

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

题 目 基于多目标规划和智能优化算法的粮
食最低收购价政策研究

摘 要：

粮食是关系国计民生和国家安全的重要战略物资，也是人民群众最基本的生活资料。粮食最低收购价政策保障了农户的基本权益，调动了农民的种粮积极性，稳定了粮食生产。研究粮食种植面积数学模型，评判粮食最低收购价政策的执行效果，探寻最低收购价与粮食市场价格的关系，构建粮食最低收购价定价模型，探究粮食最低收购价的合理范围，具有重要的理论与现实意义。

本文重点考虑了小麦、早籼稻、中晚籼稻和粳稻四类粮食品种和相应的主要种植区域，构建了基于主成分因子分析和 Granger 因果关系检验的粮食种植面积的影响因素指标体系、粮食种植面积固定影响变系数面板回归模型、基于粒子群和投影寻踪（PSO-PPE）算法的粮食最低收购价政策执行效果评价模型、基于价格局部均衡的粮食价格体系模型、基于正态分布随机数遗传（ND-GA）算法的多目标粮食最低收购价合理定价模型、基于加权 power 平均（WPA）算子的组合预测模型、基于多重回归的粮食种植面积调整优化算法，研究了粮食最低收购价政策的影响因素、执行策略、执行效果等相关问题。

针对问题一，首先从区域和作物、政策保护、粮食市场、经济水平、物质投入五个方面选取了影响粮食种植面积的 13 个主要因素，利用 2000-2014 年不同区域数据，分析了这些指标对小麦、早籼稻、中晚籼稻、粳稻四种粮食品种种植面积的动态影响。其次对选取的指标进行 Kolmogorov-Smirnov 检验、相关性检验和主成分因子分析；同时为了分析评价指标体系的合理性和可靠性，还对选取

的指标进行了 Granger 因果关系检验。结果表明影响小麦、中晚粳稻和粳稻的主要因素有 7 个，影响早粳稻的主要因素有 9 个。再次，分别对四个不同品种的粮食种植面积构建了固定影响变系数面板回归模型，并详细分析了不同影响因素对种植面积的影响。最后利用似然比检验法对面板回归模型的固定效应进行了检验，并利用单位根检验和协整检验法对面板回归模型进行了有效性检验。结果表明面板回归方程的有效性和合理性。

针对问题二，分别考虑了粮食最低收购价政策对粮食种植面积增加的贡献度、对粮食产量增加的贡献度、对农民收入增加的贡献度、对国家库存稳定的贡献度、对粮食市场价格稳定的贡献度，提出了最低收购价政策执行效果综合评价指数模型。为了确定综合评价模型中的权重，提出了基于粒子群和投影寻踪算法的权重确定模型。然后提出了基于自组织特征映射（SOM）的聚类分析法构建了粮食最低收购价政策执行效果的标准，并对四种不同粮食品种在相应主产区 2006-2014 年的粮食最低收购价政策执行效果进行了度量，虽然总体上效果较为明显，但是情况不容乐观。

针对问题三，首先分析了粮食最低收购价政策实施前和实施后的价格波动情况，利用蛛网模型分析了粮食最低收购价对市场供给的影响。其次构建了粮食市场价格和最低粮食收购价的局部均衡模型和正反馈系统，用面积方程、产量方程、人均食用消费方程、间接消费方程、粮食最低收购价格-市场价格联系方程综合分析我国粮食价格所具有的特殊规律。结果表明，粮食种植面积对前期面积均较为敏感，化肥投入、技术进步对粮食的单产均有显著的正影响，价格对人均食用消费均有负影响但不显著，粮食价格对间接消费有显著负影响，农户收入显著受到粮食市场价格和粮食最低收购价政策的影响。

针对问题四，首先从国家的角度考虑库存的稳定、粮食市场价的稳定、粮食财政支出，从粮农的角度考虑粮农的收益，从粮食企业的角度考虑收购粮食及创造的收益、因最低收购价带来的间接损失，建立了基于正态分布随机数遗传（ND-GA）算法的多目标合理定价模型。其次，构建了国家库存的稳定指数、市场粮价的稳定指数、粮食财政支出指数、粮农收益指数、粮食企业收益指数和间接损失指数，提出了基于有序加权平均（OWA）算子的粮食最低收购价合理性指数模型。再次，利用基于 SOM 的聚类分析法构建了粮食最低收购价合理性指数的评价标准，并对四种不同粮食品种在相应主产区“十二五”期间公布的粮食最低购买价的合理性进行了度量，结果表明，小麦最低收购价合理性一般，早粳稻、中晚粳稻和粳稻合理性较差。最后，综合灰色预测模型、BP 神经网络预测模型、支持向量机预测模型，构建了基于加权 power 平均（WPA）算子的组合预测模型，对多目标合理定价模型中的输入变量进行预测，并求解得到 2017 年的小麦、早粳稻、中晚粳稻和粳稻的最低收购价合理范围分别为每 50 公斤 122-135 元、139-158 元、144-168 元、160-172 元，其合理性均为一般。

针对问题五，利用小麦主产区的平均数据建立了小麦种植面积对数逐步回归模型，考虑小麦种植面积对城乡收入差、小麦产量、小麦市场价的影响，构建了三个子模型，提出了基于多重回归的粮食种植面积调整优化算法。结果表明通过调节小麦最低收购价可以达到全国小麦种植面积增加 5% 的目标，利用本文提出的最优定价模型预计到 2028 年才能让小麦种植面积增加 5%。

针对问题六，本文给出了粮食种植的优化决策和建议。同时对上述提出模型进行了灵敏度分析，并对模型优缺点进行总结。

关键词：粮食；多目标规划；遗传算法；动态优化；组合预测

1. 问题重述

粮食是关系国计民生和国家安全的重要战略物资,也是人民群众最基本的生活资料。但目前我国却用仅占世界 10%的耕地养活着世界 22%的人口, 再加之水资源短缺、气候变化、国际粮食市场的不断冲击等问题, 粮食供求平衡难以保障, 粮食安全问题不容小觑。

为了避免出现谷贱伤农和粮价大幅波动, 粮食最低收购价政策应运而生。作为粮食价格的支持政策, 最低收购价给农户以基本的价格保障, 调动了农民的种粮积极性, 稳定了粮食生产。但如果收购价格过高, 则忽略了市场的自发调节机制, 导致粮食播种面积大幅波动, 无法实现稳定的粮食供给。因此, 研究粮食种植面积的数学模型, 评判粮食最低收购价政策的执行效果, 探寻最低收购价格与粮食市场价格的关系, 探究粮食最低收购价的合理范围, 构建合理的粮食最低收购价定价模型, 具有重要的理论意义和现实意义。

本文以此为背景, 主要考虑以下几个问题:

一、考虑决定粮食供给的关键性影响因素—粮食的种植面积, 如何建立合理的影响粮食种植面积的评价指标体系, 并区分不同粮食主产区、不同粮食品种间各个影响指标与种植面积的动态变化趋势, 找出指标间的相互关系。同时, 需选用合理方法对众多指标进行筛选, 并对评价指标体系的合理性进行评价。并且建立粮食种植面积的指标体系和粮食种植面积的数学模型, 研究他们之间的相关性, 最后对模型求出结果的可信度和可靠性进行定量和定性的分析和探讨。

二、粮食种植面积的显著变化是评判最低收购价政策有效指标, 基于问题一, 考虑反映政策执行效果的其他因素, 如何建立合理的执行效果评价模型, 对我国的粮食, 并结合我国粮食主产区中实行最低价政策的部分省份, 根据粮食品种差异和区域差异, 定量的检验该模型的合理性和实际应用价值。

三、粮食市场收购价和粮食最低收购价共同构成粮食价格体系, 是宏观价格调控系统中有一定相对独立性的重要措施, 结合问题一和问题二所搜集的数据, 再根据各个指标的影响效果, 如何建立合适的模型探讨我国粮食价格所具有的特殊规律性。

四、建立粮食最低收购价的合理定价模型, 针对“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的问题, 利用该模型对其合理性进行评价, 并

且运用所建立的模型预测 2017 年的粮食最低收购价的合理范围。

五、针对 2015 年我国小麦种植面积相比 2000 年略有下降这个事实，若想让小麦的种植面积增加 5%，建立合适的模型评价调整粮食最低收购价是否能到达该目的。

六、结合我们的提出的模型和研究结论，给出调控粮食种植优化决策和建议。

2 问题分析

对于问题一，需要结合粮食品种和区域差异，用 MATLAB 软件描绘三维图形探究各影响指标与粮食种植面积从 2000-2014 年的动态变化。在此基础上，采用主成分因子分析和 Granger 因果关系检验对指标进行筛选。其次，构建固定影响变系数模型并进行实证分析，最后进行固定效应检验、单位根检验和协整检验。

对于问题二，我们首先构建了五个指标测度。其次，利用粒子群法的投影寻踪法（PSO-PPE 算法）确定各个指标的权重。为了评价最低收购价政策的执行效果，运用加权平均得到综合指数，并且利用自组织特征映射（SOM）聚类分析给出了粮食最低收购价政策执行效果的标准。最后针对不同省份不同粮食品种给出了具体的粮食最低收购价政策执行效果的评价。

对于问题三，考虑到粮食市场收购价与粮食最低收购价一起构成了我国的粮食价格体系，而粮食最低收购价政策是近几年刚刚实施的，为探讨我国粮食价格所具有的特殊规律性，首先分析了粮食最低收购价政策实施前和实施后的价格波动情况，并用数据说明了这种波动情况。接下来考虑到粮食最低收购价实施后，事实上对我国粮食市场的供需平衡的提供了新的挑战，因此构建了粮食市场价格和最低粮食收购价的局部均衡模型和正反馈系统。并用面积方程、产量方程、人均食用消费方程、间接消费方程、粮食最低收购价格-市场价格联系方程综合分析我国粮食价格所具有的特殊规律。

对于问题四，为了对“十二五”期间国家与发展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，我们首先从国家，农民和粮食企业的角度构建了一个多目标优化的定价模型，并且利用正态分布随机数的遗传算法（ND-GA 算法）求解该模型。其次构建基于 OWA 算子的综合评价指数模型。接下来利用自组织特征映射（SOM）聚类分析给出了粮食最低收购价价格的合理性评价标准，并给出了基于不同区域不同粮食品种的省份的粮食最低收购价价格的合理性评

价。最后，为了对 2017 年的粮食最低收购价的合理范围进行预测，我们构建了基于 WPA 算子的组合预测模型，对各项指标进行预测，并对 2017 年的粮食最低收购价的合理范围进行了评价。

对于问题五，首先，利用逐步回归我们建立了四个回归模型。接下来基于这四个回归模型，组合预测模型以及问题四里的合理定价模型我们设计了 SQU 算法用来实现通过调整粮食最低收购价来实现去昂小麦种植面积增加 5% 的目标。

3 重要符号说明

y_{it} :	i 从 1 到 12，分别表示河北、内蒙古、辽宁、黑龙江、江苏、河南、山东、湖北、湖南、江西、安徽、四川。 t 表示从 2000 到 2014 年。
x_{1t} :	第 t 年小麦全国最低收购价
x_{2t} :	第 t 年农业劳动力人口
x_{3t} :	第 t 年农民受教育人数
x_{4t} :	第 t 年城乡收入差距
x_{5t} :	第 t 年家庭负担
x_{6t} :	第 t 年科技水平
x_{7t} :	第 t 年小麦粮食产量
x_{8t} :	第 t 年小麦实际市场收购价格
x_{9t} :	第 t 年小麦粮食补贴
x_{10t} :	第 t 年小麦生产成本
x_{11t} :	第 t 年小麦进出口
ΔN_t :	第 t 期粮食最低收购价政策对农民收入增加的贡献度
ΔK_t :	第 t 期粮食最低限购价政策对国家粮食库存稳定贡献度
ΔU_t :	第 t 期粮食最低价政策对粮食市场价格稳定度
ΔQ_t :	第 t 期粮食最低收购价政策对粮食产量增加的贡献度
ΔS_t :	第 t 期粮食最低收购价政策对粮食种植面积增加的贡献度

4 模型假设

- (1) 基于数据的可得性，模型未考虑中国各地区粮食供需差异及品质差异，以全国主要粮食市场供需状况为研究对象；
- (2) 假设国内市场为完全竞争市场，国内粮食价格完全由市场决定，并实现市场出清；
- (3) 假设国内市场粮食的市场价格不受不同省市粮食市场价格的影响，粮食最低收购价政策不因实施省份的不同而不同；
- (4) 假设因子分析与格兰杰检验结果正确，剔除不显著变量那些不显著的变量以及那些估计结果与经济意义不符的变量。

5 模型的建立与求解

5.1 问题一的模型建立与求解

粮食的种植面积是粮食供给的重要保障，影响粮食种植面积的因素不一而足。对于问题一，需要结合粮食品种和区域差异，用 MATLAB 软件描绘三维图形探究各影响指标与粮食种植面积从 2000-2014 年的动态变化。在此基础上，采用主成分因子分析和 Granger 因果关系检验对指标进行筛选。其次，构建固定影响变系数模型并进行实证分析，最后进行固定效应检验、单位根检验和协整检验。

5.1.1 基本分析

根据文献[1]，我国的粮食主产区包括：河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、河南、山东、湖北、湖南、江西、安徽和四川 13 个省区。国家粮食局 2015 年统计数据显示：我国 13 个主产区粮食产量占全国总产量的 75%以上。本文基于此分类标准，考虑吉林省的地理自然环境与黑龙江、辽宁两省无较大差异，小麦种植面积占东北三省的 5%左右，水稻种植面积占东北三省的 4.3%左右，且吉林省的部分数据存在大面积缺失，故选取除吉林省之外的 12 个粮食主产区进行研究。

我国从 2005 年开始对粮食主产区的水稻（早籼稻、中晚籼稻和粳稻）实行最低收购价政策。2006 年，小麦也被纳入最低收购价范围。因此，本文选取早籼稻、中晚籼稻、粳稻和小麦四个粮食作物进行考虑。

5.1.2 粮食种植面积影响因素分析

从区域和作物、政策保护、粮食市场、经济水平、物质投入五个角度共选取

13 个影响粮食种植面积的基本指标，下图 5.1.1 为粮食种植面积影响因素的指标体系。

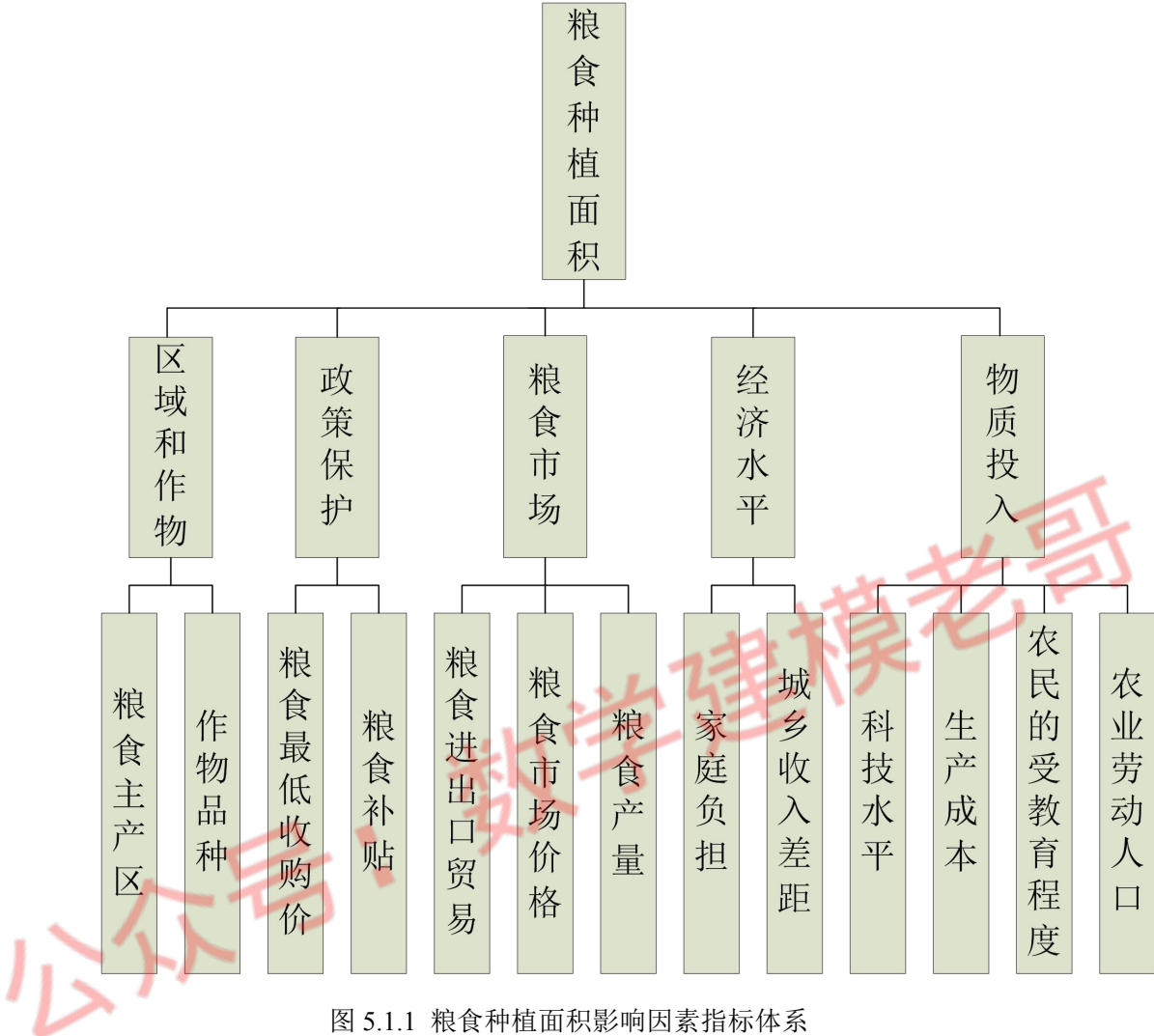


图 5.1.1 粮食种植面积影响因素指标体系

i. 区域和作物

粮食种植面积的差异主要源于所处区域和作物品种的不同，各个粮食主产区往往根据自身地理位置、自然禀赋的差异，种植不同面积不同种类的粮食作物。下面分析我国 12 个粮食主产区 4 类粮食作物种植面积的动态变化。

(1) 不同粮食主产区小麦种植面积动态分析

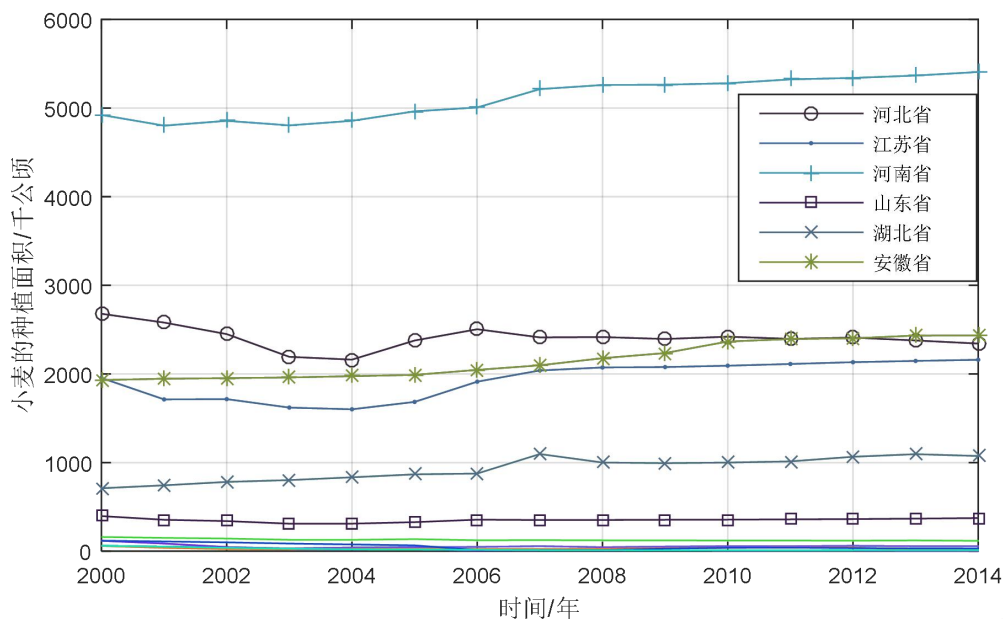
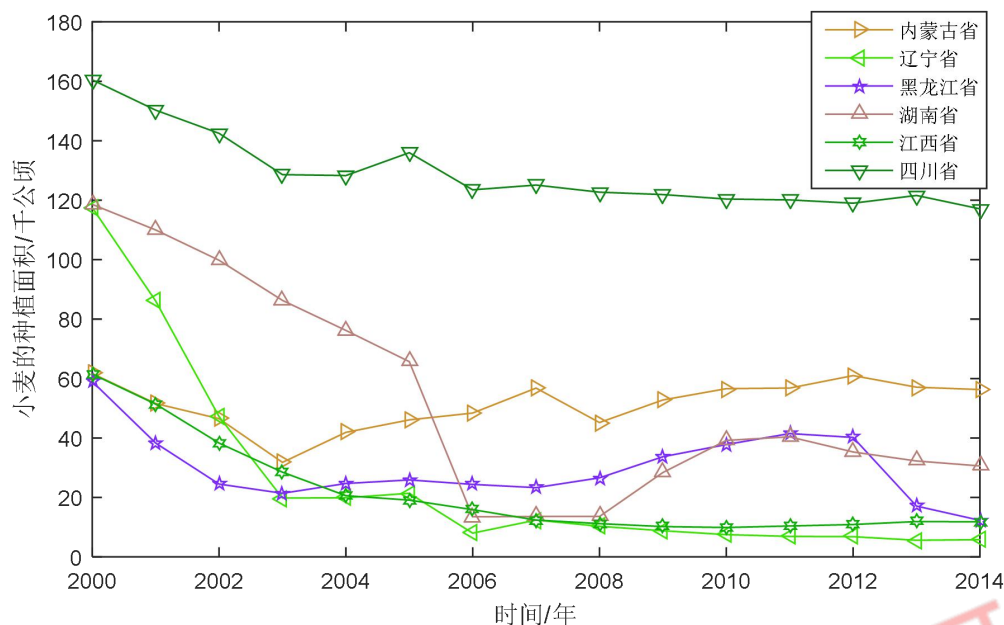


图 5.1.2 不同区域小麦种植面积

图 5.1.2 中，各个地区的小麦种植面积呈总体上升的趋势。其中，河南省远远高于其他粮食主产区。河北、安徽、江苏三省的小麦种植面积大体相同，并随着时间的变化渐渐趋同。湖北、山东两省的种植面积较小，基本在 $[310, 1100]$ 千公顷的范围内波动。内蒙古、辽宁、黑龙江、江西、湖南、四川六省因小麦种植面积过小导致图像密集分布在 $[0, 161]$ 千公顷内。这与我国小麦种植面积的分布情况基本相符，小麦播种面积广布全国，以黄淮海平原及长江流域最多，其中河南、河北、安徽、江苏属于小麦种植大省。但东北地区、长江以南、湖南以东等地区小麦种植很少，如江西、内蒙古、辽宁、黑龙江、湖南、四川。

先分析河北、安徽、江苏、河南、山东、湖北六省种植面积的动态变化。可以看出，河南是我国小麦种植的主产地，占据着 12 个粮食主产区小麦种植面积的 38%。其中，山东、江苏两省 2003 年小麦的种植面积小幅下降，可能与当年的高温干旱天气有关。河南、湖北、江苏三省 2007 年小麦的种植面积小幅上涨，与当年降雨量充沛、病虫害较少等有一定的联系。

为消除因数量级不同造成的辽宁、湖南等六省图像过于密集不便观察的影响，现单独将内蒙古、辽宁、黑龙江、湖南、江西、四川六个省份提出，并调整小麦种植面积的数量级，得到图 5.1.3。



5.1.3 四川、湖南等六省小麦种植面积

图 5.1.3 反映了内蒙古、辽宁、黑龙江、湖南、江苏、四川六个省份小麦种植面积的动态变化。这六个省份小麦种植面积的总和仅占 12 个粮食主产区种植面积的 2%，小麦播种面积最大的四川省仅占粮食主产区种植面积的 0.83%。事实上，内蒙古、辽宁、黑龙江等地区因土壤结构、气候差异等原因并不适合栽种小麦作物，种植面积对全国小麦种植面积的影响很小。

(2) 不同粮食主产区早籼稻种植面积动态分析

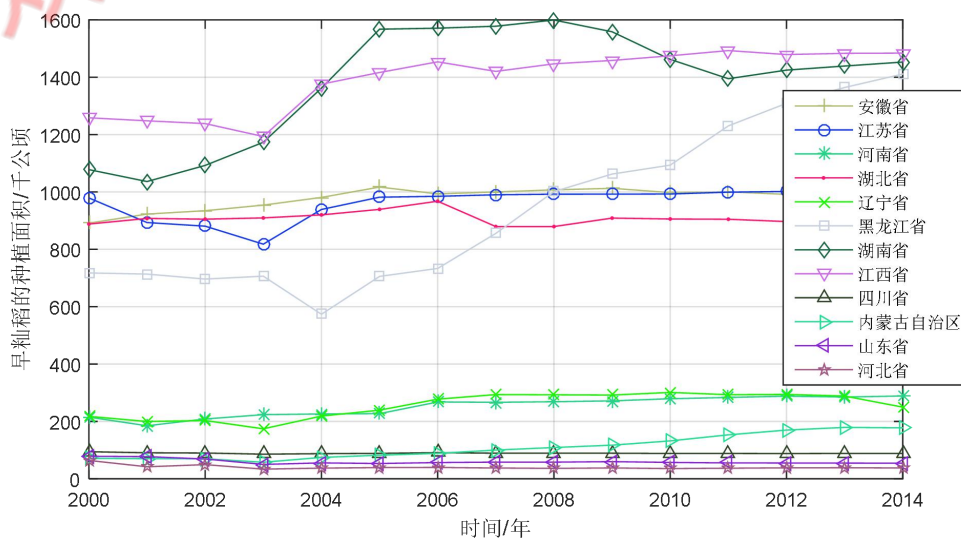


图 5.1.4 不同区域早籼稻种植面积

图 5.1.4 中，湖南、江西两省的早籼稻种植面积在 12 个粮食主产区中一直保持领先地位。其中，湖南省 2014 年早籼稻种植面积相比 2000 年增长了 34.8%，

总体呈上涨趋势。江苏、安徽、湖北三省的种植面积稳定地保持在[879,1017]千公顷范围内。黑龙江省种植面积在 2004 年经历小幅下降后，逐年显著增长，年平均增长率达到了 9.42%。河南、辽宁两省早粳稻种植面积保持在 220 千公顷左右，而四川、内蒙古、山东、河北的种植面积一直保持在较低的水平，可认为这六个省份不是我国早粳稻的主要产区。

上述分析与我国早粳稻的种植分布情况基本相符，早粳稻种植分布区域以南方为主，四川、江西、湖南为我国早粳稻的主要产地。且近年来，我国早粳稻生产逐步向长江中下游和黑龙江水稻产区集中。

(3) 不同粮食主产区中晚粳稻种植面积动态分析

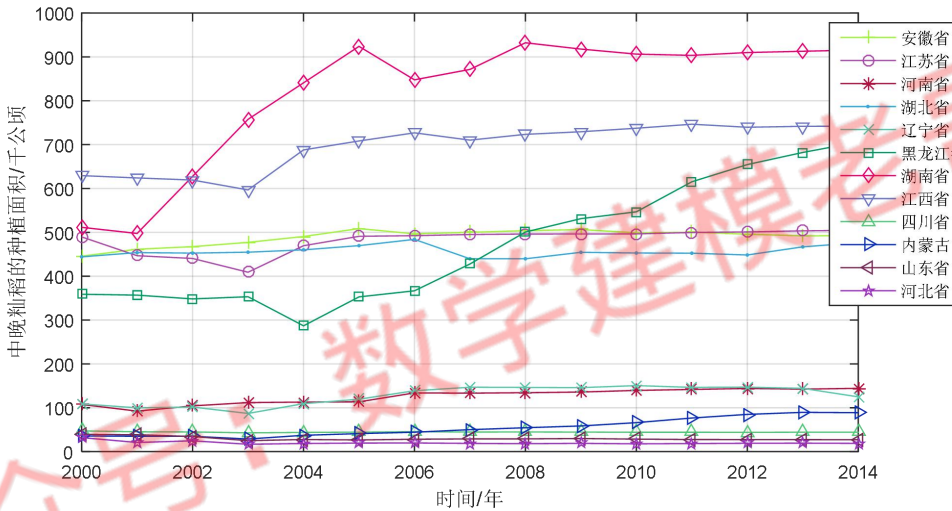


图 5.1.5 不同区域中晚粳稻种植面积

图 5.1.5 中，湖南省中晚粳稻的种植面积长期占据 12 个粮食主产区的领先地位，2002 年前略微落后于江西省，其后种植面积保持连续多年的快速增长，并超越江西省成为全国中晚粳稻种植面积最大的区域，年种植面积基本稳定在 900 千公顷左右。江西省中晚粳稻的种植面积在 2004 年经历小幅增长后，多年稳定在 700 千公顷。黑龙江省的中晚粳稻种植面积从 2000 年的 358 千公顷跃升到 2014 年的 705 千公顷，涨幅达到 96.9%。安徽、江苏、湖北三省连续多年保持较为稳定的种植面积。其余省份的种植面积较小，可认为不是我国中晚粳稻的主产区。

中晚粳稻的分布区域与早粳稻类似，近年来向位于长江中下游平原的江西、湖南、安徽等省份和黑龙江水稻产区集中。

(4) 不同粮食主产区粳稻种植面积动态分析

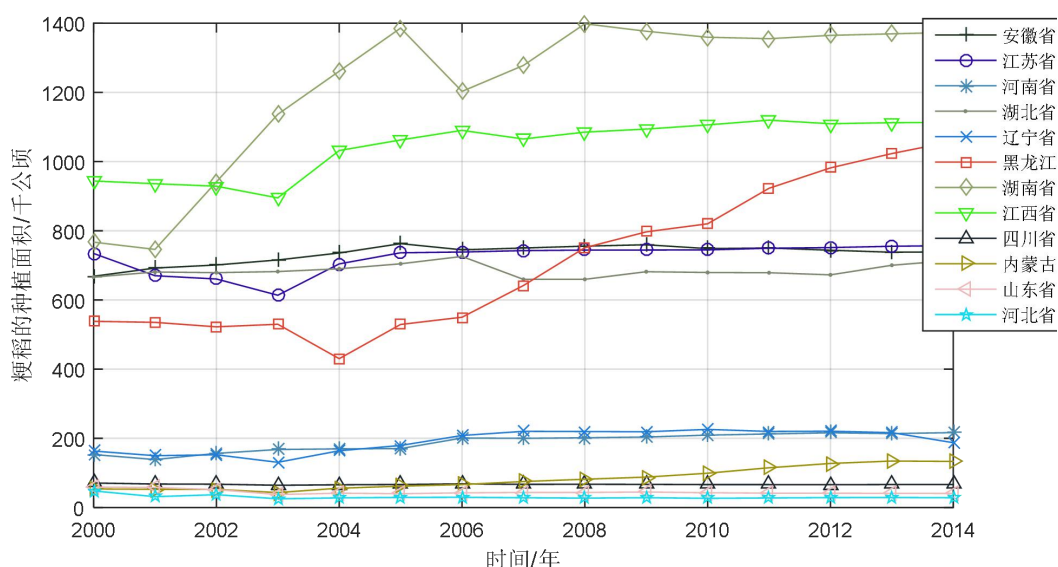


图 5.1.6 不同区域粳稻种植面积

图 5.1.6 中，不同粮食主产区粳稻种植面积的动力变化基本与早籼稻、中晚籼稻一致。其中，湖南、江西的粳稻种植面积依旧保持全国领先的位置，安徽、江苏、湖北三省种植面积无明显变化，粳稻种植不断向黑龙江水稻产区集中。

以上针对同一作物，分析不同区域内种植面积的差异，实际上，在同一区域内，不同作物的种植面积同样存在较大差异。如小麦种植大省河南，2014 年小麦种植面积占本省四种粮食作物（小麦、早籼稻、中晚籼稻、粳稻）的 89%，远远高于国内其他粮食主产区，但水稻的种植面积（包括早籼稻、中晚籼稻、粳稻）仅为 11%。水稻种植大省湖南，2014 年水稻种植面积占本省四种粮食作物的 99.3%，小麦的种植面积仅为 0.3%。

