

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)



## “华为杯”第十三届全国研究生 数学建模竞赛

学 校 南京财经大学

参赛队号 10327023

队员姓名	1.	田能能
	2.	王梦华
	3.	彭洋洋

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

## 题 目 粮食最低收购价政策问题研究

### 摘 要:

本文通过对我国粮食最低收购价政策进行研究,建立影响粮食种植面积的模型以及粮食最低收购价政策执行效果的评价模型等,为此解决了以下几个方面的问题:

**针对问题一**,首先通过文献梳理,整理出粮食种植面积影响因素的 5 个潜变量和 19 个观测变量,通过因果路径图,建立结构方程模型 (SEM),在 AMOS 软件上进行验证性因子分析和路径分析,发现耕地面积、成灾面积、市场收购价、粮食总产量、最低收购价、农业人口数、城镇化率影响明显且存在品种差异,并对 SEM 模型进行了模型适配度统计检验 (表 2),达到适配度标准、可信度和可靠性较好。

品种	成灾面积	耕地面积	市场收购价	粮食总产量	最低收购价	农业人口数	城镇化率
小麦	2.58	1.09	0.68	0.69	2.79	0.56	0.76
水稻	1.03	2.26	0.58	0.79	1.43	0.56	0.76

**针对问题二**,由问题一的指标体系,为克服指标特征量值的不确定性和主观性,引入三角模糊数对物元可拓模型进行改进,结合信息熵理论和决策风险偏好,建立了基于熵权和模糊物元可拓的粮食最低收购价政策执行效果评价模型,根据 Likert 五点度量理论,结果表明,小麦最低收购价政策执行效果“好”的有:江西省、安徽省;水稻最低收购价政策执行效果“好”的有:湖南省、安徽省;小麦最低收购价政策执行效果“一般”的有:湖南省、四川省、湖北省;水稻最低收购价政策执行效果“一般”的有:四川省、江西省、湖北省 (表 9)。

**针对问题三**,首先通过“蛛网”模型,对小麦和水稻的价格波动率进行分析,市场收购价和最低收购价均呈现尖峰厚尾的正态分布性规律,然后通过 Eviews 软件进行 ARCH 类模型识别小麦和水稻的价格的规律,结果表明我国粮食价格的波动具有集族性、非对称性、品种差异性、持续性特征、不存在高风险高粮价的特征以及明显的非对称性特点。

**针对问题四**,首先考虑最大化种植粮食所获得的纯收益、国家财政支出风险、粮农种植意愿 3 个目标,以及粮食需求、库存、种植面积等约束建立了合理定价的鲁棒优化模型,通过情景分析法模拟,并分别将 GARCH 模型、单变量二阶差分方程模型 (DDE)、支持向量机预测模型 (SVM 模型) 以及马尔科夫链的时变权组合预测模型 (HM-TWA) 四种预测方法进行预测,取其平均值作为 2017 年的预测结果,如下:

年份	小麦最低收购价范围 (元/50 公斤)	水稻最低收购价范围 (元/50 公斤)
2017	[125, 127.5, 130]	[153, 168.5, 170]

**针对问题五**，结合问题一的结论，建立多元回归分析模型，通过 EXCEL 求得复相关系数  $R=0.979208$ ，复测定系数为  $0.958848$ ，结果表明降低粮食的最低收购价格可以实现粮食种植面积的增加 5%，但是并不能一直下降，这样相对市场收购价格，其实市场收购价格相对上升，将会导致粮食企业承担很大的经营风险。

**针对问题六**，综合模型分析结果，提出优化政策设计建立科学的粮食最低收购价格确定机制、完善粮食价格监测预警机制、调整粮食最低收购价格公布和政策实施时间、实行粮食最低收购价格资金供给多元化四点意见。

**关键词** SEM 模型 验证性因子分析 路径分析 模糊可拓物元 蛛网模型  
鲁棒优化 ARCH 类模型 多元回归分析

## 目 录

一、 问题重述 .....	2
1.1 问题背景 .....	2
1.2 问题提出 .....	2
二、 问题分析 .....	2
三、 基本假设及相关定义 .....	3
3.1 基本假设 .....	3
3.2 相关定义 .....	3
四、 模型的建立与求解 .....	5
4.1 问题一：粮食种植面积指标体系和数学模型 .....	5
4.1.1 分析与建模 .....	5
4.1.2 求解和结果 .....	7
4.2 问题二：粮食最低收购价政策执行效果的评价模型 .....	9
4.2.1 分析与建模 .....	9
4.2.2 求解和结果 .....	12
4.3 问题三：粮食价格的特殊规律性模型 .....	15
4.3.1 分析和建模 .....	15
4.4 问题四：粮食最低收购价合理定价及预测模型 .....	19
4.4.1 分析和建模 .....	19
4.4.2 求解和结果 .....	22
4.5 问题五：调整粮食最低收购价使小麦种植面积增加 5% .....	25
4.5.1 分析和建模 .....	25
4.5.2 求解和结果 .....	25
4.6 问题六：调控粮食种植的优化决策和建议 .....	27
五、 模型评价 .....	27
六、 参考文献 .....	28
附 录 .....	29

## 一、问题重述

### 1.1 问题背景

粮食，不仅是人们日常生活的必需食品，而且还是维护国家经济发展和政治稳定的战略物资，具有不可替代的特性。由于耕地减少、人口增加、水资源短缺、气候变化等问题日益凸显，加之国际粮食市场的冲击，我国粮食产业面临着潜在的风险。因此，研究我国的粮食保护政策具有十分重要的作用和意义，其中，粮食最低收购价政策属于粮食价格支持政策范畴，由市场供需情况决定，国家在充分发挥市场机制作用的基础上实行宏观调控。

我国自 2005 年起开始对粮食主产区实行了最低收购价政策，并连续多年上调最低收购价价格，已经成为了国家保护粮食生产的最为重要的举措之一。然而，也有学者不认同这项最低收购价政策。他们认为，粮食市场收购价应该由粮食供需双方通过市场调节来决定。对于粮食最低收购价政策实施效果的评价，学者们也是见解不一。与此同时，也有一些学者就粮食最低收购价制定的合理范围进行了探讨。

### 1.2 问题提出

对于问题一：影响粮食种植面积的因素比较多，它们之间的关系错综复杂而且可能存在着粮食品种和区域差异。建立影响粮食种植面积的指标体系和关于粮食种植面积的数学模型，讨论、评价指标体系的合理性，研究它们之间的关系，并对得出的相应结果的可信度和可靠性给出检验和分析。

对于问题二：对粮食最低收购价政策的作用，学者们褒贬不一。建立粮食最低收购价政策执行效果的评价模型，并运用所建立的评价模型，结合粮食品种和区域差异，选择几个省份比较研究粮食主产区粮食最低收购价执行的效果。

对于问题三：粮食市场收购价是粮食企业收购粮食的市场价格，是由粮食供需双方通过市场调节来决定。它与粮食最低收购价一起构成粮食价格体系，是宏观价格调控系统中有一定相对独立性的重要措施。运用数据分析或建立数学模型探讨我国粮食价格所具有的特殊规律性。

对于问题四：结合前面的研究和国家制定粮食最低收购价政策的初衷，建立粮食最低收购价的合理定价模型，进而对“十二五”期间国家发展与改革委员会公布的粮食最低收购价价格的合理性做出评价，并运用所建立的模型对 2017 年的粮食最低收购价的合理范围进行预测。

对于问题五：与 2000 年相比，2015 年我国小麦种植面积略有下降。如果国家想让小麦种植面积增加 5%，探讨通过调整粮食最低收购价是否能够达到这一目的。并说明理由。

对于问题六：根据得到的研究结论，提出调控粮食种植的优化决策和建议。

## 二、问题分析

**问题一是粮食种植面积指标体系和数学模型**，首先需要进行文献梳理并收集数据，整理出粮食种植面积影响因素，以及因素之间的内在影响逻辑，建立因果路径图，进行验证性因子分析，可建立结构方程模型（SEM），在 AMOS 软件上

进行验证性因子分析和路径分析；

**问题二是粮食最低收购价政策执行效果的评价模型**，由问题一的指标体系，根据 Likert 五点度量理论，可以建立模糊物元分析，假设粮食最低收购价政策执行效果是“物”，粮食种植面积的影响因素的指标是“特征”，指标的值是“量值”，需要合理识别出经典域、节域以及关联函数；

**问题三是粮食价格的特殊规律性模型**，可以通过“蛛网”模型，对小麦和水稻的价格波动率进行大致分析，然后通过 Eviews 软件进行 ARCH 类模型识别小麦和水稻的价格的规律，看是否有集族性、非对称性、品种差异性、持续性特征、不存在高风险高粮价的特征以及明显的非对称性特点。

**问题四是粮食最低收购价合理定价及预测模型**，首先考虑最大化种植粮食所获得的纯收益、国家财政支出风险、粮农种植意愿 3 个目标，以及粮食需求、库存、种植面积等约束建立了合理定价的鲁棒优化模型，通过情景分析法模拟，并分别将 GARCH 模型、单变量二阶差分方程模型 (DDE)、支持向量机预测模型 (SVM 模型) 以及马尔科夫链的时变权组合预测模型 (HM-TWA) 四种预测方法进行预测，取其平均值作为 2017 年的预测结果。

**问题 5 是调整粮食最低收购价使小麦种植面积增加 5%**，结合问题一的结论，建立多元回归分析模型，通过 EXCEL 求得复相关系数  $R=0.979208$ ，复测定系数为 0.958848，结果表明降低粮食的最低收购价格可以实现粮食种植面积的增加 5%，但是并不能一直下降，这样相对市场收购价格，其实市场收购价格相对上升，将会导致粮食企业承担很大的经营风险。

**问题六**，综合模型分析，结合上面几问给出宏观政策意见。

### 三、基本假设及相关定义

#### 3.1 基本假设

- (1) 假设粮食种植面积的影响因素存在粮食品种的差异和区域差异；
- (2) 假设我国粮食主产区主要为湖南省、四川省、江西省、湖北省、安徽省；
- (3) 假设粮食种植面积的显著变化与否，可以衡量粮食最低收购价政策的实施效果；
- (4) 假设粮食价格的特殊规律，即粮食市场收购价格和最低收购价格的波动性，集族性，连续性等；
- (5) 依据物元思想，假设粮食最低收购价政策执行效果是“物”，粮食种植面积的影响因素的指标是“特征”，指标的值是“量值”。

#### 3.2 相关定义

**定义 1** 如果一物  $N$  具有  $n$  个特征，其  $n$  个特征  $c_1, c_2, \dots, c_n$  及  $N$  关于  $c_n (i=1, 2, \dots, n)$  对应的量值为  $v_n (i=1, 2, \dots, n)$ ，



$$\text{则称: } R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = (N, C, V) \text{ 为 } R \text{ 的 } n \text{ 维物元, 其中 } C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_n \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix}$$

**定义 2** 若物元要素中的量值要素有的是确定性的精确数值, 有的是不确定性的模糊量值, 则使用有序三元组(事物、特征、三角模糊数)作为描述事物的基本元, 并将这种物元称为基于三角模糊数的模糊物元, 记为:

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & m_1 \\ & c_2 & m_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n & m_n \end{bmatrix} = (N, C, M), M = (l, m, u) \text{ 表示与事物特征相对应的特征}$$

量值的三角模糊数,  $l$  和  $u$  表示区间下限和上限,  $m$  表示最可能的取值, 对于确定性的指标,  $l = u$ , 对于不确定性的模糊指标,  $l \neq u$  且  $|l - u|$  的大小体现特征量值的模糊程度, 绝对值越大, 迷糊程度越高。

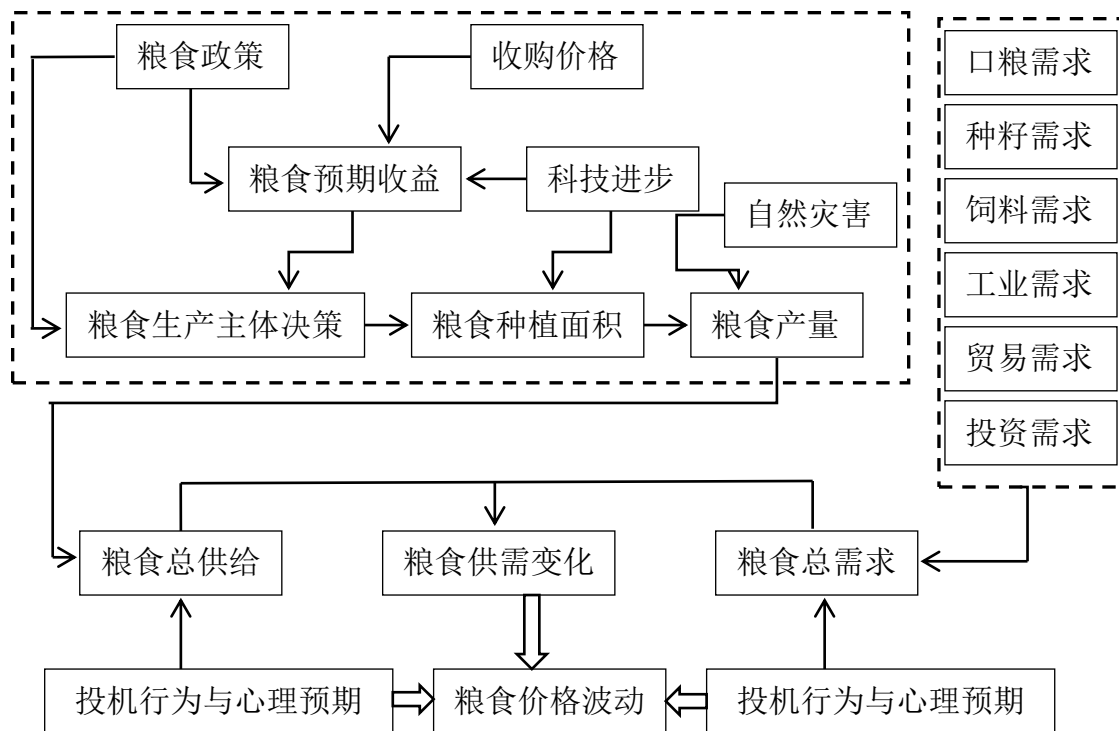
**定义 3** 取值为三角模糊数的量值的熵测度为:

$$H_j = \theta \left( -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \frac{m_{ij}}{\sum_{i=1}^m m_{ij}} \ln \frac{m_{ij}}{\sum_{i=1}^m m_{ij}} \right) + (1 - \theta) \left( -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^m V_{ij}} \ln \frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^m V_{ij}} \right) \quad \text{式(1)}$$

