是由于过多的降水导致土壤过湿, 影响作物的气体交换, 增加了水稻、小麦等作物发生病害和死亡的风险。

(2) 模型二: 被解释变量为粮食单产量

$$\ln U = \beta_0 + \beta_1 \ln C + \beta_2 \ln M + \beta_3 \ln P + \beta_4 \ln I + \beta_5 \ln L + \beta_6 \ln T + \beta_7 \ln R + \beta_8 \ln D + \mu$$

运用 Stata17.0 软件, 输入相关统计数据, 利用 OLS 对模型进行双对数多元线性回归, 回归结果见表 6。



**Table 6.** Model 2 multiple regression results  
**表 6.** 模型二多元回归结果

	Eestimate	Std.Error	t-value	Pr (> t )	
$\beta_0$	-2.4174	1.392	-1.736	0.104	
lnC	-0.0647	0.126	-0.514	0.615	
lnM	0.0156	0.042	0.375	0.713	
lnP	-0.2705	0.083	-3.251	0.006	***
lnI	0.1208	0.130	0.928	0.369	
lnL	1.5372	0.345	4.453	0.001	***
lnT	-0.3949	0.284	-1.393	0.185	
lnR	-0.0562	0.025	-2.226	0.043	**
lnD	-0.1770	0.101	-1.749	0.103	

注: \*为 10%水平下显著, \*\*为 5%水平下显著, \*\*\*为 1%水平下显著。

回归后的模型为:  $\ln U = -2.4174 - 0.0647\ln C + 0.0156\ln M - 0.2705\ln P + 0.1208\ln I + 1.5372\ln L - 0.3949\ln T - 0.0562\ln R - 0.1770\ln D + \mu$ 。回归后的模型  $R^2$  为 0.962, 调整后的  $R^2$  为 0.940, F 的检验值为 44.27, 方程总体显著, 各个统计变量的变动所引起的菏泽市粮食总产量变动为 96.2%。但 lnC、lnM、lnI、lnT、lnD 的 t 值不显著, 说明该模型不是最优预测模型, 可能存在多重共线性。运用 Python 软件, 对各变量进行相关系数分析, 得出每个变量之间的相关系数矩阵, 结果如表 7 所示。

**Table 7.** Correlation coefficient matrix between variables in Model 2  
**表 7.** 模型二各变量之间的相关系数矩阵

	lnC	lnM	lnP	lnI	lnL	lnT	lnR	lnD
lnC	1.00	0.66	0.09	0.32	0.48	0.23	-0.04	0.05
lnM	0.66	1.00	-0.02	0.17	0.34	-0.01	0.07	-0.08
lnP	0.09	-0.02	1.00	-0.53	-0.6	-0.6	-0.06	-0.02
lnI	0.32	0.17	-0.53	1.00	0.89	0.76	-0.06	0.24
lnL	0.48	0.34	-0.6	0.89	1.00	0.79	0.06	0.26
lnT	0.23	-0.01	-0.6	0.76	0.79	1.00	-0.05	0.14
lnR	-0.04	0.07	-0.06	-0.06	0.06	-0.05	1.00	-0.17
lnD	0.05	-0.08	-0.02	0.24	0.26	0.14	-0.17	1.00

通过相关系数矩阵, 根据统计推断检验可知, 模型存在多重共线性, 需要对其进行修正。

采用逐步回归法消除多重共线性, 优化模型。被解释变量分别对解释变量做一元线性回归, 按照赤池信息准则 AIC (同时衡量拟合优度和模型复杂性) 的数值大小, 从小到大依次为 lnC、lnM、lnI、lnT、lnD、lnR、lnP、lnL, 从 AIC 数值最小的变量开始, 逐步剔除 t 值不显著变量。从 lnC 开始, lnC 的 t 值不显著, 予以剔除, 剔除后 lnM、lnI、lnT、lnD 的 t 值仍不显著, 重新排列解释变量 AIC 的顺序, 最小的为 lnM, 再剔除 lnM, 以此类推, 直到最终留下的变量 t 值都显著, 最终留下变量 lnR、lnP、lnL, 即 lnU 与 lnP、lnL、lnR 的回归模型是最优的。经过逐步回归后的结果见表 8。

**Table 8.** Results after stepwise regression of Model 2  
**表 8.** 模型二逐步回归后的结果

	Eestimate	Std.Error	t-value	Pr (> t )	
$\beta_0$	-3.94443	1.44305	-2.733	0.01415	**
lnP	-1.53846	0.35970	-4.277	5.10E-04	***
lnL	5.95968	0.58266	10.228	1.11E-08	***
lnR	-0.23792	0.08746	-2.720	1.45E-02	**