基于以上分析可得，因区域、作物的差异，粮食的种植面积存在显著差异。种植面积较小的省份往往不具有代表性，因此下文分析中，在考虑小麦作物时，选取河北、安徽、江苏、河南、湖北五省。考虑早籼稻时，选取湖南、江西、江苏、安徽、湖北、黑龙江六省。考虑中晚籼稻时，选取湖南、江西、黑龙江、江苏、湖北五省。考虑粳稻时，选取湖南、江西、黑龙江、安徽、江苏、湖北六省。

ii. 政策保护

1. 粮食最低收购价。国家通过最低收购价向粮农传递了一个明确的种粮收入保底值，影响粮食的种植面积，较好地实现市场调节和宏观调控的有机结合。下表为我国粮食最低收购价。（图中数据加入下划线表示该年份未执行最低收购价政策）

表5.1.1 粮食最低收购价（元/斤）

粮食种类	执行区域	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
小麦	河北、江苏、安徽、 山东、河南、湖北	0.70	0.70	0.75	0.85	0.90	0.93	1.02	1.12	1.18

粮食种类	执行区域	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
早籼稻	安徽、江西、 湖北、 湖南、广西	0.70	0.70	0.70	<u>0.77</u>	0.90	<u>0.93</u>	1.02	1.20	1.32	1.35
中晚籼稻	辽宁、吉林、黑龙江、 江苏、安徽、 江西、河南、湖北、 湖南、广西、四川	0.72	0.72	0.72	<u>0.79</u>	0.92	<u>0.97</u>	1.07	1.25	1.35	1.38
粳稻	江苏、吉林、辽宁、 黑龙江、安徽、云南、	<u>0.75</u>	<u>0.75</u>	0.75	<u>0.82</u>	0.95	<u>1.05</u>	1.28	1.40	1.50	1.55

表 5.1.1 中，2008 年以前，各个粮食主产区的最低收购价格变化幅度不大，从 2008 年开始，国家逐步提高最低收购价格水平。但我国的粮食最低收购价政策存在着涉及品种较少、实施地区偏窄、收购价格偏低等缺点。

（1）小麦最低收购价格与种植面积

小麦最低收购价政策从2006年开始执行，同时结合上文小麦种植大省的划分，选取河北、安徽、江苏、河南、湖北五省考虑小麦最低收购价格与种植面积的动态变化。

2006年发布小麦最低收购价格之后，农民有了种粮收入的保底值。江苏省当年小麦种植面积较2005年上涨了13.55%，并于之后的年份一直保持小幅增长。最低收购价保持不变的2007年，河南、湖北两省小麦种植面积打破之前稳定不变的态势，实现了25.12%的增长，为被调查年份中最大涨幅。在小麦最低收购价格首次上涨的2008年，安徽省的小麦种植面积也迎来一个较大幅度的增长。2008年到2010年，随着最低收购价格的稳步提升，安徽省的小麦种植面积也实现了连续三年较快水平的增长。河北省在政策实施年份内，小麦的种植面积呈小幅波动，无较大改变。

（2）早籼稻最低收购价格与种植面积

我国自2004年起在湖南、江西、湖北、安徽四省执行了早籼稻最低收购价政

策，2008年广西也被纳入政策范围。考虑到政策实行的连续性，并结合上文分析的早籼稻主产区，选取湖南、江西、湖北、安徽四省进行考虑。

在早籼稻最初实施的 2005 年，江西省早籼稻种植面积扭转连年下跌的势头，当年增长 2.96%。湖南省延续 2004 年的增长态势，在该年实现了 9.88% 增长。之后的年份（2006-2007）中，早籼稻最低收购价稳定维持在每斤 0.7 元，各省的种植面积基本与 2005 年保持一致。2008、2010 年各地均未执行早籼米最低保护价政策，这可能是因为当年我国整体物价水平上涨较快，以及各类主体积极入市收购，导致早籼稻市场价格明显高于最低收购价格，当年国家没有启动早籼稻托市收购。安徽、湖北两省在政策执行年份内，早籼稻的种植面积呈小幅波动，无较大变化。

（3）中晚籼稻最低收购价格与种植面积

结合前文分析得到的我国中晚籼稻主产区和中晚籼稻最低收购价政策执行省份，选取湖南、江西、黑龙江、江苏、湖北五省的进行考虑。最低收购价政策执行的首年，黑龙江省逆转了2004年中晚籼稻种植面积大幅下降的趋势，且随着政策的实施，连续多年保持稳定增长。在政策开始执行的四年（2005-2008）时间中，最低收购价格连续三年稳定在每斤0.72元，只在2008年上调至每斤0.79元。与此同时，湖南省的种植面积呈先下降后上涨的趋势，波幅达到9.69%。这与最低收购价的执行不无关系。湖北、江苏、江西三省种植面积在政策执行年份内无明显变化。

（4）粳稻最低收购价格与种植面积

结合前文分析得到的我国粳稻主产区和粳稻最低收购价政策执行省份，选取黑龙江、安徽、江苏三省进行考虑。

2005、2006年国家发改委虽公布粳稻的最低收购价格，但当年粳稻市场价格高于最低收购价格，故该政策并未执行。考虑到市场价格激励和最低收购价格的保障，2005、2006年黑龙江、安徽、江苏三省的粳稻种植面积均实现小幅增长，且江苏、安徽两省的种植面积基本稳定在2006年的种植水平。随着粳稻最低收购价格的不断上调，黑龙江省的粳稻种植面积也连续多年增长，2005年到2014年涨幅达到104%。

基于以上分析可得，因粮食最低收购价格的调整，作物的种植面积存在一定差异。

2. 粮食补贴。本文粮食补贴为粮食直接补贴、良种补贴和农机补贴等指标的综合。一般来说，粮食补贴能够减轻农民种粮的负担。对不同粮食作物的偏向性补贴，往往能够起到激励农民种植该种粮食的作用，对不同粮食的种植产生导向性作用。

iii. 粮食市场

1. 粮食进出口贸易。随着我国粮食购销市场开放程度的不断提高，我国与国际粮食市场的沟通日益紧密，种植面积受国际粮食市场供求影响越来越显著。当国际粮食市场的某种粮食作物的供给超过需求时，市场的自动调节机制给国内农民传递减少种植该种粮食作物的信号。当国际粮食上某种粮食作物的供给不能满足需求时，国内农民往往会扩大该粮食的种植面积以期扩大个人收益。

2. 粮食市场价格。作物的种植面积是决定粮食供给的关键因素，粮食的市场收购价格又调节着粮食的供给与需求。因此，粮食市场价格与作物的种植面积存在紧密的联系。一般而言，当市场收购价格较高时，往往刺激粮食的供给，农民倾向于扩大粮食的种植面积。当市场收购价格较低时，农民对未来收益的期望值降低，可能会调整现有作物的种植面积。下图为不同作物种植面积与市场收购价格的动态变化。

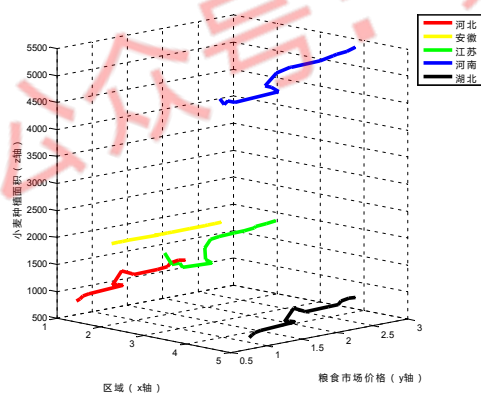


图 a 不同区域小麦市场价格与其种植面积

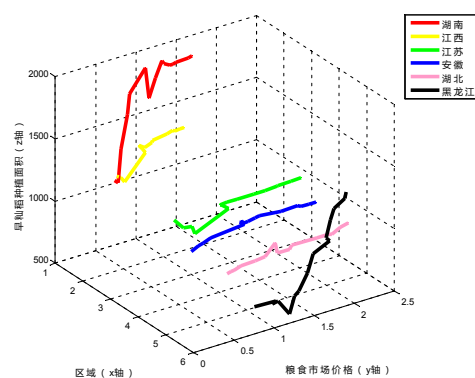


图 b 不同区域早籼稻市场价格与其种植面积

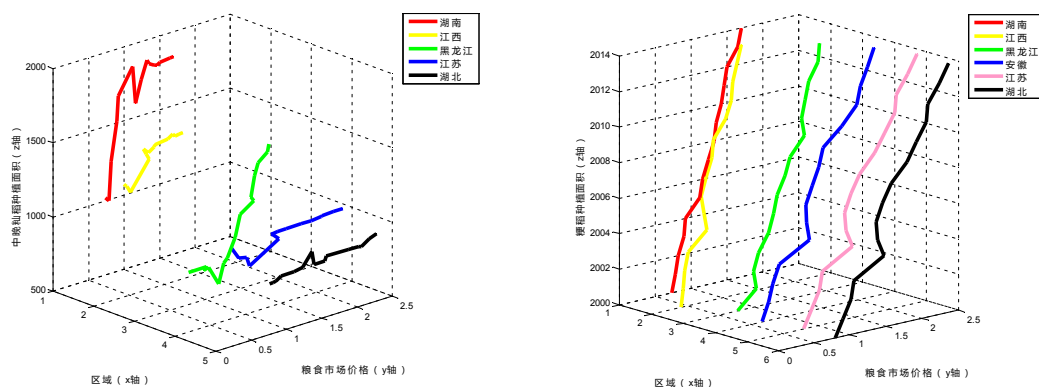


图 c 不同区域中晚籼稻市场价格与其种植面积 图 d 不同区域粳稻市场价格与其种植面积

图 5.1.7 不同区域粮食市场价格与粮食种植面积

图 5.1.7 中， x 轴为不同区域， y 轴为不同作物的市场收购价格， z 轴为粮食种植面积。不同颜色的图线代表不同省份从 2000 年到 2014 年粮食市场价格与粮食种植面积的相关关系。

图 a 中，各个省份的小麦种植面积都随着市场价格的上涨不断扩大。其中，河北、湖北两省小麦种植面积的波动趋势基本相同，两省小麦的市场价格和种植面积在 2005 年出现较大幅度的提升。安徽省小麦种植面积在 2000-2014 年基本稳定，可能受到市场价格以外因素影响。

图 b 中，黑龙江、湖南两省自 2003 年以来，早籼稻的市场价格反复波动。2003-2004 年湖南省早籼稻市场价格经历了 40% 左右的大幅波动之后，2005-2006 年波幅明显减小，这可能与国家开始执行的早籼稻最低价格收购政策有关。但 2006 年底-2007 年又展开一轮大幅上涨，2006 年与 2007 年价格波幅约 21.4%。与此同时，早籼稻种植面积随市场价格的波动而波动。图 c 反映趋势基本与图 b 相同。

图 d 中，各省份除了在粳稻市场价格与种植面积的波动范围内上存在差异外，粳稻的种植面积与市场价格呈现显著的正相关关系。这与市场的价格调节机制基本一致。

基于上述分析，可得不同粮食作物的种植面积与该种粮食市场价格显著相关。

3. 粮食产量。粮食的种植面积是影响粮食产量的决定性因素，一般来说，在科技水平、气候变化、病虫害等影响因素不变的情况下，粮食的种植面积越大，当年的粮食产量也越大。

iv. 经济水平

1. 家庭负担。本文用农村家庭的人均年收入减去人均年支出衡量家庭负担，

基于此度量方法，在不考虑重大自然灾害、突发事件等情况下，得到的值越大，反映农村家庭在满足一定的消费、投资需求后，收入中还存有较多富余，家庭负担较小。得到的值越小，反映农村家庭的基本收入无法满足生活所需支出，往往存在入不敷出的现象，家庭负担较大。

家庭负担较小的农户有较多选择是否从事粮食种植的机会，如若进行粮食种植，一般情况下，他们会在粮食生产方面加大资金、人力等方面的投入，且种植面积较大。而家庭负担较大的农户往往无力承担较为昂贵的粮食种植成本，种植面积较小。

2. 城乡收入差距。随着我国城市化进程的不断加快，越来越多的农民选择到城市中求生，我国农村土地存在大量闲置，因此需考虑城乡收入差距对粮食种植面积的影响。

v. 物质投入：

1. 科技水平。本文选用农业机械总动力对科技水平进行衡量。农业机械总动力指的是主要用于农业生产各种动力机械综合。随着科学技术的日益发展，农业不但向产业化发展，农村土地利用更加合理，粮食生产得到统一规划，土地的利用率得到显著提高，种植面积相应增加。

2. 生产成本。本文选取农村用电量、有效灌溉面积、种子价格、化肥施用量、农药用量五个指标，进行价格转换得到生产成本这一综合指标。一般而言，某种粮食作物的生产成本越高，对于一些低收入群体而言，他们可能放弃种植该种作物，对于家庭负担较少的农民来说，他们可能会减少对某种作物的种植，该种粮食作物的种植面积相应减少。

3. 农民的受教育程度。本文用农村人口中拥有初中以上学历人口占农村总人口的比例对农民的受教育程度进行定量衡量。指标值越高，反映农民的受教育程度越高。一般情况下，农民的受教育程度越高，越能有效将新科技、技术应用于粮食种植中，粮食的种植面积往往越大。

4. 农业劳动人口。农业劳动人口为从事农业生产的人数与占农村总人口的比重，该比重越高，反映从事粮食生产的人越多，闲置、不合理使用土地的现象减少，粮食的种植面积增加。

5.1.3 指标体系的确立

i. 正态性检验

5.1.2 中结合区域和作物差异，考虑了众多影响粮食种植面积的因素，这些指标之间往往存在错综复杂的关系，因此需对指标间的相关关系进行分析。进行相关分析前，还需对变量进行正态性检验。

首先将各个省份的数据进行加权平均，运用 SPSS 软件对变量进行正态性检验，得到小麦、早籼稻、中晚籼稻、粳稻正态性检验表如下：

表 5.1.2 正态性检验表

表 a 小麦正态性检验表

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	统计量	df	Sig.	统计量	df	Sig.
种植面积(千公顷)	.277	15	.003	.838	15	.012
粮食最低收购价	.191	15	.147	.921	15	.202
农业劳动人口	.249	15	.013	.817	15	.006
受教育程度	.122	15	.200*	.932	15	.294
城乡收入差距	.138	15	.200*	.916	15	.170
家庭负担	.253	15	.011	.806	15	.004
科技水平	.134	15	.200*	.927	15	.243
粮食产量（万吨）	.250	15	.012	.867	15	.031
粮食市场价格	.123	15	.200*	.940	15	.379
粮食补贴	.493	15	.000	.334	15	.000
生产成本	.145	15	.200*	.950	15	.520
粮食进出口	.130	15	.200*	.946	15	.462

*. 这是真实显著水平的下限。

a. Lilliefors 显著水平修正

表 b 早籼稻正态性检验表

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	统计量	df	Sig.	统计量	df	Sig.
种植面积(千公顷)	.202	15	.102	.889	15	.065
粮食最低收购价(元/公斤)	.245	15	.016	.879	15	.046
农业劳动人口	.103	15	.200*	.977	15	.940
受教育程度	.127	15	.200*	.931	15	.286
城乡收入差距	.142	15	.200*	.921	15	.198
家庭负担	.142	15	.200*	.921	15	.198
科技水平	.128	15	.200*	.929	15	.264
粮食产量（万吨）	.357	15	.000	.591	15	.000

粮食市场价格(元/50公斤)	.249	15	.013	.861	15	.025
粮食补贴(元/亩)	.234	15	.027	.849	15	.017
生产成本	.142	15	.200*	.928	15	.256
粮食进出口	.150	15	.200*	.921	15	.196

*. 这是真实显著水平的下限。

a. Lilliefors 显著水平修正

表 c 中晚籼稻正态性检验表

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	统计量	df	Sig.	统计量	df	Sig.
种植面积(千公顷)	.196	15	.127	.891	15	.070
粮食最低收购价(元/公斤)	.265	15	.006	.836	15	.011
农业劳动人口	.082	15	.200*	.982	15	.981
受教育程度	.219	15	.052	.883	15	.053
城乡收入差距	.145	15	.200*	.918	15	.182
家庭负担	.247	15	.014	.880	15	.047
科技水平	.134	15	.200*	.923	15	.214
粮食产量(万吨)	.143	15	.200*	.903	15	.104
粮食市场价格(元/50公斤)	.133	15	.200*	.934	15	.313
粮食补贴(元/亩)	.182	15	.194	.898	15	.087
生产成本	.120	15	.200*	.959	15	.681
粮食进出口	.133	15	.200*	.931	15	.278

*. 这是真实显著水平的下限。

a. Lilliefors 显著水平修正

表 d 粳稻正态性检验表

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	统计量	df	Sig.	统计量	df	Sig.
种植面积(千公顷)	.202	15	.102	.889	15	.065
粮食最低收购价(元/公斤)	.267	15	.005	.809	15	.005
农业劳动人口	.103	15	.200*	.977	15	.940
受教育程度	.127	15	.200*	.931	15	.286
城乡收入差距	.142	15	.200*	.921	15	.198
家庭负担	.294	15	.001	.833	15	.010
科技水平	.128	15	.200*	.929	15	.264
粮食产量(万吨)	.149	15	.200*	.904	15	.111
粮食市场价格(元/50公斤)	.117	15	.200*	.931	15	.278
粮食补贴(元/亩)	.099	15	.200*	.966	15	.793

生产成本	.142	15	.200*	.928	15	.256
粮食进出口	.150	15	.200*	.921	15	.196

*. 这是真实显著水平的下限。

a. Lilliefors 显著水平修正

根据 Sig. 值, 当该值小于 0.05 时, 则拒绝原假设, 说明数据不符合正态分布, 反之, 则保留原假设, 说明数据符合正态分布。当指标满足正态分布时, 采用 Pearson 相关分析方法, 当指标中有不服从正态分布的, 采用 Spearman 相关分析方法。

根据 Kolmogorov-Smirnov 检验统计量, 得到各个粮食作物指标间的正态性检验表格, 各个指标是否服从正态分布如下表所示:

表 5.1.3 不同作物指标正态性评判表

品种	K—S 检验统计量	指标	是否符合正态分布
小麦	< 0.05	种植面积、粮食补贴	不符合正态分布
	≥ 0.05	粮食最低收购价、农业劳动人口、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、粮食产量、粮食市场价格、生产成本、粮食进出口	符合正态分布
早籼稻	< 0.05	粮食产量	不符合正态分布
	≥ 0.05	种植面积、粮食最低收购价、农业劳动人口、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、粮食市场价格、粮食补贴、生产成本、粮食进出口	符合正态分布
中晚籼稻	< 0.05	\	不符合正态分布
	≥ 0.05	种植面积、粮食最低收购价、农业劳动人口、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、粮食产量、粮食市场价格、粮食补贴、生产成本、粮食进出口	符合正态分布
粳稻	< 0.05	家庭负担	不符合正态分布

	≥ 0.05	种植面积、粮食最低收购价、农业劳动人口、受教育程度、城乡收入差距、科技水平、粮食产量、粮食市场价格、粮食补贴、生产成本、粮食进出口	符合正态分布
--	-------------	---	--------

ii. 相关分析

当某个指标不满足正态分布时,它与其它所有变量的相关系数都用 spearman 相关系数;当两指标同时满足正态分布时,采用 pearson 相关系数。基于上文正态性检验结果,结合 Pearson 和 Spearman 分析方法,整理得到不同粮食作物的相关系数表。

表 5.1.4 不同作物各指标的相关系数

表 a 小麦各指标的相关系数

	小麦											
	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
Y	1	0.897	-0.371	0.679	0.925	0.850	0.932	0.961	0.875	0.507	0.782	-0.211
X ₁		1	-0.391	0.728	0.981	0.914	0.977	0.916	0.961	-0.147	0.942	-0.200
X ₂			1	0.032	-0.286	-0.486	-0.307	-0.382	-0.332	-0.039	-0.368	0.139
X ₃				1	0.691	0.472	0.717	0.725	0.727	-0.103	0.627	-0.102
X ₄					1	0.926	0.992	0.944	0.968	-0.176	0.923	-0.143
X ₅						1	0.882	0.889	0.914	0.636	0.793	-0.339
X ₆							1	0.962	0.974	-0.192	0.913	-0.160
X ₇								1	0.954	0.614	0.868	-0.179
X ₈									1	-0.002	0.908	-0.049
X ₉										1	0.561	0.221
X ₁₀											1	-0.155
X ₁₁												1

表 b 早籼稻各指标的相关系数

	中晚籼稻											
	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
Y	1	0.864	-0.911	0.821	0.904	0.759	0.913	0.987	0.908	0.930	0.462	0.043
X ₁		1	-0.990	0.806	0.990	0.757	0.990	0.985	0.990	0.990	0.527	-0.137
X ₂			1	-0.871	-0.976	-0.766	-0.979	-0.949	-0.977	-0.974	-0.513	-0.040
X ₃				1	0.813	0.513	0.825	0.832	0.808	0.869	0.242	-0.116
X ₄					1	0.860	0.997	0.952	0.993	0.973	0.673	-0.016
X ₅						1	0.714	0.736	0.714	0.714	0.671	-0.218
X ₆							1	0.958	0.995	0.978	0.667	-0.030
X ₇								1	0.952	0.964	0.539	0.024
X ₈									1	0.960	0.661	-0.020

X ₉										1	0.572	-0.014
X ₁₀											1	-0.170
X ₁₁												1

表 c 中晚籼稻各指标的相关系数

	中晚籼稻											
	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
Y	1	0.864	-0.911	0.821	0.904	0.759	0.913	0.987	0.908	0.930	0.462	0.043
X ₁		1	-0.990	0.806	0.990	0.757	0.990	0.985	0.990	0.990	0.527	-0.137
X ₂			1	-0.871	-0.976	-0.766	-0.979	-0.949	-0.977	-0.974	-0.513	-0.040
X ₃				1	0.813	0.513	0.825	0.832	0.808	0.869	0.242	-0.116
X ₄					1	0.860	0.997	0.952	0.993	0.973	0.673	-0.016
X ₅						1	0.714	0.736	0.714	0.714	0.671	-0.218
X ₆							1	0.958	0.995	0.978	0.667	-0.030
X ₇								1	0.952	0.964	0.539	0.024
X ₈									1	0.960	0.661	-0.020
X ₉										1	0.572	-0.014
X ₁₀											1	-0.170
X ₁₁												1

表 d 粳稻各指标的相关系数

	粳稻											
	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
Y	1	0.846	-0.875	0.720	0.904	0.743	0.913	0.983	0.921	0.921	0.750	0.026
X ₁		1	-0.958	0.723	0.987	0.783	0.987	0.990	0.976	0.987	0.806	-0.182
X ₂			1	-0.618	-0.973	-0.844	-0.977	-0.925	-0.958	-0.974	-0.907	-0.057
X ₃				1	0.682	0.367	0.703	0.728	0.722	0.715	0.464	-0.124
X ₄					1	0.871	0.997	0.949	0.987	0.992	0.927	-0.043
X ₅						1	0.732	0.761	0.732	0.732	0.771	-0.411
X ₆							1	0.957	0.992	0.995	0.922	-0.052
X ₇								1	0.963	0.956	0.818	0.961
X ₈									1	0.987	0.899	-0.040
X ₉										1	0.890	-0.022
X ₁₀											1	-0.143
X ₁₁												1

表 a 中，小麦的种植面积与家庭负担、粮食产量显著相关。最低收购价与种植面积、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、粮食产量、市场价格、补贴、生产成本显著相关。农业劳动人口与家庭负担相关。受教育程度与种植面积、最低收购价、城乡收入差距、科技水平、粮食产量、粮食市场价格、生产成本显著相关。城乡收入差距与小麦种植面积、最低收购价格、受教育程度、家庭负担、科技水平、粮食产量、市场价格、粮食补贴、生产成本显著相关。家

庭负担与种植面积、农业劳动人口、粮食产量显著相关。科技水平与种植面积、最低收购价格、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、粮食产量、市场价格、补贴成本显著相关。粮食产量与种植面积、家庭负担显著相关。粮食市场价格与种植面积、最低收购价格、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、家庭负担、科技水平、粮食产量、粮食补贴、生产成本显著相关。生产成本与种植面积、最低收购价格、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、粮食产量、粮食市场价格显著相关。粮食进出口、粮食补贴均与其他指标无显著关系。

图 b 中，早籼稻种植面积与最低收购价、农业劳动人口、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、生产成本显著相关。最低收购价格与市场价格、粮食补贴显著相关。农业劳动人口与种植面积、最低收购价格、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、粮食产量、市场价格、粮食补贴、生产成本显著相关。受教育程度与种植面积、最低收购价、农业劳动人口、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、市场价格、粮食补贴、生产成本显著相关。城乡收入差距、家庭负担、科技水平、生产成本与粮食进出口以外的影响因素均显著相关。市场价格与最低收购价、粮食补贴显著相关。粮食补贴与最低收购价、市场价格显著相关。粮食产量、粮食进出口均与其他指标无显著关系。

图 c 中，中晚籼稻种植面积、农业劳动人口、城乡收入差距、科技水平、市场价格、粮食补贴与除粮食进出口以外的其他指标均显著相关。最低收购价格与家庭负担显著相关。受教育程度与种植面积、最低收购价、农业劳动人口、城乡收入差距、科技水平、粮食产量、市场价格、粮食补贴显著相关。家庭负担与最低收购价格显著相关。粮食产量与种植面积、最低收购价格、农业劳动人口、受教育程度、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、粮食市场价格、粮食补贴显著相关。生产成本与最低收购价、农业劳动人口、城乡收入差距、家庭负担、科技水平、市场价格、粮食补贴显著相关。进出口与其他指标无显著关系。

图 d 中，粳稻种植面积、农业劳动人口、城乡收入差距、科技水平、粮食产量、市场价格、粮食补贴、生产成本与除粮食进出口以外的其他指标均显著相关。最低收购价格与家庭负担显著相关。受教育程度与种植面积、粮食最低收购价格、农业劳动人口、城乡收入差距、科技水平、粮食产量、粮食市场价格、粮食补贴、生产成本显著相关。家庭负担与粮食最低收购价格显著相关。粮食进出口与其他

指标无显著关系。

iii. 主成分因子分析

主成分分析一般涉及的变量众多，众变量之间往往存在一定的相关性，这时最好能从中提取少数的变量，使其能够包含原变量提供的信息。因子分析是通过降维的方法将相关性高的变量聚在一起，不仅便于提取容易解释的特征，而且降低了需要分析的变量数目和问题分析的复杂度。因此采用主成分因子分析方法对指标众多影响指标进行筛选。

(1) KMO 和 Bartlett 的检验。

在用 SPSS 软件进行因子分析前，首先需用 KMO 和 Bartlett 检验对因子分析的可行性进行考虑。下表 5.1.5 反映不同粮食作物进行因子分析的可行性。

表 5.1.5 不同作物 KMO 和 Bartlett 的检验

表 a 小麦 KMO 和 Bartlett 的检验

KMO 和 Bartlett 的检验		
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量。		.771
近似卡方		227.428
Bartlett 的球形度检验	df	55
	Sig.	.000

表 b 早籼稻 KMO 和 Bartlett 的检验

KMO 和 Bartlett 的检验		
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量。		.832
近似卡方		326.005
Bartlett 的球形度检验	df	15
	Sig.	.000

表 c 中晚籼稻 KMO 和 Bartlett 的检验

KMO 和 Bartlett 的检验		
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量。		.765
近似卡方		343.250
Bartlett 的球形度检验	df	55
	Sig.	.000

表 d 粳稻 KMO 和 Bartlett 的检验

KMO 和 Bartlett 的检验		
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量。		.797
近似卡方		310.621
Bartlett 的球形度检验	df	55
	Sig.	.000

KMO 检验用于研究变量之间的偏相关性，一般 KMO 统计量大于 0.9 时效果最佳，0.7 以上可以接受，0.5 以下不宜做因子分析。表 a 中，KMO 取值 0.771 可接受，Bartlett 球形检验统计量的 Sig. 值小于 0.01，由此认为各影响指标间存在显著的相关性。对其余粮食作物用相同方法进行检验，最终得到小麦、早籼稻、中晚籼稻、粳稻的各影响指标均可进行因子分析。

(2) 因子分析筛选指标。

下表为我国不同作物各影响因素的因子分析和主成分分析，小麦提取了三个主成分，早籼稻、中晚籼稻、粳稻均提取两个主成分。

表 5.1.6 不同作物各影响因素的旋转成分矩阵

	小麦			早籼稻		中晚籼稻		粳稻	
	F1	F2	F3	F1	F2	F1	F2	F1	F2
粮食最低收购价	0.970	0.149	-0.120	0.968	0.016	0.923	0.304	0.962	-0.096
农业劳动人口	-0.283	-0.911	0.071	-0.980	-0.059	-0.988	-0.012	-0.977	-0.092
受教育程度	0.831	-0.435	-0.073	0.675	-0.430	0.850	-0.081	0.682	-0.051
城乡收入差距	0.962	0.222	-0.102	0.996	-0.053	0.982	0.168	0.996	-0.011
家庭负担	0.834	0.482	-0.163	0.996	-0.053	0.801	0.457	0.886	-0.178
科技水平	0.967	0.207	-0.121	0.996	-0.066	0.984	0.168	0.997	-0.016
粮食产量(万吨)	0.941	0.091	-0.102	0.014	0.859	0.971	0.056	0.959	0.033
粮食市场价格	0.975	0.180	0.064	0.904	-0.058	0.981	0.170	0.990	-0.001
粮食补贴	-0.082	0.030	0.828	0.946	-0.121	0.976	0.075	0.993	0.016
生产成本	0.908	0.217	-0.064	0.931	0.088	0.560	0.641	0.924	-0.140
粮食进出口	-0.060	-0.107	0.811	-0.014	0.675	0.109	-0.795	-0.031	0.994

表 5.1.7 不同作物各影响因素的特征值和累计贡献率

表 a 小麦各影响因素的特征值和累计贡献率

因子	特征值	方差的百分率 (%)	积累贡献率 (%)
F1	7.344	66.767	66.767
F2	1.360	12.361	79.128
F3	1.136	10.331	89.459

表 b 早籼稻各影响因素的特征值和累计贡献率

因子	特征值	方差的百分率 (%)	累积贡献率 (%)
F1	7.940	72.185	72.185
F2	1.385	12.590	84.775

表 c 中晚籼稻各影响因素的特征值和累计贡献率

因子	特征值	方差的百分率 (%)	累积贡献率 (%)
F1	8.620	78.363	78.363
F2	1.137	10.334	88.697

表 d 粳稻各影响因素的特征值和累计贡献率

因子	特征值	方差的百分率 (%)	累积贡献率 (%)
F1	8.871	80.648	80.648
F2	1.047	9.517	90.165

表 5.1.7 的 a 表中，小麦提取的三个因子解释了总方差的 85.459%。并以 85.459%作为判断标准，结合表 5.1.6 的小麦的旋转成分矩阵进行分析。当各影响因素不同因子的旋转系数有大于 85.459%时，则保留该影响因素，当各影响因素不同因子的旋转系数均小于 85.459%，则认为该影响因素对因子的贡献率不高，可考虑剔除该变量。基于此方法，得到不同粮食作物剔除的变量。

小麦可考虑剔除受教育程度、家庭负担、粮食补贴、粮食进出口四个影响因素。早籼稻可考虑剔除受教育程度、粮食进出口两个变量。中晚籼稻可考虑剔除受教育程度、家庭负担、生产成本、粮食进出口四个变量。粳稻可考虑剔除受教育程度、家庭负担四个变量。

iv. Granger 因果关系检验

为进一步判断指标体系的合理性，探究种植面积各影响指标间的因果关系，需进行 Granger 因果关系检验。

Granger 检验是通过受约束的 F 检验完成的，零假设为各影响因素滞后项前的参数整体为零，即不存在因果关系。需要指出的是，Granger 检验对于滞后期长度的选择有时很敏感。不同的滞后期可能会得到完全不同的检验结果。因此，需进行不同滞后期长度的检验，以检验模型中随机干扰项不存在序列相关的滞后期长度来选取滞后期。