其中,  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ,  $0 \leq \theta \leq 1$  为决策者对三角模糊数重心点和方差影响程度是判断系数, 风险偏好的决策者, 则注重发生可能性最大的重心点值, 取  $\theta > 0.5$ ; 风险厌恶的决策者, 则注重量值的上下限, 取  $\theta < 0.5$ ; 风险中立者, 则取  $\theta = 0.5$ , 因此量值的权重为:

$$w_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}, \quad 1 - H_j \text{ 为差异系数} \quad \text{式(2)}$$

### 4.1.1 分析与建模



粮食预期收益、粮食政策、收购价格以及科技进步等直接影响到农民的种粮决策与行为,从而间接或直接的影响粮食种植面积。同时自然灾害对粮食产量有着负向影响,进而影响粮食供求变化。口粮需求、种籽需求、饲料需求等会影响粮食总需求。二者的波动引起粮食供需变化,并和投机行为和心理预期一起造成粮食价格波动,粮食种植面积相关影响因素内在机理如图1所示。

影响粮食种植面积的因素很多,有学者将其归纳为资源与科技、比较收益和政策。也有学者认为种粮收益、财政支农、产业结构等因素都能显著影响粮食播种面积。本文在相关文献基础上,从自然环境质量、经济条件、政策导向、人员背景和社会发展水平五个方面建立了耕地面积、成灾面积等 19 个指标组成的指标体系,如下表 1 所示:

Table1 Index system of influence factors to acreage of grain

目标层	指数层（准则层）	指标层（方案层）
粮食种植	$B_1$ 自然环境质量	$c_1$ 耕地面积
		$c_2$ 成灾面积
		$c_3$ 森林覆盖率
	$B_2$ 经济条件	$c_4$ 农业占生产总值比例
		$c_5$ 城乡居民人均收入差



面积影响因素指标体系		$c_6$ 粮食进出口差额
		$c_7$ 市场收购价
		$c_8$ 粮食总产量
	$B_3$ 政策导向	$c_9$ 最低收购价
		$c_{10}$ 种粮亩产补贴
		$c_{11}$ 财政支农支出
	$B_4$ 人员背景	$c_{12}$ 农业人口数
		$c_{13}$ 农村人均教育支出
		$c_{14}$ 粮农种植意愿
	$B_5$ 社会发展水平	$c_{15}$ 城镇化率
		$c_{16}$ 恩格尔系数
		$c_{17}$ 粮食生产成本
		$c_{18}$ 粮食安全指数
		$c_{19}$ 农业机械总动力

影响粮食种植面积的因素指标体系关系比较复杂,为探究粮食种植面积影响指标之间的关系,将 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 和 $B_5$ 五个二级指标作为潜变量,将三级指标 $c_1 \sim c_{19}$ 作为观测变量,建立结构方程模型(SEM),并进行验证性因素分析以及路径分析。其路径图如图2所示:

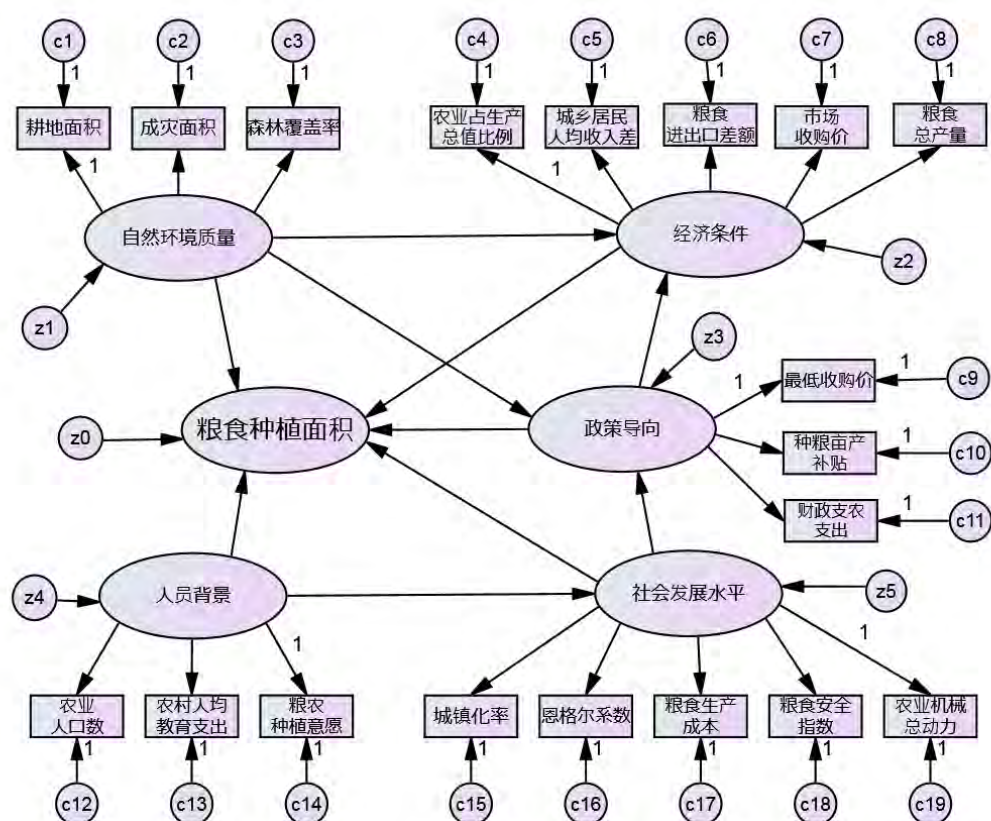


图2 粮食种植面积影响因素的路径关系图

### 4.1.2 求解和结果

借助 Amos Graphics 软件，将数据代入所建的 SEM 模型中，进行模型适配度和路径分析，结果如下：

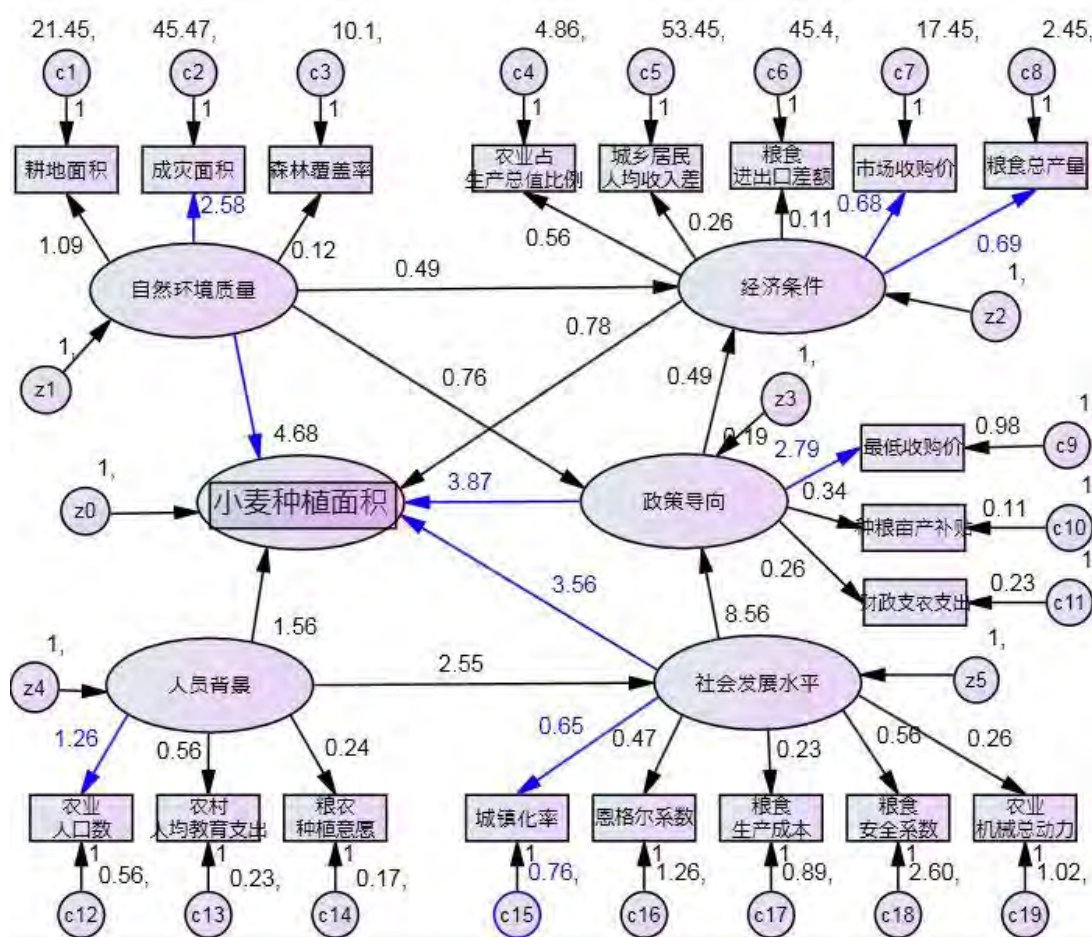


图3 小麦种植面积影响因素结构方程模型路径系数

根据结构方程模型的模型适配度检验统计量，通过对绝对适配度指数、增值适配度指数、简约适配度指数三项共 17 项统计检验量的结果分析，如下表：

表2 小麦和水稻种植面积 SEM 模型适配度检验结果

Table2 The test result of collocation degree of SED model used in wheat and rice's acreage

统计检验量	适配的标准（临界值）	小麦的检验量	水稻的检验量
绝对适配度指数			
卡方值	$p > 0.05$	43.414, $p = 0.733$	51.020, $p = 0.473$
RMR 值	$< 0.05$	0.02	0.023
RMSEA 值	$< 0.08$	0.000	0.001
GFI 值	$> 0.90$	0.965	0.958
AGFI 值	$> 0.90$	0.945	0.935
增值适配度指数			
NFI 值	$> 0.90$	0.969	0.964
RFI 值	$> 0.90$	0.960	0.965
IFI 值	$> 0.90$	1.005	1.00
TLI 值	$> 0.90$	1.006	1.00

CFI 值	>0.90	1.000	1.000
简约适配度指数			
PGFI 值	>0.50	0.618	0.626
PNFI 值	>0.50	0.734	0.745
PCFI 值	>0.50	0.758	0.798
CN 值	>200	310	310
卡方自由度比	<2	0.868	0.924
AIC 值	理论<独立<饱和	99.4<156.2<1489	105.4<196.2<1585
CAIC 值	理论<独立<饱和	219.7<491.2<1493	169.7<401.2<1571