注: \*为 10%水平下显著, \*\*为 5%水平下显著, \*\*\*为 1%水平下显著。

逐步回归后的结果为:  $\ln U = -3.94443 - 1.53846 \ln P + 5.95968 \ln L - 0.23792 \ln R + \mu$ 。逐步回归修正后的模型  $R^2$  为 0.9559, 调整后的  $R^2$  为 0.9429, F 的检验值为 73.67, 相比修正前检验值高, 说明修正后的模型更具有解释性。其中, 农药施用量与粮食总产量呈负相关关系, 不符合预期假设, 但菏泽市农药施用量数据从 2000~2022 年呈现先增加后减少的趋势, 而粮食单产量总体呈增长趋势, 因此, 农药施用量仍是影响粮食单产量的主要因素; 乡村劳动力资源对粮食总产量有正面影响, 在其它条件不变的情况下, 当乡村劳动力资源增加 1%, 会使粮食总产量提高 5.95968%; 降水量与粮食单产量呈负相关关系, 可能是由于过多的降水导致土壤中养分流失, 降低了作物的产量。

(3) 模型三: 被解释变量为人均粮食产量

$$\ln O = \beta_0 + \beta_1 \ln A + \beta_2 \ln C + \beta_3 \ln M + \beta_4 \ln P + \beta_5 \ln I + \beta_6 \ln T + \beta_7 \ln R + \beta_8 \ln D + \mu$$

运用 Stata17.0 软件, 输入相关统计数据, 利用 OLS 对模型进行双对数多元线性回归, 回归结果见表 9。

**Table 9.** Model 3 multiple regression results  
**表 9.** 模型三多元回归结果

	Eestimate	Std.Error	t-value	Pr (> t )	
$\beta_0$	-1.9694	1.444	-1.364	0.194	
lnA	1.0735	0.098	10.940	0.000	***
lnC	-0.0481	0.149	-0.322	0.752	
lnM	0.0213	0.046	0.467	0.647	
lnP	-0.2537	0.129	-1.970	0.069	*
lnI	0.2642	0.095	2.784	0.015	**
lnT	-0.3178	0.311	-1.021	0.325	
lnR	-0.0487	0.026	-1.839	0.087	*
lnD	-0.1550	0.111	-1.398	0.184	

注: \*为 10%水平下显著, \*\*为 5%水平下显著, \*\*\*为 1%水平下显著。

回归后的模型为:  $\ln O = -1.9694 + 1.0735 \ln A - 0.0481 \ln C + 0.0213 \ln M - 0.2537 \ln P + 0.2642 \ln I - 0.3178 \ln T - 0.0487 \ln R - 0.1550 \ln D + \mu$ 。回归后的模型  $R^2$  为 0.992, 调整后的  $R^2$  为 0.987, F 的检验值为 216.5, 方程总体显著, 各个统计变量的变动所引起的菏泽市粮食总产量变动为 99.2%。但 lnC、lnM、lnT、lnD 的 t 值不显著, 说明该模型不是最优预测模型, 可能存在多重共线性。对各变量进行相关系数分析, 得出每个变量之间的相关系数矩阵, 结果如表 10 所示。



**Table 10.** Correlation coefficient matrix between variables in Model 3**表 10.** 模型三各变量之间的相关系数矩阵

	lnA	lnC	lnM	lnP	lnI	lnT	lnR	lnD
lnA	1.00	0.49	0.41	-0.72	0.71	0.74	0.09	0.2
lnC	0.49	1.00	0.66	0.09	0.32	0.23	-0.04	0.05
lnM	0.41	0.66	1.00	-0.02	0.17	-0.01	0.07	-0.08
lnP	-0.72	0.09	-0.02	1.00	-0.53	-0.6	-0.06	-0.02
lnI	0.71	0.32	0.17	-0.53	1.00	0.76	-0.06	0.24
lnT	0.74	0.23	-0.01	-0.6	0.76	1.00	-0.05	0.14
lnR	0.09	-0.04	0.07	-0.06	-0.06	-0.05	1.00	-0.17
lnD	0.20	0.05	-0.08	-0.02	0.24	0.14	-0.17	1.00

通过相关系数矩阵, 根据统计推断检验可知, 模型存在多重共线性, 需要对其进行修正。

采用逐步回归法消除多重共线性, 优化模型。被解释变量分别对解释变量做一元线性回归, 按照赤池信息准则 AIC (同时衡量拟合优度和模型复杂性) 的数值大小, 从小到大依次为 lnC、lnM、lnT、lnD、lnR、lnP、lnI、lnA, 从 AIC 数值最小的变量开始, 逐步剔除 t 值不显著变量。从 lnC 开始, lnC 的 t 值不显著, 予以剔除, 剔除后 lnM、lnT、lnD、lnR 的 t 值仍不显著, 重新排列解释变量 AIC 的顺序, 最小的为 lnM, 再剔除 lnM, 以此类推, 直到最终留下的变量 t 值都显著, 最终留下变量 lnA、lnP、lnI, 即 lnO 与 lnA、lnP、lnI 的回归模型是最优的。经过逐步回归后的结果见表 11。

