

2020年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

目 录 以家庭为单位的小规模多品种绿色农畜产品经营开发

摘 要

本文首先分析了不同地区种植农产品的产量及相关数据，得到其变化趋势并建立农产品预期的人力成本和价格模型；其次，对土地资源充足和缺乏的地区提供合理种植方式，保证土地资源的充分利用及水资源合理使用；最后，在农业基础上考虑多种产业间的合理配合，提供更为合理的种植与养殖计划以及多家庭合作计划。

针对问题一，通过中国农村统计年鉴以及查阅文献搜集了辽宁、山东、河北省种植玉米、小麦、苹果等农作物的产量、价格、人力成本的相关时间序列数据。首先，根据价格与产量随时间变化的数据绘制图像并分析得出三个省份所耕种的不同农作物随着时间的增长其产量及价格都呈现上升的趋势；其次，利用线性拟合的方法建立了的人工成本与价格之间的数学模型并利用最小二乘法对数学模型进行求解；最后，通过建模方程可知辽宁省种植玉米以及山东省种植苹果的收入在未来的一段时间内仍可以保持持续升高的收入，而河北省种植小麦的收入将有略微的下降。

针对问题二，所提出的为具有充足土地资源的农民们提供合理的大规模农产品种植计划，使得所提出的计划既能够保障农民们的稳定收入，同时也能最大限度的保证土地资源的循环利用的问题。在具有充足土地资源的条件下，对农产品生产计划决策问题建立网络模型，并进行了算例分析

针对问题三，根据土地生产特性构建农产品生产计划的数学模型，由于数学模型变量（农产品）在选择与生产上具有时间特性，故而引入网络分析法，将数学模型转化为网络计划图的多方案评价问题，运用动态规划逆解法对整合优化后的网络图进行对比，从而制定农产品最优生产计。并进行了算例分析。

针对问题四，我们在农业基础之上同时考虑养殖经营，采用根关联流率基本入树建模法，建立系统反馈分析模型。生成可循环的农畜经营图，采用极小模反馈传递分析法，给出反馈环开发管理对策，提出规模养种一体的种植与养殖循环农业发展计划。

针对问题五，我们构建了针对农户的成本收益函数的数学模型，定性的分析农户饲养规模对其成本收益的影响，在此基础上，定量求解二次型规划，同时采用数值模拟得出最优养殖计划结论：农户规模在其能力范围内，规模越大越容易获得与企业合作机会，饲养品质越好，抗风险能力越高，我们大致估算出几个农户投入的资产等于企业外部投入资产与农户饲养边界变动成本的一半。

关键词 线性拟合法;时间柔性;网络模型;极小模反馈传递分析法;成本收益函数

目 录

| | |
|---------------------------------------|------|
| 一、问题重述 | (1) |
| 二、问题分析 | (1) |
| 2.1 问题 1 的分析 | (2) |
| 2.2 问题 2 的分析 | (2) |
| 2.3 问题 3 的分析 | (2) |
| 2.3 问题 4 的分析 | (2) |
| 2.3 问题 5 的分析 | (2) |
| 三、模型假设 | (3) |
| 四、定义与符号说明 | (3) |
| 五、模型的建立与求解 | (4) |
| 5.1 问题一：模型的建立与求解 | (4) |
| 5.1.1 数据的预处理 | (4) |
| 5.1.2 农产品人力成本及收入模型的求解 | (6) |
| 5.1.3 结果分析 | (7) |
| | |
| 5.2 问题二：模型的建立与求解 | (8) |
| 5.2.1 大规模农产品时间柔性种植计划模型的建立 | (8) |
| 5.2.2 基于时空约束的大规模农产品时间柔性生产网络模型 | (8) |
| 5.2.3 算例分析 | (10) |
| | |
| 5.3 问题三：模型的建立与求解 | (10) |
| 5.3.1 基于时空约束的中小规模农产品生产计划动态优化模型 的建立 | (10) |
| 5.3.2 算例分析 | (12) |
| | |
| 5.4 问题四：模型的建立与求解 | (14) |
| 5.4.1 种养结合循环农业数据的预处理 | (14) |
| 5.4.2 种养结合循环农业模型的建立 | (15) |