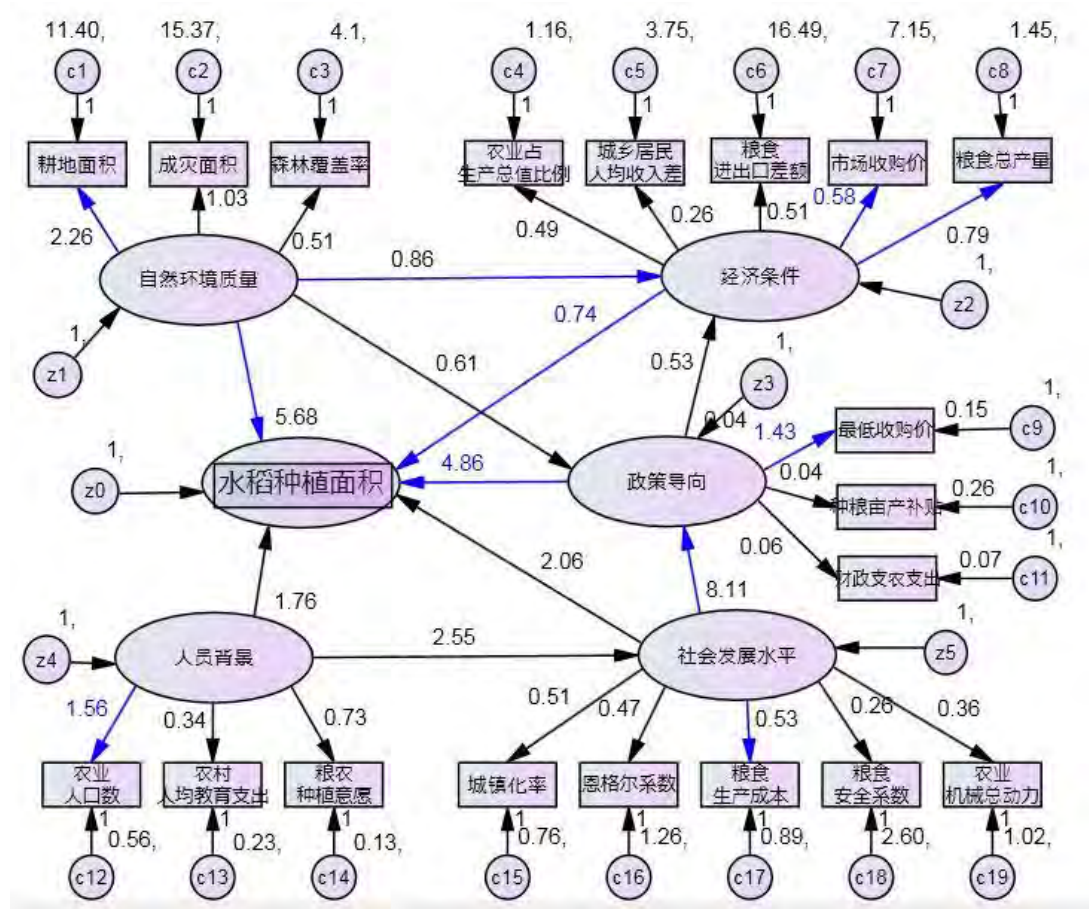


图4 水稻种植面积影响因素结构方程模型路径系数

通过比较图（3）和图（4）可以发现小麦和水稻的种植面积在其影响因素的路径分析中，存在着明显的差异，由路径系数可以发现对于小麦而言，小麦的种植面积主要因素为：成灾面积、市场收购价、粮食总产量、最低收购价、农业人口数、城镇化率。而水稻的种植面积的主要因素为：耕地面积、市场收购价、粮食总产量、最低收购价、农业人口数、城镇化率。由此可见，小麦和水稻存在着品种差异，在成灾面积、耕地面积上有显著差异。

表3 小麦和水稻的种植面积主要影响因素路径系数

Table3 Wheat and rice acreage main factors path coefficient

品种	成灾面积	耕地面积	市场收购价	粮食总产量	最低收购价	农业人口数	城镇化率
----	------	------	-------	-------	-------	-------	------



小麦	2.58	1.09	0.68	0.69	2.79	0.56	0.76
水稻	1.03	2.26	0.58	0.79	1.43	0.56	0.76

## 4.2 问题二：粮食最低收购价政策执行效果的评价模型

### 4.2.1 分析与建模

#### (1) 政策执行效果的经典域、节域和对象

考虑到粮食种植面积的变化可以反映粮食最低收购价政策的执行效果，对于粮食种植面积的影响因素的指标体系在定量、定性和区间值层面的特殊性，

令有  $h$  个政策执行效果的评价等级  $N_1, N_2, \dots, N_h$ ，建立相应的模糊物元，为：

$$R_h = (N_h, c_j, m_{hi}) = \begin{bmatrix} N_h & c_1 & m_{h1} \\ & c_2 & m_{h2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & m_{hn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_h & c_1 & [M_{h1}, M'_{h1}] \\ & c_2 & [M_{h2}, M'_{h2}] \\ & \dots & \dots \\ & c_n & [M_{hn}, M'_{hn}] \end{bmatrix}$$

式中： $N_h$  为划分的  $h$  个政策执行效果的评价等级； $c_j$  为评价等级  $N_h$  的特征； $m_{ji}$  为  $N_h$  关于  $c_j$  所规定的量值范围， $m_{hi} = [M_{hi}, M'_{hi}]$ ， $M_{hi}$  和  $M'_{hi}$  为三角模糊数， $i = 1, 2, \dots, n$ ； $j = 1, 2, \dots, n$ 。

对于经典域，构造其节域  $R_p (R_p \supset R_h)$ ， $R_p$  记为：

$$R_p = (N_p, c_j, m_{pi}) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & m_{p1} \\ & c_2 & m_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & m_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & [M_{p1}, M'_{p1}] \\ & c_2 & [M_{p2}, M'_{p2}] \\ & \dots & \dots \\ & c_n & [M_{pn}, M'_{pn}] \end{bmatrix}$$

其中： $N_p$  为政策执行效果的全体； $m_{pi}$  为  $N_p$  关于  $c_j$  所取的量的范围。将待评价的对象为政策执行效果评价等级，用物元  $R_s$  表示记为：

$$R_s = (P_s, c_j, m_{si}) = \begin{bmatrix} P_s & c_1 & M_{s1} \\ & c_2 & M_{s2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & M_{sn} \end{bmatrix}$$

其中： $P_s$  为政策执行效果评价等级水平； $m_{si}$  为  $P_s$  关于  $c_j$  的量值，粮食种植面积指标体系值。在经典域、节域和待评价物元已经确定的情况下，根据可拓学关于距的定义，可以计算待评价物元  $R_s$  的各特征到经典域和节域的距分别为：

$$\rho_s(m_{si}, m_{hi}) = \left| M_{si} - \frac{1}{2}(M_{hi} + M'_{hi}) \right| - \frac{1}{2}(M'_{hi} - M_{hi})$$

$$\rho_s(m_{si}, m_{pi}) = \left| M_{si} - \frac{1}{2}(M_{pi} + M'_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(M'_{pi} - M_{pi}) \quad \text{式(3)}$$

令  $D_h = |M'_{hi} - M_{hi}|$ ，且关于三角模糊数的运算依据三角模糊数的运算规则进行。

## (2) 政策执行效果的评价关联函数

$$K_s(m_{si}) = \begin{cases} \frac{\rho_s(m_{si}, m_{hi})}{\rho_s(m_{si}, m_{pi}) - \rho_s(m_{si}, m_{hj})}, & \rho(m_{si}, m_{pi}) \neq \rho(m_{si}, m_{hi}) \\ \frac{-\rho_s(m_{si}, m_{hi})}{D_h}, & \rho(m_{si}, m_{pi}) = \rho(m_{si}, m_{hi}) \end{cases} \quad \text{式(4)}$$

关联度的取值是整个实数域，为了便于分析和比较，将关联函数进行规范化如下：

$$K(m_{si}) = \begin{cases} \frac{K_s(m_{si})}{\max K_s(m_{si})}, & K_s(m_{si}) \geq 0 \\ \frac{K_s(m_{si})}{\max |K_s(m_{si})|}, & K_s(m_{si}) < 0 \end{cases} \quad \text{式(5)}$$

## (3) 政策执行效果评价判定

关联函数  $K(m_{si})$  的数值表示评价对象符合政策执行效果的评价级别的隶属程度。评价对象  $R_s$  关于评价等级  $N_h$  的关联度为：

$$K_h(R_s) = \sum_{i=1}^n w_i K(m_{si}) \quad \text{式(6)}$$

如果  $K_h(R_s) = \max_{h \in \{1, 2, \dots, h\}} K_h(R_s)$ ，则评定  $R_s$  属于政策执行效果的等级  $N_h$

## (4) 政策执行效果的划分

为了更好地体现政策执行效果，需要对其进行效果等级标准划分。在 Likert 五点度量理论基础上，将政策执行效果划分为五级，按照由“低”到“高”分别对应如下：

I（很好）、II（好）、III（一般）、IV（差）、V（非常差）。

将政策执行效果的概念集合 {很好→好→一般→差→非常差} 中的渐变分类关系由定性描述扩展为定量描述，从而辨识这个概念的层次关系。将政策执行效果评价的问题描述为： $P = \{\text{很好} \rightarrow \text{好} \rightarrow \text{一般} \rightarrow \text{差} \rightarrow \text{非常差}\}$ ， $I, II, III, IV, V \in P$ ，对于任何  $R_s \in P$  判断属于 I, II, III, IV 或 V，并依据式 (3) (4) (5) 计算关联度。

## (5) 粮食种植面积的指标阈值

本文的各项评价指标在各评价效果等级上的阈值确定主要参考国家、行业 and

地方规定的粮食标准，结合现有研究文献和市场现状，以及上文给出的三角模糊数对物元模型量值的改进方法，确定预警指标阈值，具体小麦和水稻种植面积的指标阈值如下（表 4 和表 5）。

表 4 小麦最低收购价政策执行效果的指标阈值

Table 4 Index threshold of implementation effect of the price about the minimum purchase price of wheat

指标	很好 I	好 II	一般 III	差 IV	非常差 V
C <sub>1</sub>	[0.9, 1]	[0.8, 0.9)	[0.7, 0.8)	[0.5, 0.7)	[0, 0.5)
C <sub>2</sub>	[40, 80]	[30, 40)	[2, 30)	[0.5, 2)	[0, 0.5)
C <sub>3</sub>	[35, 60)	[30, 35)	[23, 30)	[20, 23)	[0, 20)
C <sub>4</sub>	[0, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 95)	[95, 100]
C <sub>5</sub>	[0, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 95)	[95, 100]
C <sub>6</sub>	[50, 80)	[40, 50)	[30, 40)	[10, 30)	[0, 10)
C <sub>7</sub>	[0, 60)	[60, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 100]
C <sub>8</sub>	[0, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 95)	[95, 100]
C <sub>9</sub>	[(0, 0, 15), (20, 50, 60)]	[(10, 50, 80), (40, 80, 90)]	[(70, 80, 85), (80, 85, 90)]	[(70, 85, 85), (85, 90, 95)]	[(85, 90, 90), (90, 100, 100)]
C <sub>10</sub>	[(0, 0, 10), (20, 60, 70)]	[(40, 60, 65), (50, 70, 75)]	[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]	[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]
C <sub>11</sub>	[(0, 0, 10), (20, 50, 70)]	[(40, 50, 65), (50, 70, 75)]	[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]	[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]
C <sub>12</sub>	[(0, 0, 20), (20, 60, 70)]	[(40, 60, 65), (60, 70, 75)]	[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]	[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]
C <sub>13</sub>	[(0, 0, 20), (20, 60, 70)]	[(40, 55, 65), (50, 70, 75)]	[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]	[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]
C <sub>14</sub>	[(0, 0, 10), (20, 60, 70)]	[(40, 60, 65), (50, 70, 75)]	[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]	[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]
C <sub>15</sub>	[(0, 0, 10), (20, 50, 60)]	[(10, 50, 80), (40, 80, 90)]	[(70, 80, 85), (80, 85, 90)]	[(70, 85, 85), (85, 90, 95)]	[(85, 90, 90), (90, 100, 100)]
C <sub>16</sub>	[(0, 0, 10), (20, 60, 70)]	[(40, 60, 65), (50, 70, 75)]	[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]	[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]
C <sub>17</sub>	[(0, 0, 10), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (80, 85, 90)]	[(70, 85, 90), (80, 90, 95)]	[(85, 90, 95), (80, 95, 98)]	[(85, 95, 95), (95, 100, 100)]
C <sub>18</sub>	[(0, 0, 10), (20, 60, 70)]	[(40, 60, 65), (50, 70, 75)]	[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]	[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]
C <sub>19</sub>	[(0, 0, 10), (60, 75, 80)]	[(60, 75, 80), (80, 85, 90)]	[(70, 85, 90), (80, 90, 95)]	[(85, 90, 95), (80, 95, 98)]	[(85, 95, 95), (95, 100, 100)]

表 5 水稻最低收购价政策执行效果的指标阈值

Table 5 Index threshold of implementation effect of the price about the minimum purchase price of rice

指标	很好 I	好 II	一般 III	差 IV	非常差 V
C <sub>1</sub>	[0.9, 1]	[0.8, 0.9)	[0.7, 0.8)	[0.5, 0.7)	[0, 0.5)
C <sub>2</sub>	[40, 80]	[30, 40)	[2, 30)	[0.5, 2)	[0, 0.5)
C <sub>3</sub>	[35, 60)	[30, 35)	[23, 30)	[20, 23)	[0, 20)
C <sub>4</sub>	[0, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 95)	[95, 100]
C <sub>5</sub>	[0, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 95)	[95, 100]
C <sub>6</sub>	[55, 80)	[40, 55)	[30, 40)	[20, 30)	[0, 20)
C <sub>7</sub>	[0, 60)	[60, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 100]
C <sub>8</sub>	[0, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 95)	[95, 100]