**Table 11.** Results after stepwise regression of Model 3**表 11.** 模型三逐步回归后的结果

	Estimate	Std.Error	t-value	Pr (> t )	
$\beta_0$	-1.20444	0.30999	-3.885	0.00131	***
lnA	1.58869	0.07572	20.980	4.57E-13	***
lnP	-0.25515	0.07712	-3.309	0.00444	***
lnI	0.17831	0.05965	2.989	8.67E-03	***

注: \*为 10% 水平下显著, \*\*为 5% 水平下显著, \*\*\*为 1% 水平下显著。

逐步回归后的结果为:  $\ln O = -1.20444 + 1.58869 \ln A - 0.25515 \ln P + 0.17831 \ln I + \mu$ 。逐步回归修正后的模型  $R^2$  为 0.9919, 调整后的  $R^2$  为 0.9888, F 的检验值为 325.9, 相比修正前检验值高, 说明修正后的模型更具有解释性。其中, 粮食播种面积对粮食人均产量有正面影响, 在其它条件不变的情况下, 当粮食播种面积增加 1%, 会使粮食人均产量提高 1.58869%, 影响效果显著; 农药施用量与粮食总产量呈负相关关系, 不符合预期假设, 但菏泽市农药施用量数据从 2000~2022 年呈现先增加后减少的趋势, 而粮食人均产量总体呈增长趋势, 因此, 农药施用量仍是影响粮食人均产量的主要因素; 有效灌溉面积对粮食人均产量有正面影响, 在其它条件不变的情况下, 当有效灌溉面积增加 1%, 会使粮食人均产量提高 0.17831%。

### 3.5. 模型结论

通过上述回归分析可以得出, 粮食播种面积、农药施用量、乡村劳动力资源、全年降水量是影响菏泽市粮食总产量的主要因素, 并且粮食播种面积对粮食总产量影响程度最大。农药施用量、乡村劳动力

资源、全年降水量是影响菏泽市粮食单产量的主要因素, 并且乡村劳动力资源对粮食单产量影响程度最大。粮食播种面积、农药施用量、有效灌溉面积是影响菏泽市粮食人均产量的主要因素, 并且粮食播种面积对粮食人均产量影响程度最大。因为粮食总产量、粮食单产量、人均粮食产量都是衡量粮食产量的指标, 因此综上所述, 粮食播种面积、农药施用量、有效灌溉面积、乡村劳动力资源、全年降水量是影响菏泽市粮食产量的主要因素, 其中粮食播种面积对粮食产量的影响程度最大。粮食播种面积与粮食产量呈正相关关系, 扩大粮食播种面积会带来菏泽市粮食产量的增加, 因为播种面积的扩大可以提高粮食的种植数量, 并为农作物提供更多的生长空间, 因此菏泽市应扩大耕种面积, 以提高粮食产量。农药可以防治病虫害, 提高作物品质, 改善光合作用和营养吸收, 所以农药的使用对粮食增产有促进作用, 但要科学合理的施用农药, 不能过度施用农药, 否则会造成相反的作用。有效灌溉面积与粮食产量呈正相关关系, 有效灌溉面积的扩大可以通过水分供应、养分运输和吸收、盐碱地改良等机制促进作物生长和粮食产量的增加, 因此菏泽市应增强有效灌溉面积, 以提高粮食产量。乡村劳动力资源与粮食产量呈正相关关系, 乡村劳动力资源通过农作业管理、技术传播、劳动力组织与协作、科技进步和机械化等机制促进粮食产量的增加, 因此菏泽市应吸引增加第一产业就业人员, 以提高粮食产量。

#### 4. 提高菏泽市粮食产量的对策与建议

基于上述实证分析, 菏泽市推动粮食增产应把重点放在扩大播种面积、合理施用农药、增强有效灌溉面积、推动增加乡村劳动力这四个方面, 同时也不能忽视其它因素, 这样才能全面促进菏泽市粮食增产。