| | |
|-----------------------|------|
| 5.4.3 系统反馈环开发管理对策结果分析 | (17) |
| | |
| 5.5 问题五：模型的建立与求解 | (17) |
| 5.5.1 最优养殖计划数据的预处理 | (17) |
| 5.5.2 最优养殖计划模型的建立 | (18) |
| 5.5.3 最优养殖计划结果分析 | (20) |
| 六、模型的评价及优化 | (22) |
| 6.1 误差分析 | (22) |
| 6.2 模型的优点 | (23) |
| 6.3 模型的缺点 | (23) |
| 6.4 模型推广 | (23) |
| 参考文献 | (25) |
| 附录 | (26) |

一、问题重述

随着疫情全球化的趋势进一步的扩大，居民对于农畜产品的需求量也日益增加。为了应对疫情的传播，全国上下万众一心共同抗击疫情，居家隔离、延长假期、封闭道路、物流停运，这些无疑是抗击疫情最为有效的措施，但对于传统种植业来说，却拉开了一场艰辛的战役。如今春耕在即，如何保证瓜果蔬菜的及时育苗播种、分苗、定植和农活处理成为种植农民最关心的问题。为此，国家所提倡的以家庭为单位或小规模的个性化种植与养殖计划有望成为解决这一问题的重要措施，但针对这种新型的生产模式还存在着许多问题，其具体问题包括：

问题 1：请您通过网络平台搜集适合不同地区种植的农产品（包括粮食、蔬菜及水果等）产量及价格相关时间序列数据，并对不同农产品预期的人力成本及收入展开相关分析讨论；

问题 2：请为具有充足土地资源的农民们提供合理的大规模农产品种植计划，这一计划不仅能够保障农民们的稳定收入，同时也能最大限度的保证土地资源的循环利用；

问题 3：针对缺乏土地资源的农民们提供合理的小规模种植计划，这一计划能够兼顾农民基本收入的同时尽量减少水资源的过度使用；

问题 4：如果在农业基础之上同时考虑牧业与渔业相关经营，您能否提出更为合理的种植与养殖计划；

问题 5：一个家庭经营多种农畜产品往往消耗过多的人力成本，您能否提供一个几个家庭合作后的最优养殖计划。

二、问题分析

2.1 问题 1 的分析

对于问题一：主要在于收集不同地区种植农产品的产量，价格，人力成本等方面的数据，并且在此基础上要建立人力成本及收入之间相关性的数学模型。首先，题中未给定地区以及种植农产品的名称，因此需要通过查阅文献以及相关统计网站对不同地区种植农产品的产量，价格，人力成本等数据进行搜索；其次，需要根据搜集来的数据，做出相关折线图或散点图，对不同数据之间的关系进行分析，得出不同变量之间的相关性或变化趋势；最后，应选择合适的数学建模方法对人力成本及收入之间相关性进行建模，

通过对数学模型的求解以得出题目所要求的答案。

2.2 问题 2 的分析

对于问题二：首先根据农产品生产的时空特性和农产品生产时间柔性引入网络流规划构建网络模型；通过网络流量平衡分析，推导网络模型应满足的约束条件，结合各农产品的定量化控制，对大规模农产品生产网络模型进行线性优化；再进一步考虑农产品生产率的影响因素，构建非线性约束和目标函数对线性模型进行扩展；最后通过具体实例诠释大规模农产品生产计划拟订过程。结果表明，土地满负荷生产农产品将打破市场的供需平衡，容易造成“丰产不丰收”现象；利用本文模型制定农产品生产计划，虽土地有闲置，但在土地闲置期间，土地肥力能得到恢复，各种有机质能得到再生，有利于为农产品持续生产提供良好的生产条件和环境，有利于提高农产品的质量和产量，增加经济效益。