用 Eviews 软件对小麦种植面积与粮食最低收购价进行 Granger 因果检验，表 5.1.8 为小麦种植面积与粮食最低收购价的 Granger 因果关系检验。

表 5.1.8 小麦种植面积与粮食最低收购价的 Granger 因果关系检验

Pairwise Granger Causality Tests

Date: 09/18/16 Time: 14:45

Sample: 2000 2014

Lags: 1

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
X1 does not Granger Cause Y11	14	9.16313	0.0040
Y11 does not Granger Cause X1		2.67353	0.0303

Pairwise Granger Causality Tests

Date: 09/18/16 Time: 15:13

Sample: 2000 2014

Lags: 2

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
X1 does not Granger Cause Y11	13	2.11767	0.1828
Y11 does not Granger Cause X1		5.40650	0.0327

1 阶滞后时，在 5% 的显著性水平下，0.004 的伴随概率可拒绝“最低收购价格不是种植面积的格兰杰原因”的假设，2 阶滞后时，在 5% 的显著性水平下，0.1828 的伴随概率不足以拒绝“最低收购价格不是种植面积的格兰杰原因”的假设。因此，1 阶滞后时，最低收购价与小麦种植面积存在因果关系，2 阶滞后时，最低收购价与小麦种植面积不存在因果关系。

基于此方法，对影响粮食作物（小麦、早籼稻、中晚籼稻、粳稻）种植面积的其他因素分别与该种粮食作物种植面积进行 Granger 因果关系检验，得到表 5.1.9。

表 5.1.9 作物种植面积与各影响因素的 Granger 因果关系检验结果

小麦种植面积与影响指标的 Granger 因果关系检验			
影响因素	滞后长度	F 检验的 P 值	结论
粮食最低收购价	1	0.0040	因果关系
	2	0.1828	无因果关系
农业劳动人口	1	0.0044	因果关系
	2	0.4466	无因果关系
受教育程度	1	0.2253	无因果关系
城乡收入差距	1	0.0361	因果关系

	2	0.8762	无因果关系
家庭负担	1	0.7535	无因果关系
科技水平	1	0.0440	因果关系
	2	0.4074	无因果关系
粮食产量	1	0.0075	因果关系
	2	0.0824	无因果关系
粮食市场价格	1	0.0205	因果关系
	2	0.3946	无因果关系
粮食补贴	1	0.4994	无因果关系
生产成本	1	0.0086	因果关系
	2	0.8809	无因果关系
粮食进出口	1	0.5045	无因果关系

早籼稻种植面积与影响指标的 Granger 因果关系检验

影响因素	滞后长度	F 检验的 P 值	结论
粮食最低收购价	1	0.0236	因果关系
	2	0.4501	无因果关系
农业劳动人口	1	0.0272	因果关系
	2	0.1268	无因果关系
城乡收入差	1	0.0328	因果关系
	2	0.0706	无因果关系
家庭负担	1	0.0328	因果关系
	2	0.0706	无因果关系
科技水平	1	0.0315	因果关系
	2	0.0565	无因果关系
粮食产量	1	0.0419	因果关系
	2	0.2147	无因果关系
粮食市场价格	1	0.0285	因果关系
	2	0.6924	无因果关系
粮食补贴	1	0.0113	因果关系
	2	0.0532	无因果关系
生产成本	1	0.0371	因果关系
	2	0.2866	无因果关系
粮食进出口	1	0.7552	无因果关系
受教育程度	1	0.8582	无因果关系

中晚籼稻种植面积与影响指标的 Granger 因果关系检验

影响因素	滞后长度	F 检验的 P 值	结论
粮食最低收购价	1	0.0004	因果关系
	2	0.5340	无因果关系
农业劳动人口	1	0.0083	因果关系
	2	0.0313	因果关系

	3	0.1396	无因果关系
受教育程度	1	0.6180	无因果关系
城乡收入差距	1	0.0244	因果关系
	2	0.0628	因果关系
家庭负担	1	0.1968	无因果关系
科技水平	1	0.0278	因果关系
	2	0.0603	无因果关系
粮食产量	1	0.0396	因果关系
	2	0.1300	无因果关系
粮食市场价格	1	0.0399	因果关系
	2	0.0806	无因果关系
粮食补贴	1	0.0058	因果关系
	2	0.0185	因果关系
	3	0.1712	无因果关系
生产成本	1	0.5314	无因果关系
粮食进出口	1	0.7214	无因果关系

粳稻种植面积与影响指标的 Granger 因果关系检验

影响因素	滞后长度	F 检验的 P 值	结论
粮食最低收购价	1	0.0089	因果关系
	2	0.4901	无因果关系
农业劳动人口	1	0.0472	因果关系
	2	0.1268	无因果关系
受教育程度	1	0.8582	无因果关系
城乡收入差距	1	0.0328	因果关系
	2	0.0706	无因果关系
家庭负担	1	0.2545	无因果关系
科技水平	1	0.0315	因果关系
	2	0.0565	无因果关系
粮食产量	1	0.0026	因果关系
	2	0.2517	无因果关系
粮食市场价格	1	0.0365	因果关系
	2	0.1007	无因果关系
粮食补贴	1	0.0143	因果关系
	2	0.0155	因果关系
	3	0.1755	无因果关系
生产成本	1	0.0171	因果关系
	2	0.2866	无因果关系
粮食进出口	1	0.0052	因果关系
	2	0.5482	无因果关系

结合上文因子分析和 Granger 因果关系检验，对不同粮食作物的影响指标进行筛选。小麦中，剔除受教育水平、家庭负担、粮食补贴、粮食进出口四个指标。

这可能是因为在所调查的小麦种植大省中，各省的粮食市场对外开放程度较低，因此粮食进出口指标对小麦种植面积的影响较小，在回归分析时，可不予考虑。基于这些省份的粮食补贴数据分析对小麦种植面积的影响，发现这五个省份的粮食种植面积基本不随粮食补贴的变动而变动，多年来保持较为稳定的种植面积，波动幅度较小，因此可考虑删除该影响指标。本文用农村家庭初中学历总人数占农村总人口的比例来衡量受教育程度，基于这五个省份搜集得到的数据，发现虽然在 2000-2014 年，这些省份的受教育程度有了较为明显的提高，但相对小麦种植面积的增长来说，幅度依然较小，因此该指标可能对种植面积并不显著，导致因子分析和格兰杰因果检验不显著。本文用农村家庭年均总收入与年均总支出的差额衡量家庭负担，通过对五省的数据分析发现，河北、安徽、河南三地的农民家庭负担较其他三省较大，但河南、河北两省的小麦种植面积一直保持着全国领先地位，家庭负担对种植面积的影响不显著，因此可剔除该指标。

早籼稻中，剔除受教育程度、粮食进出口两个指标。早籼稻的种植大省有湖南、江西、江苏、安徽、湖北、黑龙江。考虑到这些省份粮食收购市场的对外开放程度较低，对早籼稻种植面积与粮食进出口进行因子分析和格兰杰因果分析时显著性水平较低，可剔除该指标。近年来随着经济水平的不断提升，江苏、湖南、安徽、江苏四省的受教育程度得到显著提高，其中，2014 年安徽省的受教育程度较 2000 年提高了 24%，但安徽省的早籼稻种植面积在被统计年份内一直保持基本稳定的趋势。其他省份中，粮食种植面积的波动与受教育程度的波动无明显的因果关系，因此可考虑删除该指标。

中晚籼稻中，剔除受教育程度、家庭负担、生产成本、粮食进出口四个指标。其中，各个省份的种植面积与受教育程度、家庭负担、粮食进出口这些指标间无明显的因果关系，因此在进行 Granger 因子分析时得到指标与种植面积间无因果关系的结论，可考虑删除该变量。本文用化肥施用量、农村用电量等指标的综合反映生产成本。其中，湖南省在 2002-2005 年中晚籼稻种植面积出现大幅增长，但生产成本却并无明显变化。江西、湖北、江苏三省的中晚籼稻种植面积无明显变化，与生产成本的变化无明显规律。黑龙江省的中晚籼稻种植面积连续多年高速增长，但生产成本的增长幅度明显小于种植面积的涨幅，在因子分析和 Granger 因果关系检验时，显著性水平较低。

粳稻中，剔除受教育程度、家庭负担两个指标。粳稻的种植大省包括湖南、

江西、黑龙江、安徽、江苏、湖北六个省份。分析这六个省份在 2000-2014 年受教育程度与家庭负担这两个指标的变化与粳稻种植面积的变化之间的关系,发现无明显规律可循。因子分析和 Granger 因果分析的结果也表明,这两个指标对粳稻的种植面积影响不显著。

iv. 固定影响变系数模型

1. 数据的搜集及预处理

本文对 2000-2014 年 12 个粮食主产区 4 种不同粮食作物影响因素的数据进行收集,数据来源包括国家粮食局、中华人民共和国农业部种植业管理司、美国农业部数据库、中国农业统计年鉴等。

对于一些省份数据的残缺,通过 MATLAB 拟合补充残缺的数据,并利用 MATLAB 的 split 函数对数据进行了筛选,识别和剔出异常值。

2. 模型的建立与求解

在探究不同粮食作物的种植面积时,考虑到各个省份的经济结构和社会经济背景等存在一定的差异,因此有必要建立固定影响变系数模型,探究不同作物、不同粮食主产区的种植面积与各影响因素的关系。

变系数模型的基本形式如下:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta_i + \mu_{it}, \quad i=1,2,\dots,N, \quad t=1,2,\dots,T \quad (5.1)$$

其中, y_{it} 为因变量, x_{it} 为 $1 \times k$ 维解释变量向量, N 为截面成员个数, T 为每个截面成员的观测时期总数。参数 α_i 表示模型的常数项, β_i 为对应于解释变量向量 x_{it} 的系数向量。随机误差项 μ_{it} 相互独立,且满足零均值、等方差的假设。

当不同横截面个体的随机误差项之间存在相关性时,即 $E(\mu_i\mu_j') = \Omega_{ij} \neq 0 (i \neq j)$ 时,各截面上的单方程 OLS 估计量虽然仍是一致无偏的,但不是最有效的,因此需要使用广义最小二乘法对模型进行估计,得到参数的 GLS 估计

$$\hat{\delta}_{GLS} = (\tilde{X}'V^{-1}\tilde{X})^{-1}\tilde{X}'V^{-1}Y \quad (5.2)$$

如果协方差矩阵 Ω_{ij} 未知,则需要先进行横截面上的单方程的 OLS 估计,用相应的残差估计值构造协方差矩阵的估计量,然后再进行 GLS 估计。

(1) 小麦的固定影响变系数模型

用 Eviews 软件对小麦粮食主产省份的种植面积与筛选后的影响因素进行回归分析，所得结果如表 5.1.10。其他粮食作物（早籼稻、中晚籼稻、粳稻）的 Eviews 分析结果在附件中。

表 5.1.10 小麦粮食主产省份小麦种植面积与各影响因素的面板回归

Dependent Variable: LOG(Y?)

Method: Pooled EGLS (Cross-section SUR)

Date: 09/18/16 Time: 15:06

Sample: 2000 2014

Included observations: 15

Cross-sections included: 5

Total pool (balanced) observations: 75

Linear estimation after one-step weighting matrix

White cross-section standard errors & covariance (no d.f. correction)

WARNING: estimated coefficient covariance matrix is of reduced rank

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.757348	1.005303	3.737526	0.0007
_HUBEI--LOG(X1_HUBEI)	0.286324	0.112552	2.543920	0.0155
_ANHUI--LOG(X1_ANHUI)	-0.170029	0.070639	-2.407001	0.0215
_JIANGSU--LOG(X1_JIANGSU)	0.123215	0.078049	1.578690	0.0234
_HENAN--LOG(X1_HENAN)	0.044662	0.028005	1.594765	0.0198
_HEBEI--LOG(X1_HEBEI)	0.073035	0.083333	1.876421	0.0268
_HUBEI--LOG(X2_HUBEI)	0.276986	0.207032	2.337890	0.0396
_ANHUI--LOG(X2_ANHUI)	-0.028670	0.436810	-2.065635	0.0480
_JIANGSU--LOG(X2_JIANGSU)	-0.192433	0.152075	-3.265383	0.0141
_HENAN--LOG(X2_HENAN)	-0.122681	0.183690	-2.667872	0.0086
_HEBEI--LOG(X2_HEBEI)	0.397088	0.193215	2.055159	0.0474
_HUBEI--LOG(X4_HUBEI)	-0.180236	0.090851	-1.983858	0.0452
_ANHUI--LOG(X4_ANHUI)	0.006700	0.050045	2.133882	0.0443
_JIANGSU--LOG(X4_JIANGSU)	-0.044414	0.042150	-2.053714	0.0092
_HENAN--LOG(X4_HENAN)	0.009515	0.005995	2.587085	0.0215
_HEBEI--LOG(X4_HEBEI)	-0.170070	0.083453	-2.037912	0.0492
_HUBEI--LOG(X6_HUBEI)	0.128677	0.129190	2.996027	0.0261
_ANHUI--LOG(X6_ANHUI)	0.114541	0.502477	2.227953	0.0210
_JIANGSU--LOG(X6_JIANGSU)	-0.222110	0.097049	-2.288639	0.0283
_HENAN--LOG(X6_HENAN)	0.116157	0.018044	6.437548	0.0000
_HEBEI--LOG(X6_HEBEI)	0.341105	0.115749	2.946934	0.0057
_HUBEI--LOG(X7_HUBEI)	0.168744	0.053116	3.176898	0.0031
_ANHUI--LOG(X7_ANHUI)	0.378867	0.078827	4.806303	0.0000
_JIANGSU--LOG(X7_JIANGSU)	0.603402	0.019263	31.32424	0.0000
_HENAN--LOG(X7_HENAN)	-0.007138	0.004619	-2.545495	0.0312
_HEBEI--LOG(X7_HEBEI)	0.077123	0.042775	1.802988	0.0400

_HUBEI--LOG(X8_HUBEI)	0.001559	0.072040	2.021642	0.0229
_ANHUI--LOG(X8_ANHUI)	-0.083390	0.074263	-1.922897	0.0491
_JIANGSU--LOG(X8_JIANGSU)	-0.191859	0.047936	-4.002432	0.0003
_HENAN--LOG(X8_HENAN)	-0.020638	0.005507	-3.747924	0.0006
_HEBEI--LOG(X8_HEBEI)	-0.039793	0.061830	-2.643586	0.0240
_HUBEI--LOG(X10_HUBEI)	0.326344	0.193351	3.687829	0.0103
_ANHUI--LOG(X10_ANHUI)	0.738743	0.735909	2.003851	0.0223
_JIANGSU--LOG(X10_JIANGS)	0.402485	0.115196	3.493901	0.0013
_HENAN--LOG(X10_HENAN)	-0.293602	0.036795	-7.979388	0.0000
_HEBEI--LOG(X10_HEBEI)	0.397111	0.057085	6.956491	0.0000
Fixed Effects (Cross)				
_HUBEI--C	-0.846028			
_ANHUI--C	-3.703111			
_JIANGSU--C	1.154058			
_HENAN--C	6.801901			
_HEBEI--C	-3.406820			
Effects Specification				
Cross-section fixed (dummy variables)				
Weighted Statistics				
R-squared	0.999730	Mean dependent var	475.3748	
Adjusted R-squared	0.999429	S.D. dependent var	2052.041	
S.E. of regression	1.274814	Sum squared resid	56.88026	
F-statistic	3320.120	Durbin-Watson stat	2.264406	
Prob(F-statistic)	0.000000			
Unweighted Statistics				
R-squared	0.998399	Mean dependent var	7.494608	
Sum squared resid	0.048524	Durbin-Watson stat	2.461787	

得到各省的回归方程如下：

河北：

$$\log y_{1t} = -3.4068 + 0.0730 \log x_{1t} + 0.3971 \log x_{2t} + 0.1700 \log x_{4t} + 0.3411 \log x_{6t} \\ t \quad (1.8764) \quad (2.0552) \quad (-2.0379) \quad (2.9469) \\ + 0.0771 \log x_{7t} - 0.0398 \log x_{8t} + 0.3971 \log x_{10t} \\ (1.8030) \quad (-2.6436) \quad (6.9565)$$

$$\bar{R}^2 = 0.9994 \quad F = 3320.120 \quad DW = 2.2644$$

湖北：

$$\log y_{8t} = -0.8460 + 0.2863 \log x_{1t} + 0.2770 \log x_{2t} + 0.1802 \log x_{4t} + 0.1287 \log x_{6t} \\ t \quad (2.5439) \quad (2.3379) \quad (-1.9839) \quad (2.9960) \\ + 0.1687 \log x_{7t} - 0.0016 \log x_{8t} + 0.3263 \log x_{10t} \\ (3.1769) \quad (2.0216) \quad (3.6878)$$

$$\bar{R}^2 = 0.9994 \quad F = 3320.120 \quad DW = 2.2644$$

安徽:

$$\log y_{11t} = -3.7031 + 0.1700 \log x_{1t} + 0.0287 \log x_{2t} + 0.0067 \log x_{4t} + 0.1145 \log x_{6t} \\ t \quad (-2.4070) \quad (-2.0656) \quad (2.1339) \quad (2.2280) \\ + 0.3789 \log x_{7t} - 0.0834 \log x_{8t} + 0.7387 \log x_{10t} \\ (4.8063) \quad (-1.9229) \quad (2.0039)$$

$$\bar{R}^2 = 0.9994 \quad F = 3320.120 \quad DW = 2.2644$$

江苏:

$$\log y_{5t} = 1.1541 + 0.1232 \log x_{1t} - 0.1924 \log x_{2t} - 0.0444 \log x_{4t} - 0.2221 \log x_{6t} \\ t \quad (1.5787) \quad (-3.2654) \quad (-2.0537) \quad (-2.2886) \\ + 0.6034 \log x_{7t} - 0.1919 \log x_{8t} + 0.4025 \log x_{10t} \\ (31.324) \quad (-4.0024) \quad (3.4939)$$

$$\bar{R}^2 = 0.9994 \quad F = 3320.120 \quad DW = 2.2644$$

河南:

$$\log y_{6t} = 6.8019 + 0.0447 \log x_{1t} - 0.1227 \log x_{2t} + 0.0095 \log x_{4t} + 0.1162 \log x_{6t} \\ t \quad (1.5948) \quad (-2.6679) \quad (2.5871) \quad (6.4375) \\ + 0.0071 \log x_{7t} - 0.0206 \log x_{8t} + 0.2936 \log x_{10t} \\ (-2.5455) \quad (-3.7479) \quad (-7.9794)$$

$$\bar{R}^2 = 0.9994 \quad F = 3320.120 \quad DW = 2.2644$$

从回归估计的结果看， \bar{R}^2 达到了 0.9994，表明模型的拟合程度高。斜率项的 t 检验值均大于 5% 显著性水平下的临界值。 F 统计量值为 3320.120，表明该回归总体线性关系成立。DW 统计量为 2.2644，表明变量间无自相关性。

观察发现各省的回归方程中，截距项不随时间的变化而变化。从指标数据开始统计的 2000 年到截止统计的 2014 年，河南、江苏两省截距项值明显高于其他省份，小麦种植面积一直处于领先地位，尤其是河南省远超前于其他省份。2014

年，河南省的小麦种植面积是同年位居全国小麦种植面积第二的安徽省的两倍。因此，固定的截距项表明各省粮食种植面积的固有增长部分，与各省的气候、土壤等自然耕种环境有关。

但每个省份各个自变量前的系数值却存在显著差异，这可能与不同省份的经济结构、农业方面宏观调控政策的差异有关。对于安徽省而言，小麦的种植面积受生产成本的影响最大，粮食产量次之，城乡收入差距、科技水平对种植面积的影响较小。这可能与安徽省农村地区经济发展水平较低有一定的关系。对于湖北省而言，最低收购价、生产成本对小麦种植面积的影响较大，说明最低收购价政策在湖北省得到了较好的实施，有效的激发了农民种植小麦作物的积极性，影响着小麦的种植面积。对于江苏省而言，粮食产量对种植面积影响最为显著。对于河南省而言，科技水平、最低收购价格对种植面积的影响较大，这可能说明作为小麦种植大省在寻求农业科技化、农业产业化之路上不断创新突破，进而实现粮食种植面积的科科学高效增长。对于河北省而言，农业劳动力人口、生产成本对种植面积的影响较大。

(2) 早籼稻的固定影响变系数模型

用 Eviews 软件对早籼稻粮食主产省份的种植面积与筛选后的影响因素进行回归分析，得到各省的回归方程如下：

湖北：

$$\begin{aligned} \log y_{8t} = & 8.6101 + 0.623(\log x_{1t}) + 0.3360(\log x_{2t}) - 0.0602(\log x_{4t}) - 0.0446(\log x_{5t}) \\ & t \quad (1.9730) \quad (1.9905) \quad (-2.3428) \quad (-2.5263) \\ & + 0.1453(\log x_{6t}) - 0.7706(\log x_{7t}) + 0.0262(\log x_{8t}) - 0.2181(\log x_{9t}) + 0.0973(\log x_{10t}) \\ & (3.0737) \quad (2.8789) \quad (2.3172) \quad (-2.2245) \quad (2.3942) \\ \bar{R}^2 = & 0.9978 \quad F = 692.1333 \quad DW = 2.3132 \end{aligned}$$

安徽：

$$\begin{aligned} \log y_{11t} = & 11.6778 - 0.0788(\log x_{1t}) + 0.7036(\log x_{2t}) + 0.0172(\log x_{4t}) - 0.0387(\log x_{5t}) \\ & t \quad (-2.0044) \quad (3.3351) \quad (2.0305) \quad (-3.5616) \\ & + 0.4504(\log x_{6t}) - 0.0869(\log x_{7t}) + 0.0878(\log x_{8t}) - 0.044(\log x_{9t}) - 0.8637(\log x_{10t}) \\ & (2.0669) \quad (-2.3941) \quad (2.6862) \quad (2.0845) \quad (-2.7457) \end{aligned}$$

$$\bar{R}^2 = 0.9978 \quad F = 692.1333 \quad DW = 2.3132$$

黑龙江:

$$\begin{aligned} \log y_{4t} = & -38.8738 - 0.6853(\log x_{1t}) + 6.1522(\log x_{2t}) + 0.2444(\log x_{4t}) - 0.1281(\log x_{5t}) \\ & t \quad (-2.0795) \quad (2.8204) \quad (1.9741) \quad (2.3594) \\ & + 2.2873(\log x_{6t}) - 0.9695(\log x_{7t}) - 0.3121(\log x_{8t}) - 0.4042(\log x_{9t}) + 0.2496(\log x_{10t}) \\ & (4.2138) \quad (-3.9722) \quad (-2.0404) \quad (-1.9684) \quad (3.6255) \\ \bar{R}^2 = & 0.9978 \quad F = 692.1333 \quad DW = 2.3132 \end{aligned}$$

江苏:

$$\begin{aligned} \log y_{5t} = & 9.9390 - 0.3274(\log x_{1t}) + 0.4428(\log x_{2t}) + 0.2117(\log x_{4t}) - 0.0334(\log x_{5t}) \\ & t \quad (-4.1669) \quad (3.6497) \quad (2.5942) \quad (3.2970) \\ & + 0.5038(\log x_{6t}) - 0.0818(\log x_{7t}) - 0.3471(\log x_{8t}) - 0.0932(\log x_{9t}) + 0.9784(\log x_{10t}) \\ & (2.4596) \quad (8.6553) \quad (3.7862) \quad (2.8694) \quad (-4.5040) \\ \bar{R}^2 = & 0.9978 \quad F = 692.1333 \quad DW = 2.3132 \end{aligned}$$

湖南:

$$\begin{aligned} \log y_{9t} = & 17.8722 + 0.1777(\log x_{1t}) - 0.6050(\log x_{2t}) - 0.1148(\log x_{4t}) + 0.0578(\log x_{5t}) \\ & t \quad (2.4849) \quad (-2.9227) \quad (-3.4354) \quad (2.2859) \\ & - 0.2807(\log x_{6t}) + 0.9914(\log x_{7t}) - 0.0916(\log x_{8t}) - 0.0426(\log x_{9t}) - 0.0013(\log x_{10t}) \\ & (-2.5380) \quad (60.3608) \quad (-2.4120) \quad (-2.5827) \quad (-2.4540) \\ \bar{R}^2 = & 0.9978 \quad F = 692.1333 \quad DW = 2.3132 \end{aligned}$$

江西:

$$\begin{aligned} \log y_{10t} = & -9.2252 - 0.3137(\log x_{1t}) + 0.7594(\log x_{2t}) - 0.0299(\log x_{4t}) - 0.0285(\log x_{5t}) \\ & t \quad (-2.6861) \quad (2.4126) \quad (-2.3854) \quad (-3.0733) \\ & + 0.1108(\log x_{6t}) + 3.2499(\log x_{7t}) + 0.3018(\log x_{8t}) - 0.2521(\log x_{9t}) - 0.4182(\log x_{10t}) \\ & (2.4783) \quad (3.0682) \quad (2.0223) \quad (-2.4790) \quad (-3.8296) \\ \bar{R}^2 = & 0.9978 \quad F = 692.1333 \quad DW = 2.3132 \end{aligned}$$

从回归估计的结果看, \bar{R}^2 达到了 0.9978, 表明模型的拟合程度高。斜率项的 t 检验值均大于 5% 显著性水平下的临界值。 F 统计量值为 692.1333, 表明该

回归总体线性关系成立。DW 统计量为 2.3132，表明变量间无自相关性。

湖南省的固定截距项最大，这与实际情况相符。作为早籼稻粮食主产区，湖南省的湿度、土壤等条件适宜早籼稻的生长。

考虑各变量前的系数，因经济结构、科技水平的差异存在不同。对于湖北省而言，农业劳动人口、科技水平对种植面积影响较大。对于安徽省而言，农业劳动力人口对种植面积影响较大。对于黑龙江、江西两省而言，科技水平对种植面积的影响较大，这可能与黑龙江省不断改进生产技术，重点发展早籼水稻种植有关。对于江苏省而言，农业劳动力人口、城乡的收入差距、科技水平均对粮食种植面积产生影响。对于湖南省而言，最低收购价格、粮食产量对种植面积影响较大，这说明最低粮食收购价政策在湖南省的执行效率较高，能够有效调整种植面积。

(3) 中晚籼稻的固定影响变系数模型

用 Eviews 软件对中晚籼稻粮食主产省份的种植面积与筛选后的影响因素进行回归分析，得到各省的回归方程如下：

湖北：

$$\begin{aligned} \log y_{8t} = & 12.1671 - 0.0193(\log x_{1t}) - 0.1275(\log x_{2t}) + 0.1021(\log x_{4t}) \\ & t \quad (-2.2158) \quad (-2.4790) \quad (3.6813) \\ & -0.1088(\log x_{6t}) - 0.2605(\log x_{8t}) - 0.1734(\log x_{9t}) \\ & (-2.8403) \quad (-3.6812) \quad (-2.7255) \\ \bar{R}^2 = & 0.9981 \quad F = 470.1080 \quad DW = 2.5447 \end{aligned}$$

黑龙江：

$$\begin{aligned} \log y_{4t} = & -43.0767 - 0.1838(\log x_{1t}) + 7.0562(\log x_{2t}) - 0.0581(\log x_{4t}) \\ & t \quad (-2.0795) \quad (2.6000) \quad (-2.3531) \\ & +2.6845(\log x_{6t}) - 0.4421(\log x_{7t}) + 0.4119(\log x_{8t}) - 2.3125(\log x_{9t}) \\ & (6.9458) \quad (-4.2455) \quad (4.8508) \quad (-9.3684) \\ \bar{R}^2 = & 0.9981 \quad F = 470.1080 \quad DW = 2.5447 \end{aligned}$$

江苏：

$$\log y_{5t} = 8.5778 - 0.1100(\log x_{1t}) + 0.5595(\log x_{2t}) + 0.1762(\log x_{4t})$$

$$\begin{aligned}
& t \quad (-3.3030) \quad (2.2488) \quad (2.7745) \\
& -0.5819(\log x_{6t}) + 0.6334(\log x_{7t}) + 0.6709(\log x_{8t}) + 0.1386(\log x_{9t}) \\
& (-2.6823) \quad (8.9540) \quad (3.4975) \quad (3.9185) \\
& \bar{R}^2 = 0.9981 \quad F = 470.1080 \quad DW = 2.5447
\end{aligned}$$

湖南:

$$\begin{aligned}
& \log y_{9t} = 18.2235 + 0.1421(\log x_{1t}) - 0.6565(\log x_{2t}) - 0.2375(\log x_{4t}) \\
& t \quad (2.5284) \quad (-2.5874) \quad (-2.4447) \\
& +0.1161(\log x_{6t}) + 0.9878(\log x_{7t}) - 0.2126(\log x_{8t}) - 0.0184(\log x_{9t}) \\
& (2.6529) \quad (60.5675) \quad (-2.8153) \quad (-3.1437) \\
& \bar{R}^2 = 0.9981 \quad F = 470.1080 \quad DW = 2.5447
\end{aligned}$$

江西:

$$\begin{aligned}
& \log y_{10t} = 4.10835 - 0.2088(\log x_{1t}) + 0.3790(\log x_{2t}) - 0.1129(\log x_{4t}) \\
& t \quad (-2.4329) \quad (2.8720) \quad (-2.0740) \\
& +0.2814(\log x_{6t}) + 1.4965(\log x_{7t}) + 0.2638(\log x_{8t}) - 0.2149(\log x_{9t}) \\
& (2.1347) \quad (2.9287) \quad (2.4585) \quad (-2.2292) \\
& \bar{R}^2 = 0.9981 \quad F = 470.1080 \quad DW = 2.5447
\end{aligned}$$

从回归估计的结果看, \bar{R}^2 达到了 0.9981, 表明模型的拟合程度高。斜率项的 t 检验值均大于 5% 显著性水平下的临界值。 F 统计量值为 470.1080, 表明该回归总体线性关系成立。 DW 统计量为 2.5447, 表明变量间无自相关性。

回归方程中, 湖南省的固定截距项最大, 与早籼稻的种植分布情况基本相符, 表明湖南省不仅有适合早籼稻生长所适合的优越的自然条件, 也同样适合种植中晚籼稻, 种植面积稳居全国前列。

因各省发展水平、政府财政农业支持政策、产业结构发展定位存在不同, 各影响因素前的系数存在显著差异。湖南、湖北、江西三省中晚籼稻种植面积的扩大一定程度上依赖科学技术水平的提高。对于黑龙江省而言, 中晚籼稻市场收购价格、农业劳动力人口对种植面积的影响较大。对于江苏省而言, 中晚籼稻的种植面积受粮食市场价格的波动影响。

(4) 粳稻的固定影响变系数模型

用 Eviews 软件对中晚籼稻粮食主产省份的种植面积与筛选后的影响因素进

行回归分析，得到各省的回归方程如下：

湖北：

$$\begin{aligned} \log y_{8t} = & -12.6102 + 0.3611 \log x_{1t} + 0.6444 \log x_{2t} + 0.2993 \log x_{4t} - 0.0652 \log x_{6t} \\ & t \quad (2.4962) \quad (3.3417) \quad (2.7292) \quad (-3.1422) \\ & -0.0276 \log x_{7t} - 0.5869 \log x_{8t} + 1.4841 \log x_{9t} + 0.8138 \log x_{10t} - 0.2499 \log x_{11t} \\ & (-2.2576) \quad (-4.4316) \quad (3.3043) \quad (2.3171) \quad (-2.3532) \\ \bar{R}^2 = & 1.0000 \quad F = 1.86 \times 10^9 \quad DW = 2.6502 \end{aligned}$$

安徽：

$$\begin{aligned} \log y_{11t} = & -9.9666 + 0.0850 \log x_{1t} + 1.0687 \log x_{2t} - 0.1632 \log x_{4t} - 0.0484 \log x_{6t} \\ & t \quad (2.1671) \quad (2.4393) \quad (-3.9499) \quad (-3.1856) \\ & -0.0479 \log x_{7t} + 0.3883 \log x_{8t} + 0.0140 \log x_{9t} - 0.0122 \log x_{10t} - 0.3529 \log x_{11t} \\ & (-3.3390) \quad (2.5054) \quad (2.2314) \quad (-2.1018) \quad (-2.9341) \\ \bar{R}^2 = & 1.0000 \quad F = 1.86 \times 10^9 \quad DW = 2.6502 \end{aligned}$$