##### (一) 稳步扩大耕种面积

粮食播种面积的大小决定了农田用于种植粮食作物的面积, 是粮食生产的基础。较大的粮食播种面积意味着更多的粮食作物可以种植, 从而增加粮食的生产量。根据上述实证分析结果显示, 粮食播种面积对粮食产量影响程度最大, 因此, 要在确保耕种质量的基础上稳步扩大耕种面积, 守住耕地红线。通过土地整治、水土保持等措施, 开垦新的耕地或者改良现有的土地质量, 使原本不适宜耕种的土地变得可耕种。改善灌溉设施、道路交通等农田基础设施, 提高耕地的利用率和生产效率。推广高效农业种植方式, 如精准农业、有机农业、水稻-鱼虾共作等, 可以使单位面积产量提高, 实现在有限土地上提高产量的目的。借助现代农业技术, 如遥感技术、精准农业、温室种植等, 提高土地的利用率和产量, 帮助农民更好地利用现有土地。根据不同地区的土地资源情况和生态环境要求, 合理规划土地利用方式, 保护耕地资源, 避免过度开垦和耕地荒漠化。

##### (二) 科学合理的施用农药

科学合理地使用农药对保障农作物生长, 减少病虫害危害, 提高农业生产效率具有重要意义。根据上述实证分析结果显示, 农药施用量对粮食产量有轻微的负面影响, 一方面是因为菏泽市农药施用量的数据问题, 另一方面, 要科学合理的控制农药施用量, 防止过度使用农药造成粮食减产。根据作物种类、病虫害类型和发生程度选择适合的农药品种, 同时要注意农药的剂量和使用方法。严格按照农药说明书上的使用说明和建议剂量进行使用, 不可随意增减剂量或使用次数, 以免产生残留问题或产生抗药性。在虫害或病害发生初期或盛期进行防治, 避免在大面积病虫害已经波及及时才施用农药。尽量避免长期单一农药使用, 要定期轮换不同类别、不同作用机制的农药, 以减少病虫害产生抗药性的风险。

##### (三) 增强有效灌溉面积

基于上述实证分析结果显示, 有效灌溉面积是影响粮食产量的主要因素, 增强有效灌溉面积, 提高灌溉水利用效率, 对于农业生产的稳定和农村经济的发展至关重要。对旧有的灌溉设施进行维修和更新, 修复漏水点, 清理堵塞的渠道和管道, 确保灌溉系统的正常运行, 减少水资源浪费。采用现代化的高效

灌溉技术, 如滴灌、喷灌、微喷灌等, 可以精确控制水量和灌溉时间, 提高灌溉水利用效率, 减少水的浪费。根据作物的需水量和生长阶段, 合理安排灌溉周期和灌溉量, 避免过度灌溉或不足灌溉, 提高灌溉水利用效率。采取水土保持措施, 如建设沟壑坝、植被覆盖、构筑物退排等, 减少水资源流失和土壤侵蚀, 提高土壤保水能力。加强农民的灌溉管理培训, 提高他们对灌溉技术和管理的理解和掌握, 增强农民的灌溉水利用意识和能力。

#### (四) 吸引增加第一产业就业人员

基于上述实证分析结果显示, 乡村劳动力资源是影响粮食产量的主要因素, 只有足够充足的劳动力投入到粮食生产中, 才能促进粮食增产。菏泽市政府制定政策鼓励和支持农村从业人员增加收入, 提高农产品价格, 加强产业扶贫项目, 推动农村经济发展, 吸引更多人投身农业生产。开展农业技术培训和技能提升课程, 提高农业从业人员的专业水平和技能, 增强其就业竞争力。发展现代农业和农村产业, 引导农业生产向规模化、专业化、智能化方向发展, 促进农业就业的多样化和专业化。鼓励和支持农村从业人员开展农村创业和创新项目, 提供创业扶持政策和资金支持, 激发农村人才的创业激情。建立完善的农业劳动者社会保障制度, 包括养老金、医疗保险、工伤保险等, 提高农民的社会保障待遇, 增加其对第一产业就业的保障感。

### 参考文献

- [1] 朱坤林, 袁瑞瑞, 金海婷. 商丘市粮食产量的影响因素及其对策研究[J]. 粮食问题研究, 2023(3): 8-11.
- [2] 和亚晴, 李治. 中国省域粮食产量影响因素分析[J]. 粮食科技与经济, 2023, 48(3): 10-13.
- [3] 王诗雨. 山东省粮食产量的影响因素分析[J]. 广西质量监督导报, 2021(1): 63-64.
- [4] 王培旭. 许昌市粮食产量的主要影响因素实证分析——基于面板数据模型[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44(6): 31-32.
- [5] 邬舒静. 安徽省粮食产量的影响因素研究[J]. 江西农业学报, 2016, 28(10): 116-119.
- [6] 王新华. 基于面板数据模型的湖北省粮食产量影响因素实证研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(7): 482-484.