2.3 问题 3 的分析

对于问题三：针对缺乏土地资源的农民们提供合理的小规模种植计划，满足农民基本收入的同时尽量减少水资源的过度使用，对于有跨越年度的农产品生产网络已经没有跨年度的生产网络应用线性规划解决现实问题遵循抽象现实问题—建立模型—求解模型—分析结果的步骤。抽象现实问题是线性规划模型建立的关键，主要内容是把现实问题抽象为线性方程和线性函数；并转变为线性规划问题，从而能借助数学方法求解。本文凭借大规模农产品生产网络抽象现实问题，并演绎大规模农产品生产的目标函数和约束条件，满足线性规划求解的条件。

2.4 问题 4 的分析

对于问题四：问题 4 参考查阅相关文献，针对农业和牧业养殖业的特点，分析当下生产过程中的问题提出采用根关联流率基本入树建模法，建立系统反馈分析模型。生成可循环的农畜经营图，采用极小模反馈传递分析法，给出反馈环开发管理对策，提供规模养种一体的循环农业发展计划。

2.5 问题 5 的分析

对于问题五：问题 5 针对一个家庭经营多种农畜产品往往消耗过多的人力成本的现实问题，同时现阶段家庭养殖小而分散、抗风险能力低下的特点，我们构建了针对农户的成本收益函数的数学模型，定性的分析农户饲养规模对其成本收益的影响，在此基础

上，定量求解二次型规划，目的是为提供一个几个家庭合作后的最优养殖计划，改变目前一个家庭经营多种农畜带来的小、弱、散的面貌。

三、模型假设

假设 1：本文中所提供的数据真实可靠。

假设 2：对于人力成本与及每亩土地产出的价格之间的相关性不与其他外界因素（如天气，水分，作物成活率等方面）有关。

假设 3：对于人力成本与及每亩土地产出的价格之间的相关性不与其他外界因素有关

假设 4：针对问题二与问题三的土地资源规模，有足够多的劳动力去完成农产品种植任务。

假设 5：针对问题二与问题三，假设所种植的农产品都具有相对稳定的市场环境

四、定义与符号说明

| | |
|----------|----------------|
| 农产品生产周期 | T |
| 生产面积 | X_j |
| 适宜的农产品 | C_j |
| 适宜的农产品 | D |
| 时间点 | r |
| 养殖业利润 | $L1(t)$ (万元) |
| 日均存栏 | $L2(t)$ (头) |
| 年猪粪尿量 | $L3(t)$ (t) |
| 企业年利润 | $L4(t)$ (万元) |
| 年产沼液量 | $L5(t)$ (t) |
| 年产沼肥量 | $L6(t)$ (t) |
| 年产沼气量 | $L7(t)$ (3m) |
| 种植业利润 | $L8(t)$ (万元) |
| 沼肥种植规模 | $L9(t)$ (2hm) |
| 养殖业利润改变量 | $R1(t)$ (万元/年) |

| | |
|------------|------------------|
| 日均存栏变化量 | $R2(t)$ (头/年) |
| 年猪粪尿改变量 | $R3(t)$ (t/年) |
| 企业年利润改变量 | $R4(t)$ (万元/年) |
| 年产沼液改变量 | $R5(t)$ (t/年) |
| 年产沼肥改变量 | $R6(t)$ (t/年) |
| 年产沼气改变量 | $R7(t)$ (t/年) |
| 种植业利润改变量 | $R8(t)$ ((万元)/年) |
| 沼肥种植规模改变量 | $R9(t)$ (2hm /年) |
| 市场需求 | D |
| 最终产品价格 | P |
| 合作农户数 | m |
| 农户饲养生猪的品质 | q |
| 农户与企业的转移支付 | w |
| 农户与企业的合作周期 | n |
| 贴现率 | δ |
| 每头猪的可变成本 | C_s |
| 固定投资系数 | k_s |
| 契约执行成本 | T_s |
| 质量成本系数 | k_q |