黑龙江：

$$\begin{aligned} \log y_{4t} = & -2.0885 + 0.5499 \log x_{1t} + 0.8352 \log x_{2t} + 5.0926 \log x_{4t} - 0.0889 \log x_{6t} \\ & t \quad (3.6840) \quad (2.5529) \quad (2.8808) \quad (4.1226) \\ & -0.4175 \log x_{7t} - 0.0448 \log x_{8t} - 0.1555 \log x_{9t} - 2.4002 \log x_{10t} - 0.0264 \log x_{11t} \\ & (-2.4203) \quad (-3.0286) \quad (-2.4739) \quad (-2.1504) \quad (-2.1566) \\ \bar{R}^2 = & 1.0000 \quad F = 1.86 \times 10^9 \quad DW = 2.6502 \end{aligned}$$

江苏：

$$\begin{aligned} \log y_{5t} = & 15.0757 + 0.9827 \log x_{1t} + 1.1521 \log x_{2t} + 0.1621 \log x_{4t} + 0.8369 \log x_{6t} \\ & t \quad (2.5950) \quad (2.6924) \quad (2.9648) \quad (2.3895) \\ & +0.1128 \log x_{7t} - 2.6182 \log x_{8t} + 0.2662 \log x_{9t} - 3.0183 \log x_{10t} + 0.4108 \log x_{11t} \\ & (2.8635) \quad (2.2982) \quad (3.7262) \quad (-2.5671) \quad (2.7641) \\ \bar{R}^2 = & 1.0000 \quad F = 1.86 \times 10^9 \quad DW = 2.6502 \end{aligned}$$

湖南：

$$\begin{aligned} \log y_{9t} = & -52.0921 - 1.6420 \log x_{1t} + 8.1403 \log x_{2t} - 0.8510 \log x_{4t} + 2.1235 \log x_{6t} \\ & t \quad (-3.0593) \quad (-0.5146) \quad (-3.0561) \quad (2.1881) \\ & +1.3153 \log x_{7t} - 6.1903 \log x_{8t} + 1.2223 \log x_{9t} - 1.5022 \log x_{10t} + 4.3118 \log x_{11t} \\ & (2.1554) \quad (-3.8596) \quad (3.6729) \quad (-2.5189) \quad (2.8717) \end{aligned}$$

$$\bar{R}^2 = 1.0000 \quad F = 1.86 \times 10^9 \quad DW = 2.6502$$

江西:

$$\begin{aligned} \log y_{10t} = & 2912.2290 - 62.6027x_{1t} + 530.1524\log x_{2t} + 216.1223\log x_{4t} - 1.2328\log x_{6t} \\ & t \quad (2.4962) \quad (3.3417) \quad (2.7292) \quad (-3.1422) \\ & + 2.7720\log x_7 - 49.4739\log x_8 + 103.6514\log x_9 + 66.4571\log x_{10} - 18.7374\log x_{11} \\ & (-2.2576) \quad (-4.4316) \quad (3.3043) \quad (2.3171) \quad (-2.3532) \end{aligned}$$

$$\bar{R}^2 = 1.0000 \quad F = 1.86 \times 10^9 \quad DW = 2.6502$$

从回归估计的结果看, \bar{R}^2 达到了 1, 表明模型的拟合程度高。斜率项的 t 检验值均大于 5% 显著性水平下的临界值。 F 统计量值为 1.86×10^9 , 表明该回归总体线性关系成立。 DW 统计量为 2.6502, 表明变量间无自相关性。

基于固定截距项, 可以看出江西省的有较为适宜的粳稻种植条件。根据系数的不同根据不同省份的情况进行分析, 可以看出安徽、江苏、湖南三省粳稻种植面积受农业劳动力人口影响较大。对于湖北、江西两省而言, 粮食补贴在粳稻种植中发挥的作用较为明显。对于黑龙江省而言, 小麦种植面积受城乡收入差距的影响较大。

2. 方程的有效性检验

为判别固定效应模型的引入是否合理, 需采用似然比检验法进行固定效应检验。为判别方程整体是否有效, 需进行残差的单位根检验和协整检验。下表 5.1.11 为小麦作物的固定效应检验、单位根检验和协整检验。

表 5.1.11 小麦的固定效应检验和单位根检验

固定效应检验

Redundant Fixed Effects Tests

Pool: XIAOMAI

Test cross-section fixed effects

Effects Test	Statistic	d.f.	Prob.
Cross-section F	4.297461	(4,35)	0.0062

单位根检验

Null Hypothesis: Z has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=2)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.328507	0.0004
Test critical values:		
1% level	-2.754993	
5% level	-1.970978	
10% level	-1.603693	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations
and may not be accurate for a sample size of 13

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(Z)

Method: Least Squares

Date: 09/18/16 Time: 16:03

Sample (adjusted): 2002 2014

Included observations: 13 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Z(-1)	-1.220447	0.281956	-4.328507	0.0010
R-squared	0.609448	Mean dependent var		-0.001759
Adjusted R-squared	0.609448	S.D. dependent var		0.100304
S.E. of regression	0.062684	Akaike info criterion		-2.627619
Sum squared resid	0.047151	Schwarz criterion		-2.584162
Log likelihood	18.07952	Hannan-Quinn criter.		-2.636552
Durbin-Watson stat	1.927981			

协整检验

Kao Residual Cointegration Test

Series: LOG(Y?) LOG(X1?) LOG(X2?) LOG(X3?) LOG(X4?) LOG(X5?)

LOG(X6?) LOG(X7?)

Date: 09/20/16 Time: 00:22

Sample: 2000 2014

Included observations: 15

Null Hypothesis: No cointegration

Trend assumption: No deterministic trend

User-specified lag length: 1

Newey-West automatic bandwidth selection and Bartlett kernel

	t-Statistic	Prob.
ADF	-2.281374	0.0113

Residual variance	0.001992
HAC variance	0.001252

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(RESID?)
 Method: Panel Least Squares
 Date: 09/20/16 Time: 00:22
 Sample (adjusted): 2002 2014
 Included observations: 13 after adjustments
 Cross-sections included: 5
 Total pool (balanced) observations: 65

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RESID?(-1)	-0.469835	0.117418	-4.001390	0.0002
D(RESID?(-1))	-0.175086	0.099027	-1.768070	0.0819
R-squared	0.331648	Mean dependent var		-0.000413
Adjusted R-squared	0.321039	S.D. dependent var		0.044567
S.E. of regression	0.036722	Akaike info criterion		-3.740571
Sum squared resid	0.084958	Schwarz criterion		-3.673667
Log likelihood	123.5686	Hannan-Quinn criter.		-3.714173
Durbin-Watson stat	2.057012			

固定效应检验中，在 5% 的显著性水平下，伴随概率为 0.0062，表明引入固定效应是合适的。单位根检验中，在 5% 的显著性水平下，ADF 的对应概率为 0.0004，表明方程整体是有效的。协整检验中，在 5% 的显著性水平下，ADF 的对应概率为 0.0113，表明变量间存在协整关系，误差修正项为 $ecm_t = -0.4698resid_{t-1}$ 。对于其他粮食作物，采取相同方法，Eviews 分析结果在附录中，得到结论如下。对于早籼稻而言，引入固定效应是合适的，方程整体有效，变量间存在协整关系，误差修正项为 $ecm_t = -0.6825resid_{t-1}$ 。对于中晚籼稻而言，引入固定效应是合适的，方程整体有效，变量间存在协整关系，误差修正项为 $ecm_t = -0.7696resid_{t-1}$ 。对于粳稻而言，引入固定效应是合适的，方程整体有效，变量间存在协整关系，误差修正项为 $ecm_t = -0.8246resid_{t-1}$ 。

5.2 基于 PSO-PPE 智能算法的最低收购价政策执行效果评价模型

评价粮食最低收购价政策执行的效果,不仅要考虑到政策实施前后粮食的种植面积是否有显著提高,而且也要考虑到粮食产量、农民收入、国家粮食库存的稳定性以及粮食市场价格的稳定性在政策实施前后是否有提高或改变。为了更合理全面的评价粮食最低收购价政策执行的效果,我们建立了基于 PSO-PPE 智能算的最低收购价政策执行效果评价模型。

5.2.1 政策执行效果评价模型的五指标测度

在对粮食最低收购价政策执行效果进行测度时,结合问题一中部分影响因素和农民收入等指标,从政府、农民、市场等角度反映政策执行效果。

(一) 粮食最低收购价政策对粮食种植面积增加贡献的测度:

$$\Delta S_t = e_t \times \frac{\Delta P_{t-1}}{P_{t-1}} \times S_t \quad (5.2.1)$$

式中, ΔS_t 代表粮食最低收购价政策对粮食种植面积增加的贡献度; e_t 是第 t 期粮食供应的价格弹性; ΔP_{t-1} 是第 $t-1$ 期政策实施前后的市场价价差; P_{t-1} 是第 $t-1$ 期粮食市场价; S_t 是第 t 期粮食种植面积。其中 ΔP_{t-1} 中的政策实施前的市场价格用国际市场价格替代,关于价格弹性 e_t , 通过下式估计,具体见下式:

$$\ln S_{it} = c_{it} + e_{it} \ln P_{it-1} + d_{it} \ln S_{it-1} + u_{it} \quad (5.2.2)$$

式中, S_{it} 是第 i 个区域第 t 期的粮食种植面积; e_{it} 是第 i 个区域第 t 期粮食供应的价格弹性; P_{it-1} 是第 i 个区域第 $t-1$ 期的市场价格; S_{it-1} 是第 i 个区域第 $t-1$ 期粮食的种植面积; u_{it} 是随机扰动项。

(二) 粮食最低收购价政策对粮食产量增加贡献的测度:

$$\Delta Q_t = r_t \times \frac{\Delta P_{t-1}}{P_{t-1}} \times Q_t \quad (5.2.3)$$

式中, Q_t 是代表粮食最低收购价政策对粮食产量增加的贡献度; ΔQ_t 是第 t 期粮食最低收购价政策对粮食产量增加的贡献度; r_t 是指价格弹性; 其中 r_t 是由下式估计

$$\ln Q_{it} = a_{it} + r_{it} \ln P_{it-1} + \beta_{it} \ln Q_{it-1} + v_{it} \quad (5.2.4)$$

式中, Q_{it} 是第 i 个区域第 t 期粮食产量; r_{it} 是第 i 个区域第 t 期粮食供应的价格弹性; P_{it-1} 是第 i 个区域第 $t-1$ 期的市场价格; Q_{it-1} 是第 i 个区域第 $t-1$ 期粮食

的种植面积； v_{it} 是随机扰动项。

(三) 粮食最低收购价政策对农民收入增加贡献的测度：

$$\Delta IN_t = n_t \times \frac{\Delta P_{t-1}}{P_{t-1}} \times IN_t \quad (5.2.5)$$

式中, IN_t 是代表粮食最低收购价政策对农民收入增加的贡献度； ΔIN_t 是第 t 期粮食最低收购价政策对农民收入增加的贡献度； n_t 是价格弹性；其中 n_t 是由下式估计

$$\ln IN_{it} = a_{it} + n_{it} \ln P_{it-1} + \beta_{it} \ln IN_{it-1} + w_{it} \quad (5.2.6)$$

式中, IN_{it} 是第 i 个区域第 t 期农民收入； n_{it} 是第 i 个区域第 t 期粮食供应的价格弹性； P_{it-1} 是第 i 个区域第 $t-1$ 期的市场价格； IN_{it-1} 是指第 i 个区域第 $t-1$ 期农民收入； w_{it} 是随机扰动项。

(四) 粮食最低收购价政策对国家粮食库存稳定贡献的测度：

$$\Delta K_t = 1 - \frac{dK_t - K_{ot}}{\max_t |dK_t - K_{ot}|} \quad (5.2.7)$$

式中, ΔK_t 表示第 t 期粮食最低限购价政策对国家粮食库存稳定贡献度； dK_t 是第 t 期政策执行前后国家收购的粮食量差值，其中政策执行前国家收购粮食量按照粮食出口量计算； K_{ot} 是第 t 期实际库存量与旧库存量的差值。

(五) 粮食最低收购价政策对粮食市场价格稳定的测度：

$$\Delta U_t = \begin{cases} 1 - \frac{\max(u_{1t} - \Delta P_t, \Delta P_t - u_{2t})}{\max(u_{1t} - \min_t \Delta P_t, \max_t \Delta P_t - u_{2t})}, & \Delta P_t \notin [u_{1t}, u_{2t}] \\ 1, & \Delta P_t \in [u_{1t}, u_{2t}] \end{cases} \quad (5.2.8)$$

式中, ΔU_t 是指第 t 期粮食最低价政策对粮食市场价格稳定度； ΔP_t 是第 t 期政策执行前后粮食价格差，其中政策执行前价格用国际粮食价格替代； u_{1t} 是第 t 期粮食价格波动的下限； u_{2t} 是第 t 期粮食价格波动的上限。

为消除不同量纲和数值差异造成的误差，用 $\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ 方法对筛选过后的正

指标数据和用 $\frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}}$ 方法对筛选过后的逆指标数据进行标准化模式预处理。

将五个测度进行规范化后得到 ΔS_t^* , ΔQ_t^* , ΔIN_t^* , ΔK_t^* 和 ΔU_t^*

综上可得，基于 PSO-PPE 智能算法的最低收购价政策执行效果评价模型可构建如下：

$$PCE = w_{\Delta S_t^*} \cdot \Delta S_t^* + w_{\Delta Q_t^*} \cdot \Delta Q_t^* + w_{\Delta IN_t^*} \cdot \Delta IN_t^* + w_{\Delta K_t^*} \cdot \Delta K_t^* + w_{\Delta U_t^*} \cdot \Delta U_t^* \quad (5.2.9)$$

其中： $w_{\Delta S_t^*} + w_{\Delta Q_t^*} + w_{\Delta IN_t^*} + w_{\Delta K_t^*} + w_{\Delta U_t^*} = 1$ ， $w_{\Delta S_t} \geq 0$ ， $w_{\Delta Q_t} \geq 0$ ， $w_{\Delta IN_t} \geq 0$ ，

$$w_{\Delta K_t} \geq 0, w_{\Delta U_t} \geq 0。$$

5.2.2 评价模型指标的权重确定（PSO-PPE 方法）

权重确定的方法不一而足，本文结合投影追踪法和粒子群算法对评价指标的权重进行确定。

投影寻踪法

投影寻踪法是处理多因素复杂问题的有效统计方法，且该方法可直接适用于非线性、非正态问题的处理。随着现代计算机技术的高速发展，我们可以利用计算机实现投影寻踪法。它的基本原理是将高维数据以某种组合的方式，向低维空间投影，通过寻找最优的投影值(即能反映高维数据特性)，并根据该投影值分析高维数据的特征。

粒子群算法

粒子群（PSO）算法的原理是用粒子的速度去约束粒子的相对位置。考虑到该算法在连续性随机变量上具有很快的收敛速度，但是在离散型随机变量问题上非常容易陷入局部最优。故此，我们应用一个新的算法——PSO-PPE 方法。这种算法是基于原有的粒子群算法上把 PSO 和投影函数结合，经过多次验证证明不仅有利于加快 PSO 的收敛速度，而且可以解决离散型随机变量问题。这就正好契合了本题数据大，样本点多的特点，使最终的数据更加真实，有效。下面我们对 PSO-PEE 算法进行了详细的解释。

计算机技术的发展也使得大量仿真智能算法得以涌现。粒子群算法，又称粒子群优化算法、微粒算法或微粒群优化算法^[2-4]，由 Eberhart 博士和 Kennedy 博士于 1995 年提出的，其原理是通过模拟鸟群觅食行为而发展形成的一种基于群体协作的随机搜索算法。

在算法中，可以将每个优化问题的潜在解看作是 n 维搜索空间上的一个点，即假定没有体积和质量的“粒子”，并有被目标函数所决定适应度及其相应的位置和速度，然后粒子根据个体和群体的飞行经验进行动态调整。由于粒子群算法具

有需要调整的参数较少并且具有分散式搜索等优点, 因此有利于投影寻踪法的实现。

本文将基于粒子群算法的投影寻踪法, 计算各指标的单位投影向量, 作为权重。其步骤如下:

步骤 1: 建立线性投影函数

设第 i 个样本第 j 个指标为 x_{ij} ($i=1,2,\dots,n$, $j=1,2,\dots,m$; 其中 n 为样本个数, m 为指标个数)。若 (a_1, a_2, \dots, a_m) 为 m 维投影向量, 则样本 i 在一维线性空间的投影特征值 z_i 的表达式为

$$z_i = \sum_{j=1}^m a_j x_{ij}$$

步骤 2: 建立目标函数

投影寻踪法的目标函数为

$$Q(a) = S(a) \times d(a)$$

$S(a)$ 为 z_i 的样本标准偏差, 即有

$$S(a) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}$$

其中 \bar{z} 为 z_i 的均值。 $S(a)$ 越大, 表明各数值越分散。 $d(a)$ 为投影值 z_i 的局部密度, 即有

$$d(a) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r_{ij}) \cdot I(R - r_{ij})$$

r_{ij} 为投影特征值间的距离 $r_{ij} = |z_i - z_j|$, 其值也表明离散程度。 R 为密度窗宽参数, 其取值与样本数据结构有关, 对 R 的分析可知, 其取值范围 $r_{\max} < R \leq 2m$, 一般取值为 $R = r_{\max} + \frac{m}{2}$, 其中 $r_{\max} = \max(r_{ij})$ 。 $I(R - r_{ij})$ 为单位阶跃函数, 其值满足一下方程

$$I(R - r_{ij}) = \begin{cases} 1 & R - r_{ij} > 0 \\ 0 & R - r_{ij} \leq 0 \end{cases}$$

步骤 3: 优化投影方向

目标函数 $Q(a)$ 会根据投影向量 a 的改变而发生改变, 恰当的投影向量 a 可以最大可能表现高维数据的特征结构, 因此可以通过求解投影目标函数的最大值以

求得所对应的投影向量 a ，即有

最大目标函数： $\max Q(a)$

约束条件： $\|a\| = \sum_{i=1}^m a_i^2 = 1$.

因此，求解该问题的实质就是求解一个非线性优化问题，例如利用 Lingo 软件求解，但不易求出全局最优解。本文根据粒子群算法就解上述问题。

步骤 4： 建立基于粒子群算法的求解模型，算法流程图如下图所示。

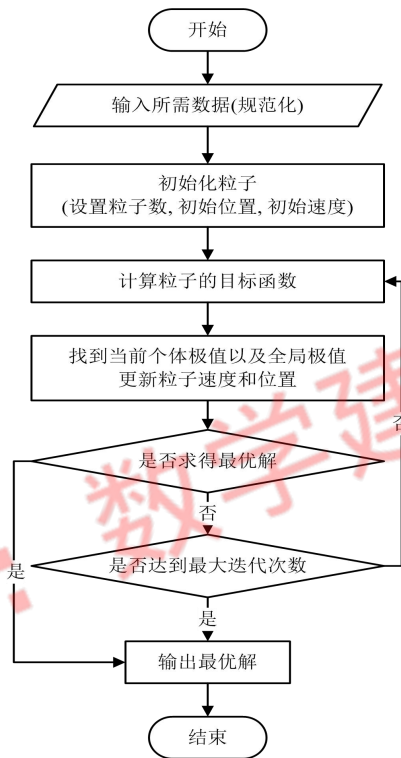


图 5.2.1 粒子群算法流程图

- 1) 初始化粒子(包括粒子数，初始位置，初始速度)；
- 2) 计算粒子目标函数(适应度) $fit(i)$ ；
- 3) 每个粒子，用它的适应度值 $fit(i)$ 和个体极值 $best_p(i)$ 比较，如果 $fit(i) > best_p(i)$ ，则用 $fit(i)$ 替换掉 $best_p(i)$ ；
- 4) 对每个粒子，用它的适应度值 $fit(i)$ 和全局极值 $best_g$ 比较，如果 $fit(i) > best_g$ 则用替换 $best_g$ ；
- 5) 根据下式更新粒子的速度 v_{ij} 和位置 x_{ij}

$$v_{ij}(t+1) = \omega \cdot v_{ij} + c_1 r_1 (best_p_i(t) - x_{ij}(t)) + c_2 r_2 (best_g(t) - x_{ij}(t))$$

$$x_{ij}(t+1)=x_{ij}(t)+v_{ij}(t+1)$$

如果满足结束条件(误差达到要求或到达最大循环次数)则退出循环并输出所求单位投影向量(权重) a 和投影特征值 z_i ，否则重复 2 至 5)。

5.2.3 权重的求解

结合投影算法和粒子群算法各自的优缺点，得到最低收购价政策执行效果评价各指标的权重值，结果如下表所示

表 5.2.1 最低收购价政策执行效果评价

评价总目标层	评价项目层	权重
最低收购价政策执行效果评价	粮食面积 增加贡献 测度（ ΔS_t ）	0.32
	粮食产量 增加贡献 测度（ ΔQ_t ）	0.10
	农民收入 增加贡献 测度（ ΔIN_t ）	0.30
	国家粮食 库存稳定 贡献测度（ ΔK_t ）	0.16
	粮食市场 价格稳定 测度（ ΔU_t ）	0.12

5.2.4 最低收购价政策执行效果标准的构建

结合上文算法，得到最低收购价政策执行效果的评判值，此时还需采用聚类分析方法确定评判的标准，本文采用基于自组织特征映射的聚类分析方法。

i．基于自组织特征映射（SOM）的聚类分析

自组织特征映射(Self Organizing Feature Map)也称Kohonen映射。神经网络(简称

SOM神经网络)是由芬兰专家Kohonen在1981年提出的。自组织特征映射神经网络SOM模拟大脑神经系统的自组织特征映射功能,是一种非监督竞争式学习的前馈网络,在训练中能无监督自组织学习。它通过学习可以提取一组数据中的重要特征或某种内在规律,按离散时间方式进行分类。网络可以把任意高维的输入映射到低维空间,并且使得输入数据内部的某些相似性质表现为几何上邻近的特征映射。这样,就在输出层映射成一维或二维离散图形,并保持其拓扑结构不变。这种分类反映了样本集的本质区别,大大减弱了一致性准则中的人为因素^[5]。

(1) SOM网络模型

SOM神经网络模型由处理单元、网络拓扑结构和学习规则组成。处理单元是神经网络的基本单元,用以模拟生物神经元的功能。一个处理单元有多个输入、输出路径,输入端模拟脑神经元的树突功能,起信息传递作用。输出端模拟脑神经元的轴突功能,将信息处理结果向外界输出。

常用的SOM神经网络模型由输入层和输出层组成;输入层各神经元通过权向量将外界信息汇集到输出层的各神经元。输出层节点与输入层节点为全连接,输入层、输出层内部节点间没有连接关系。输出层内的每个神经元与其邻域连接,此连接是相互激励的关系,训练后输出层不同节点代表不同的分类模式,所以SOM的输出层也称特征映射层。SOM神经网络拓扑结构如图5.2.2所示。

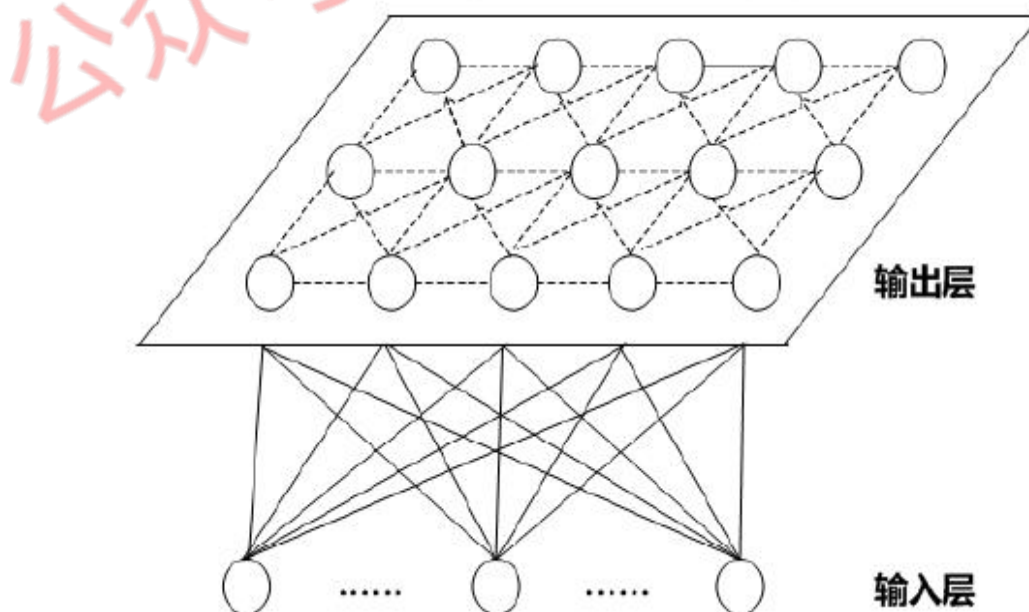


图5.2.2 SOM神经网络拓扑结构

自组织神经网络的目标,是在在无监督的情况下,从输入数据中找出有意

义的规律来。自组织人工神经网络以无教师教学的方式进行网络训练，网络通过自身训练，自动对输入模式进行分类。

(2) SOM网络学习原理

SOM网络利用其自组织特性，将由N个输入模式组成的一维序列映射到二维神经元阵列上，通过自调整进行信息的特征提取或称聚类。这种自组织聚类过程是系统在自主、无导师指导的条件下完成的。SOM网络学习可分为以下两个主要过程^[13]：

1) 神经元竞争学习过程

对于每一个输入向量，通过输入向量值与权重值之间的比较，在神经元之间产生竞争，权重向量与输入模式最相近的神经元被认为对于输入模式反映最强烈，将其标定为获胜的神经元，并称此神经元为输入模式的像，相同输入向量会在输出层产生相同的像。

设输入向量为 $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]^T$ ，与输出层神经元 j 相应的权值向量 w_j 可表示为：

$$w_j = [w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jp}]^T, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

向量 X 的长度定义如下：

$$\|X\| = \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 \right]^{1/2}$$

在模式空间中两个向量 X 和 Y 之间的距离或长度表示如下：

$$\|X - Y\| = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2}$$

确定获胜输出层神经元，相当于选择权值向量 w_j 与输入向量 X 最为匹配的输出层神经元，即选出权值向量与输入向量具有最小欧氏范数距离 d_j 的神经元作为获胜神经元。

$$d_j = \|X - w_j\|$$

2) 竞争层神经元的侧反馈过程

对于每个输入向量，会使竞争层相临近的神经元之间产生侧反馈，这种神经元之间的局部影响作用遵从以下规则：

- a) 以获胜神经元为圆心，对临近的神经元表现为兴奋性侧反馈。
- b) 以获胜神经元为圆心，对远邻的神经元表现为抑制性侧反馈。

这说明在竞争层，邻近神经元相互激励，远邻神经元相互抑制，比远邻更远的神经元则表现弱激励作用，通常，用“墨西哥帽”（图4）函数对神经元侧反馈进行计算。

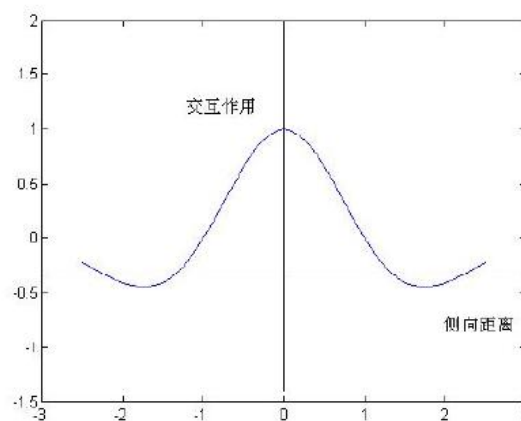


图5.2.3 墨西哥帽函数

侧反馈的作用是使得相近的特征能够在输出层阵列几何相近的位置上表现出来。应用侧反馈原理，在每一个获胜神经元附近形成一个“聚类区”。学习的结果总是使聚类区内各神经元的权重向量保持向输入向量逼近的趋势，从而使具有相近特性的输入向量聚集在一起，这个过程就是自组织。侧反馈的调整可以通过简单地调整邻域的大小来体现：正向反馈越大，负向反馈就越小。

邻域函数 $h_{j,i(x)}(n)$ 定义了围绕获胜神经元邻近区域的大小。 $h_{j,i(x)}(n)$ 是一个迭代函数，使用这一函数侧反馈的大小可在整个训练网络的过程中变化。邻域越大意味着正向反馈越多，训练区域越大。随后邻域的缩小使类别更小，因此类别也分得更细。半径为零时，仅仅包含获胜神经元。

(3) SOM算法描述

Kohonen的SOM 算法^[6]的本质是它用一个简单的几何计算代替类Hebb规则的复杂性质和侧向相互作用。算法的主要构成有：根据一定概率分布产生激活模式的连续输入空间，建立初始优胜邻域，设置学习率初值；以神经元的网格形式表示的网络拓扑，它定义一个离散输出空间；在获胜神经元周围定义随时间变化的邻域函数；学习率参数随时间递减，但永不为零。

算法具体步骤如下：

步骤1：初始化

对初始权值向量 $w_j(0)$ 选择随机值。这里惟一的限制是对 $j=1,2,\dots,l$ ， $w_j(0)$ 互不相同，其中 l 是网格中神经元的数目。可能希望保持较小的权值。还有一种算法初始化方法，是从输入向量 $\{x\}_{i=1}^N$ 的可用集里随机选择权值向量 $\{w_j(0)\}_{j=1}^l$ 。建立初始优胜邻域 $h_j(0)$ ，对学习率赋初始值 $\eta(0)$ 。

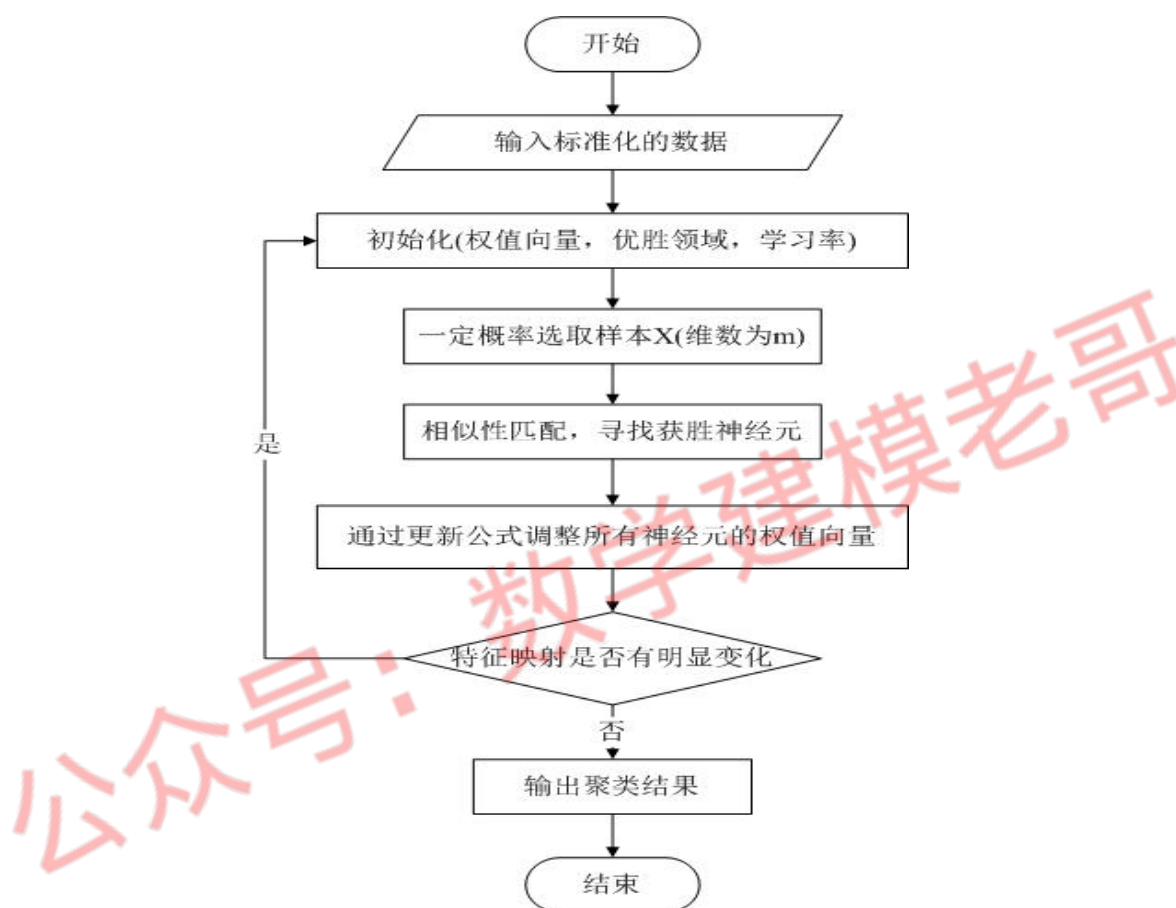


图5.2.4 Kohonen 算法流程图

步骤2：取样

以一定概率从输入空间取样本 X ；向量 X 表示应用于网络的激活模式，向量 X 的维数等于 m 。

步骤3：相似性匹配

在时间步 n 使用最小欧式距离准则寻找最匹配（获胜）的神经元 $i(x)$ ：

$$i(x) = \arg \min_j \|x(n) - w_j\|, \quad j = 1, 2, \dots, l$$

步骤4：更新

通过用更新公式

$$w_j(n+1) = w_j(n) + \eta(n)h_{j,i(x)}(n)(x(n) - w_j(n))$$

调整所有神经元的权值向量，其中 $\eta(n)$ 是学习率参数， $h_{j,i(x)}(n)$ 是获胜神经元 $i(x)$ 周围的邻域函数；为了获得更好的结果， $\eta(n)$ 和 $\eta(n)$ 在学习过程中是动态变化的。