$C_9$	$[(0, 0, 15), (20, 50, 60)]$	$[(10, 50, 80), (40, 80, 90)]$	$[(70, 80, 85), (80, 85, 90)]$	$[(70, 85, 85), (85, 90, 95)]$	$[(85, 90, 90), (90, 100, 100)]$
$C_{10}$	$[(0, 0, 10), (20, 60, 70)]$	$[(40, 60, 65), (50, 70, 75)]$	$[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]$	$[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]$
$C_{11}$	$[(0, 0, 10), (20, 50, 70)]$	$[(40, 50, 65), (50, 70, 75)]$	$[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]$	$[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]$
$C_{12}$	$[(0, 0, 20), (20, 60, 70)]$	$[(40, 60, 65), (60, 70, 75)]$	$[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]$	$[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]$
$C_{13}$	$[(0, 0, 20), (20, 60, 70)]$	$[(40, 55, 65), (50, 70, 75)]$	$[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]$	$[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]$
$C_{14}$	$[(0, 0, 10), (20, 60, 70)]$	$[(40, 60, 65), (50, 70, 75)]$	$[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]$	$[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]$
$C_{15}$	$[(0, 0, 10), (20, 50, 60)]$	$[(10, 50, 80), (40, 80, 90)]$	$[(70, 80, 85), (80, 85, 90)]$	$[(70, 85, 85), (85, 90, 95)]$	$[(85, 90, 90), (90, 100, 100)]$
$C_{16}$	$[(0, 0, 10), (20, 60, 70)]$	$[(40, 60, 65), (50, 70, 75)]$	$[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]$	$[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]$
$C_{17}$	$[(0, 0, 10), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (80, 85, 90)]$	$[(70, 85, 90), (80, 90, 95)]$	$[(85, 90, 95), (80, 95, 98)]$	$[(85, 95, 95), (95, 100, 100)]$
$C_{18}$	$[(0, 0, 10), (20, 60, 70)]$	$[(40, 60, 65), (50, 70, 75)]$	$[(40, 70, 75), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (70, 85, 90)]$	$[(80, 85, 85), (90, 100, 100)]$
$C_{19}$	$[(0, 0, 10), (60, 75, 80)]$	$[(60, 75, 80), (80, 85, 90)]$	$[(70, 85, 90), (80, 90, 95)]$	$[(85, 90, 95), (80, 95, 98)]$	$[(85, 95, 95), (95, 100, 100)]$

根据粮食最低收购价政策执行效果的指标体系中不同执行效果等级的量值范

围，可得经典域  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  分别为：

$$\begin{aligned}
 R_1 = (I, c_j, m_{h1}) &= \begin{bmatrix} I & c_1 & <0.9, 1> \\ & c_2 & <40, 80> \\ & \dots & \dots \\ & c_{19} & <(0, 0, 10), (60, 75, 80)> \end{bmatrix} & R_2 = (II, c_j, m_{h2}) &= \begin{bmatrix} II & c_1 & <0.8, 0.9> \\ & c_2 & <30, 40> \\ & \dots & \dots \\ & c_{19} & <(60, 75, 80), (80, 85, 90)> \end{bmatrix} \\
 R_3 = (III, c_j, m_{h3}) &= \begin{bmatrix} III & c_1 & <0.7, 0.8> \\ & c_2 & <2, 30> \\ & \dots & \dots \\ & c_{19} & <(70, 85, 90), (80, 90, 95)> \end{bmatrix} & R_4 = (IV, c_j, m_{h4}) &= \begin{bmatrix} IV & c_1 & <0.5, 0.7> \\ & c_2 & <0.5, 2> \\ & \dots & \dots \\ & c_{19} & <(85, 90, 95), (80, 95, 98)> \end{bmatrix} \\
 R_5 = (V, c_j, m_{h5}) &= \begin{bmatrix} V & c_1 & <0, 0.5> \\ & c_2 & <0, 0.5> \\ & \dots & \dots \\ & c_{19} & <(85, 95, 95), (95, 100, 100)> \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

因此，得到节域为：

$$R_p = (P, c_j, m_{pi}) = \begin{bmatrix} I:V & c_1 & <0, 1> \\ & c_2 & <0, 80> \\ & \dots & \dots \\ & c_{19} & <(0, 0, 10), (95, 100, 100)> \end{bmatrix}$$

#### 4.2.2 求解和结果

将湖南、四川、江西、安徽、湖北 5 个粮食种植主产区省份的小麦和水稻种植面积影响指标数据进行整理，并标准化处理，数据值如下表。

表 6 粮食主产区种植面积影响因素指标数据值

Table 6 Index system of influence factors to acreage of mian grain production area

湖南省小麦和水稻指标处理数据

PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV
m <sub>1</sub>	0.8, 0.6	m <sub>5</sub>	70, 70	m <sub>9</sub>	56, 70	m <sub>13</sub>	47, 47	m <sub>17</sub>	96, 85
m <sub>2</sub>	45, 46	m <sub>6</sub>	90, 80	m <sub>10</sub>	79, 70	m <sub>14</sub>	58, 58	m <sub>18</sub>	86, 87
m <sub>3</sub>	29, 29	m <sub>7</sub>	60, 70	m <sub>11</sub>	86, 86	m <sub>15</sub>	85, 85	m <sub>19</sub>	77, 77
m <sub>4</sub>	49, 45	m <sub>8</sub>	40, 60	m <sub>12</sub>	46, 46	m <sub>16</sub>	76, 76		

四川省小麦和水稻指标处理数据

PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV
m <sub>1</sub>	0.7,0.8	m <sub>5</sub>	73,80	m <sub>9</sub>	50, 65	m <sub>13</sub>	53, 55	m <sub>17</sub>	85, 90
m <sub>2</sub>	50,48	m <sub>6</sub>	80,80	m <sub>10</sub>	80, 90	m <sub>14</sub>	60, 68	m <sub>18</sub>	89,90
m <sub>3</sub>	30,35	m <sub>7</sub>	65,70	m <sub>11</sub>	85, 87	m <sub>15</sub>	70, 80	m <sub>19</sub>	80 ,85
m <sub>4</sub>	60,50	m <sub>8</sub>	50,65	m <sub>12</sub>	50, 55	m <sub>16</sub>	60, 75		

江西省小麦和水稻指标处理数据

PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV
m <sub>1</sub>	0.7,0.8	m <sub>5</sub>	65,70	m <sub>9</sub>	45, 50	m <sub>13</sub>	65,65	m <sub>17</sub>	80,75
m <sub>2</sub>	70,60	m <sub>6</sub>	70,80	m <sub>10</sub>	75, 60	m <sub>14</sub>	70.80	m <sub>18</sub>	85,70
m <sub>3</sub>	55,60	m <sub>7</sub>	55,60	m <sub>11</sub>	85, 88	m <sub>15</sub>	85,70	m <sub>19</sub>	60,70
m <sub>4</sub>	70,65	m <sub>8</sub>	40,50	m <sub>12</sub>	55,70	m <sub>16</sub>	55,60		

安徽省小麦和水稻指标处理数据

PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV
m <sub>1</sub>	0.8,0.9	m <sub>5</sub>	81,85	m <sub>9</sub>	35,55	m <sub>13</sub>	70,75	m <sub>17</sub>	85,90
m <sub>2</sub>	30,40	m <sub>6</sub>	44,51	m <sub>10</sub>	55,60	m <sub>14</sub>	60,72	m <sub>18</sub>	70,83
m <sub>3</sub>	50,60	m <sub>7</sub>	40,55	m <sub>11</sub>	60,75	m <sub>15</sub>	85,85	m <sub>19</sub>	60,65
m <sub>4</sub>	80,85	m <sub>8</sub>	50,70	m <sub>12</sub>	55,70	m <sub>16</sub>	70,80		

湖北省小麦和水稻指标处理数据

PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV	PI	PIV
m <sub>1</sub>	0.8,0.9	m <sub>5</sub>	84,89	m <sub>9</sub>	45,65	m <sub>13</sub>	65,80	m <sub>17</sub>	85,94
m <sub>2</sub>	0.5,2	m <sub>6</sub>	32,40	m <sub>10</sub>	55,75	m <sub>14</sub>	55,75	m <sub>18</sub>	60,70
m <sub>3</sub>	25,30	m <sub>7</sub>	65,68	m <sub>11</sub>	65,70	m <sub>15</sub>	78,88	m <sub>19</sub>	85,90
m <sub>4</sub>	73,78	m <sub>8</sub>	55,70	m <sub>12</sub>	45,65	m <sub>16</sub>	60,75		

注：PI 为指标项，PIV 为指标数据处理值，数据主要来源于国家粮食局、统计局等

根据式(1)和式(2)，得到粮食种植面积影响因素指标权系数，见表 7：

表 7 粮食种植面积影响因素指标权系数

Table 7 Weights of influence factors index to acreage of grain

小麦权系数

预警指标	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>4</sub>	w <sub>5</sub>	w <sub>6</sub>	w <sub>7</sub>	w <sub>8</sub>
------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

# "华为杯"第十三届全国研究生数学建模竞赛



权重系数	0.011	0.066	0.084	0.048	0.009	0.029	0.010	0.034
预警指标	$w_9$	$w_{10}$	$w_{11}$	$w_{12}$	$w_{13}$	$w_{14}$	$w_{15}$	$w_{16}$
权重系数	0.047	0.057	0.049	0.094	0.056	0.106	0.068	0.103
预警指标	$w_{17}$	$w_{18}$	$w_{19}$					
权重系数	0.026	0.072	0.031					

## 水稻权重系数

预警指标	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$
权重系数	0.042	0.110	0.061	0.005	0.022	0.092	0.061	0.019
预警指标	$w_9$	$w_{10}$	$w_{11}$	$w_{12}$	$w_{13}$	$w_{14}$	$w_{15}$	$w_{16}$
权重系数	0.043	0.078	0.024	0.094	0.031	0.117	0.034	0.098
预警指标	$w_{17}$	$w_{18}$	$w_{19}$					
权重系数	0.024	0.037	0.012					

利用式(3)-式(5)和表7权重系数值,计算综合关联度,取其重心值进行比较,

以湖南省为例,其结果如表8:

表8 政策执行效果评价的关联度计算(湖南)

Table8 Calculation of correlation for evaluation about implementation of policy

指标	$K_1(v_i)$	$K_2(v_i)$	$K_3(v_i)$	$K_4(v_i)$	$K_5(v_i)$
$C_1$	0.4286	0.3333	0.2500	0.3333	0.2000
$C_2$	0.1408	0.9200	0.2680	0.1429	0.4419
$C_3$	0.3143	0.2480	0.0435	0.0400	0.1429
$C_4$	0.2333	0.7500	0.5000	0.5050	0.3750
$C_5$	0.2400	0.1556	0.0580	0.0556	0.0732
$C_6$	0.4000	0.2500	0.0769	0.0909	0.1429
$C_7$	0.7850	0.8333	0.7500	0.5210	0.1000
$C_8$	0.8000	0.7333	0.2000	0.3333	0.2727
$C_9$	0.7667	0.6500	0.3000	0.4530	0.2222
$C_{10}$	0.1667	0.2500	0.1667	0.3750	0.4444
$C_{11}$	0.3750	0.1667	0.2500	0.1667	0.3750
$C_{12}$	0.8700	0.4667	0.2000	0.3333	0.2727
$C_{13}$	0.4500	0.8667	0.8000	0.6450	0.0800
$C_{14}$	0.1530	0.0000	0.6000	0.4000	0.5626
$C_{15}$	0.0500	0.7500	0.8750	0.9167	0.9375
$C_{16}$	0.8500	0.6000	0.2000	0.3333	0.4286
$C_{17}$	0.7650	0.6000	0.4000	0.2000	0.1429
$C_{18}$	0.1530	0.0000	0.6000	0.4000	0.5626
$C_{19}$	0.0500	0.7500	0.8750	0.9167	0.9375
$K_j(P_0)$	0.8500	0.6000	0.2000	0.3333	0.4286

表 9 粮食主产区最低收购价政策执行效果评价关联度

Table 9 Collection evaluation of price implementation of the minimum purchase price in the main grain production areas

省份	湖南省				
效果评价	I	II	III	IV	V
水稻	0.150	0.750	0.875	0.716	0.437
小麦	0.450	0.553	0.426	0.433	0.528
	四川省				
水稻	0.310	0.250	0.772	0.616	0.156
小麦	0.157	0.253	0.826	0.637	0.264
	江西省				
水稻	0.350	0.750	0.475	0.716	0.437
小麦	0.250	0.253	0.426	0.413	0.328
	安徽省				
小麦	0.480	0.750	0.675	0.516	0.337
水稻	0.224	0.553	0.026	0.433	0.028
	湖北省				
小麦	0.750	0.150	0.875	0.716	0.437
水稻	0.425	0.353	0.626	0.133	0.228

小麦最低收购价政策执行效果“好”的有：江西省、安徽省

水稻最低收购价政策执行效果“好”的有：湖南省、安徽省

小麦最低收购价政策执行效果“一般”的有：湖南省、四川省、湖北省

水稻最低收购价政策执行效果“一般”的有：四川省、江西省、湖北省

总体而言，安徽省的粮食最低收购价政策执行效果相对较好。

### 4.3 问题三：粮食价格的特殊规律性模型

#### 4.3.1 分析和建模

基于蛛网模型理论和相关文献对粮食价格波动的分析，当粮食价格的供给弹性大于粮食价格的需求弹性时，形成一个发散的蛛网模型，西方经济学中蛛网模型主要考察在市场自发作用下价格与供给量偏离市场均衡的波动趋势。

$$\begin{cases} D_t = a + bp_t \\ S_t = a_1 + b_1 p_{t-1} \\ D_t = S_t \end{cases}$$