五、模型的建立与求解

5.1 问题一：模型的建立与求解：

5.1.1 数据的预处理：

我们搜集了辽宁省、河北省、山东省三个省份不同农产品的产量及价格相关的数据，经过整理所得的数据如附录中表 5-1-1、5-1-2、5-1-3 所示。

表 5-1-1、5-1-2、5-1-3 分别给出了不同地区种植农产品的产量及价格相关的时间数据。其中，农作物每亩的价格包含了在生产过程中劳动力，所投入的资金总量，以及该

地区种植农作物所需的土地成本。表 5-1-1、5-1-2、5-1-3 中以每亩物质与服务费用、每亩人工成本和每亩土地成本的形式给出数据，通过分析这些数据可以决定农户种植该农作物的收入利益成本，另一方面也是导致农户是否会选择种植这种农作物的重要原因。为了更加清楚的分析不同农作物时间、产量、价格之间的关系，图 5-1-1 给出了不同时间下产量与价格之间的变化曲线。

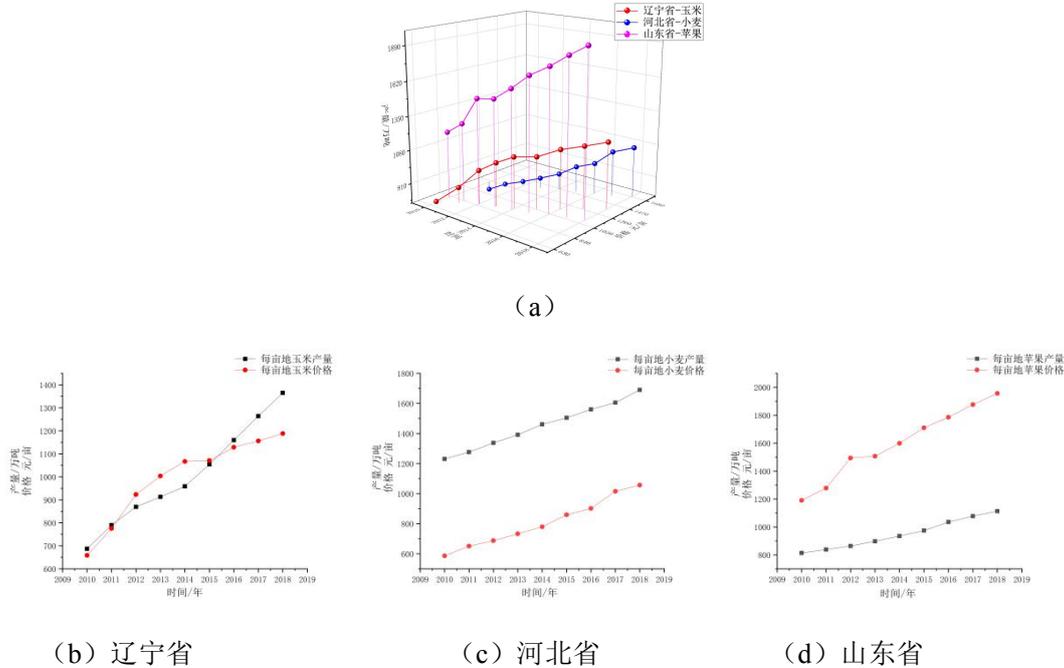


图 5-1-1 不同地区农作物产量与价格随时间变化曲线

图 5-1-1 (a) 综合时间、产量、价格三方面因素给出了三者之间的总体变化三维折线图。其中，三个不同省份所耕种的农作物其产量及价格随时间的增长基本呈现上升趋势，但在不同年限内农作物的产量和价值上升幅度略有不同。