步骤5：继续

继续步骤2直到在特征映射里观察不到明显的变化为止。

ii. 模型的求解与分析

(1) 评价标准的确立

首先对数据进行标准化处理，其次利用 PSO-PPE 智能算法对政策执行效果评价模型进行求解，最后利用 SOM 聚类算法对指标值进行聚类。根据结果，可将执行效果评价标准分为四大类，评价标准及相应指标的区间范围如下表所示。

表 5.2.2 最低收购价执行效果评价标准

评价标准	区间
不明显	(0,0.25]
一般明显	(0.25,0.50]
明显	(0.50,0.75]
很明显	(0.75,1.00]

(2) 模型的检验

评价标准确立后，有必要选取实施最低收购价的主要省份进行检验，进一步完善评价指标。

考虑到最低收购价政策针对部分粮食、部分区域展开，此处我们在对小麦进行分析时，选取安徽、江苏、河南三省。在对早籼稻进行分析时，选取湖南、江西、安徽三省。在对中晚籼稻进行分析时，选取黑龙江、江苏、湖北三省。在对粳稻进行分析时，选取江西、黑龙江、湖北三省。

表 5.2.3 不同省份实施小麦最低收购价政策的效果

年份	小麦					
	安徽		河南		江苏	
	PCE	效果	PCE	效果	PCE	效果
2006	0.62	明显	0.51	明显	0.81	很明显

2007	0.76	很明显	0.79	很明显	0.59	明显
2008	0.32	一般明显	0.53	明显	0.49	中等
2009	0.23	不明显	0.21	不明显	0.22	不明显
2010	0.30	一般明显	0.32	一般明显	0.31	一般明显
2011	0.34	一般明显	0.50	一般明显	0.35	一般明显
2012	0.47	一般明显	0.31	一般明显	0.34	一般明显
2013	0.33	一般明显	0.29	一般明显	0.30	一般明显
2014	0.24	不明显	0.45	一般明显	0.29	一般明显

表 5.2.3 中，安徽省在 2006 年第一次实施小麦最低收购价格政策后，小麦最低收购价为 1.4 元/公斤，当年的全省的小麦种植面积相比 2005 年增长 8.6%；安徽省的小麦产量相比 2005 年多收入 158 万吨；小麦市场价格也有所回升；全省人均收入相比 2005 年多收入近 400 元。2006 年的 $PCE = 0.62$ ，依据我们的评价标准可知最低收购政策执行效果明显。受最低收购价格政策的进一步影响，2007 年安徽省全年的小麦种植面积相比 2005 年增长 9.2%；增产 195.9 万吨；人均增收近 700 元；市场粮食价格基本平稳。2007 年的 $PCE = 0.76$ ，依据我们的评价标准可知最低收购政策执行效果为很明显。2006-2014 年可以看出安徽省在实施小麦最低收购价格政策后粮食的种植面积每年都有一定程度的增加。从 2006-2014 年的 PCE 的数值和规定的评价标准可知安徽省实施小麦最低收购价格政策是有效果的。

河南省在 2006 年全年的小麦种植面积、产量、人均收入、小麦市场价格、国库存量都有一定的提高以及 $PCE = 0.51$ ，这表明河南省在第一次实施小麦最低收购价后收到了明显的执行效果。尤其是在政策执行后的 2007 年，从 PCE 的数值可以看出，本年度河南省再一次实施小麦最低收购价收到了很明显的效果，小麦种植面积增加 3.6%、粮食产量增加 139.65 万吨以及农民人均收入增加近 600 元。纵观 2006-2014 这 9 年期间里，河南省在实施政策后都收到不同程度的效果。

江苏省 2006 年小麦种植面积增长 14.3%、小麦增产近 90 万吨、人均收入增加近 700 元并且国库存量增加近 900 万吨。市场小麦价格相比 2005 年有所增加。本年度 $PCE = 0.81$ 这说明江苏省在 2006 年首次执行小麦最低收购价政策的执行效果是很好。根据 2006-2014 这年期间的 PCE 数值，可知在江苏省实施小麦最低收购价都取得了不同程度的效果。

表 5.2.4 不同省份实施早籼稻最低收购价政策的效果

年份	早籼稻					
	安徽		湖南		江西	
	<i>PCE</i>	效果	<i>PCE</i>	效果	<i>PCE</i>	效果
2005	0.67	明显	0.78	很明显	0.77	很明显
2006	0.11	不明显	0.06	不明显	0.76	很明显
2007	0.27	一般明显	0.86	很明显	0.07	不明显
2008	*	一般明显	*	明显	*	明显
2009	0.30	一般明显	0.12	不明显	0.52	明显
2010	*	不明显	*	不明显	*	明显
2011	0.27	一般明显	0.17	不明显	0.57	明显
2012	0.20	不明显	0.34	一般明显	0.11	不明显
2013	0.23	不明显	0.30	一般明显	0.29	一般明显
2014	0.26	一般明显	0.30	一般明显	0.27	一般明显

*代表当年没执行最低收购价

表 5.2.4 中,安徽省在 2005 年首次实施水稻最低收购价格政策后,早籼稻最低收购价为 1.4 元/公斤,本年度全省的早籼稻种植面积相比 2004 年增长了 1.2%;早籼稻的市场价格、粮食产量、国库存量都有所增加;2005 年安徽省早籼稻的 $PCE = 0.67$,依据我们的评价标准可知最低收购政策执行效果明显。受最低收购价格政策的进一步影响,2005-2014 年可以看出安徽省在实施早籼稻最低收购价格政策后粮食的种植面积每年都有一定程度的增加。从 2005-2014 年的 PCE 的数值和规定的评价标准可知安徽省实施早籼稻最低收购价格政策效果是明显的。

湖南省在 2005 年全年的早籼稻的种植面积和市场价格都有所提高以及 $PCE = 0.78$,尤其是在政策执行后的 2007 年,从 PCE 的数值可以看出 2007 年的 $PCE = 0.86$,本年度湖南省再一次实施早籼稻最低收购价收到了很明显的效果,早籼稻种植面积增加 9.4%、粮食产量增加 67.31 万吨以及农民人均收入增加近 400 元。纵观 2005-2014 这 10 年期间里,湖南省在实施政策后都收到不同程度的效果。

江西省在 2005 年全年的早籼稻种植面积、产量、人均收入、国库存量都有一定的提高,种植面积增长 2.97%、早籼稻增产 10 万吨、人均收入增加近 420 元并且国库存量增加近 550 万吨。本年度 $PCE = 0.77$ 这说明江西省在 2005 年首

次执行早籼稻最低收购价政策的执行效果很好,根据 2005-2014 这年期间的 *PCE* 数值, 可知在江西省实施早籼稻最低收购价都取得的不同程度的效果。

表 5.2.5 不同省份实施中晚籼稻最低收购价政策的效果

年份	中晚籼稻					
	黑龙江		江苏		湖北	
	<i>PCE</i>	效果	<i>PCE</i>	效果	<i>PCE</i>	效果
2005	0.66	明显	0.76	很明显	0.27	一般明显
2006	0.33	一般明显	0.23	不明显	0.52	明显
2007	0.59	明显	0.31	一般明显	0.02	不明显
2008	*	明显	*	不明显	*	不明显
2009	0.43	一般明显	0.02	不明显	0.30	一般明显
2010	*	一般明显	*	不明显	*	不明显
2011	0.61	明显	0.33	一般明显	0.11	不明显
2012	0.46	一般明显	0.14	不明显	0.04	不明显
2013	0.53	明显	0.31	一般明显	0.41	一般明显
2014	0.40	一般明显	0.19	不明显	0.34	一般明显

*代表当年没执行最低收购价

表 5.2.5 中, 2005 年中晚籼稻的最低收购价为 1.44 元/公斤, 黑龙江省第一次实施小麦最低收购价格政策后的 *PCE* 值是 0.66。这说明黑龙江省实施中晚籼稻最低收购价政策的效果是明显的。当年黑龙江省的中晚籼稻的种植面积相比 2004 年增大 131.95 千公顷, 中晚籼稻的产量相比 2004 年多收入 23.33 万吨, 中晚籼稻的市场价格也有所回, 农村人均多收入近 500 元。纵观 2005-2014 这 10 年期间里, 江苏省在实施政策后都收到不同程度的效果。

江苏省在 2005 年 $PCE = 0.76$, 这表明中晚籼稻最低收购价政策收到了明显的效果。2005 年的小麦种植面积、产量、人均收入、小麦市场价格、国库存量都有一定的提高。从 2009 年到 2012 年中晚籼稻最低收购价政策的执行效果是不明显。2013 年中晚籼稻的最低收购价由 2012 年的 2.50 元/公斤提高到 2.70 元/公斤, 评价指数的数值增大到 0.31, 这说明中晚籼稻最低价格政策的效果由不明显到一般明显。纵观 2005-2014 这 10 年期间里, 江苏省在实施政策后都收到不同程度的效果。

湖北省 2005 年中晚籼稻种植面积增加了 5.43 千公顷、中晚籼稻增产近 12

万吨、人均收入增加近 600 元并且国库存量增加近 400 万吨。市场中晚籼稻价格相比 2004 年有所增加。2006 年 $PCE = 0.52$ 这说明湖北省执行中晚籼稻最低收购价政策的执行得到了明显的效果。根据 2005-2014 这年期间的 PCE 数值，可知在湖北省实施中晚籼稻最低收购价都取得了不同程度的执行效果。

表 5.2.6 不同省份实施粳稻最低收购价政策的效果

年份	粳稻					
	黑龙江		江西		湖北	
	PCE	效果	PCE	效果	PCE	效果
2005	0.78	明显	0.28	很明显	0.74	很明显
2006	0.29	不明显	0.66	不明显	0.67	很明显
2007	0.76	一般明显	0.03	很明显	0.08	不明显
2008	0.80	一般明显	0.07	明显	0.42	明显
2009	0.33	一般明显	0.44	不明显	0.33	明显
2010	0.31	不明显	0.16	不明显	0.39	明显
2011	0.82	一般明显	0.19	不明显	0.40	明显
2012	0.51	不明显	0.09	一般明显	0.17	不明显
2013	0.49	不明显	0.53	一般明显	0.28	一般明显
2014	0.43	一般明显	0.38	一般明显	0.23	一般明显

表 5.2.6 中，黑龙江在 2005 年首次实施水稻最低收购价格政策后，粳稻的最低收购价为 1.5 元/公斤，相比于 2004 年，本年度全省粳稻的种植面积增长了 23%，粮食产量增加了 17 万吨，早籼稻的市场价格、国库存量、人均收入和国库存量都有所增加，本年度的 $PCE = 0.78$ ，这说明黑龙江在 2005 年首次执行粳稻最低收购价政策的执行效果很好，根据 2005-2014 这年期间的 PCE 数值，可知在黑龙江实施粳稻最低收购价都取得了不同程度的效果。

江西省 2005 年首次实施水稻最低收购价格政策后，本省全年的粳稻的种植面积和市场价格都有所提高以及 $PCE = 0.28$ ，尤其是在政策执行后的 2006 年，从 PCE 的数值可以看出 2006 年的 $PCE = 0.66$ ，本年度江西省再一次实施粳稻最低收购价收到了很明显的效果，粳稻种植面积增加 3%、粮食产量增加了 1.3%以及农民人均收入增加近 500 元。纵观 2005-2014 这 10 年期间里，江西省在实施政策后都收到不同程度的效果。

湖北省在 2005 年首次实施水稻最低收购价格政策后，本年度全省粳稻的种植面积增长了 1.2%，粮食产量增加了近 30 万吨，籼稻的市场价格、国库存量、人均收入和国库存量都有所增加，本年度的 $PCE = 0.74$ ，这说明湖北省在 2005 年首次执行粳稻最低收购价政策的执行效果很好，根据 2005-2014 这年期间的 PCE 数值，可知在湖北省实施粳稻最低收购价都取得了不同程度的效果。

5.3 粮食价格体系局部均衡模型

粮食作为需求缺乏弹性的特殊商品，其市场价格的波动往往呈现特殊的规律。与此同时，近年来我国多地开始执行粮食最低收购价格政策，影响粮食供给。对粮食市场价格和最低收购价格的调控，是政府调整粮食市场供求格局的重要手段，因此有必要运用数据分析并建立适当的数学模型，探究我国粮食价格所具有的特殊规律性。

5.3.1 我国粮食价格波动的数据分析

考虑到最低收购价格对我国粮食价格的波动存在一定的影响，故对我国实施最低收购价政策前后的粮食价格波动进行数据分析。

i. 粮食最低收购价政策实施前

基于经济理论的考虑，当粮食市场的需求大于供给时，往往会提高农民对未来收益的期望，使他们盲目扩大粮食的种植面积，造成粮食的供给格局发生改变。当粮食市场的供给大于需求时，粮食的价格容易下跌，使农户的利益遭受损失。尤为注意的是，粮食作为一种需求缺乏弹性的商品，需求量对价格的变化并不敏感，即使粮价下跌时，对粮食的需求量也不会增加很多。

以小麦为例，分析 1995-2014 年间我国粮食市场价格波动情况。数据根据历年《全国农产品成本收益资料汇编》整理所得。

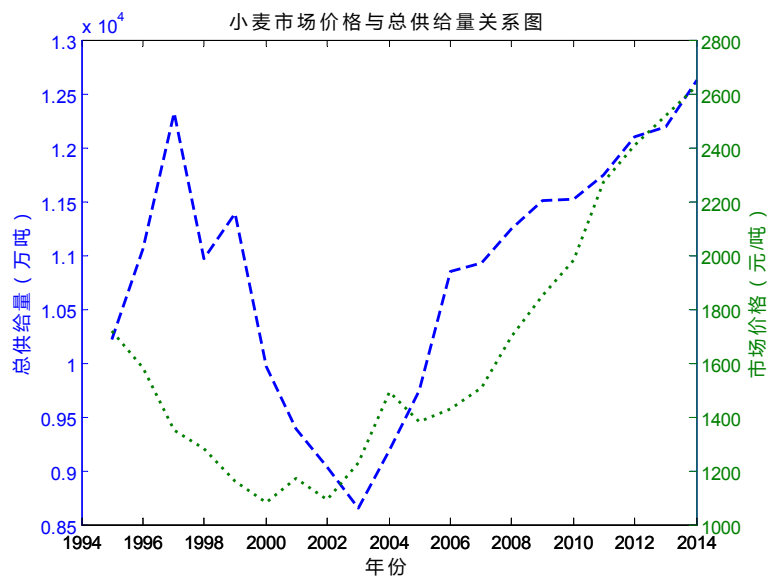


图 5.3.1 小麦市场价格与总供给量变化图

图 5.3.1 中，小麦供给量和价格呈明显的滞后相关关系。1995-2003 年中，供给量和价格成反向变动，这符合经济学意义的解释。但在 2003 年以后，供给量和价格成正向变动，这表明小麦市场价格与供给量之间存在的滞后效应，供给量总是在小麦价格变化后发生变化。与此同时考虑除供给量以外，可能还有其他因素影响小麦市场价格的变动。

基于以上分析可得，2005 年以前，粮食市场价格主要由市场自发调节，而当市场受到外力的干扰偏离均衡状态时，实际价格和实际供给量会围绕均衡水平上下波动，但波动的幅度会越来越小，最终会回到原来的均衡点。同时粮食市场价格与供给量之间存在典型的滞后效应，供给量总是在粮食价格变化后发生变化。

ii. 粮食最低收购价政策实施后

2006 年以来，中国农产品普遍进入新一轮价格上涨周期。2006 年至 2011 年全国农产品收购价格指数年均增长 11.25%；小麦价格年均上涨 5.11%；籼稻价格、粳稻价格、玉米价格年均分别上涨 6.05%、8.08%、6.91%。经济作物价格也快速上涨，如大豆价格、棉花价格年均上涨分别为 6.77%、7.50%。2004 年以后，中国相继实行了取消农业税、粮食直接补贴、良种补贴、最低收购价等支持政策，以调动农民种粮积极性，保证粮食生产稳定增长。由图 5.3.2 可以看出，最低收购价政策实施以后，小麦的市场价稳定增长，几乎没有什么波动性，而且粮食的产量也逐年递增。

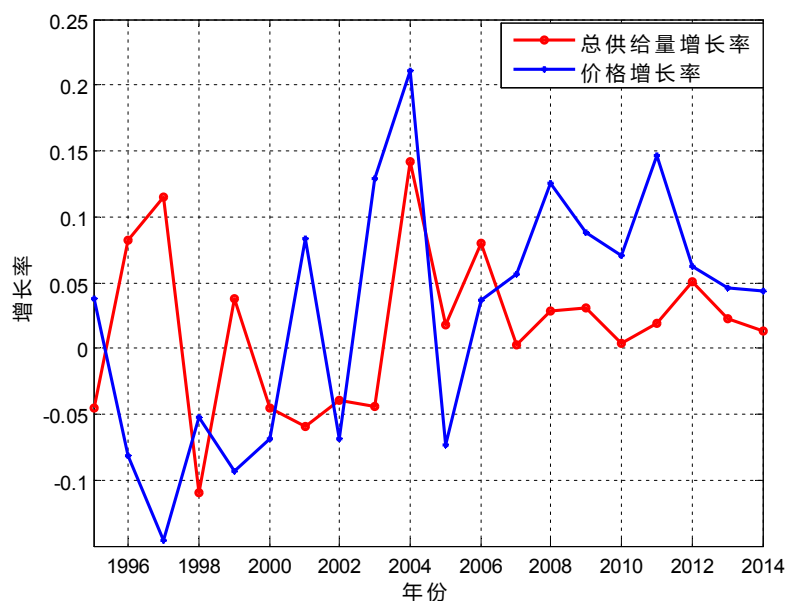


图 5.3.2 1995-2014 年小麦市场价格增长率与总供给增长率关系图

5.3.2 理论分析

i. 蛛网模型。

这里我们通过蛛网模型来解释粮食最低收购价政策实施前粮食收购价格波动变化原因。

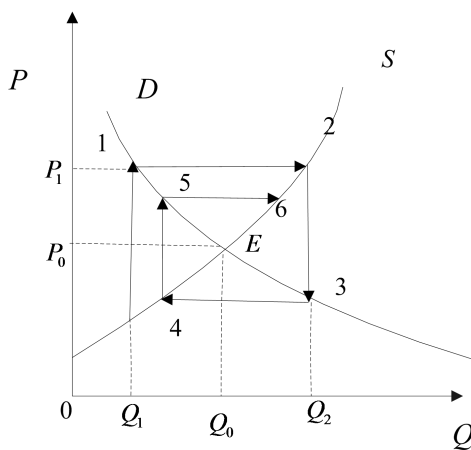


图 5.3.3 收敛型蛛网

图 5.3.3 中, S 为供给曲线, D 为需求曲线。开始由于某种外在因素的干扰, 实际产量由均衡水平 Q_0 减少为 Q_1 , 根据需求曲线, 消费者愿意支付 P_1 的价格购买全部的产量(供给量) Q_1 , 于是实际价格上升为 P_1 , 按照供给曲线, 生产者将下期的产量增加为 Q_2 ; 一段时间后, 更大的供给出现于市场, 市场价格降到位置 3

的水平, 因价格下降, 企业减少产量, 供给量降到 4 的水平; 因供给减少, 价格又上升到 5 的水平, 这时其产量又相应会增加到 6 的水平。如此循环下去, 实际产量和价格的波动幅度会越来越小, 其运动轨迹呈现出向内收敛的蛛网形状, 最终使价格和产量收敛到原来的均衡点 E 。这时称点 E 所代表的均衡状态是稳定的, 相应的“蛛网”称为收敛型蛛网。

ii. 动态均衡模型

利用供给—需求模型对两种不同的粮食政策进行理论分析, 探求其对市场均衡价格的影响。

(1) 粮食最低收购价政策对粮食供给的影响

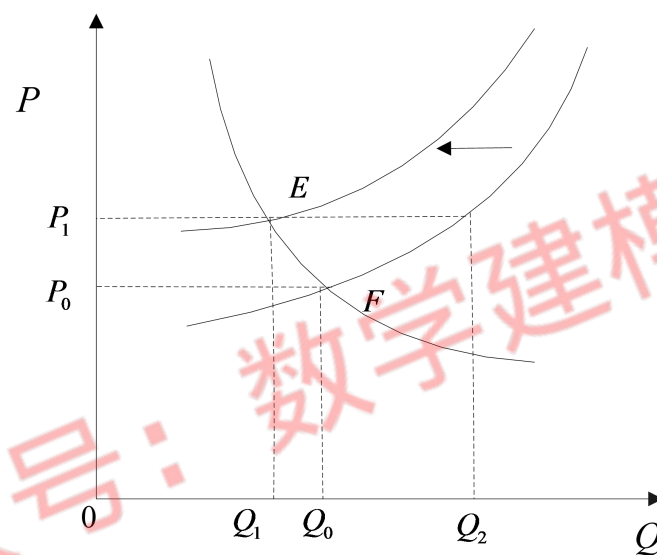


图 5.3.4 粮食最低收购价政策对粮食供给的影响

首先假设供给—需求均衡点为 F , F 点对应的粮食产量为 Q_0 , 对应的粮食价格为 P_0 , 此时的 Q_0 与 P_0 则为粮食的均衡产量与均衡价格。若执行粮食最低收购价政策, 市场上的粮食价格将会上升, 假设价格从 P_0 提高到 P_1 , 则此时的粮食市场处于非均衡状态; 粮食市场需求量因为价格的升高而降低为 Q_1 , 但粮食市场的生产量则因为价格的升高而提高到 Q_2 。不均衡的状态是不可持续的, 为使得粮食市场在价格 P_1 处达到均衡, 政府此时有两种选择: 1. 通过政策手段, 降低粮食的产量; 2. 增加粮食的收购量, 减少市场剩余。而此时市场粮价上升, 粮农生产积极性提高, 产量增加, 通过政策手段限制粮食的产量显然行不通, 为此, 政府需要支付的财力为 $P_1 \times (Q_2 - Q_1)$, 进而粮食的产量由 Q_0 提高到 Q_2 。

(2) 最高价格政策对粮食供给的影响

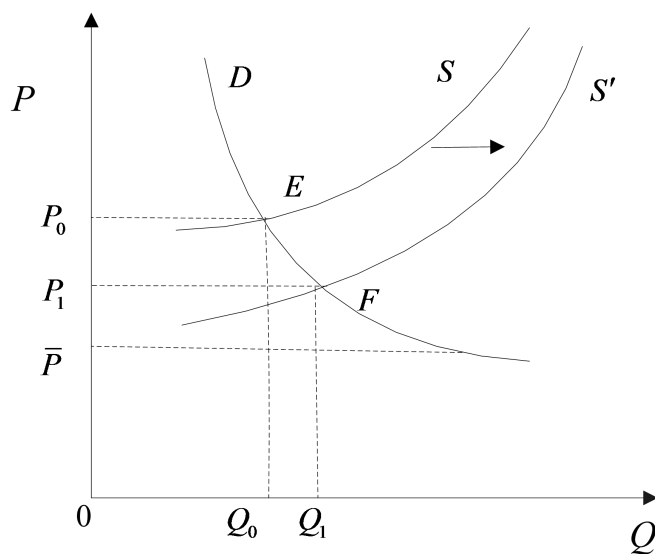


图 5.3.4 粮食最低收购价政策对粮食供给的影响

当政府实施限价政策时，粮食需求量由 Q_0 增加至 Q_1 ，限制价政策的存在，使得农民种植粮食的收益减少，增加了市场风险，降低了农民种粮的积极性，供给量因为价格下降而减少 Q_2 ，当期粮食短缺。尽管此时市场均衡价格 P_0 高，但是实际粮食市场价格应该在低于均衡水平的最高价格附近徘徊。

5.3.3 粮食市场价格局部均衡模型的构建

(1) 假设条件。基于数据的可得性，模型未考虑中国各地区粮食供需差异及品质差异，以全国主要粮食市场供需状况为研究对象。并假设国内市场为完全竞争市场，国内粮食价格完全由市场决定，并实现市场出清。

(2) 模型理论框架粮食总供给以国内供给为主，总需求以国内消费需求为主。当总供给等于总需求时，实现市场出清。政策因素通过影响产量对国内价格产生影响或直接对价格产生影响。如下图所示，给出粮食价格局部均衡模型理论框架。

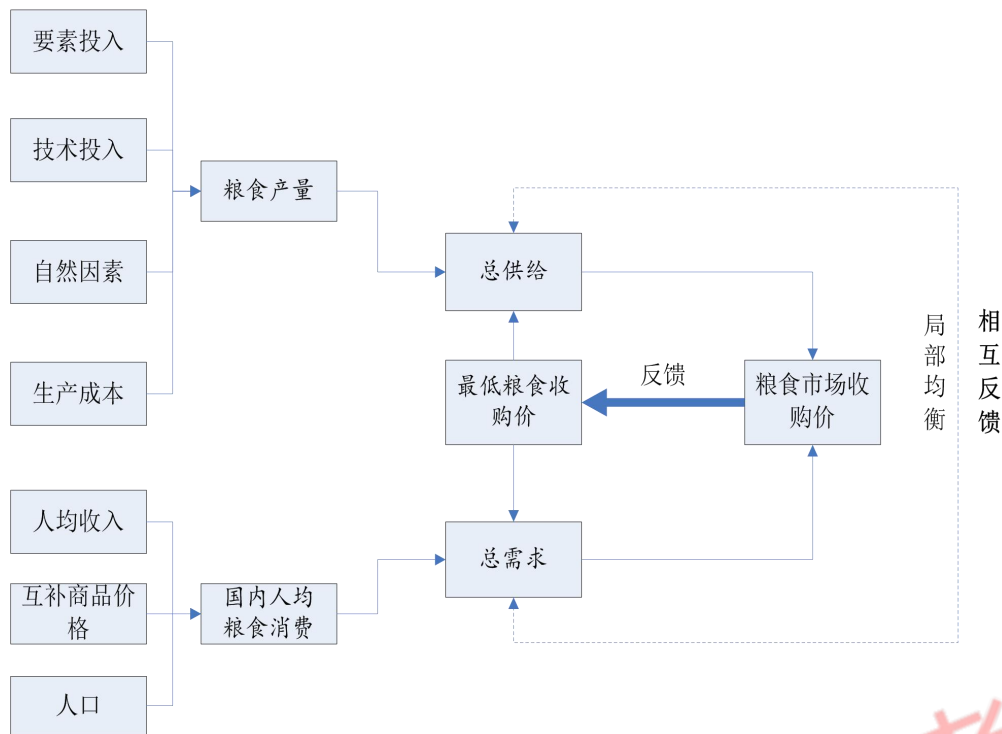


图 5.3.5 粮食价格局部均衡模型理论框架

基于以上理论框架，粮食局部均衡模型包括面积方程、单产方程、人均食用消费方程、间接消费方程、价格联系方程五个行为方程、两个定义方程和一个平衡方程。

面积方程借鉴 Nerlove 的供给反应模型，该模型假设农户根据预期价格调整面积，农户根据上年粮食市场收购价进行预期。因此，种植面积是由当期粮食最低收购价、上一期粮食市场收购价、上一期种植面积及其它外生变量决定的。其他外生变量包括物质与服务费用、政策虚变量等。粮食生产的总成本包括物质与服务费用、人工成本和土地成本，总成本中物质与服务费用占的比重最大。

农作物的单产主要受生产投入要素(化肥、劳动力等)、自然灾害、技术进步、补贴政策的影响。

粮食消费主要包括直接食用消费、饲料消费、工业消费、种用消费。其中，最主要的消费是食用消费。随着经济的发展和人均收入的提高，消费者对肉、蛋、奶蛋白类食品的需求大幅增长，从而导致粮食的消费结构发生了改变，其食用消费比重下降。而与此同时，粮食的间接消费(包括饲料消费和工业消费)比重大幅上升，种用消费所占比重较稳定。因此，粮食消费方程分为人均直接食用消费和间接消费两个方程，种用消费和损耗作为外生变量处理。根据需求理论，人均

收入、农产品自身价格、替代品价格是影响农产品消费量的主要因素。

基于上述分析，考虑到粮食市场收购价本身就受粮食供需双方的自动调节，在最低收购价政策实行以后，粮食市场收购价与粮食最低收购价之间必然需要存在一种动态平衡才能使这种供需平衡稳定下去，进而一起构成了粮食价格体系。而粮食最低收购价实施以后，我国粮食价格不在是上下波动，而是稳定增长，因此构建下面粮食局部均衡模型来分析粮食市场收购价对这种稳定变化的分析。

粮食局部均衡模型方程形式如下：

面积方程满足：

$$\ln A_t = a_{10} + a_{11} \ln PWF_{t-1} + a_{12} \ln A_{t-1} + a_{13} \ln M_t + a_{14} DN_t$$

式中， A_t 代表第 t 期粮食播种面积， PWF_{t-1} 表示第 $t-1$ 期农户粮食收购价， M_t 表示第 t 期每亩粮食播种需要物质费用， DN_t 为虚拟变量，表示农民播种前会考虑到最低市场收购价的高低，不难得到，农民在第 t 期粮食播种前，会考虑上述因素，从而确定本期粮食播种面积是否增加或减少。

产量方程满足：

$$\ln B_t = a_{20} + a_{21} \ln HF_t + a_{22} \ln LD_t + a_{23} \ln NA_t + a_{24} \ln T + a_{25} BT$$

式中， B_t 代表第 t 期粮食播种单产量，考虑到粮食的单产量与每亩化肥投入量： HF_t ，每亩劳动力的投入： LD_t ，自然灾害因素的影响： NA_t ，粮食的生产周期： T 和政府补贴政策： BT_t 的实施与否这些因素有关，因此可以建立上述产量方程。