$D_t$ ：需求量， $S_t$ 表示供给量， $p_t$ 表示 $t$ 期价格， $p_{t-1}$ 表示 $t-1$ 期价格， $a$ 、 $a_1$ 、

$b$ 、 $b_1$ 为常数， $a$ 表示价格为零时的商品需求量， $b$ 表示商品的需求价格弹性， $a_1$

表示价格为零时的商品供给量， $b_1$ 表示商品的供给价格弹性。

表 10 小麦与水稻的价格

Table 10 Wheat' prices and rice' prices

年份	小麦市场收购价	小麦最低收购价	水稻市场收购价	水稻最低收购价
2006	71. 61	72	80. 64	71
2007	75. 58	72	85. 21	71
2008	82. 76	75	95. 11	78
2009	92. 41	87	99. 08	91
2010	99. 01	90	118. 00	95
2011	103. 95	95	134. 53	105
2012	108. 31	102	138. 07	128
2013	117. 81	112	136. 52	132
2014	120. 59	118	140. 63	135

通过对 2006-2014 年的小麦和水稻的价格数据进行率变量分析, 通过软件 Origin 求得 2007—2014 年小麦和水稻价格变动率图 5 如下所示。

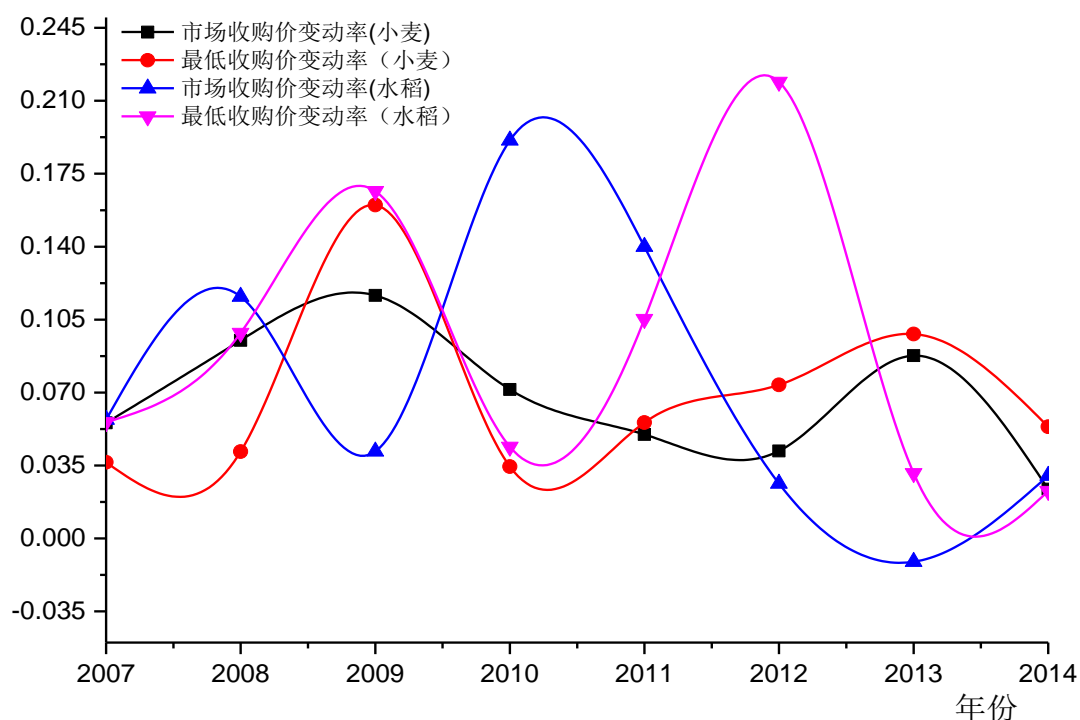


图 5 2007—2014 年小麦和水稻价格变动率

#### “尖峰厚尾”正态分布性

粮食价格的波动会变得越来越来大, 在市场机制的作用下不能恢复, 此时粮食价格不稳定; 而当粮食价格的供给弹性与需求弹性相等或粮食价格的供给弹性小于粮食价格的需求弹性时, 粮食价格波动不会变大或在市场机制的作用下可以自动恢复均衡, 此时粮食价格处于稳定。

为研究粮食的价格的特殊规律, 需要对小麦和水稻的价格变动做波动性分析。计量经济学上研究价格波动的主要方法是 ARCH 类模型。价格这类时间序列数据通常呈现出阶段性的较大波动和阶段性的相对稳定, 即存在条件异方差。因此, 自回归条件异方差模型能够较好模拟时间序列的波动特征, 从而识别粮食价格的特殊规律性。验证我国粮食价格的波动是否具有集族性、非对称性, 以及不同品种粮食的价格波动的差异性, 对于问题三, 模型如下:

### (1) GARCH (p, q) 模型

$$Y_t = X_t' \theta + \varepsilon_t$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

前者为均值方差,  $Y_t$  在文本中表示各类粮食价格,  $X_t$  表示粮食的滞后项。后者为条件方差方程,  $\sigma_t^2$  为  $\varepsilon_t$  在  $t$  时刻的条件方差,  $\varepsilon_{t-i}^2$  为 ARCH 项,  $\sigma_{t-j}^2$  为 GARCH 项。如果 ARCH 项和 GARCH 项高度显著, 说明国际粮食价格具有显著的波动集族性。

### (2) GARCH-M 模型

$$Y_t = X_t' \theta + \lambda \sigma_t^2 + \varepsilon_t$$

GARCH-M 模型在 GARCH 模型中加入  $\sigma_t^2$  得到的, 表示粮食价格的波动性对平均粮价的影响程度。

### (3) TRACH 模型

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma I_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

式中,  $I_{t-1}$  是一个虚拟变量, 当  $\varepsilon_{t-1} < 0$  时,  $I_{t-1} = 1$ 。当  $\varepsilon_{t-1} \geq 0$  时,  $I_{t-1} = 0$ ,  $\gamma I_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2$  项称为非对称效应项。

### (4) EGARCH 模型

$$\ln(\sigma_l^2) = \omega + \sum_{j=1}^q \beta_j \ln(\sigma_{l-1}^2) = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left| \frac{\varepsilon_{l-i}}{\sigma_{l-i}} \right| + \sum_{k=1}^p \gamma_k \frac{\varepsilon_{l-k}}{\sigma_{l-k}}$$

表明条件方差由指数形式确定, 因此, 不论参数取何值,  $\sigma_t^2$  都是正的。用 Eviews 分析时, 其指定的条件方差为  $\ln(\sigma_t^2) = \omega + \alpha \left| \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sqrt{\sigma_{t-i}^2}} \right| + \gamma \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sqrt{\sigma_{t-i}^2}}$ 。当  $\gamma \neq 0$  时, 表明波动具有非对称性; 当  $\gamma > 0$  时, 表明粮价上涨信息引发的波动比粮价下降引发的波动更大; 当  $\gamma < 0$  时, 则正相反。

## 4.3.2 求解和结果

通过 Eviews 软件进行 ARCH 类模型分析, 具体结果如下:



表 11 小麦和水稻价格变动率的单位根检验

Table11 The unit root test of Wheat and rice price's fluctuation rate

变量	检验类型	ADF 值	5%临界值	1%临界值	平稳性
小麦	(0, 0, 5)	-2.60954***	-1.94219	-2.56464	是
水稻	(0, 0, 1)	-4.16544***	-1.94523	-2.36546	是

注: 检验类型 ( ) 中分别表示截距项、线性趋势项和滞后阶数, 其中滞后阶数的选取依据的是赤池信息准则 (AIC), 可以检验在采用施瓦茨准则 (SC) 时, 在一定的滞后阶数下变量也都是平稳的。\*\*表示在 5% 的显著性水平上是平稳的; \*\*\*表示在 1% 的显著性水平上是平稳的。

表 12 小麦和水稻价格变动率的波动性检验

Table12 The volatility test of Wheat and rice price's fluctuation rate

变量	$p_t$	$p_{t-1}$	ARCH-LM 检验
小麦	1.3956*** (29.155)	-0.468*** (-6.641)	通过
水稻	1.4516*** (14.345)	-0.371*** (-4.147)	通过

注: \*\*表示在 5% 的显著性水平下 t 检验显著; \*\*\*表示在 1% 的显著性水平 t 检验显著。

表 13 小麦和水稻价格变动率的 ARCH 类模型

Table13 GARCH class model of wheat and rice price's fluctuation rate

小麦	GARCH	$\sigma_t^2 = 0.0006 + 0.319\varepsilon_{t-1}^2 + 0.736\sigma_{t-1}^2$ (1.815) (2.569) *** (6.461) ***
	GARCH-M	$p_t = 0.415\sigma_t^2 + 1.149p_{t-1} - 0.231p_{t-2}$ (0.315) (10.169) *** (-2.421) **
	TARCH	$\sigma_t^2 = 2.11E - 0.6 + 0.112\varepsilon_{t-1}^2 - 0.215I_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2 + 0.816\sigma_{t-1}^2$ (0.012) (192.159) *** (-8.461) *** (54.257) ***
	EGARCH	$\ln \sigma_t^2 = -0.098 + 0.012 \frac{ \varepsilon_{t-1} }{\sqrt{\sigma_{t-1}}} + 0.115 \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sqrt{\sigma_{t-1}}} + 1.016 \ln \sigma_{t-1}^2$ (-1.512) * (-1.159) ** (1.461) *** (164.257) ***
水稻	GARCH	$\sigma_t^2 = 0.0004 + 0.215\varepsilon_{t-1}^2 + 0.636\sigma_{t-1}^2$ (1.710) (2.861) *** (5.461) ***
	GARCH-M	$p_t = 0.525\sigma_t^2 + 1.348p_{t-1} - 0.136p_{t-2}$ (0.418) (9.182) *** (-1.824) **
	TARCH	$\sigma_t^2 = 1.17E - 0.1 + 0.202\varepsilon_{t-1}^2 - 0.116I_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2 + 0.781\sigma_{t-1}^2$ (0.02) (142.159) *** (-5.461) *** (44.351) ***

	EGARCH	$\ln \sigma_t^2 = -0.192 + 0.002 \frac{ \varepsilon_{t-1} }{\sqrt{\sigma_{t-1}}} + 0.210 \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sqrt{\sigma_{t-1}}} + 0.936 \ln \sigma_{t-1}^2$ $(-2.117) * (-1.051) ** (1.281) *** (154.787) ***$
--	--------	---

注: \*表示在 10% 的显著性水平下 z 检验显著; \*\*表示在 5% 的显著性水平下 z 检验显著; \*\*\*表示在 1% 的显著性水平下 z 检验显著。

由上述模型检验可以得到如下**粮食价格规律**:

(1) 价格变动率序列具有明显的波动集族性, 价格上一期的波动和外部冲击对当期价格的波动具有明显的效应影响;

(2) ARCH 项和 GARCH 项的系数之和接近于 1, 表明冲击的影响是持久的, 具有一种持续性特征;

(3) GARCH M 模型的均值方程系数不高, 粮食的波动性对平均粮价没有影响, 即不存在高风险高粮价的特征;

(4) TARARCH 模型的方差方程系数均在 1% 的水平下显著, 表明水稻和小麦的价格波动具有明显的非对称性, 而且粮食价格上涨的信息引发的粮价波动程度要比粮价下降的信息引发的波动程度大。

#### 4.4 问题四: 粮食最低收购价合理定价及预测模型

##### 4.4.1 分析和建模

由前面的研究和国家制定粮食最低收购价政策的初衷, 可以发现, 粮食最低收购价的确定是一个多目标的规划问题, 不仅需要提高国家和粮农的收益, 同时也要使国家的财政支出风险最小, 粮农的种植的积极性最大。因此, 建立如下三个目标, 目标优先级: 目标 1>目标 2>目标 3。

由于收到市场供需的影响, 粮食最低收购价格具有不确定性, 为此可通过鲁棒优化模型, 对“十二五”期间的政策进行合理性分析, 粮食最低收购价是否具有解鲁棒性, 先进行情景分析每个方案的发生概率为  $s_s$ ,  $\sum_{s=1}^S s_s = 1$ 。

**目标 1: 最大化种植粮食所获得的纯收益**

$$\max W = \sum_{m=1}^M S_m \left\{ \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J (p_{t1} D_{jt} + p_{t2} D_{jt} - c_j^z z_{jt}^m - h_j^z z_{jt}^L) - \sum_{i=1}^I (q_{it} b_{it} + h_i^y y_i^L) \right] \right\}$$

**目标 2: 国家财政的支出风险**

$$\min y = \left| \sum_{m=1}^M S_m \left\{ \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J (p_{y1} D_{jt} + p_{y2} D_{jt} - Y) \right] \right\} \right|$$