图 5-1-1 (b)、(c)、(d) 将时间与各地区农作物的产量和价格关系变得更为清楚。从不同省份种植农作物的产量及生产价格走势来看，其总体上都是保持增长的趋势。但价格随时间变动的情况要比产量随时间变动的情况表现的更为复杂，曲线变化较大。产生这种现象的原因是价格的高低除了与单位面积成本有关，还受到单位面积产量的影响，根据农业生产的特点，自然条件（如气候、光热、降水、土壤等）对农业生产的影响效果十分显著，在不同年份之间相同农产品的产量有可能出现较大波动，因此也就造成了价格在不同年间变化情况的多样性和复杂性。

5.1.1 农产品人力成本及价格之间关系模型的建立

由表 5-1-1、5-1-2、5-1-3 中价格变化可知，不同农产品每亩地的人工成本在

2010-2018 年间涨幅最高，对价格的影响最大。因此，对于人工成本以及价格之间的关系还需要进一步的分析。

由于本文只对人工成本与价格进行分析，因此结合上述表 5-1-1、5-1-2、5-1-3 中数据，可以选择曲线拟合的方法分析人工成本与价格的关系，在大多数的工程实践中，我们将已知的数据近似的拟合成一个经验公式，用以分析和预期反映变量之间的关系，称为回归分析^[1-2]。

当所拟合的经验公式为线性函数时，如：

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_nx_n = a_0 + \sum_{j=1}^n a_jx_j \quad (5-1-1)$$

则称回归方程为线性回归方程。通过最小二乘法即可推定上述回归方程系数 a_0 , $a_1 \cdots \cdots a_n$ ，其方程组为：

$$\begin{aligned} ma_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_{i1} + a_2 \sum_{i=1}^m x_{i2} + \cdots + a_n \sum_{i=1}^m x_{in} &= \sum_{i=1}^m y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^m x_{i1} + a_1 \sum_{i=1}^m x_{i1}^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_{i2}x_{i1} + \cdots + a_n \sum_{i=1}^m x_{in}x_{i1} &= \sum_{i=1}^m y_i x_{i1} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ a_0 \sum_{i=1}^m x_{in} + a_1 \sum_{i=1}^m x_{i1}x_{in} + a_2 \sum_{i=1}^m x_{i2}x_{in} + \cdots + a_n \sum_{i=1}^m x_{in}^2 &= \sum_{i=1}^m y_i x_{in} \end{aligned} \quad (5-1-2)$$

其中： m 为观测的次数

上述分析适用于非线性的多项式的回归分析，只需将 x_1 变为 x ， x_2 变为 $x^2 \cdots \cdots x_n$ 变为 x^n 。

通过观察表中数据之间的关系，以及大致画出的散点图可知曲线的整体拟合应更适用于非线性，因此，通过对公式 2 进行求解即可得到所需公式 1 的非线性回归方程系数 $a_0, a_1, a_2 \cdots \cdots a_n$ 。

5.1.2 农产品人力成本及收入模型的求解

根据上述已建立的价格与人工成本间的方程，以及表 5-1-1、5-1-2、5-1-3 中已知数据，利用 MATLAB 软件进行仿真（源程序见附录中程序一）得到了拟合曲线的非线性拟合曲线及经验公式如图 5-1-2 所示。