对于人均食用消费 C_t ，首先，显然与人均 GDP_t 有关，同时，还受粮食的国内市场价格 PWD_t 的影响，如果粮食的国内市场价格提高，必有一部分人选择购买与其互补的价格稍微低一点的商品作为粮食，因此人均食用消费同时受这两互补的商品的影响，可以建立下列人均食用消费方程，其中

$$\ln C_t = a_{30} + a_{31} \ln GDP_t + a_{32} \ln PWD_t + a_{33} \ln PRM_t$$

间接消费方程满足：

$$\ln D_t = a_{40} + a_{41} \ln PWF_t + a_{42} \ln GDP_t$$

粮食收购价格与市场价格联系为：农民粮食的收购价同时受粮食市场价和政府实施的粮食最低收购价影响，显然价格越高，农民越愿意出售粮食，因此联系

方程为：

$$\ln PWF_t = a_{50} + a_{51} \ln PWD_t + a_{52} \ln DN_t$$

式中， PWF_t 代表第 t 期农民粮食收购价格， PWD_t 表示第 t 期粮食市场价格，同时农民粮食收购价也受第 t 期最低收购价格 DN_t 的影响。

产量方程显然满足：产量=播种面积*单产，于是可得：

$$\ln CL_t = \ln A_t \times \ln B_t$$

市场出清恒等式满足：供给=消费，即：

$$C_t \times POP_t + D_t = CL_t - KCL_t$$

上述式子构成了粮食局部均衡模型的结构式，其中，粮食面积、单产、国内市场价格、农户收购价格、人均食用消费量、间接消费量为内生变量，其余变量为外生变量。

粮食局部均衡模型的内生变量之间彼此关联，五个行为方程中会出现与随机误差项相关的内生变量或方程间随机误差项存在同期相关，违背了最小二乘法的基本假定，若采用单方程估计方法，仅利用了单个结构方程中的有限信息，得到的参数是有偏且不一致的；若采用系统估计方法，同时估计全部结构方程，则可以利用系统的全部信息，同时得到所有方程的参数估计量。后者的参数估计量具有良好的统计特性，优于前者。但是，系统估计方法如果错误指定了系统中的某个方程，该方程中较差的参数估计会影响到系统中的其他方程。因此，为了尽量避免两种方法的不足之处，首先利用单方程估计方法中的最小二乘法，初步确定模型中每个方程形式；再利用系统估计中的三阶段最小二乘法(3SLS)对模型进行参数估计，估计所用软件为Eviews7.2，计算结果如表5.3.3-5.3.4所示，我们发现各个方程的 R^2 均较高，所有变量参数符号与理论预期相符，大部分参数均显著。

表 5.3.3 模型中各方程估计结果——小麦

面积方程							
	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	R^2	修正后 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWF_{t-1}$	$\ln A_{t-1}$	$\ln M_t$	DN_t	0.9648	0.9625
参数	0.5839	0.2571	0.8236	-0.1268	0.0175		
t 值	0.9739	5.4168	14.5320	-1.8427	2.0138		

单产方程								
	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	R^2	修正后 R^2
对应变量	常数项	$\ln HF_t$	$\ln LD_t$	$\ln NA_t$	$\ln T$	BT	0.9572	0.9468
参数	-2.3572	0.0836	0.1120	0.0372	0.0921	0.0979		
t 值	-14.4237	1.7358	2.7685	1.2552	6.6537	4.3542		

人均食用消费方程						
	a_{30}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln GDP_t$	$\ln PWD_t$	$\ln PRM_t$	0.9436	0.9357
参数	-1.2675	-0.1427	-0.1952	0.1527		
t 值	-5.7568	-1.5821	-15.3627	2.1568		

间接消费方程					
	a_{40}	a_{41}	a_{42}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWF_t$	$\ln GDP_t$	0.9218	0.9124
参数	-2.3572	-0.6821	1.5467		
t 值	-1.0523	3.2896	14.8256		

粮食收购价格，市场价格联系方程					
	a_{50}	a_{51}	a_{52}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWD_t$	$\ln DN_t$	0.8725	0.8531
参数	1.4823	0.7821	0.0623		
t 值	3.1602	10.6821	2.6792		

表 5.3.4 模型中各方程估计结果——早籼稻

面积方程							
	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	R^2	修正后 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWF_{t-1}$	$\ln A_{t-1}$	$\ln M_t$	DN_t	0.9752	0.9678
参数	0.6128	0.2439	0.8392	-0.1329	0.0168		
t 值	0.9360	5.4328	14.9236	-2.0376	2.1437		

单产方程								
	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	R^2	修正后 R^2
对应变量	常数项	$\ln HF_t$	$\ln LD_t$	$\ln NA_t$	$\ln T$	BT	0.9623	0.9572
参数	-2.3958	0.0870	0.1028	0.0369	0.0758	0.0968		
t 值	-14.4629	1.7952	2.7892	1.2752	6.6124	4.3658		

人均食用消费方程						
	a_{30}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln GDP_t$	$\ln PWD_t$	$\ln PRM_t$	0.9532	0.9472
参数	-1.2852	-0.1258	-0.1763	0.1729		
t 值	-5.9235	-1.4356	-15.5829	2.1639		

间接消费方程					
	a_{40}	a_{41}	a_{42}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWF_t$	$\ln GDP_t$	0.9356	0.9237
参数	-2.3152	-0.6524	1.5698		
t 值	-1.1468	2.4378	14.7923		

粮食收购价格，市场价格联系方程					
	a_{50}	a_{51}	a_{52}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWD_t$	$\ln DN_t$	0.8924	0.8735
参数	1.4956	0.7523	0.0586		
t 值	3.1415	10.5832	2.5832		

表 5.3.5 模型中各方程估计结果——中晚籼稻

面积方程							
	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	R^2	修正后 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWF_{t-1}$	$\ln A_{t-1}$	$\ln M_t$	DN_t	0.9752	0.9678
参数	0.6539	0.2439	0.8392	-0.1329	0.0168		
t 值	0.9360	5.4328	14.9236	-2.0376	2.1437		

单产方程								
	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	R^2	修正后 R^2
对应变量	常数项	$\ln HF_t$	$\ln LD_t$	$\ln NA_t$	$\ln T$	BT	0.9524	0.9438
参数	-2.5872	0.1029	0.1672	0.0827	0.1268	0.1328		
t 值	-11.2890	1.3728	3.5216	1.5926	7.5324	5.2415		

人均食用消费方程						
	a_{30}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln GDP_t$	$\ln PWD_t$	$\ln PRM_t$	0.9568	0.9483
参数	-1.7627	-0.1618	-0.2162	0.2108		
t 值	-5.3829	-1.5972	-13.5142	3.5483		

间接消费方程					
	a_{40}	a_{41}	a_{42}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWF_t$	$\ln GDP_t$	0.9627	0.9528
参数	-2.0814	-0.6915	1.8237		
t 值	-1.5829	2.8924	13.2143		

粮食收购价格，市场价格联系方程					
	a_{50}	a_{51}	a_{52}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWD_t$	$\ln DN_t$	0.9532	0.9418
参数	2.1380	0.8192	0.0732		
t 值	3.9218	8.3425	4.2412		

表 5.3.6 模型中各方程估计结果——粳稻

面积方程							
	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	R^2	修正后 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWF_{t-1}$	$\ln A_{t-1}$	$\ln M_t$	DN_t	0.9548	0.9427
参数	0.6325	0.2729	0.8861	-0.0847	0.0285		
t 值	0.8921	5.3869	14.6932	-1.6783	2.1327		

单产方程								
	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	R^2	修正后 R^2
对应变量	常数项	$\ln HF_t$	$\ln LD_t$	$\ln NA_t$	$\ln T$	BT	0.9572	0.9468
参数	-2.1950	0.1024	0.1385	0.0325	0.0921	0.0979		
t 值	-13.6894	1.8236	2.6942	1.2552	6.6537	4.3542		

人均食用消费方程						
	a_{30}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln GDP_t$	$\ln PWD_t$	$\ln PRM_t$	0.9753	0.9523
参数	-1.3528	-0.1427	-0.1732	0.1362		
t 值	-5.6827	-2.3289	-13.2835	3.2472		

间接消费方程					
	a_{40}	a_{41}	a_{42}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWF_t$	$\ln GDP_t$	0.9528	0.9325
参数	-2.5728	-0.6328	1.6823		
t 值	-2.1627	4.6293	15.2893		

粮食收购价格，市场价格联系方程					
	a_{50}	a_{51}	a_{52}	R^2	修正后的 R^2
对应变量	常数项	$\ln PWD_t$	$\ln DN_t$	0.9528	0.9231
参数	1.5289	0.8326	0.0892		
t 值	4.2869	8.9438	3.6829		

通过上述模型分析与模型结果估计得：

对于上述四种粮食进行分析可得，相同之处在于：

(1) 面积方程表明，上一期农户收购价格对当前期粮食种植面积有显著正影响，说明农户一定程度上根据预期价格调整面积。亩均物质与服务费用代表成本因素，对粮食播种面积有显著负影响。最低收购价政策的系数为正，说明中国实施的最低收购价政策对稳定播种面积起到了一定的积极作用。

(2) 单产方程表明, 化肥投入、劳动力投入、技术进步、补贴政策对粮食单产有显著正影响。自然灾害成灾率近几年变化幅度不大;因缺乏粮食自然灾害成灾率数据, 用农作物总的成灾率代替可能存在一定的偏差。

(3) 从人均食用消费方程看出, 价格对人均食用消费有负影响, 但不显著, 这说明粮食口粮消费有一定刚性, 消费者不会因为价格的上升而减少口粮消费;人均收入对粮食食用消费有显著负影响, 说明随着收入的增加, 消费者消费结构的改变减少了粮食的口粮消费;粮食互补商品价格对粮食人均食用消费有显著正影响, 说明其他食品在粮食的食用消费方面具有一定的替代性。总体上, 粮食价格、人均收入和替代品价格的系数绝对值均较小, 说明粮食需求缺乏价格弹性和收入弹性。

(4) 从间接消费方程看, 粮食价格对间接消费有显著负影响, 这是因为粮食在饲料和工业加工用途上替代品较多;收入对间接消费有显著正影响, 且参数大于1, 说明收入的增加带来的消费结构的改变对粮食间接消费增加影响很大。

(5) 价格联系方程表明, 农户收购价格显著地受到市场价格和最低收购价格政策的正影响。

不同之处在于:

(1) 从面积方程角度: 四种粮食种植面积不同, 在最低收购价格执行以后, 粮食种植面积对前期面积敏感程度不同, 这可能是由于受到资源禀赋和种植习惯的影响, 农户不轻易改变种植作物品种习惯;

(2) 从单产方程: 不同物种化肥投入、补贴政策的不同对粮食单产的影响不同。同时物种的季节生长特性对于自然灾害的抵抗程度也不同, 这就导致单产变化程度有所区别;

(3) 从人均食用消费方程: 不同的粮食品种对于社会需求不同, 不同地区的人民饮食习惯不同, 这就导致了人均食用消费的种类、花费的不同, 同时, 不同地区人们的生活水平、科技进步有所差异, 这些都是粮食品种自身导致的人均食用消费方程的差异;

(4) 从间接消费方程看, 间接消费主要与粮食价格和收入有显著影响, 粮食价格本身波动不是很大, 而一般收入也是固定的, 因此, 间接消费与粮食的种类向相关性不大;

(5) 从价格联系方程角度考虑, 农户收购价格显著地受到市场价格和最低收购

价格政策的正影响, 这些不同粮食的品种每年市场价格和最低收购价都是在一定范围内波动的, 价格本身只与粮食种类有关, 因此, 农户收购价格直接受种植粮食种类影响。

5.4 粮食最低收购价合理定价模型

合理粮食价格的确定实际上是国家, 粮农和粮食企业的三方博弈过程。

5.4.1 基于国家角度的合理定价模型

从国家的角度考虑合理的定价, 主要考虑三个方面的因素: (i) 国家库存的稳定, (ii) 市场粮价的稳定, (iii) 用于购买粮食的财政支出。

(i) 国家库存的稳定

$$\text{Min } z_1 = \text{Max} |K_t - \tilde{K}| \quad (5.4.1)$$

其中: K_t ---第 t 年的库存量, $K_t = K_{t-1} + P_{\min-t} \times Q_{\min-t} - C_t > 0$;

$P_{\min-t}$ ---第 t 年的粮食最低收购价;

$Q_{\min-t}$ ---第 t 年以粮食最低收购价购买的粮食量;

C_t ---第 t 年库存粮食的消耗量。这些消耗量主要用于应急供应。如地震, 洪灾等等;

\tilde{K} ---库存目标, $K_t = K_{t-1} + P_{\min-t} \times Q_{\min-t} - C_t$

(ii) 市场粮价的稳定

$$\text{Max } z_2 = \Delta U_t = \begin{cases} 1 - \frac{\max(u_t - \Delta P_t, \Delta P_t - u_{2t})}{\max(u_t - \min_t \Delta P_t, \max_t \Delta P_t - u_{2t})}, & \Delta P_t \notin [u_t, u_{2t}] \\ 1, & \Delta P_t \in [u_t, u_{2t}] \end{cases} \quad (5.4.2)$$

式中: ΔU_t ---第 t 期粮食最低价政策对粮食市场价格稳定度;

ΔP_t ----第 t 期政策执行前后粮食价格差, 其中政策执行前价格用国际粮食价格替代;

u_{1t} ---第 t 期粮食价格波动的下限;

u_{2t} ---第 t 期粮食价格波动的上限。

(iii) 用于购买粮食的财政支出

$$\text{Min } z_3 = P_{\min-t} \times Q_{\min-t} + E_t \quad (5.4.3)$$

式中: $P_{\min-t}$ ---第 t 年的粮食最低收购价;

$Q_{\min-t}$ ---第 t 年以粮食最低收购价购买的的粮食量;

E_t ---第 t 年因购买粮食产生的其他支出。

5.4.2 基于农民角度的合理定价模型

$$\text{Max } z_4 = P_t \times Q_t + P_{\min-t} \times Q_{\min-t} - \alpha_t (Q_t + Q_{\min-t}) + \beta_t \quad (5.4.4)$$

其中: $P_{\min-t}$ ---第 t 年的粮食最低收购价, $P_{\min-t} > P_t$;

$Q_{\min-t}$ ---第 t 年以粮食最低收购价购买的的粮食量, $Q_{\min-t} \leq Q_t$;

P_t ---第 t 年粮食的市场价, $P_{\min-t} > P_t$;

Q_t ---第 t 年按市场价格卖出的粮食产量, $Q_{\min-t} \leq Q_t$;

α_t ---第 t 年单位生产成本;

β_t ---第 t 年国家粮食补贴金额, 满足 $0 \leq \beta_t \leq 0.1P_t$ 。

5.4.3 基于粮食企业的角度的合理定价模型

(i) 粮食企业收购粮食创造的收益

$$\text{Max } z_5 = \text{INS}_t \times Q_t - \text{CE}_t \times Q_t \quad (5.4.5)$$

其中: INS_t ---第 t 年单位粮食创造的收益;

CE_t ---第 t 年收购单位粮食的成本;

Q_t ---第 t 年按市场价格卖出的粮食产量。

(ii) 执行最低价格后带来的间接损失

$$\text{Min } z_6 = (P_t - P_{\min-t}) \times Q_{\min-t} \quad (5.4.6)$$

式中: $P_{\min-t}$ ---第 t 年的粮食最低收购价;

$Q_{\min-t}$ ---第 t 年以粮食最低收购价购买的的粮食量;

P_t ——第 t 年粮食的市场价。

综上所述，合理定价模型可构建如下（M-1）：

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } z_1 \\
 & \text{Max } z_2 \\
 & \text{Min } z_3 \\
 & \text{Max } z_4 \\
 & \text{Max } z_5 \\
 & \text{Min } z_6 \\
 & s.t. \begin{cases} K_{t-1} + P_{\min-t} \times Q_{\min-t} > C_t \\ Q_t \geq Q_{\min-t} \\ \mu_{1t} \leq \Delta P_t \leq \mu_{2t} \\ 0 \leq \beta_t \leq 0.1P_t \\ P_{\min-t} > P_t \end{cases}
 \end{aligned}$$

5.4.4 合理性评价综合指数的构建

（1）合理性指数的构建

考虑如下六个合理性指数，分别是国家库存的稳定指数、市场粮价的稳定指数、用于购买粮食的财政支出指数、农民收益指数、粮食企业收购粮食创造的收益指数和执行最低价格后带来的间接损失指数。

（i）国家库存的稳定指数

$$I_{z_1} = \text{Min } z_1 = \text{Max} |K_t - \tilde{K}|$$

（ii）市场粮价的稳定指数

$$I_{z_2} = \text{Max } z_2 = \Delta U_t = \begin{cases} 1 - \frac{\max(u_t - \Delta P_t, \Delta P_t - u_{2t})}{\max(u_t - \min_t \Delta P_t, \max_t \Delta P_t - u_{2t})}, & \Delta P_t \notin [u_t, u_{2t}] \\ 1, & \Delta P_t \in [u_t, u_{2t}] \end{cases}$$

（iii）用于购买粮食的财政支出指数

$$I_{z_3} = \text{Min } z_3 = P_{\min-t} \times Q_{\min-t} + E_t$$

（iv）农民收益指数

$$I_{z_4} = \text{Max } z_4 = P_t \times Q_t + P_{\min-t} \times Q_{\min-t} - \alpha_t (Q_t + Q_{\min-t}) + \beta_t$$

（v）粮食企业收购粮食创造的收益指数

$$I_{z_5} = \text{Max } z_5 = \text{INS}_t \times Q_t - \text{CE}_t \times Q_t$$

(vi) 执行最低价格后带来的间接损失指数

$$I_{z_6} = \text{Min } z_6 = (P_t - P_{\min-t}) \times Q_{\min-t}$$

(2) 综合指数的构建

定义 1. 设 $OWA_W: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ 为 n 元函数, $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 是与 OWA_W 有关的加权向量, 满足 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, $w_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。若

$$OWA_W(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i b_i,$$

则称函数 OWA_W 是 n 维有序加权平均算子, 简称为 OWA 算子, 其中 b_i 是 a_1, a_2, \dots, a_n 中按从大到小的顺序排列的第 i 个大的数。

为消除不同量纲和数值差异造成的误差, 用 $\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ 方法对筛选过后的正指标数据和用 $\frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}}$ 方法对筛选过后的逆指标数据进行标准化模式预处理。

得到: 国家库存的稳定指数 I_{z_1} , 市场粮价的稳定指数 I_{z_2} , 用于购买粮食的财政支出指数 I_{z_3} , 农民收益指数 I_{z_4} , 粮食企业收购粮食创造的收益指数 I_{z_5} 和执行最低价格后带来的间接损失指数 I_{z_6} 。

综上所述, 再根据问题二里的 PSO-PPE 权重确定方法, 粮食最低收购价的合理性的评价综合指数可构建如下:

$$CI = OWA_W(I_{z_1}, I_{z_2}, \dots, I_{z_6}) = \sum_{i=1}^n w_i I_{z_i^*}, \quad (5.4.7)$$

其中: $I_{z_i^*}$ 是 $I_{z_1}, I_{z_2}, \dots, I_{z_6}$ 中按从大到小的顺序排列的第 i 个大的数。

5.4.5 综合指数的评价标准

5.4.5.1 综合评价指数的求解算法

为了求解模型, 我们引入正态分布随机数, 对传统遗传算法进行改进, 得到 ND-GA 算法, 最后给出算法流程, 对模型进行求解。

(1) 遗传算法:

受生物进化论的启发，美国 Michigan 大学 J. Holland 教授在 1975 年提出遗传算法（Genetic Algorithm, GA）。GA 是一种自适应算法，它基于“适者生存”的生物进化原则，将问题求解表示为通过“染色体”种群的选择、复制、交叉、变异等操作，世代进化，最终得到“最适应”个体的过程。遗传算法的显著特点是它的并行搜索机制以及全局解空间搜索特性，通过简单的编码技术和遗传操作，得到问题的最优解，既不受限制性条件的约束，同时又具有自适应、自组织、自学习的优势。

遗传算法的基本步骤为：

步骤 1 产生初始种群，每个染色体由 N 个基因构成，评价各个染色体的适应度；

步骤 2 判断是否满足 GA 收敛准则，若满足则搜索结束，输出结果；否则，继续执行；

步骤 3 根据得到的适应函数值，进行择优选取，对选定的染色体进行复制操作；

步骤 4 染色体以概率 P_c 进行交叉操作；

步骤 5 染色体以概率 P_m 进行变异操作；

步骤 6 返回步骤 2 并进行判断。

上述过程中，染色体适应性评价衡量标准是个体计算的适应函数值；复制适应值高的染色体操作，能够提高种群的平均适应能力，使其个体在下一代中遗传到自身优良基因的概率也相对较大；交叉操作使后代能够继承父代的优良基因，从而产生更优秀的个体；变异操作随机改变个体中的某些基因，能够增强种群的多样性，避免早熟现象。

采用遗传算法求解相关问题的优势如下：

(1) GA 将相关问题参数转化为对“染色体”编码操作，由于进化过程中，不针对参数本身，因此不受问题函数的约束条件限制，更加灵活和通用；

(2) GA 采用并行搜索方式，它从问题转化的初始种群开始计算，并将主要搜索目标放在群体中性能较高的染色体部分，不但可以提高算法的搜索效率，而且很大程度上能够减小算法陷入局部极小；

(3) GA 根据个体的适应函数值选择合适的群体进行搜索，搜索过程中采用的遗传操作通常是随机的，这样使得下一代的群体更加丰富多样化，适应性也更强；

(4) GA 采用全局并行搜索，对于复杂问题以及和非线性问题的搜索具有极强的优势；

当然，遗传算法的主要缺点是对于较复杂优化问题占用的搜索空间较大，搜索时间也比较长，容易出现早熟收敛和收敛性能差等问题，并且，算法结果的好坏直接依赖于初始种群的选择。因此，我们在使用遗传算法的过程中，必须设法选择有利于产生优良后代又能充分涵盖解空间的个体组成初始种群，并对遗传操作、算法结构以及函数优化等方面进行相应的改进。

(2) 正态分布随机数（中心极限定理）：

本文采取正态分布随机数来产生一组随机数，用于 GA 算法的交叉，变异概率。下面介绍用中心极限定理来产生随机数的方法。

中心极限定理(central limit theorem)是概率论中讨论随机变量序列部分和逐步渐进于正态分布的一类定理。这组定理是数理统计学和误差分析的理论基础，指出了大量随机变量积累分布函数逐点收敛到正态分布的积累分布函数的条件。

林德伯格-莱维(Lindeberg-Levi)中心极限定理：如果随机变量序列： X_1, X_2, \dots, X_n 独立同分布，并且具有有限的数学期望和方差， $E(X_i) = u$ ， $DX_i = \sigma^2 > 0$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ 。对一切 $x \in R$ 有

$$\lim P\left(\frac{1}{\sqrt{n\sigma}}\left(\sum_i X_i - nu\right) \leq x\right) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt, \quad (5.4.8)$$

因此，对于服从均匀的随机变量 X_i ，只要 n 充分大，随机变量 $\frac{1}{\sqrt{n\sigma}}\left(\sum_i X_i - nu\right)$ 就服从 $N(0,1)$ 。

综上所述，得到 $ND-GA$ 算法流程图：

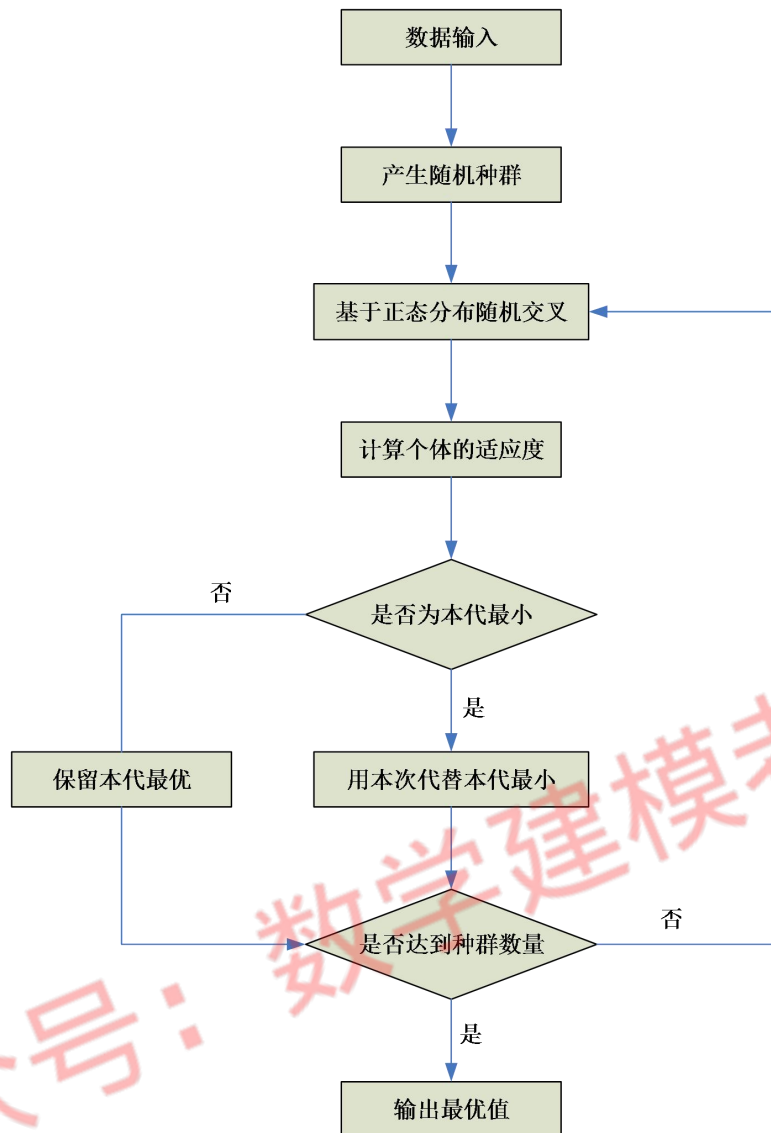


图 5.4.1 $ND-GA$ 算法流程图

5.4.5.2 评价标准的构建

综上所述，基于粮食最低收购价的合理性的评价综合指数，最后利用问题二里的 SOM 聚类算法对指标值进行聚类进而构建了粮食最低收购价的合理性的评价标准。如下表所示：

表 5.4.1 最低收购价的价格合理性的评价标准

综合指数	区间
合理性较差	(0,0.20]
合理性差	(0.20,0.40]
合理性一般	(0.40,0.60]
合理性高	(0.60,0.80]

合理性很高	(0.80,1.00]
-------	-------------

5.4.6 综合指数求解与分析

1. 模型求解流程

步骤 1 计算“十二五”期间国家库存的稳定指数 (I_{z_1})、市场粮价的稳定指数

(I_{z_2})、用于购买粮食的财政支出指数 (I_{z_3})、农民收益指数 (I_{z_4})、粮食企业收购粮食创造的收益指数 (I_{z_5}) 和执行最低价格后带来的间接损失指数 (I_{z_6})。

步骤 2 利用公式 (5.4.7) 计算“十二五”期间每年的综合评价指数 (CI)。

步骤 3 判别粮食最低收购价格的合理性。

步骤 4 结束。

2. 结果分析

根据国家粮食局网站，得到“十二五”期间的粮食最低补贴价的数据，见表 5.4.2。结合粮食的品种和地区，小麦、早籼稻、中晚籼稻和粳稻依次选取的省份是：河南省、安徽省、黑龙江省和湖北省。

表 5.4.2 十二五期间粮食最低收购价

粮食种类	2011	2012	2013	2014	2015
小麦	1.86	2.04	2.24	2.36	2.36
早籼稻	2.04	2.40	2.64	2.70	2.70
中晚籼稻	2.14	2.50	2.70	2.80	2.76
粳稻	2.56	2.80	3.00	3.00	3.10

下面我们根据模型求解流程和基于上述多目标优化模型的动态合理定价模型和粮食最低收购价的合理性的综合评价指数，可以求得结果如下表 5.4.3-5.4.6 所示。

表 5.4.3 小麦的最低收购价合理性的综合评价指数

年份	安徽 综合指数 CI	河南 综合指数 CI	江苏 综合指数 CI
2011	0.41	0.44	0.42
2012	0.46	0.36	0.47
2013	0.56	0.46	0.41
2014	0.60	0.55	0.39
2015	0.54	0.40	0.53

从表 5.4.3 可以看出,从 2011 年到 2013 年之间和 2015 年的安徽省的综合指数反映出“十二五”期间发展与改革委员会公布的粮食最低收购价价格的合理性是中等的;在 2014 年“十二五”期间发展与改革委员会公布的粮食最低收购价价格的合理性高。从河南省的综合指数来看在“十二五”期间除了 2012 年之外,粮食的最低收购价的合理性是中等的。从江苏省的综合指数来看在“十二五”期间除了 2014 年之外,粮食的最低收购价的合理性是中等的。整体来看,“十二五”期间小麦的最低收购价的制定是合理的。

表 5.4.4 早籼稻的最低收购价合理性的综合评价指数

年份	安徽 综合指数 CI	湖南 综合指数 CI	江西 综合指数 CI
2011	0.21	0.33	0.51
2012	0.23	0.35	0.55
2013	0.24	0.58	0.33
2014	0.30	0.62	0.36
2015	0.49	0.53	0.35

从表 5.4.4 可以看出,从安徽、河南和江西三省的综合指数来看在“十二五”期间,发展与改革委员会公布的早籼稻最低收购价价格的合理性呈现不同的程度。其中安徽省在 2011 年和 2014 年综合指数反映了早籼稻最低收购价价格的合理性差;湖南省在 2011-2012 年综合指数反映了早籼稻最低收购价价格的合理性差;江西省在 2013 年和 2015 年综合指数反映了早籼稻最低收购价价格的合理性差。

表 5.4.5 中晚籼稻的最低收购价合理性的综合评价指数

年份	黑龙江 综合指数 CI	江苏 综合指数 CI	湖北 综合指数 CI
2011	0.37	0.22	0.43
2012	0.32	0.26	0.42
2013	0.33	0.47	0.36
2014	0.45	0.31	0.38
2015	0.52	0.49	0.23

从表 5.4.5 可以看出,从黑龙江、江苏和湖北三省的综合指数来看在“十二五”期间,发展与改革委员会公布的早籼稻最低收购价价格的合理性呈现不同的程

度。其中黑龙江省在 2011 年到 2013 年综合指数反映了中晚籼稻最低收购价价格的合理性差；江苏省在 2011-2012 年和 2014 年综合指数反映了中晚籼稻最低收购价价格的合理性差；湖北省在 2013 年到 2015 年综合指数反映了中晚籼稻最低收购价价格的合理性差。

表 5.4.6 粳稻的最低收购价合理性的综合评价指数

年份	黑龙江 综合指数 CI	湖北 综合指数 CI	江西 综合指数 CI
2011	0.34	0.43	0.30
2012	0.32	0.38	0.32
2013	0.37	0.32	0.41
2014	0.49	0.34	0.39
2015	0.55	0.39	0.54

从表 5.4.6 可以看出，从黑龙江、湖北和江西三省的综合指数来看在“十二五”期间，发展与改革委员会公布的早籼稻最低收购价价格的合理性呈现不同的程度。其中黑龙江省在 2011 年到 2014 年综合指数反映了粳稻最低收购价价格的合理性差；湖北省在 2012 年到 2015 年综合指数反映了粳稻最低收购价价格的合理性差；江西省在 2011 年和 2012 年以及 2014 年综合指数反映了粳稻最低收购价价格的合理性差。

5.4.7 2017 年粮食最低收购价格的合理范围预测

5.4.7.1 基本分析

为了对 2017 年的粮食最低收购价的合理范围进行预测，本节首先提出三种单项预测方法：灰色预测模型、BP 神经网络预测模型和支持向量机回归预测模型，然后提出基于加权 power 平均（WPA）算子的组合预测模型。最后，利用此组合预测模型对上述六个合理性指数里的已知变量进行预测。

5.4.7.1 灰色预测模型的建立与求解

灰色预测^[12]是灰色系统理论的重要组成部分，其中应用比较广泛的是文献 [13-15]提出的传统 GM (1,1) 模型，它主要适用于预测时间短，数据资料少，波动不大的系统对象，只需很少的几个数据即可建立模型进行预测。但由于传统 GM (1,1) 模型本身的缺陷，使其仅能适用于短期预测和原始数据序列按指数规律变化且变化速度不是很快的场合。无偏灰色预测模型^[16]消除了传统灰色预测模型本身所固有的偏差，其实只是一种无偏的指数模型，模型准确度优于传统 GM

(1,1) 模型。但无论哪一种 GM (1,1) 模型，其预测的几何图形都是一条较为平滑的曲线，对随机波动性大的数据序列进行预测时，预测值起伏不定，影响预测准确度。

首先，建立无偏 GM (1,1) 模型 (unbiased grey model, 简称 UBGM (1,1) 模型)，对原始数据进行趋势化处理。

设原始序列为 $X^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$ ，利用该数据序列建立无偏 GM (1,1) 模型的步骤如下：

Step 1 作一阶累加形成生成数据序列：

$$x_k^{(1)} = \sum_{i=1}^k x_i^{(0)}, \quad k=1, 2, \dots, n. \quad (5.4.9)$$

Step 2 确定数据矩阵 B, Y_n ：

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x_1^{(0)} + x_2^{(1)}) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x_2^{(1)} + x_3^{(1)}) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x_{n-1}^{(1)} + x_n^{(1)}) & 1 \end{bmatrix}, \quad Y_n = \begin{bmatrix} x_2^{(0)} \\ x_3^{(0)} \\ \vdots \\ x_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (5.4.10)$$