**目标 3: 粮农种植粮食的积极性**

$$\max k = \sum_{m=1}^M S_m \left\{ \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J (p_{k1} D_{jt} + p_{k2} D_{jt} - c_j^z z_{jt}^m - h_j^z z_{jt}^L) - K \right] \right\}$$

$$\min B_T \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (d_{1t}^- + d_{1t}^+) + B_P (d_{2t}^- + d_{2t}^+) + B_S (d_{3t}^- + d_{3t}^+)$$

其中,  $B_T$ 、 $B_P$  和  $B_S$  分别为 3 个目标的优先因子, 均为足够大的常数;  $d_{it}^-$  和  $d_{it}^+$  分别为在阶段  $t$  对目标的不足量和过剩量;

**约束 1:** 存储的粮食一般要能够满足全国人民三年的吃饭和需求,  $G^{\max}$  为三年全国最低粮食食用;

$$\sum_{j=1}^J \alpha_j^k p_{jt}^m \geq G^{\max}, \forall t, m,$$

**约束 2:** 同时国家对于粮食的补贴金额不会超出各地粮食市场价格的 10%。

$$\sum_{m=1}^M S_m \left\{ \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J (p_{y1} D_{jt} + p_{y2} D_{jt}) \right] \right\} \leq 0.1 p_0$$

**约束 3:** 粮食的库存水平约束,  $H^{\max}$  为国家粮库粮食安全预警库存水平;

$$\sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J (p_{t1} D_{jt} + p_{t2} D_{jt} - c_j^z z_{jt}^m - h_j^z z_{jt}^L) - \sum_{i=1}^I (q_{it} b_{it} + h_i^y y_i^L) \right] \geq H^{\max}$$

**约束 4:** 粮食种植面积不萎缩约束, 即粮食种植面积变化率为正。

$$0 < \frac{(D_{jt-1} + D_{jt-1})}{(D_{jt} + D_{jt})} < 1$$

因此, 建立了粮食最低收购价政策的鲁棒优化模型如下:

$$\begin{aligned} & \min B_T \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (d_{1t}^- + d_{1t}^+) + B_P (d_{2t}^- + d_{2t}^+) + B_S (d_{3t}^- + d_{3t}^+) \\ & s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^J \alpha_j^k p_{jt}^m \geq G^{\max}, \forall t, m \\ \sum_{m=1}^M S_m \left\{ \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J (p_{y1} D_{jt} + p_{y2} D_{jt}) \right] \right\} \leq 0.1 p_0 \\ \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J (p_{t1} D_{jt} + p_{t2} D_{jt} - c_j^z z_{jt}^m - h_j^z z_{jt}^L) - \sum_{i=1}^I (q_{it} b_{it} + h_i^y y_i^L) \right] \geq H^{\max} \\ \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J (p_{t1} D_{jt} + p_{t2} D_{jt} - c_j^z z_{jt}^m - h_j^z z_{jt}^L) - \sum_{i=1}^I (q_{it} b_{it} + h_i^y y_i^L) \right] \geq H^{\max} \\ 0 < \frac{(D_{jt-1} + D_{jt-1})}{(D_{jt} + D_{jt})} < 1 \\ p_{it}, d_{it} > 0 \end{cases} \end{aligned}$$

“十二五”国家规定的粮食最低收购价如下：白小麦、红小麦和混合小麦最低收购价格均为每市斤 1.18 元，早籼稻最低收购价每市斤 1.35 元，中晚籼稻最低收购价每市斤 1.38 元，粳稻最低收购价每市斤 1.55 元。

合理的粮食最低收购价格应当满足解鲁棒性，因此，最低收购价格应当满足上述目标规划的解。通过 Lingo 软件对数据进行分析，并且在情景分析法下面求得解如下表所示：

表 14 情景发生概率及粮食最低收购价格

Table 14 Scenario probability of occurrence and the minimum grain purchase price

2014 年	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4
概率	0.4	0.3	0.2	0.1
	0.5	0.2	0.2	0.1
小麦价格	1.09	1.26	1.13	1.20
水稻价格	1.35	1.21	1.45	1.46
2013 年				
小麦价格	0.81	1.06	1.23	0.80
水稻价格	1.25	1.11	1.05	1.17
2012 年				
小麦价格	1.02	1.26	1.13	1.20
水稻价格	1.35	1.15	1.38	1.16
2011 年				
小麦价格	0.91	1.26	1.17	1.00
水稻价格	1.04	1.09	1.25	1.26

接下来预测 2017 年的粮食最低收购价格，为提高预测的准确性，将分别将 GARCH 模型、单变量二阶差分方程模型 (DDE)、支持向量机预测模型 (SVM 模型) 以及马尔科夫链的时变权组合预测模型 (HM-TWA) 四种预测方法进行预测，取其平均值作为 2017 年的预测结果。

预测模型构建如下：

(1) GARCH 模型预测，GARCH 主要数学表达式如下，同上文问题 3：

$$\begin{cases} y_t = x_t B + \varepsilon_t \\ \sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + B_1 \sigma_{t-1}^2 \end{cases}$$

(2) 单变量二阶差分方程模型 (DDE)

Step 1. 设某一品种的年消费量时间序列数据为：  $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots,$

$x^{(0)}(n)\}$ ，其中  $x^{(0)}(i)$  是时间  $i$  的消费量，  $i = 1, \dots, n$ .

Step 2. 计算 1 - AGO 序列。对序列  $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$  作一阶累加，生成  $X^{(0)}$  的 1 - AGO 序列  $X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$ 。其中，

$$x^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i x^{(0)}(k), \quad i = 1, \dots, n.$$

Step 3. 建立二阶差分方程模型 (DDE) 并求解。对生成的 1 - AGO 序列  $X^{(1)}$  进行

建模，建模方程式如下：

$$x^{(1)}(p+2)+ax^{(1)}(p+1)+bx^{(1)}(p)=0, \quad p=1,2,\cdots,n-2.$$

其中  $a, b$  为待估参数。利用最小二乘法可得参数  $a, b$  的估计值, 其计算式为:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T Y. \text{ 其中: } X = \begin{bmatrix} -x^{(1)}(2) & -x^{(1)}(1) \\ -x^{(1)}(3) & -x^{(1)}(2) \\ \vdots & \vdots \\ -x^{(1)}(n-1) & -x^{(1)}(n-2) \end{bmatrix}_{(n-2) \times 2}, \quad Y = \begin{bmatrix} x^{(1)}(3) \\ x^{(1)}(4) \\ \vdots \\ x^{(1)}(n) \end{bmatrix}.$$

### (3) 支持向量机预测模型 (SVM 模型)

建立映射关系  $f: R^m \rightarrow R$ , 其中  $m$  为滑动数目即嵌入位数, 前  $N$  个样本数据用于进行模拟训练, 构造样本对  $(X_t, Y_t)$ , 其中  $X_t = \{x_{t-m}, x_{t-m+1}, \cdots, x_{t-1}\}$ ,  $Y_t = x_t$ ,

$Y_t = \sum_{i=1}^{n-m} (a_i - a_i^*) k(X_i, X) + b$ , 其中  $t = m+1, \dots, N$ , 利用向量机进行多步预测的模型

为:  $Y_{N+1} = \sum_{i=1}^{n-m} (a_i - a_i^*) k(X_i, X_{N+1}) + b$

$$X_{N+1} = \begin{cases} \{x_{N-m+1}, \cdots, x_{N+1}, \cdots, x_{N+l-1}\} & l=1 \\ \{x_{N-m+1}, \cdots, x_{N+1}, \cdots, x_{N+l-1}\} & l=2, 3, \dots \end{cases}$$

### (4) 马尔科夫链的时变权组合预测模型 (HM-TWA)

$$x_{c,t} = \sum_{j=1}^m w_{j,t} x_{j,t}, \quad t=1, 2, \cdots, x$$

$$\min J_t = e_{c,t}^2 = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m w_{j,t} w_{k,t} e_{j,t} e_{k,t}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^m w_{j,t} = 1 \\ w_{j,t} \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, m \end{cases}$$

## 4.4.2 求解和结果

将以上四种预测模型对下表数据进行计算, 得到预测结果如下表

表 15 粮食最低收购价预测值

Table15 Predictive value of the minimum purchase price of grain

年份	小麦最低收购价	水稻最低收购价
2006	72	71
2007	72	71

2008	75	78
2009	87	91
2010	90	95
2011	95	105
2012	102	128
2013	112	132
2014	118	135

表 16 四类预测模型的预测值

Table16 Predictive value of four types of prediction model

年份	小麦最低收购价	GARCH	DDE	SVM	HM-TWA	平均值
2006	72	76	71	73	75	73.75
2007	72	71	72	75	72	72.5
2008	75	72	72	79	76	74.75
2009	87	75	73	86	79	78.25
2010	90	82	76	91	85	83.5
2011	95	86	85	93	91	88.75
2012	102	99	96	98	106	99.75
2013	112	113	105	115	110	110.75
2014	118	115	109	119	120	115.75
2015		117	110	116	121	116
2016		121	113	120	125	119.75
2017		126	129	125	130	127.5

年份	水稻最低收购价	GARCH	DDE	SVM	HM-TWA	平均值
2006	71	71	71	73	72	71.75
2007	71	71	72	75	72	72.5
2008	78	72	72	79	77	75
2009	91	85	93	89	89	89
2010	95	92	96	91	98	94.25
2011	105	106	105	100	102	103.25
2012	128	129	116	129	126	125
2013	132	135	135	139	130	134.75
2014	135	140	139	142	136	139.25
2015		150	140	149	142	145.25
2016		161	153	160	159	158.25
2017		165	169	170	168	168



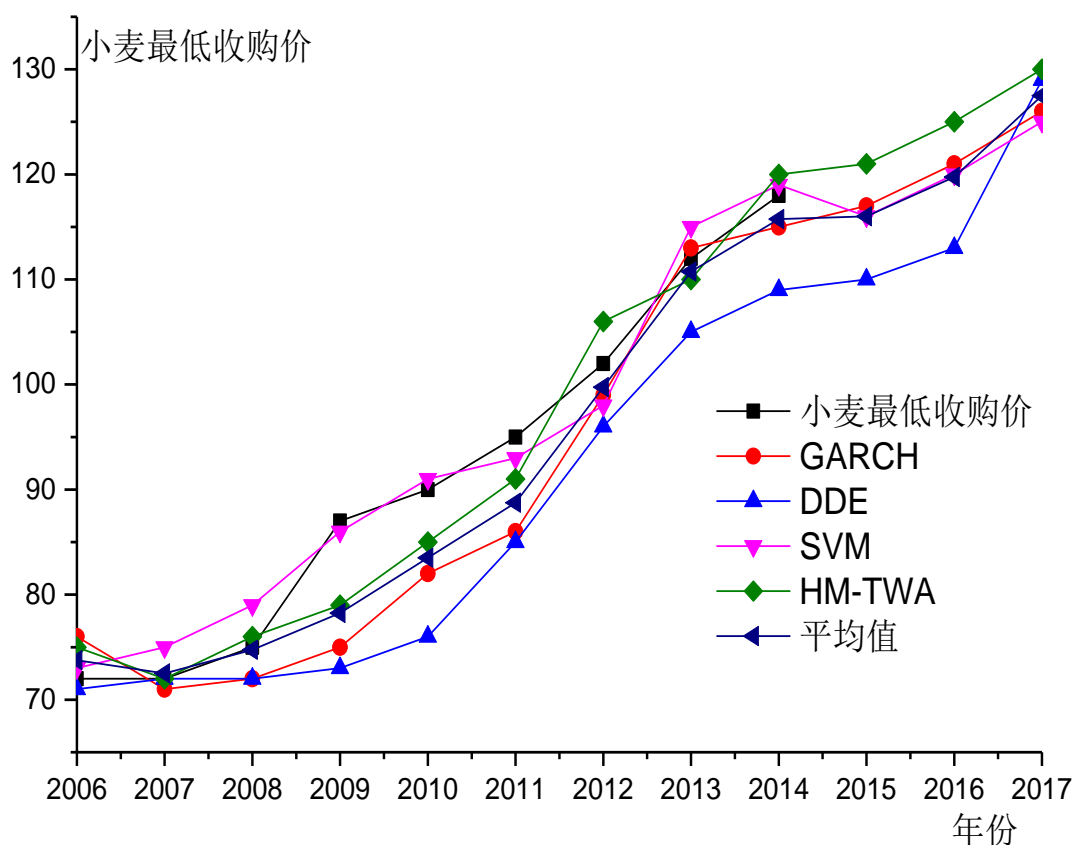


图6 小麦最低收购价格的预测图

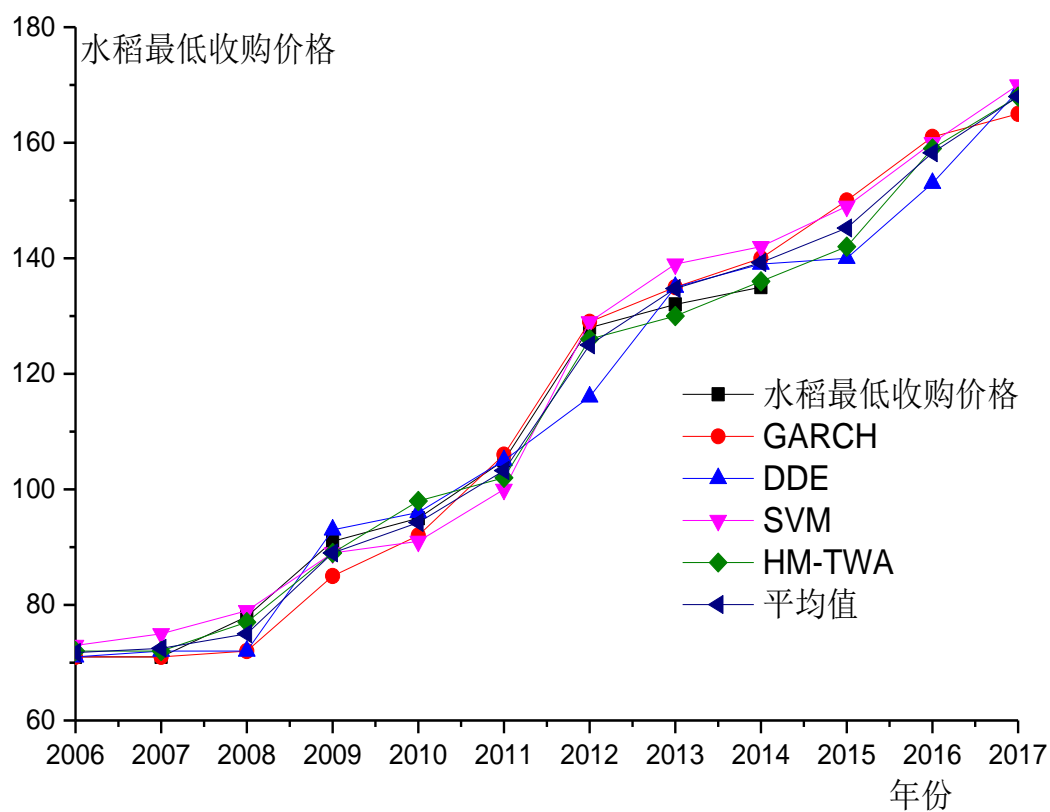


图7 水稻最低收购价格的预测图

因此，得到小麦和水稻 2017 年的最低收购价格的合理范围，分别取 GARCH、DDE、SVM 和 HM-TWA 模型预测结果的最小和最大值，以及平均值，构成三角区间值  $[\min, \text{avg}, \max]$ ，也即小麦和水稻的最低收购价合理范围，如下：

表 17 小麦和水稻的最低收购价合理范围（元/50 公斤）

Table 17 The minimum purchase price of wheat and rice in a reasonable range (yuan / 50 kg)

年份	小麦最低收购价范围	水稻最低收购价范围
2017	[125, 127.5, 130]	[153, 168.5, 170]

## 4.5 问题五：调整粮食最低收购价使小麦种植面积增加 5%

### 4.5.1 分析和建模

由问题一的结构方程模型可知，粮食种植面积的主要影响因素为耕地面积、成灾面积、市场收购价、粮食总产量、最低收购价、农业人口数、城镇化率这几个变量层面，如下图 8 所示

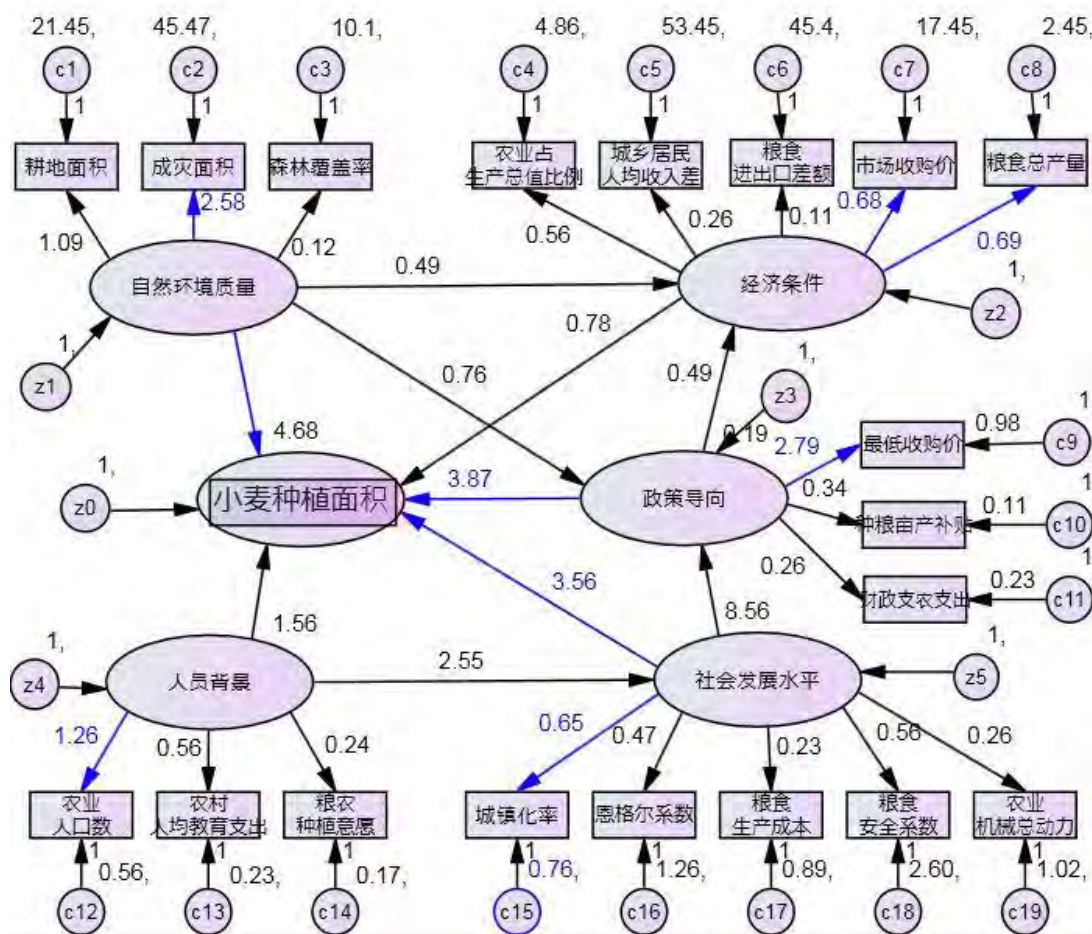


图 8 小麦种植面积影响因素 SEM 模型路径系数图

### 4.5.2 求解和结果

通过 EXCEL 进行多元回归分析，输出结果如下：

SUMMARY OUTPUT								
回归统计								
Multiple R	0.979208							
R Square	0.958848							
Adjusted R Square	0.711938							
标准误差	142.2793							
观测值	8							
方差分析								
	df	SS	MS	F	Significance F			
回归分析	6	471678.1	78613.015	3.883389	0.370054			
残差	1	20243.41	20243.407					
总计	7	491921.5						
	Coefficient	标准误差	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
Intercept	-345924	282615.5	-1.224009	0.436093	-3936895	3245047	-3936895	3245047
24632	0.016235	0.06999	0.2319686	0.854891	-0.87307	0.90554	-0.87307	0.90554
71.61	-61.4274	69.17099	-0.888052	0.537703	-940.328	817.4733	-940.328	817.4733
607	0.433928	0.186899	2.3217267	0.258914	-1.94085	2.808702	-1.94085	2.808702
72	-13.5141	51.91445	-0.260315	0.837876	-673.15	646.1215	-673.15	646.1215
73160	2.935138	2.195689	1.3367731	0.408878	-24.9637	30.83401	-24.9637	30.83401
0.4434	358941.4	285725.5	1.2562457	0.428006	-3271545	3989427	-3271545	3989427
RESIDUAL OUTPUT					PROBABILITY OUTPUT			
观测值	预测	残差	标准残差		百分比排位	23613		
1	23673.32	47.68065	0.8866442		6.25	23617		
2	23691.18	-74.1833	-1.379474		18.75	23721		
3	24311.91	-20.9087	-0.388807		31.25	24069		
4	24208.92	48.07813	0.8940355		43.75	24117		
5	24205.22	64.78431	1.2046948		56.25	24257		
6	24332.53	-64.5259	-1.19989		68.75	24268		
7	24143.51	-26.5114	-0.492993		81.25	24270		
8	24043.41	25.5863	0.4757893		93.75	24291		

复相关系数  $R^2$  的平方根，又称相关系数， $R=0.979208$  表明小麦的种植面积与成灾面积、市场收购价、粮食总产量、最低收购价、农业人口数、城镇化率之间的关系为高度正相关；

复测定系数，上述复相关系数  $R$  的平方。用来说明自变量解释因变量的程度，以测定拟合效果，复测定系数为 0.958848，表明用自变量可解释因变量变差的 95.8848%

因此可以得到小麦种植面积  $S$  与成灾面积、市场收购价、粮食总产量、最低收购价、农业人口数、城镇化率之间的回归关系方程如下：

$$S = -345924 + 0.016c_2 - 61.43c_7 + 0.434c_8 - 13.51c_9 + 2.94c_{12} + 358941.4c_{15}$$

当  $S$  增加 5% 时，有：

$$S + 0.05S = -345924 + 0.016c_2 - 61.43c_7 + 0.434c_8 - 13.51c_9' + 2.94c_{12} + 358941.4c_{15}$$

将两式相减，得到  $0.05S = -13.51(c_9' - c_9)$ ，所以  $c_9' < c_9$ ，即降低粮食的最低收购价格可以实现粮食种植面积的增加，但是并不能一直下降，这样相对市场收购价格，其实市场收购价格相对上升，将会导致粮食企业承担很大的经营风险。

#### 4.6 问题六：调控粮食种植的优化决策和建议

根据前面的模型分析，提出完善我国粮食最低收购价政策的建议，如下：

##### (1) 优化政策设计建立科学的粮食最低收购价格确定机制

粮食是特殊商品，具有“公共物品属性”。因此，既要遵循价值规律，也必须对市场粮价进行适度干预，保证粮价既尽可能反映价值，又适当保护生产者、消费者和经营者的利益，粮食最低收购价格应考虑生产成本、种粮比较收益、社会平均利润和国际粮食市场价格等几大因素，科学制定粮食最低收购价格。

##### (2) 完善粮食价格监测预警机制

整合粮食行政管理部门、中储粮系统、农业行政管理部门和价格行政管理部门等部门的粮食价格监测资源，科学设立和布局价格监测网点，完善粮食价格监测网络体系，建立快速、敏捷、准确、有效的粮食价格监测预警机制。

##### (3) 调整粮食最低收购价格公布和政策实施时间

最低收购价格公布时间的早晚，直接影响到相应粮食品种的播种面积，从而决定到当年该粮食品种的总产量、市场供应量。因此，最低收购价格应该在对应粮食品种播种之前适时公布。

##### (4) 实行粮食最低收购价格资金供给多元化

在加强对农业发展银行的监管，强化资金供应的计划性，增强服务意识，克服衙门作风，提高工作效率的同时，拓展最低收购价资金供给渠道，赋予中国农业银行、农村信用合作社等农村金融机构提供粮食最低收购价格收购资金功能，使收购资金由独家提供变成多家，充分满足粮食最低收购。

## 五、模型评价

### 5.1 模型的优缺点

(1) 在大量的文献梳理基础上，分析粮食种植面积的影响因素内在逻辑，较为科学；

(2) 克服指标特征量值的不确定性和主观性，引入三角模糊数对物元可拓模型进行改进；

(3) 将多种预测模型进行综合运用，模型适用性强、相关统计检验量比较全面，可否了单统计检验量的缺点；

(4) 运用多种科学软件，如 AMOS、SPSS、Origin、Eviews、EXCEL、Lingo 等，结果相对科学且可视化程度高；

(5) 但是，对于指标体系各指标间的关系的论述相对偏少，对 SEM 模型没有进行复杂的修正过程，且模型在分析合理定价策略时用情景分析法，偏于理论。

### 5.2 模型的创新点

(1) 将计量经济学上的分析模型和统计学上的统计量检验用于模型的适配度分析，结合供应链的鲁棒优化的思想和多目标规划的分方法；

(2) 将可拓物元分析进行模糊三区间数的改进，更加科学，为宏观和微观政策的合理提出提供相应的效果分析框架，具有理论和现实意义。

## 六、参考文献

- [1] 张爽. 粮食最低收购价政策对主产区农户供给行为影响的实证研究[J].经济评论,2013,01:130-136.
- [2] 王双进,李顺毅.粮食价格波动的成因及调控对策[J]. 经济纵横,2013,02:60-64.
- [3] 张瑞娟,任晓娜.粮食价格形成和波动机制研究——文献综述与评析[J]. 中国农业大学学报,2016,01:141-146.
- [4] 兰录平. 中国粮食最低收购价政策研究[D].湖南农业大学,2013.
- [5] 王淑艳. 我国粮食价格波动因素分析与预测研究[D].东北农业大学,2013.
- [6] 谭砚文,杨重玉,陈丁薇,张培君. 中国粮食市场调控政策的实施绩效与评价[J]. 农业经济问题,2014,05:87-98
- [7] Li Cui-xia, Zhang Yu-ling. Analysis on Stability Factors of Grain Price in China [J]. Journal of Northeast Agricultural University (English Edition), 2012,03:92-96.
- [8] F.E. Correa, M.D.B. Oliveira, J. Gama, P.L.P. Corrêa, J. Rady. Analyzing the behavior dynamics of grain price indexes using Tucker tensor decomposition and spatio-temporal trajectories[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2016.120:72-78.
- [9] World Bank China:Options for Reform in the Grain Sector[M].2007.
- [10]James Rude, Henry An. Explaining grain and oilseed price volatility: The role of export restrictions[J]. Food Policy,2015,57:83-92.
- [11]Yong-fu CHEN , Zhi-gang WU. Agricultural Policy, Climate Factors and Grain Output: Evidence From Household Survey Data in Rural China[J]. Journal of Integrative Agriculture,2013,12:169-183.
- [12]Esther Y.P. SHEA, Understanding China's grain procurement policy from a perspective of optimization[J]. China Economic Review,2010,21:639-649.
- [13]Junichi Itoa,Jing Nib. Capital deepening, land use policy, and self-sufficiency in China's grain sector[J]. China Economic Review:2013,24: 95-107.
- [14]Lijun Zuo, Xiao Wang, Zengxiang Zhang. Developing grain production policy in terms of multiple cropping systems in China [J]. Land Use Policy,2014,40:140-146.
- [15]Laura Devaney . Good governance? Perceptions of accountability, transparency and effectiveness in Irish food risk governance[J]. Food Policy,2016,62:1-10.