Step 3 用最小二乘法估计计算一阶线性微分方程的待估计参数 a 和 u

$$[\hat{a} \ \hat{u}]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n. \quad (5.4.11)$$

Step 4 计算无偏 GM (1,1) 模型参数 b 和 A . 对呈现指数变化趋势的原始数据序列

$x_k^{(0)} = A e^{b(k-1)}$, $k=1, 2, \dots, n$, 作一次累加生成的序列：

$$x_k^{(1)} = \sum_{i=1}^k x_i^{(0)} = A \frac{1-e^{bk}}{1-e^b}, \quad k=1, 2, \dots, n. \quad (5.4.12)$$

按传统 GM (1,1) 方法建模可得：

$$\begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n = \begin{bmatrix} 2(1-e^b)/(1+e^b) \\ 2A/(1+e^b) \end{bmatrix} \quad (5.4.13)$$

由上式可求得用传统 GM (1,1) 模型参数 \hat{a} , \hat{u} 表示的 b 和 A 的估计为：

$$\hat{b} = \ln \frac{2-\hat{a}}{2+\hat{a}}, \quad \hat{A} = \frac{2\hat{u}}{2+\hat{a}}. \quad (5.4.14)$$

Step 5 建立原始数据序列模型:

$$\hat{x}_1^{(0)} = x_1^{(0)}, \quad \hat{x}_{k+1}^{(0)} = \hat{A}e^{\hat{b}k}, \quad k=1,2,\dots \quad (5.4.15)$$

$\hat{x}_{k+1}^{(0)}$, $k=0,1,\dots,n-1$ 为原始数据序列的拟合值, $\hat{x}_{k+1}^{(0)}$, $k \geq n$ 为原始数据序列的预测值。

利用灰色预测模型, 得到小麦、早籼稻、中晚籼稻和粳稻市场价格的预测结果。为了节省篇幅, 我们只给出了安徽省小麦市场价和早籼稻市场价的预测值。如图 5.4.2-5.4.3 所示:

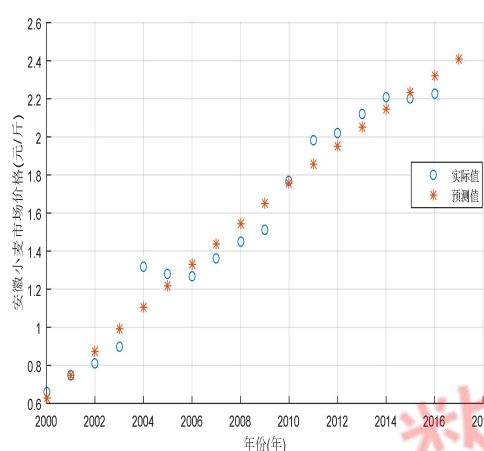


图 5.4.2 安徽小麦市场价实际值与预测值

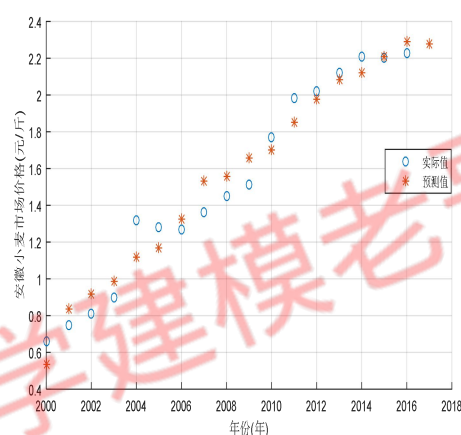


图 5.4.3 安徽早籼稻实际值与预测值

5.4.7.3 BP 神经网络预测模型的建立与求解

若记 $X_i = (x_1, x_2, \dots, x_i)$ 是对某一研究对象一段时间的观测值, 则对该时间序列可以用下述模型来描述: $X_i = f(x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-n_0})$, 其中 f 表示参数拟合函数, n_0 为该模型的阶次。

任何时间序列都可以看作是一个由非线性机制确定的输入输出系统, 时间序列的建模即是一个非线性参数拟合过程。1989 年 Robert Hocht-Nielson 证明了对于在闭区间内的任何一个连续函数都可以用含一个隐含层的 BP 网络来近似, 因而采用神经网络方法来实现非线性时间序列的建模与预测在理论上是可行的。典型的 BP 网络为三层前馈网络, 包括输入层、隐含层与输出层。

利用 BP 神经网络进行时间序列建模与预测的基本步骤主要分为三步:

1) 确定输入层的维数:

首先把时间序列分成两部分, 第一部分大致为另一部分的两倍大小、开始窗

口的大小可以任意选择、即输入神经元的数目可任定一个初始值，用前一部分来训练网络、所得的网络用来预测第二部分，计算出预测误差。从小到大改变窗口，直至随着窗口尺寸的递增、预测精度不再有显著提高为止，此时的窗口尺寸即为输入层的维数。

2) 训练网络:

将全部序列作为训练样本，对该网络进行训练，得到该时间序列的神经网络预测模型。

3) 预测: 利用所得到的模型进行预测。

运用 BP 神经网络进行时间序列建模与预测在实际应用中面临的主要问题，首先是 BP 网络的学习效率问题。由于 BP 算法采用梯度下降法来调整连接权值，不可避免的会出现网络学习速度较慢，容易陷入局部极小或进入平坦区，从而导致无法收敛；同时，BP 网络就其本质而言，只是一非线性映射系统，而不是非线性动力系统，不具备动态适应能力，对于实时性要求高的系统难以满足；此外，为了得到满意的预测精度，对样本数据的准确性要求较高。

其次，从上述建模步骤可以看出，影响建模速度的因素主要有：1) 在定阶时，利用多组样本进行训练、预测、比较预测精度，进而得出网络输入层单元的数目，这势必要耗费大量的时间；2) 采用所有的样本进行训练，然后进行预测，样本数量的增加容易导致计算量的膨胀，特别是新增加一个样本时，必须将所有以前的样本加入重新训练，这不仅会使训练时间延长，而且，由于 BP 网络所容纳的信息是有限的，容易引起网络无法收敛。

针对这些问题，下面提出一种动态建模与预测方法，现以一步预测来介绍这种方法，多步预测方法可以类推。

BP 算法:

设 x_i 为一数据序列， $i=1,2,\dots,N$ ， N 为数据样本个数， n_0 为系统阶次，现在要用 $x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-n_0}$ 来预测 i 时刻的值，故将 $x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-n_0}$ 作为神经网络的输入，而 x_i 作为输出，利用 BP 算法对数据进行训练。BP 网络的输入神经元个数为 n_0 ，中间隐层神经元的个数为 m ， u_j 为隐层神经元的输出， w_{ij} ， v_j 分别为输入层与隐层、隐层与输出层之间的连接权值，数据样本数为 N （下述公式中的上标 n 均表示第 n 个样本的相应数值）。

1) 各层神经元之间的输入输出关系满足:

$$u_j = f\left(\sum_{i=0}^{n_0} x_i w_{ij}\right), x_0 = -1 \quad (5.4.16)$$

$$y^n = \frac{1}{1 + \exp\left(\sum_{j=0}^m u_j^n v_j / \lambda^n\right)}, u_0 = 0 \quad (5.4.17)$$

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}} - \frac{1}{2} \quad (5.4.18)$$

其中, 若进入局部极小, 则使 $\lambda^n > 1$, 迅速脱离平坦区, 在离开平坦区之后, 再恢复 $\lambda^n = 1$ 。

2) 误差函数修正为:

$$E = \frac{1}{2} \left[\sum_{n=1}^N (t^n - y^n)^2 + (1 - y^n / t^n)^2 \right] \quad (5.4.19)$$

其中 t^n 为第 n 个样本的实际值, y^n 为第 n 个样本由神经网络得出的预测值。

3) 权值的调节公式为:

$$\begin{cases} \delta_2^n = (y^n - t^n)(1/4 - (y^n)^2 + 0.05) \\ v_j(k+1) = v_j(k) - \eta \sum_{n=1}^N \delta_2^n u_j^n + \alpha \Delta v_j(k) \end{cases} \quad (5.4.20)$$

$$\begin{cases} \delta_{1j}^n = \delta_2^n v_j^n (1/4 - (u_j^n)^2) \\ w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) - \eta \sum_{n=1}^N \delta_{1j}^n x_i^n + \alpha \Delta w_{ij}(k) \end{cases} \quad (5.4.21)$$

$$\eta = \frac{\varphi}{N} \sum_{n=1}^N \left(\gamma / \sum_{j=0}^m u_j^n(k)^2 \right), \varphi = \beta \cdot \alpha \cdot p / c \quad (5.4.22)$$

当 $\Delta E > 0$ 时, 动量因子 $\alpha = 0$, 而当 $\Delta E \leq 0$ 时, 取 $0 < \alpha < 1$; α 为一接近 1 的常数, c 为一较大常数, 通常取为 1500—4000, p 为收敛次数。

$$\beta = \begin{cases} 1 & \Delta E \leq 0 \\ \text{小于1的常数} & \Delta E > 0 \end{cases} \quad \Delta E = E(k+1) - E(k) \quad (5.4.23)$$

预测步骤:

为了提高预测的速度, 本文将使用非线性时间序列的动态预测模型。所谓动态预测模型是指在建模过程中, BP网络的隐层单元数目、样本数目及输入层神

经元数目（即窗口尺寸）不断变化，结构呈现出动态。在进行预测时，先选定一初始窗口尺寸、隐层神经元数目及样本数目，顺序移动窗口，进行训练与预测，同时不断检查预测效果，当预测精度不符合要求时，再动态地调整网络的结构与学习样本的数目。对于不断有新数据加入的时间序列，这种建模方法具有明显的优势。算法流程如下图。

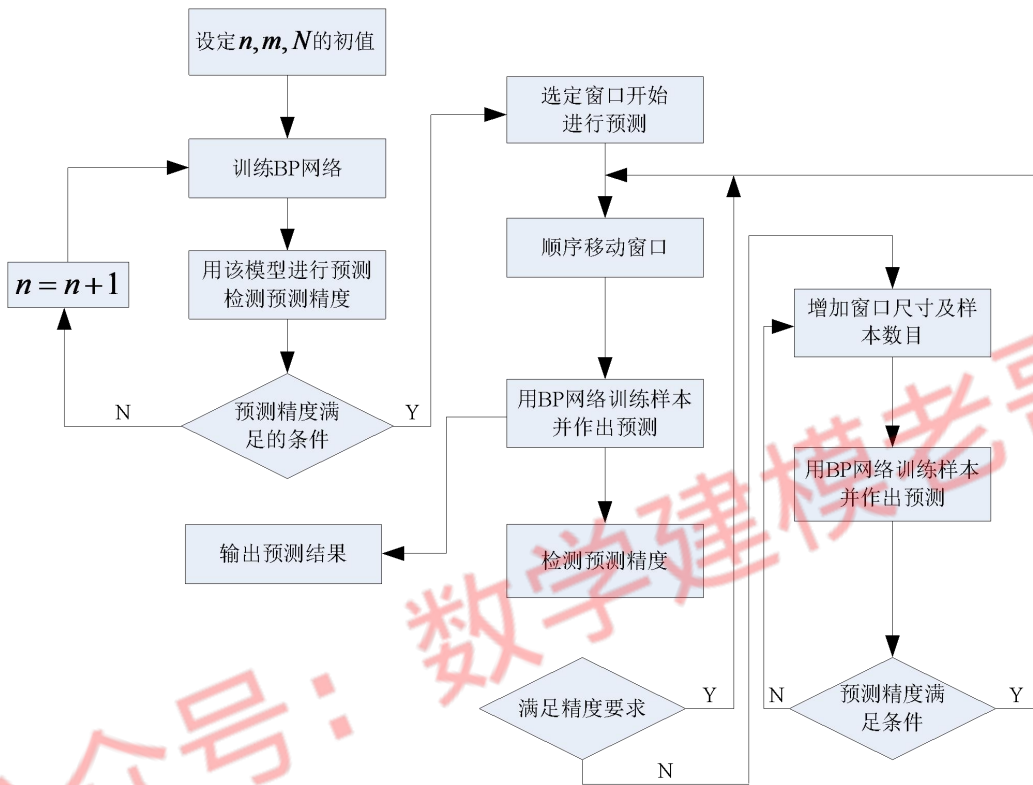


图5.4.4 BP神经网络算法流程图

利用 BP 神经网络模型，得到小麦、早籼稻、中晚籼稻和粳稻市场价格的预测结果。为了节省篇幅，我们只给出了安徽省小麦市场价和早籼稻市场价的预测值。如图 5.4.5-5.4.6 所示：

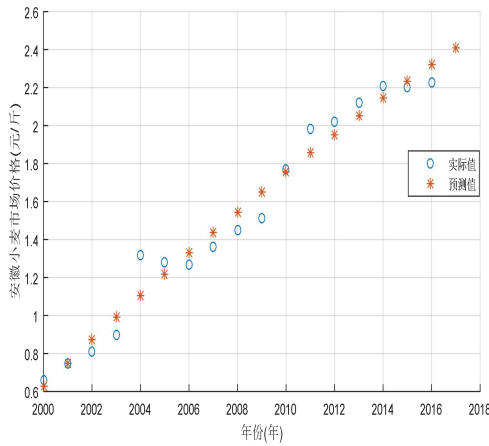


图 5.4.5 安徽小麦市场价实际值与预测值

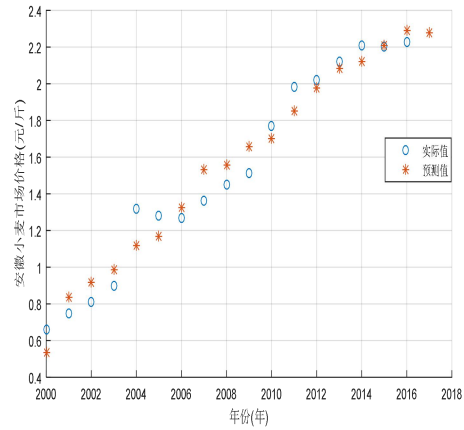


图 5.4.6 安徽早籼稻实际值与预测值

5.4.7.4 支持向量机回归预测模型的建立与求解

回归的基本问题是发现一个函数 $f \in F$ (F —函数集), 使下面的期望风险函数最小, 即: $R[f] = \int l(y - F(x))dP(x, y)$ 。其中 $l(\cdot)$ 为损失函数, 表示 y 和 $f(x)$ 之间的偏差, 其常用形式为 $l(\cdot) = |y - f(x)|^p$, 其中 p 为某个正整数。因为 $P(x, y)$ 不能事先知道, 所以不能利用上式直接计算 $R[f]$ 。

根据结构风险最小化, 有 $R[f] \leq R_{emp} + R_{gen}$ 式中 $R_{emp} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l l(y_i - f(x_i))$ 为经验风险; R_{emp} 为 $f(x)$ 复杂度的一种度量。因此, 可用 $R_{emp} + R_{gen}$ 来确定 $R[f]$ 的上限。

SVM 用来解决回归预测的基本思想如下: 给定以 $P(x, y)$ 为概率的观测样本集 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_l, y_l) \in R^n \times R$ 。设回归函数为:

$F = \{f | f(x) = w^T \Phi(x) + b, w \in R^n\}$ 。引进下述结构风险函数:

$$R_{reg} = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \cdot R_{emp}^\varepsilon [f] \quad (5.4.24)$$

式中 $\|w\|^2$ 为描述函数 $f(\cdot)$ 为复杂度的项; C 为常数。它的作用是在经验风险和模型复杂度之间取一折中。引进不灵敏损失函数 ε , 具体定义

$$|y - f(x)|_\varepsilon = \begin{cases} 0 & , |y - f(x)| \leq \varepsilon \\ |y - f(x)| - \varepsilon, & \text{其他} \end{cases} \quad (5.4.25)$$

它意味着不惩罚偏差小于 ε 的项, 这样可以增加回归的鲁棒性。

$R_{emp} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l |y_i - f(x_i)|_\varepsilon$, 体现了统计学习理论的核心思想, 既控制训练误差,

又控制模型复杂度，目的是为了获得一个小的期望风险。这样可以提高模型的泛化能力。

上述函数回归问题等价于最小化代价泛函

$$\begin{aligned} \min & \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^l (\zeta_i + \zeta_i^*) \\ \text{s.t.} & \quad y_i - w^T x_i - b \leq \varepsilon + \zeta_i \\ & \quad w^T x_i + b - y_i \leq \varepsilon + \zeta_i^* \\ & \quad \zeta_i, \zeta_i^* \geq 0 \end{aligned} \quad (5.4.26)$$

式中 ζ_i, ζ_i^* 为引进的松弛变量。利用拉格朗日函数和对偶原理，可以得到对偶问题

$$\begin{aligned} \min_{\alpha, \alpha^*} & \left\{ \frac{1}{2} [\alpha, (\alpha^*)^T] \begin{bmatrix} Q & -Q \\ -Q & Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \alpha^* \end{bmatrix} + [\varepsilon I^T + y^T \quad \varepsilon I^T - y^T] \begin{bmatrix} \alpha \\ \alpha^* \end{bmatrix} \right\} \\ \text{s.t.} & \quad [I^T, -I^T] \begin{bmatrix} \alpha \\ \alpha^* \end{bmatrix} = 0, \quad \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \end{aligned}$$

式中 $Q_{i,j} = \Phi^T(x_i)\Phi(x_j)$; $I = [1, \dots, 1]^T$; α, α^* 为 Lagrange 乘子。

求解此二次型规划可求得 α 的值，同时求得

$$w = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) \Phi(x_i)$$

利用 KKT (Karush-Kuhn-Tucker) 条件可以计算出常值偏差 b ,

$$\begin{cases} b = y_j - \varepsilon - \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_j, x_i), \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \\ b = y_j + \varepsilon - \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_j, x_i), \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \end{cases}$$

根据上述推导可得回归函数 $f(x)$ 的表达式为

$$f(x) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_j, x_i) + b$$

其中， $K(x_j, x_i) = \Phi^T(x)\Phi(x_i)$ 为一个满足 Mercer 条件的核函数。该函数可在不知非线性变换的具体形式下实现算法的非线性化，这是支持向量机的一个显著特点。常用的核函数为：阶次为 b 的多项式核函数 $K(x_i, x_j) = (x_i \cdot x_j + 1)^d$ ，径向基函数核函数 $K(x_i, x_j) = \exp(-\|x_i - x_j\|^2 / \sigma^2)^d$ ，神经网络核函数 $K(x_i, x_j) =$

$$\tanh[c_1(x_i \cdot x_j) + c_2]^d.$$

利用支持向量机回归模型，得到小麦、早籼稻、中晚籼稻和粳稻市场价格的预测结果。为了节省篇幅，我们只给出了安徽省小麦市场价和早籼稻市场价的预测值。如图 5.4.7-5.4.8 所示：

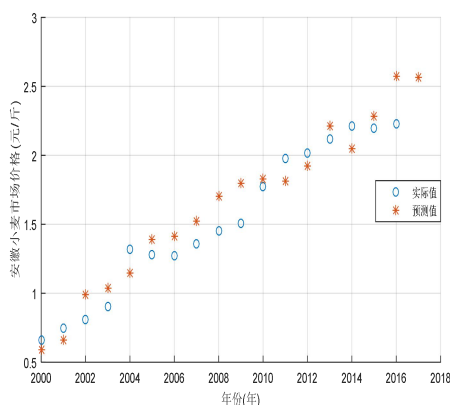


图 5.4.7 安徽小麦市场价实际值与预测值

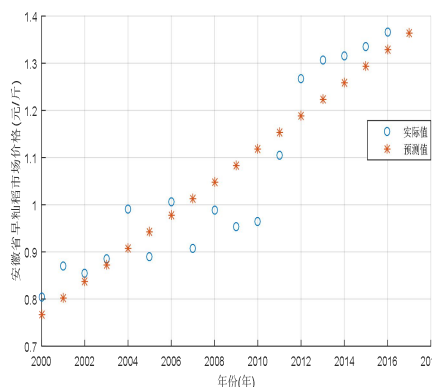


图 5.4.8 安徽早籼稻实际值与预测值

5.4.7.5 基于 WPA 算子的组合预测模型

由于需要对交通费、住宿费、旅游餐饮费、旅游购物费进行趋势预测，单项预测方法无法同时对住宿费、旅游餐饮费、交通费进行准确预测。所以这里采用基于加权 power 平均（WPA）算子的组合预测模型，能够有效提高对住宿费、旅游餐饮费、交通费预测准确率。

定义 2 设 $WPA: R^n \rightarrow R$ 为 n 元函数， $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 是与 WPA 有关的加权向量，满足 $\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$ ，若：

$$WPA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (1 + T(a_i)) a_i}{\sum_{i=1}^n w_i (1 + T(a_i))} = \sum_{i=1}^n \frac{w_i (1 + T(a_i))}{\sum_{i=1}^n w_i (1 + T(a_i))} a_i \quad (5.4.27)$$

则称函数 WPA 是 n 维加权 Power 算子，简称 WPA 算子，其中：

$$T(a_i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n w_j \text{Sup}(a_i, a_j) \quad (5.4.28)$$

$\text{Sup}(a_i, a_j)$ 表示 a_j 对 a_i 的支撑度，并且满足以下三个性质：

- (1) $\text{Sup}(a_i, a_j) \in [0, 1]$ ；
- (2) $\text{Sup}(a_i, a_j) = \text{Sup}(a_j, a_i)$ ；

(3) 如果 $|a_i - a_j| < |a_s - a_t|$, 则有 $Sup(a_i, a_j) \geq Sup(a_s, a_t)$.

若记 $\tilde{w}_i = \frac{w_i(1+T(a_i))}{\sum_{i=1}^n w_i(1+T(a_i))}$, 则式 (5.4.27) 可写成:

$$WPA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n \tilde{w}_i a_i \quad (5.4.29)$$

其中 \tilde{w}_i 可以看作是一种复合权重, 它不仅考虑到数据本身的重要性, 还考虑到了数据之间的关系。

特别地, 当 $w = (\frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n})^T$, 这时 WPA 算子就退化成 PA 平均算子。

设对同一预测对象的某个指标序列为 $\{x_t, t=1, 2, \dots, N\}$, 存在 m 种单项预测方法对其进行预测, 设 x_{it} 为第 i 种单项预测模型在第 t 时刻的预测值, $i=1, 2, \dots, m$, $t=1, 2, \dots, N$.

令

$$\hat{x}_t = WPA(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{mt}) = \frac{\sum_{i=1}^m w_i(1+T(x_{it}))x_{it}}{\sum_{i=1}^m w_i(1+T(x_{it}))} \quad (5.4.30)$$

其中 \hat{x}_t 为第 t 时刻在 WPA 算子下的组合预测值, w_i ($i=1, 2, \dots, m$) 为第 i 种单项预测方法的加权系数, 且 w_i 满足

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m w_i = 1 \\ w_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (5.4.31)$$

定义 3. 令

$$e_t = x_t - \hat{x}_t = \sum_{i=1}^m \frac{w_i(1+T(x_{it}))}{\sum_{i=1}^m w_i(1+T(x_{it}))} e_{it} = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i e_{it} \quad (5.4.32)$$

则称 e_t 为组合预测第 t 时刻在 WPA 算子下的预测误差, $e_{it} = (x_t - x_{it})$ 为第 i 种单项预测方法第 t 时刻在 WPA 算子下的预测误差, 其中 $t=1, 2, \dots, N$.

设 J 表示为 N 期总得组合预测误差平方和, 则有:

$$J = \sum_{t=1}^N e_t^2 = \sum_{t=1}^N (x_t - \hat{x}_t)^2 = \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \tilde{w}_i \tilde{w}_j e_{it} e_{jt} \quad (5.4.33)$$

因此，可得到以组合预测误差平方和为准则的组合预测模型为下列最优化问题：

$$\begin{aligned} \min J = \min \sum_{t=1}^N e_t^2 &= \sum_{t=1}^N (x_t - \hat{x}_t)^2 = \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \tilde{w}_i \tilde{w}_j e_{it} e_{jt} \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i = 1 \\ \tilde{w}_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \end{aligned} \quad (5.4.34)$$

记 $W = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m)^T$, $R = (1, 1, \dots, 1)^T$, $e_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{iN})^T$, 则 W 表示组合预测加权系数列向量, R 表示元素全为 1 的 m 维列向量, e_i 表示第 i 种单项预测方法的预测误差列向量。再令: $E_{ij} = e_i^T e_j = \sum_{t=1}^N e_{it} e_{jt}$, $i, j = 1, 2, \dots, m$, 则称 $E = (E_{ij})_{m \times m}$ 为在 WPA 算子下 m 阶组合预测误差信息矩阵。因此式 (28) 可以写成如下矩阵形式:

$$\begin{aligned} \min J &= W^T E W \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} R^T W = 1 \\ W \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5.4.35)$$

利用该组合预测模型可得六个合理性指数里的已知变量进行预测组合预测的权值见表 5.4.7。考虑篇幅有限，这里只给出安徽省小麦的市场价和早籼稻市场价的组合变化趋势，结果如图 5.4.9 所示：

表 5.4.7 安徽小麦市场价和早籼稻市场价组合预测的权系数

	无偏灰色预测模	BP 神经网络预测模	支持向量回归预测模
	型权值	型权值	型权值
小麦市场价	0.5714	0.1234	0.3025
早籼稻市价	0.4423	0.3765	0.1812

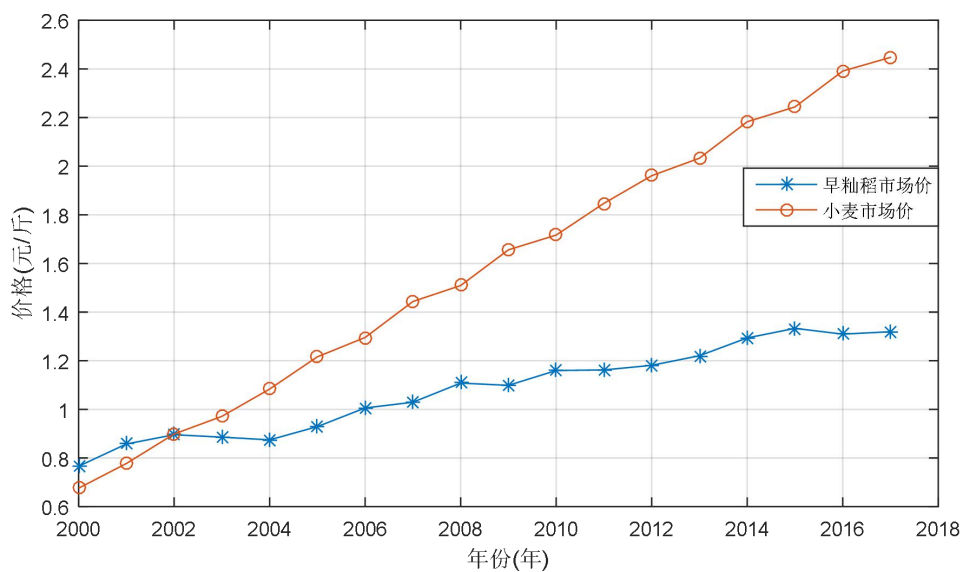


图 5.4.9 小麦市场价和早籼稻市场价的变化趋势

5.4.8 粮食最低收购价合理范围的求解

步骤 1 在六个相关指数里的已知变量的数值，利用组合预测模型预测它们 2017 年的数值。

步骤 2 利用合理定价模型确定价格区间。

步骤 3 见下面图 5.4.10。这里 δ 的选取根据最低收购价的价格合理性的评价标准。

步骤 4 计算 $I_{z_i} (i=1,2,\dots,6)$ 的值。

步骤 5 计算综合指数 CI 的值。

步骤 6 根据表 5.4.1 评价粮食最低收购价的合理性。

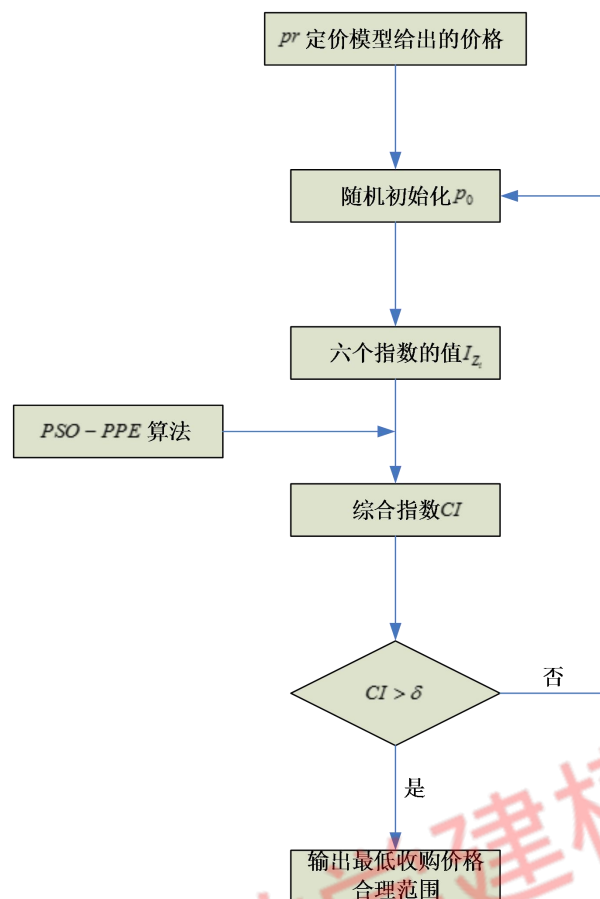


图 5.4.10 最低收购价格合理范围算法流程

基于上述六个指数、合理定价模型、粮食最低价格的合理性评价指数以及组合预测模型，最终得到 2017 年的粮食最低收购价格的合理范围见表 5.4.8。根据表格可知在 2017 年早籼稻、中晚籼稻和粳稻的最低收购价格的合理性是一般，相对之前的合理性差有了提高；而小麦的合理性评价基本保持不变。

表 5.4.8 不同种类粮食在 2017 年的最低收购价格范围

粮食品种	合理范围	综合指数	
小麦	[1.22,1.35]	0.53	一般
早籼稻	[1.39,1.58]	0.41	一般
中晚籼稻	[1.44,1.68]	0.47	一般
粳稻	[1.60,1.72]	0.52	一般

5.5 小麦种植面积调整优化算法

根据搜集的小麦主产区数据，从 2000 年到 2015 年小麦种植面积略有下降。考虑到小麦是我国重要的粮食品种，关乎国家的安全和人民的生活。提高小麦种植面积，有利于保证人民的生活和国家的安全。本文以选取的小麦主产区的小麦种植面积替代全国小麦的种植面积，并考虑到国家想让小麦种植面积增加 5%这

一要求构建基于多重回归的粮食种植面积调整优化算法。

5.5.1 多重回归模型

5.5.1.1 向后逐步回归

先用所有 m 个变量建立一个回归方程，然后在这 m 个变量中选择一个最不重要的变量，即利用 p 值最大（等价地， t 统计量最小）准则，将它从方程中剔除。计算该 m 个回归系数的 p 值，记为 $\{p_1^m, p_2^m, \dots, p_m^m\}$ ，选择其中的最大者记为 $p_{j_m}^m = \max\{p_1^m, p_2^m, \dots, p_m^m\}$ ，并对于事先给定的显著性水平 α ，若 $p_{j_m}^m > \alpha$ ，则将变量 x_{j_m} 从回归方程中剔除，其中 j_m 表示 $1, 2, \dots, m$ 中的某一整数。为不失一般性，不妨设 x_{j_m} 就是 x_m 。

接着重新建立 y 对剩下的 $m-1$ 个自变量 x_1, x_2, \dots, x_{m-1} 的回归方程，计算该 $m-1$ 个回归系数的 p 值，记为 $\{p_1^{m-1}, p_2^{m-1}, \dots, p_{m-1}^{m-1}\}$ ，选择其中的最大者记为 $p_{j_{m-1}}^{m-1} = \max\{p_1^{m-1}, p_2^{m-1}, \dots, p_{m-1}^{m-1}\}$ ，并对于事先给定的显著性水平 α ，若 $p_{j_{m-1}}^{m-1} > \alpha$ ，则将变量 $x_{j_{m-1}}$ 从回归方程中剔除，其中 j_{m-1} 表示 $1, 2, \dots, m-1$ 中的某一整数。重新建立 y 关于 $m-2$ 个自变量的回归方程……如此下去，直至回归方程中所剩余自变量的 p 值均小于事先所规定的显著性水平 α ，或者达到所规定的后退步数，或者回归方程中所包含的回归量达到用户事先所规的最小数目。

5.5.1.2 回归模型的建立

考虑小麦种植面积 (SQU)，小麦最低收购价 (PMIN)，农业劳动人口 (POP)，城乡收入差 (DIN)，科技水平 (TEC)，小麦产量 (QAN)，小麦市场价 (PMA) 和生产成本 (COP)（这些指标。采用向后逐步回归法，加权权重为残差绝对值的倒数 $w_i = 1/|e_i|$ ，具体结果见下表 5.5.1。

表5.5.1 小麦种植面积与各影响因素的回归

Dependent Variable: LOG(SQU)		
Method: Stepwise Regression		
Date: 09/19/16 Time: 15:08		
Sample: 2000 2014		
Included observations: 15		
Weighting series: 1/ABS(RESID02)		
Weight type: Inverse standard deviation (EViews default scaling)		
Number of always included regressors: 1		
Number of search regressors: 7		

Selection method: Stepwise backwards				
Stopping criterion: p-value forwards/backwards = 0.05/0.05				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
C	6.427566	0.154417	41.62484	0.0000
LOG(QAN)	0.341614	0.009826	34.76625	0.0000
LOG(TEC)	0.034845	0.010483	-3.323983	0.0089
LOG(PMA)	0.026016	0.009982	-2.606374	0.0284
LOG(PMIN)	0.119951	0.027270	4.398604	0.0017
LOG(DIN)	-0.062059	0.015490	-4.006421	0.0031
	Weighted Statistics			
R-squared	1.000000	Mean dependent var		7.778541
Adjusted R-squared	1.000000	S.D. dependent var		27.17445
S.E. of regression	8.22E-06	Akaike info criterion		-20.29184
Sum squared resid	6.07E-10	Schwarz criterion		-20.00862
Log likelihood	158.1888	Hannan-Quinn criter.		-20.29486
F-statistic	2.10E+08	Durbin-Watson stat		2.246998
Prob(F-statistic)	0.000000	Weighted mean dep.		7.797733
	Unweighted Statistics			
R-squared	0.987444	Mean dependent var		7.702932
Adjusted R-squared	0.980469	S.D. dependent var		0.086974
S.E. of regression	0.012155	Sum squared resid		0.001330
Durbin-Watson stat	1.341120			
	Selection Summary			
No regressors were chosen by the stepwise routine				
*Note: p-values and subsequent tests do not account for stepwise				
selection.				