## 附 录

### 小麦相关指标

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	
年份	粮食种植面积	耕地面积	成灾面积	森林覆盖率	农业占生产总值比例	城乡居民人均收入差	粮食进出口差额	市场收购价	粮食总产量	最低收购价
1990	30753	9562.79	17819		27.0	823.9		30.43	6094	
1991	30948	9565.36	27814		24.5	992.0			7760	
1992	30496	9545.58	25895		21.8	1242.6			8370	
1993	30235	9510.14	23133		19.9	1655.8			7318	
1994	28981	9490.67	31383		20.2	2275.2			5801	
1995	28860	9497.39	22267		20.5	2705.3	2296.62	75.44	4928	
1996	29611	13003.92	21234		20.4	2912.8	4126.44		6905	
1997	30057	12990.31	30307		19.1	3070.2	-178.17		9551	
1998	29774	12964.21	25181		18.6	3263.1	-1423.94	66.58	10211	
1999	28855	12920.55	26731		17.6	3643.7	-1150.71	60.36	9372	
2000	26653	12824.31	34374		16.4	4026.6	-1401.39	52.88	5324	
2001	24664	12761.58	31793		15.8	4493.2	-572.79	52.51	6859	
2002	23908	12593	27160	无	15.4	5227.2	-1416.35	51.25	5245	
2003	21997	12339.22	32516	无	12.8	5850.0	-2521.21	56.42	3091	
2004	21626	12244.43	16297	18.2	13.4	6485.2	3064.84	74.47	3498	
2005	22793	12208.27	19966	18.2	12.2	7238.1	630.31	69.01	3598	
2006	23613	12178	24632	18.2	11.3	8172.5	-312.38	71.61	607	72
2007	23721	12174	25064	18.2	11.1	9645.4	-1886.35	75.58	547	72
2008	23617	12171.6	22284	20.4	11.3	11020.2	-286.83	82.76	529	75
2009	24291	12171.6	21234	21.6	9.9	12021.5	83.56	92.41	2048	87
2010	24257	12171.6	18538	21.6	9.6	13190.4	1035.12	99.01	1966	90
2011	24270	12171.6	12441	21.6	9.5	14832.5	1694.69	103.95	1977	95
2012	24268	135158.5	11475	21.6	9.5	16648.1	6182.85	108.31	2088	102
2013	24117	135163.4	14303	21.6	9.4	18059.2	6983.29	117.81	2137	112
2014	24069	135057.3	12678	21.6	9.2	19489.0	7516.04	120.59	968	118
2015										

c10	c11	c12	c13	c14	c15	c16	c17	c18	c19
种粮亩产补贴	财政支农支出	农业人口	农村人均教育支出	粮农种植意愿	城镇化率	恩格尔系数	粮食生产	粮食安全	农业机械总动力
	307.8	84138	805	0.75	0.2641	0.588	115.45	0.83	2870.8
	347.6	84620	830	0.73	0.2694	0.576		0.82	2938.9
	376.0	84996	900	0.78	0.2746	0.576		0.78	3030.8
	440.5	85344	930	0.80	0.2799	0.581		0.81	3181.7
	533.0	85681	980	0.79	0.2851	0.589		0.82	3380.3
	574.9	85947	1005	0.83	0.2904	0.586	238.79	0.71	3611.8
	700.4	85085	1101	0.84	0.3048	0.563		0.9	3854.7
	766.4	84177	1204	0.82	0.3191	0.551		0.88	4201.6
	1154.8	83153	1230	0.80	0.3335	0.534	281.92	0.89	4520.8
	1085.8	82038	1280	0.78	0.3478	0.526	280.39	0.69	4899.6
	1231.5	80837	1308	0.79	0.3622	0.491	284.85	0.88	5257.4
	1456.7	79563	1340	0.76	0.3766	0.477	258.93	0.89	5517.2
	1580.8	78241	1378	0.75	0.3909	0.462	264.97	0.69	5793
	1754.5	76851	1450	0.73	0.4053	0.456	339.64	0.73	6038.7
40	2337.6	75705	1489	0.80	0.4176	0.472	355.92	0.87	6402.8
45	2450.3	74544	1509	0.81	0.4299	0.455	389.61	0.9	6839.8
52	3173.0	73160	1570	0.82	0.4434	0.43	404.77	0.69	7252.2
60	4318.3	71496	1639	0.83	0.4589	0.431	438.61	0.73	7659
67.5	5955.5	70339	1680	0.80	0.4699	0.437	498.55	0.87	8219
85	6720.4	68938	1730	0.78	0.4834	0.41	567	0.89	8749.6
80	8129.6	67113	1790	0.76	0.4995	0.411	618.63	0.78	9278
90	9937.6	65656	1885	0.77	0.5127	0.404	712.28	0.68	9773.5
100	11973.9	64222	1996	0.75	0.5257	0.393	830.44	0.87	10255.9
120	13349.6	62961	2000	0.73	0.5373	0.377	914.71	0.78	10290.7
125	14173.8	61886	2101	0.71	0.548	0.4	965.13	0.7	10805.7
132		60346	2201	0.70	0.561	0.306		0.89	



## 水稻相关指标

年份	粮食种植面积	耕地面积	成灾面积	森林覆盖率	与生产总产值	居民人均收入	进出口差额	市场收购价	粮食总产量	最低收购价
1990	33064	9562.79	17819		27.0	823.9		29.02	2542642	
1991	32590	9565.36	27814		24.5	992.0			2586304	
1992	32090	9545.58	25895		21.8	1242.6			2440907	
1993	30355	9510.14	23133		19.9	1655.8			2349086	
1994	30171	9490.67	31383		20.2	2275.2			2412841	
1995	30744	9497.39	22267		20.5	2705.3	2296.62	82.11	2325133	
1996	31406	13003.92	21234		20.4	2912.8	4126.44		2597117	
1997	31765	12990.31	30307		19.1	3070.2	-178.17		2757668	
1998	31214	12964.21	25181		18.6	3263.1	-1423.94	66.92	2443065	
1999	31283	12920.55	26731		17.6	3643.7	-1150.71	56.59	2503557	
2000	29962	12824.31	34374		16.4	4026.6	-1401.39	51.74	2405899	
2001	28812	12761.58	31793		15.8	4493.2	-572.79	53.68	2299943	
2002	28202	12593	27160	无	15.4	5227.2	-1416.35	51.39	1908942	
2003	26508	12339.22	32516	无	12.8	5850.0	-2521.21	60.06	1939536	
2004	28379	12244.43	16297	18.2	13.4	6485.2	3064.84	79.82	2300549	71
2005	28847	12208.27	19966	18.2	12.2	7238.1	630.31	77.66	2386731	71
2006	28938	12178	24632	18.2	11.3	8172.5	-312.38	80.64	2344684	71
2007	28919	12174	25064	18.2	11.1	9645.4	-1886.35	85.21	2363917	71
2008	29241	12171.6	22284	20.4	11.3	11020.2	-286.83	95.11	2405060	78
2009	29627	12171.6	21234	21.6	9.9	12021.5	83.56	99.08	2354964	91
2010	29873	12171.6	18538	21.6	9.6	13190.4	1035.12	118.00	2220198	95
2011	30057	12171.6	12441	21.6	9.5	14832.5	1694.69	134.53	2289909	105
2012	30137	135158.5	11475	21.6	9.5	16648.1	6182.85	138.07	2303806	128
2013	30312	135163.4	14303	21.6	9.4	18059.2	6983.29	136.52	2298038	132
2014	30310	135057.3	12678	21.6	9.2	19489.0	7516.04	140.63	2324215	135
2015										135

粮亩产补	政支农支	农业人口	人均教育	农种植意	城镇化率	恩格尔系数	粮食生产	粮食安全	业机械总
	307.8	84138	805	0.75	0.2641	0.588	151.8	0.83	2870.8
	347.6	84620	830	0.73	0.2694	0.576		0.82	2938.9
	376.0	84996	900	0.78	0.2746	0.576		0.78	3030.8
	440.5	85344	930	0.80	0.2799	0.581		0.81	3181.7
	533.0	85681	980	0.79	0.2851	0.589		0.82	3380.3
	574.9	85947	1005	0.83	0.2904	0.586	326.62	0.71	3611.8
	700.4	85085	1101	0.84	0.3048	0.563		0.9	3854.7
	766.4	84177	1204	0.82	0.3191	0.551		0.88	4201.6
	1154.8	83153	1230	0.80	0.3335	0.534	345.49	0.89	4520.8
	1085.8	82038	1280	0.78	0.3478	0.526	329.27	0.69	4899.6
	1231.5	80837	1308	0.79	0.3622	0.491	319.15	0.88	5257.4
	1456.7	79563	1340	0.76	0.3766	0.477	316.68	0.89	5517.2
	1580.8	78241	1378	0.75	0.3909	0.462	319.74	0.69	5793
	1754.5	76851	1450	0.73	0.4053	0.456	416.66	0.73	6038.7
	2337.6	75705	1489	0.80	0.4176	0.472	454.64	0.87	6402.8
40	2450.3	74544	1509	0.81	0.4299	0.455	493.31	0.9	6839.8
45	3173.0	73160	1570	0.82	0.4434	0.43	518.23	0.69	7252.2
52	4318.3	71496	1639	0.83	0.4589	0.431	555.16	0.73	7659
60	5955.5	70339	1680	0.80	0.4699	0.437	665.1	0.87	8219
67.5	6720.4	68938	1730	0.78	0.4834	0.41	683.12	0.89	8749.6
85	8129.6	67113	1790	0.76	0.4995	0.411	766.63	0.78	9278
80	9937.6	65656	1885	0.77	0.5127	0.404	896.98	0.68	9773.5
90	11973.9	64222	1996	0.75	0.5257	0.393	1055.1	0.87	10255.9
100	13349.6	62961	2000	0.73	0.5373	0.377	1151.11	0.78	10290.7
120	14173.8	61886	2101	0.71	0.548	0.4	1176.55	0.7	10805.7
125		60346	2201	0.70	0.561	0.306		0.89	

小麦水稻种植面积

年份	粮食种植面积	稻谷	小麦
1990	63817	33064	30753
1991	63538	32590	30948
1992	62586	32090	30496
1993	60590	30355	30235
1994	59152	30171	28981
1995	59604	30744	28860
1996	61017	31406	29611
1997	61822	31765	30057
1998	60988	31214	29774
1999	60138	31283	28855
2000	56615	29962	26653
2001	53476	28812	24664
2002	52110	28202	23908
2003	48505	26508	21997
2004	50005	28379	21626
2005	51640	28847	22793
2006	52551	28938	23613
2007	52640	28919	23721
2008	52858	29241	23617
2009	53918	29627	24291
2010	54130	29873	24257
2011	54327	30057	24270
2012	54405	30137	24268
2013	54429	30312	24117
2014	54379	30310	24069
2015			

小麦水稻总产量

年份	小麦	水稻	总产量
1990	6094	2542642	2548736
1991	7760	2586304	2594064
1992	8370	2440907	2449277
1993	7318	2349086	2356404
1994	5801	2412841	2418642
1995	4928	2325133	2330061
1996	6905	2597117	2604022
1997	9551	2757668	2767219
1998	10211	2443065	2453276
1999	9372	2503557	2512929
2000	5324	2405899	2411223
2001	6859	2299943	2306802
2002	5245	1908942	1914187
2003	3091	1939536	1942627
2004	3498	2300549	2304047
2005	3598	2386731	2390329
2006	607	2344684	2345291
2007	547	2363917	2364464
2008	529	2405060	2405589
2009	2048	2354964	2357012
2010	1966	2220198	2222164
2011	1977	2289909	2291886
2012	2088	2303806	2305894
2013	2137	2298038	2300175
2014	968	2324215	2325183