最终得到种植面积模型为：

$$\begin{aligned} \log(SQU) = & 6.4276 + 0.3416\log(QAN) + 0.0348\log(TEC) + \\ & t \quad (41.6248) \quad (34.7663) \quad (-3.3240) \\ & 0.0260\log(PMA) + 0.1200\log(PMIN) - 0.0621\log(DIN) \\ & (-2.6064) \quad (4.3986) \quad (-4.0064) \end{aligned} \quad (5.5.1)$$

$$R^2 = 1 \quad F = 2.1 \times 10^8 \quad D.W. = 2.2470.$$

从回归估计的结果看，达到了 $\bar{R}^2 = 0.9994$ ，表明模型的拟合程度高。斜率项的 t 检验值均大于 5% 显著性水平下的临界值。 F 统计量值为 2.1×10^8 ，表明该回归总体线性关系成立。DW 统计量为 2.2470，表明变量间无自相关性。

从回归模型可以看出：小麦最低收购价 PMIN 每上升 1%，种植面积增加 0.12%；科技水平 TEC 每上升 1%，种植面积增加 0.0348%；小麦市场价 PMA 每上升 1%，小麦种植面积增加 0.026%；城乡收入差 DIN 每上升 1%，小麦的种植面积减少 0.0621%；小麦产量 QAN 每上升 1%，小麦种植面积增加 0.3416%。

为了接下来构建 SQU 算法，所以我们做了进一步的分析：

(1) 城乡收入差 DIN 自身与小麦种植面积 SQU 的关系，具体结果见表 5.5.2-5.5.4。

表 5.5.2 城乡收入差与小麦种植面积的回归

Dependent Variable: LOG(DIN)				
Method: Least Squares				
Date: 09/19/16 Time: 15:59				
Sample (adjusted): 2002 2014				
Included observations: 13 after adjustments				
Convergence achieved after 6 iterations				
White heteroskedasticity-consistent standard errors & covariance				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4.043920	1.228750	-3.291084	0.0094
LOG(DIN(-1))	0.832786	0.032133	25.91656	0.0000
LOG(SQU)	0.732641	0.191324	3.829319	0.0040
AR(1)	-0.805693	0.279597	-2.881625	0.0181

R-squared	0.989818	Mean dependent var	9.041652
Adjusted R-squared	0.986424	S.D. dependent var	0.466527
S.E. of regression	0.054358	Akaike info criterion	-2.738790
Sum squared resid	0.026593	Schwarz criterion	-2.564959
Log likelihood	21.80213	Hannan-Quinn criter.	-2.774520
F-statistic	291.6362	Durbin-Watson stat	2.728012
Prob(F-statistic)	0.000000		
Inverted AR Roots	-.81		

最终得到DS模型为：

$$\log(DIN_{t+1}) = -4.0439 + 0.8328\log(DIN_t) + 0.7326\log(SQU_t) - 0.8057AR(1)$$

$$t \quad (-3.2911) \quad (25.9166) \quad (3.8293) \quad (-2.8816) \quad (5.5.2)$$

$$R^2 = 0.9864 \quad F = 291.6362 \quad D.W. = 2.7280$$

从回归估计的结果看，达到了 $\bar{R}^2 = 0.9864$ ，表明模型的拟合程度高。斜率项的 t 检验值均大于 5% 显著性水平下的临界值。 F 统计量值为 291.6362，表明该回归总体线性关系成立。DW 统计量为 2.7280，表明变量间无自相关性。

(2) 小麦产量 QAN 与小麦种植面积 SQU 的关系，具体结果见表 5.5.3。

表 5.5.3 小麦产量与小麦种植面积的回归

Dependent Variable: LOG(QAN)				
Method: Least Squares				
Date: 09/19/16 Time: 16:07				
Sample (adjusted): 2002 2014				
Included observations: 13 after adjustments				
Weighting series: 1/ABS(RESID05)				
Weight type: Inverse standard deviation (EViews default scaling)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-14.76360	1.145724	-12.88583	0.0000
LOG(SQU)	2.487324	0.191979	12.95623	0.0000
LOG(QAN(-1))	0.626305	0.085757	7.303253	0.0000
LOG(QAN(-2))	-0.326466	0.045758	-7.134636	0.0001

	Weighted Statistics			
R-squared	0.999386	Mean dependent var	6.375295	
Adjusted R-squared	0.999182	S.D. dependent var	5.634639	
S.E. of regression	0.009842	Akaike info criterion	-6.156658	
Sum squared resid	0.000872	Schwarz criterion	-5.982827	
Log likelihood	44.01828	Hannan-Quinn criter.	-6.192388	
F-statistic	4886.650	Durbin-Watson stat	1.759525	
Prob(F-statistic)	0.000000	Weighted mean dep.	6.399839	
	Unweighted Statistics			
R-squared	0.984620	Mean dependent var	6.332011	
Adjusted R-squared	0.979493	S.D. dependent var	0.301789	
S.E. of regression	0.043217	Sum squared resid	0.016809	
Durbin-Watson stat	1.582370			

最终得到QS模型为：

$$\log(QAN_{t+1}) = -14.7636 + 2.4873 \log(SQU_t) + 0.6263 \log(QAN_t) - 0.3265 \log(QAN_{t-1})$$

$$t \quad (-12.8858) \quad (12.9562) \quad (7.3033) \quad (-7.1346)$$

$$\bar{R}^2 = 0.9992 \quad F = 4886.650 \quad D.W. = 1.7595 \quad (5.5.3)$$

从回归估计的结果看，达到了 $\bar{R}^2 = 0.9992$ ，表明模型的拟合程度高。斜率项的 t 检验值均大于 5% 显著性水平下的临界值。 F 统计量值为 4886.650，表明该回归总体线性关系成立。DW 统计量为 1.7595，表明变量间无自相关性。

(3) 小麦市场价 PMA 与小麦种植面积 SQU 的关系，具体结果见表 5.5.4。

表 5.5.4 小麦市场价与小麦种植面积的回归

Dependent Variable: LOG(PMA)		
Method: Least Squares		
Date: 09/19/16 Time: 16:10		
Sample (adjusted): 2001 2014		
Included observations: 14 after adjustments		
Weighting series: 1/ABS(RESID06)		
Weight type: Inverse standard deviation (EViews default scaling)		

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4.158852	1.461004	-2.846572	0.0159
LOG(SQU)	0.555734	0.190014	2.924697	0.0138
LOG(PMA(-1))	0.834918	0.036830	22.66928	0.0000
Weighted Statistics				
R-squared	0.994484	Mean dependent var		0.527941
Adjusted R-squared	0.993482	S.D. dependent var		0.680333
S.E. of regression	0.023135	Akaike info criterion		-4.507530
Sum squared resid	0.005888	Schwarz criterion		-4.370590
Log likelihood	34.55271	Hannan-Quinn criter.		-4.520207
F-statistic	991.6820	Durbin-Watson stat		2.294400
Prob(F-statistic)	0.000000	Weighted mean dep.		0.532632
Unweighted Statistics				
R-squared	0.908636	Mean dependent var		0.438654
Adjusted R-squared	0.892024	S.D. dependent var		0.336058
S.E. of regression	0.110428	Sum squared resid		0.134137
Durbin-Watson stat	2.208040			

最终得到PS模型为：

$$\log(PMA_{t+1}) = -4.1589 + 0.5557 \log(SQU_t) + 0.8349 \log(PMA_t) \quad (5.5.4).$$

$$t \quad (-12.8858) \quad (12.9562) \quad (7.3033)$$

$$\bar{R}^2 = 0.9935 \quad F = 991.6820 \quad D.W. = 2.2499$$

从回归估计的结果看，达到了 $\bar{R}^2 = 0.9935$ ，表明模型的拟合程度高。斜率项的 t 检验值均大于 5% 显著性水平下的临界值。 F 统计量值为 991.6820，表明该回归总体线性关系成立。DW 统计量为 2.2944，表明变量间无自相关性。

5.5.2 多重回归的粮食种植面积调整优化算法

由前面的分析可知，小麦最低收购价 $PMIN$ ，城乡收入差 DIN ，科技水平 TEC ，小麦产量 QAN ，小麦市场价 PMA 共同作用下导致小麦种植面积 SQU 的变化。为了能使小麦种植面值能够达到 5%，我们设计了粮食种植面积调整优化算法，该算法的具体流程见图 5.5.1。

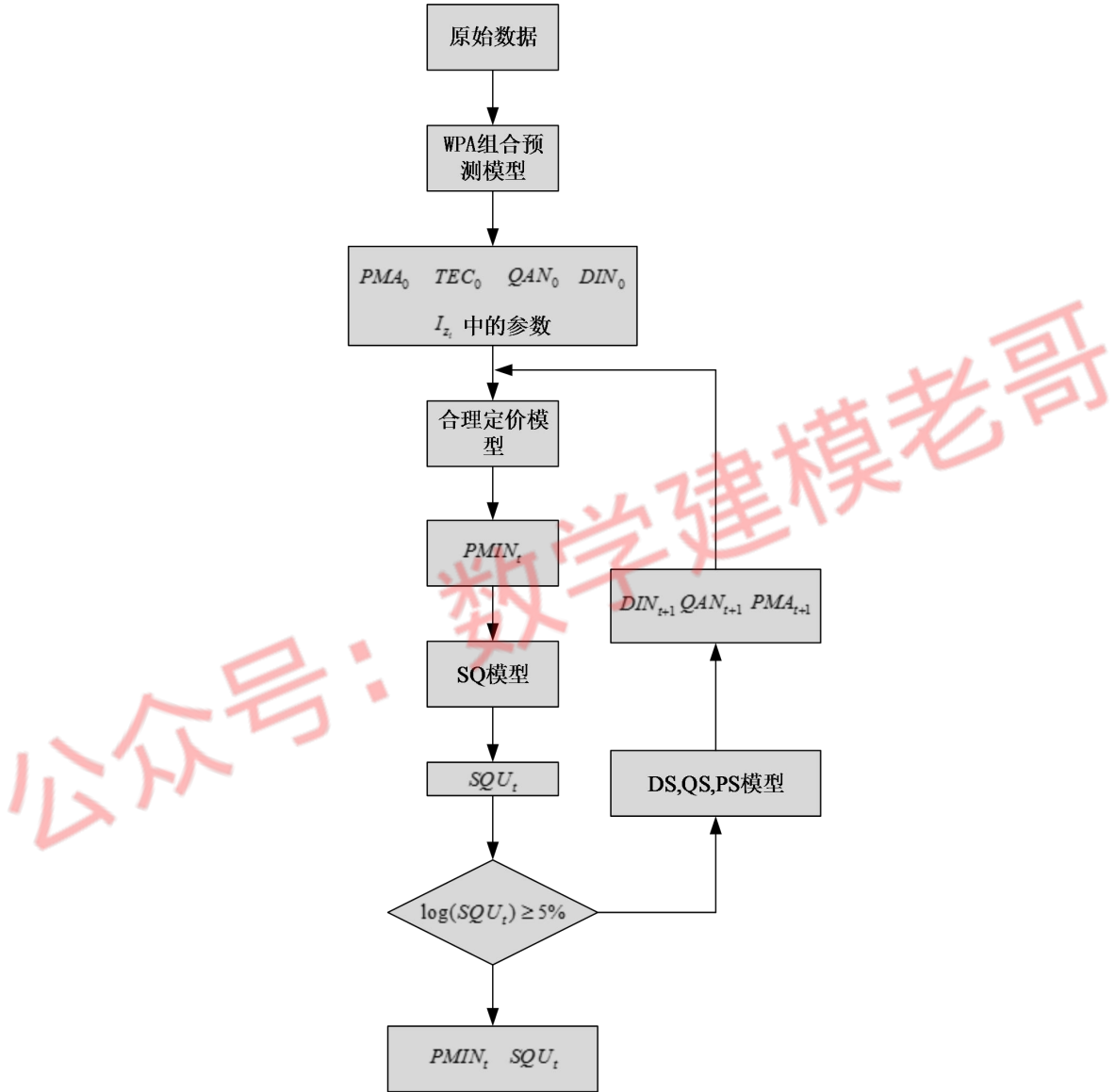


图 5.5.1 算法流程图

5.5.3 模型的求解与分析

基于多重回归的粮食种植面积调整优化算法求解结果如下表 5.5.5 所示。

表 5.5.5 2015 年到 2028 年全国小麦种植面积和小麦最低收购价

年份	全国小麦种植面积(SQU)	小麦最低收购价(PMIN)
2015	24473.54	1.964518

2016	24571.71	2.099647
2017	24670.27	2.24407
2018	24769.23	2.398428
2019	24868.59	2.563403
2020	24968.34	2.739726
2021	25068.49	2.928178
2022	25169.05	3.129592
2023	25270.01	3.34486
2024	25371.37	3.574935
2025	25473.14	3.820836
2026	25575.32	4.083651
2027	25677.91	4.364544
2028	25780.91	4.664758

从表中可以看出,在未来十三年中全国小麦种植面积稳步增长,且增幅不大。期间小麦的最低收购价也呈现缓幅增长。结合图 5.5.2 可以很容易看出,直到 2028 年全国小麦的种植面积的增长率才能突破 5%。这里的增长率是相对 2015 年的全国小麦种植总面积。

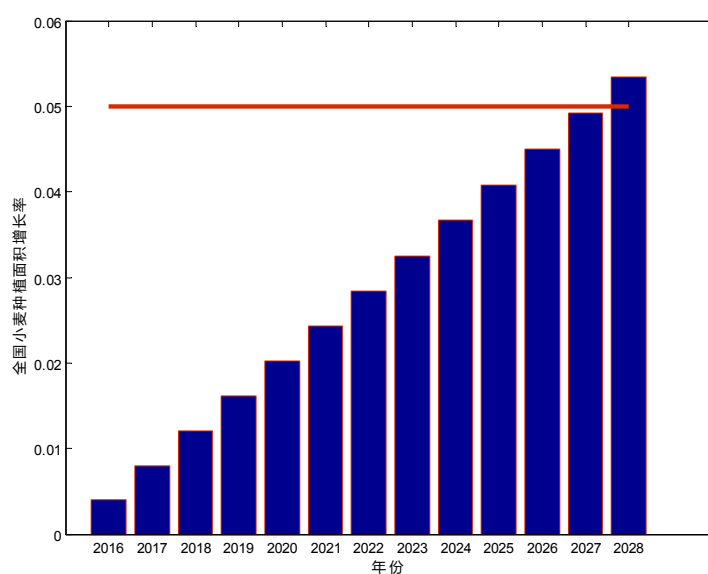


图 5.5.2 未来十三年内全国小麦种植面积增长率

乐观的来讲，从 2017 年开始调整小麦最低收购价，估计到 2028 年能使得全国小麦种植面积增加 5%。

5.6 调控粮食种植的优化决策与建议

基于问题一到五的分析与研究结论，现对我国粮食种植的调控和优化提出以下建议：

(1) 建立动态粮食收购价补贴机制。我国粮食作物的最低收购价格从执行开始的年份到 2008 年前，基本保持不变，直到 2008 年后，粮食收购价格才开始逐年提升。结合问题一的分析可得，2008 年国际粮食市场形势不容乐观，而我国小麦、水稻种植大省的粮食种植面积和产量却能抵住外部市场的冲击，保持一个稳定增长的势头，这与国家及时调整粮食的最低收购价不无关系。同时根据河南省小麦种植面积的变化趋势来看，在被统计的年份里，河南省的小麦产量一直较为稳定，但在小麦最低收购价开始施行的 2006 年，却实现了 3.2% 的小幅增长，且小麦产量与最低收购价的调整表现出一定的相关分析。

我国现行的最低收购价格由国家发改委制定并于每年年初发布，由于调整周期较长，往往不能很好的适应粮食市场的供求关系，因此有必要根据粮食作物的市场行情及时调整最低收购价格，防止谷贱伤农现象的出现。

(2) 扩大最低收购价格涉及的粮食品种。2004 年开始我国对水稻施行最低收购价，2006 年开始我国对小麦施行最低收购价，而对我国其他主要粮食品种，如玉米、大豆等该政策都未涉及到。以大豆为例，相较于已实行最低收购价的水稻和小麦而言，大豆的产量的波动幅度较大，这可能与日益复杂的国内外环境与严峻的经济形势有关。2015 年，黑龙江省大豆的种植面积及产量约占全国的 30%，但大豆种植面积与产量较去年都有不到 3% 左右的降幅。而在同一年份中，面对相同的国际及国内市场粮食市场与宏观经济走势，黑龙江省的水稻种植面积却实现了 5% 的增幅。这与最低收购价格政策的实施可能有一定的关系。因此有必要扩大我国最低收购价格涉及的粮食品种，缓解大豆、玉米等粮食作物产量波动幅度较大的趋势。

(3) 完善粮食最低收购价政策。粮食最低收购价政策的最初目的是通过托市价格来影响市场粮价，然而，在具体的实施过程中，粮食最低收购价所形成的“影子价格”或“目标价格”使得粮价上涨容易下降难，形成一定的价格刚性，制约

了粮食市场价格机制作用的发挥，不利于价格信号有效传导，在一定程度抑制了市场的资源配置的有效配置。以小麦为例，在国家实施最低收购政策之前，小麦价格有升有降，较好的反应了市场的供求关系。但是自 2006 年政府实施小麦最低收购价格之后，小麦价格开始一路攀升。尤其是在 2007 年，即小麦最低收购价格执行的第一年，价格有了一个跳跃式的增长，每百斤上涨 32 元；即使在灾害频发的 2008 年，小麦价格也小幅上涨。这个上升的过程当中，最低收购价扭曲了市场价格，使得国内市场粮食价格和国际市场价格的相去甚远，国际市场粮价远低于国内粮价。粮食最低收购价政策抑制了市场价格机制作用，最终造成了场效率的极大损失。

（4）科学确定粮食储备的规模

确定一个适当的粮食储备规模是粮食储备制度的关键。FAO 认可的安全界限为粮食生产年度末的粮食结转储备量应达到全年社会粮食消费量 16%-18%，即两个月左右的消费量。但考虑到我国的人口众多，粮食生产的坡度频繁剧烈，国内一些学者认为安全储备规模是年消费量的 25%或者 30%。跟据 FAO 的推算，粮食储备的总费用大概需要占到商品价值的 20%与 25%之间即可。可见，我们不是要建设规模庞大的储备，除了要保证粮食安全，更要充分结合我国的具体情况和财政承受能力。

6.灵敏度分析

6.1 影响因子 δ 对最低收购价格的影响

在问题四的模型中，存在参数 δ 的取值范围是 $(0,1]$ ，可以用来表示影响最低收购价格的因素。

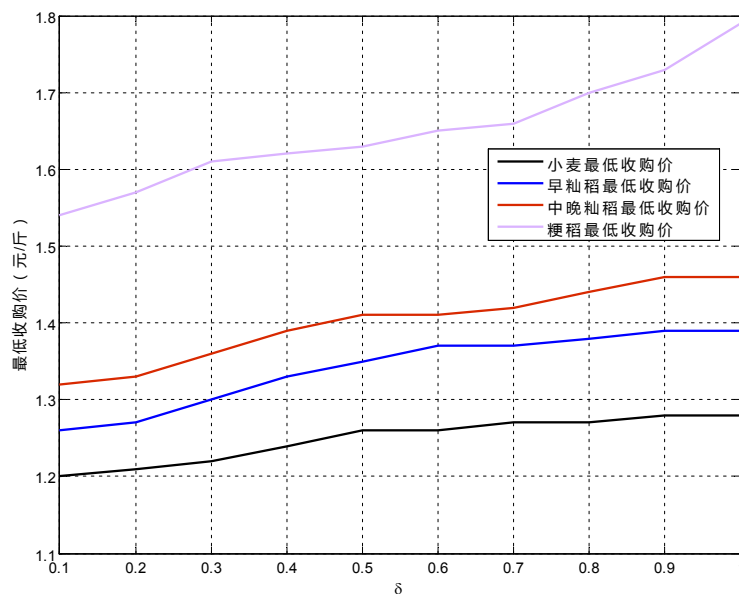


图 6.1 δ 的变动对最低收购价的影响

由图 6.1 可见，最低收购价格随着 δ 的增大而呈现缓慢增长的趋势，其原因是，在我们的设计的模型算法中，存在着控制因素 δ 对最终最低收购价的影响。 δ 通过影响综合指数，进而影响最低收购价，我们发现，曲线的增长幅度不是很大，这说明影响因子 δ 对最终的最低收购价的影响是有限的，同时，粳稻的最低收购价始终排在第一位，这与实际的情况也是相符的。

7. 模型评价与改进

7.1 模型的评价

7.1.1 模型的优点

- (1) 本文建立的多种具有可移植性的优化模型。针对这些优化模型，我们采用了智能算法进行求解，并给出了不同约束条件和不同目标下的合理
- (2) 本文构建的自组织特征映射 (SOM) 聚类分析给出了粮食最低收购价价格的合理性评价标准，并对 2017 年的粮食最低收购价的合理范围进行了评价。
- (3) 启发式搜索算法的使用，有助于提高计算的精度和速度。
- (4) 本文建立了基于多目标规划的我国粮食最低收购价模型，该模型可以推广到国家制定其他相关农业政策当中，该模型具有较强的灵活性和普适性。

7.1.2 模型的缺点

(1) 收集到的数据并不是特别全面, 考虑到全国粮食种类的繁多以及粮食种植区域化等特征, 因此本文建立的模型得到结果会有一定的误差。

(2) 模型的求解过程中会产生大量的随机数, 因而会导致结果具有一定的波动性, 需要多次运行程序以达到更高的精确度。

(3) 本文的模型是建立在前文假设的基础之上, 误差难以避免。

7.2 模型的改进

(1) 从模型角度, 可以通过尝试其他算法模型, 从而寻找最佳模型, 提高程序的运行速度和模型的准确性。

(2) 可以考虑更多的影响因素和评价指标体系, 更全面地分析粮食种植面积的变化, 进一步提高模型的适用性。

参考文献

<http://www.chinagrains.gov.cn/> 国家粮食局

<http://www.zzys.moa.gov.cn/> 中华人民共和国农业部种植业管理司

<http://www.sdpc.gov.cn/> 中华人民共和国国家发展和改革委员会

<http://faostat.fao.org> 世界粮农组织数据库

<http://apps.fas.usda.gov/> 美国农业部数据库

[1] 耿仲钟, 肖海峰. 我国粮食播种面积的动态演变:1985-2013[J]. 华南理工大学学报(社会科学版), 2016, 18(2):9-16.

[2] Akay B, Karaboga D. A modified artificial bee colony algorithm for real-parameter optimization[J]. Information Sciences, 2012, 192: 120-142.

[3] Storn R, Price K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces[J]. Journal of global optimization, 1997, 11(4): 341-359.

[4] Price K, Storn R M, Lampinen J A. Differential evolution: a practical approach to global optimization[M]. Springer Science & Business Media, 2006.

[5] Ladson A R, White L J, et al. Development and testing of an Index of Stream Condition for Water way management in Australia [J]. Freshwater Biology, 1999, (41): 453-468.

- [6] 袁曾任. 人工神经网络及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [7] 朱海燕, 司伟. 中国小麦价格波动影响因素分析[J]. 农业技术经济, 2015, 5: 47-58.
- [8] 张改清. 粮食最低收购价政策下农户储售粮行为响应及其收入效应[J]. 农业经济问题, 2014, 7: 47-58.
- [9] 张建杰. 对粮食最低收购价政策效果的评价[J]. 经济经纬, 2013, 5: 60-65.
- [10] 赵玉, 严武. 市场风险、价格预期与农户种植行为响应——基于粮食主产区的实证[J]. 农业现代化研究, 2016, 37: 50-56.
- [11] 王薇薇, 谢琼, 王雅鹏, 孙凤莲. 粮食收购市场各主体利益协调的经济学分析[J]. 中国农村观察, 2009, 4: 13-19.
- [13] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 华中理工大学出版社, 1986.
- [14] 杨华龙, 刘金霞, 郑斌. 灰色预测 GM(1,1)模型的改进及应用[J]. 数学的实践与认识, 2011, 41: 39-46.
- [15] 樊新海, 苗卿敏, 王华民. 灰色预测 GM(1,1)模型及其改进与应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2003, 17: 21-23.
- [16] 吉培荣, 黄巍松, 胡翔勇. 无偏灰色预测模型[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22: 6-7.
- [17] Goh A T C. Back-propagation neural networks for modeling complex systems[J]. Artificial Intelligence in Engineering, 1995, 9(3): 143-151.
- [18] 周礼刚, 陈华友. 广义信息集成算子及其应用[M]. 科学出版社, 2015.

附件

%ND-GA 算法: 基于正态分布随机策略的遗传算法求解
%本程序运行结果根据真实数据产生, 由于只能算法的随机性, 每次运行的结果会根据迭代次
%和种群次数的不同而有稍微的改变, 但不影响程序最终的结果。
%本次实验的运行环境为: matlab2013a, win7, 3G 内存。
clc % 清屏
clear all; % 删除 workspace 变量
close all; % 关掉显示图形窗口
load('data1.mat')%读取小麦指标数据
% load('data2.mat')读取早籼稻指标数据
% load('data3.mat')读取中晚籼稻指标数据

```

% load('data4.mat')读取粳稻指标数据
popSize = 200;%种群的大小，一般被 4 整除
numIter = 10000;%算法迭代的次数
showProg = 1;%如果满足条件，执行遗传算法的步骤
showResult = 1;%如果满足条件，执行遗传算法的结果
% a = meshgrid(1:N);
gps=xy(JWindex,:);
% dmat = reshape(sqrt(sum((xy(a,:)-xy(a',:)).^2,2)),N,N);
N=length(gps(:,1));%指标数量
n = N-1;
[optRoute,minDist] = ga(gps,dmat2,popSize,numIter,showProg,showResult);
[road] = Insert(optRoute);
plot(xy(road,1),xy(road,2),'-');
hold on
plot(xy(n+1,1),xy(n+1,2),'o');
count=find(road==202);
year=(length(count)-1)/2

function varargout = ga(xy,dmat,popSize,numIter,showProg,showResult)
%本函数整个算法的主体部分，通过 ND-GA 算法计算出全局最优路径。
% Process Inputs and Initialize Defaults
nargs = 6;
for k = nargin:nargs-1
    switch k
        case 0
            xy = 10*rand(50,2);
        case 1
            N = size(xy,1);
            a = meshgrid(1:N);
            dmat = reshape(sqrt(sum((xy(a,:)-xy(a',:)).^2,2)),N,N);%矩阵维数变换
        case 2
            popSize = 100;
        case 3
            numIter = 1e6;
        case 4
            showProg = 1;
        case 5
            showResult = 1;
        otherwise
    end
end
% Verify Inputs
[N,dims] = size(xy);
[nr,nc] = size(dmat);

```

```

% if N ~= nr || N ~= nc
%     error('Invalid XY or DMAT inputs!')
% end
n = N-1;
% Sanity Checks
popSize = 4*ceil(popSize/4);
numIter = max(1,round(real(numIter(1))));
showProg = logical(showProg(1));
showResult = logical(showResult(1));

% Initialize the Population 初始化种群
pop = zeros(popSize,n);
pop(1,:) = (1:n);
for k = 2:popSize
    pop(k,:) = randperm(n);
end
% Run the GA
globalMin = Inf;
totalDist = zeros(1,popSize);
distHistory = zeros(1,numIter);
tmpPop = zeros(4,n);
newPop = zeros(popSize,n);
if showProg
    pfig = figure('Name','TSP_GA | Current Best Solution','Numbertitle','off');
end
for iter = 1:numIter %迭代次数
    % Evaluate Each Population Member (Calculate Total Distance)
    for p = 1:popSize
        % d = dmat(pop(p,n),pop(p,1)); % Closed Path 选择算子
        % for k = 2:n
        %     d = d + dmat(pop(p,k-1),pop(p,k)); %交叉算子、变异算子
        % end
        totalDist(p) = Evaluate(pop(p,:)); % 计算适应度
    end
    %找到最小和最大适应度的染色体及它们在种群中的位置
    % Find the Best Route in the Population
    [minDist,index] = min(totalDist);
    distHistory(iter) = minDist;
    % 代替上一次进化中最好的染色体
    if minDist < globalMin
        globalMin = minDist;
        optRoute = pop(index,:);
        if showProg
            % Plot the Best Route

```

```

figure(pfig);
rte = optRoute([1:n 1]);
if dims > 2,
    plot3(xy(rte,1),xy(rte,2),xy(rte,3),'r.-');
else
    plot(xy(rte,1),xy(rte,2),'r.-');
end
title(sprintf('Total Distance = %1.4f, Iteration = %d',minDist,iter));
end
end
% Genetic Algorithm Operators
randomOrder = randperm(popSize);
for p = 4:4:popSize
    rtes = pop(randomOrder(p-3:p),:);
    dists = totalDist(randomOrder(p-3:p));
    [ignore,idx] = min(dists); %#ok
    bestOf4Route = rtes(idx,:);
    routeInsertionPoints = sort(ceil(n*rand(1,2)));
    I = routeInsertionPoints(1);
    J = routeInsertionPoints(2);
    for k = 1:4 % Mutate the Best to get Three New Routes
        tmpPop(k,:) = bestOf4Route;
        switch k
            case 2 % Flip
                tmpPop(k,I:J) = tmpPop(k,J:-1:I);
            case 3 % Swap
                tmpPop(k,[I J]) = tmpPop(k,[J I]);
            case 4 % Slide
                tmpPop(k,I:J) = tmpPop(k,[I+1:J I]);
            otherwise % Do Nothing
        end
    end
    newPop(p-3:p,:) = tmpPop;
end
pop = newPop;
end

```