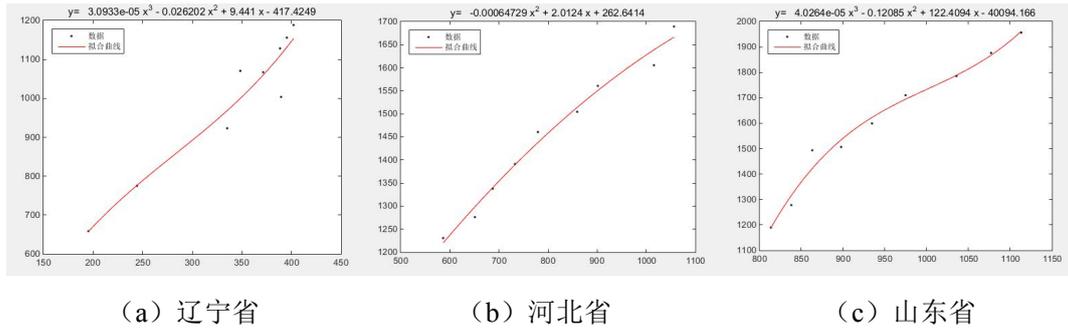


图 5-1-2 价格与人工成本间的非线性拟合曲线

求得曲线 A 的经验公式为： $y = 3.0933 \times 10^{-5} x^3 + 0.00026202 x^2 + 9.441 x - 417.4249$

求得曲线 B 的经验公式为： $y = -0.00064729 x^2 + 2.0124 x + 262.6414$

求得曲线 C 的经验公式为： $y = 4.0264 \times 10^{-5} x^3 + 0.12085 x^2 + 122.4094 x - 40094.166$

为验证模型建立的可靠性，利用 MATLAB 软件（源程序见附录中程序二）采用线性拟合的方法分析得出曲线如图 5-1-3 所示：

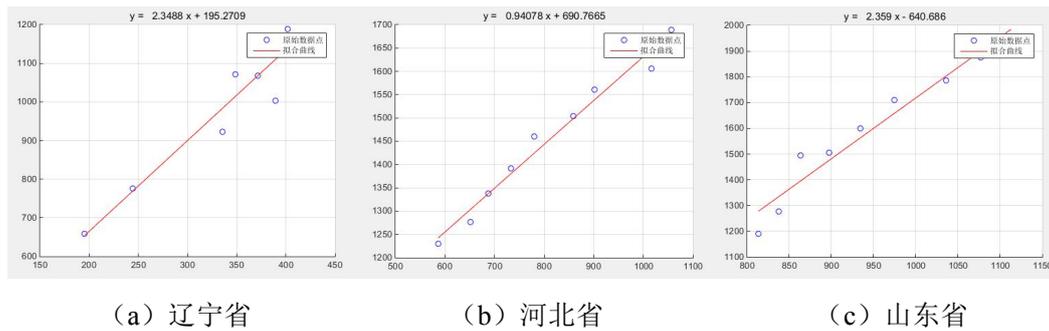


图 1-3 价格与人工成本间的线性拟合曲线

求得曲线 A 的经验公式为： $y = 2.3488 x + 195.2709$

求得曲线 B 的经验公式为： $y = 0.94078 x + 690.7665$

求得曲线 C 的经验公式为： $y = 2.359 x - 640.686$

通过对比图 5-1-2、5-1-3 可知非线性拟合曲线更加贴合所给出的数据，因此应该选非线性拟合曲线作为建模过程的拟合曲线。

5.1.3 结果分析

通过对 5.1.2 小节中所建立模型的求解可知，随着人工成本的增加，辽宁省种植玉米以及山东省种植苹果的价格将呈现一个增长的趋势，该趋势表明农产品逐年增长的价值利润将高于人工成本的增长，在未来的一段时间内仍可以保持持续升高的收入；而河北省种植小麦逐年增长的利润将低于人工成本的增长，农产品总体价值较往年有所升

高，但是在未来的一段时间内的净收入将有略微的下降。

5.2 问题二：模型的建立与求解：

5.2.1 大规模农产品时间柔性种植计划模型的建立

为具有充足土地资源的农民们提供合理的大规模农产品种植计划，使得这一计划不仅能够保障农民们的稳定收入，同时也能最大限度的保证土地资源的循环利用，我们首先需要对于有较大土地资源生产的农产品 C_j ($j=1, \dots, n$) 在农产品生产周期 T 内进行适当的种植安排^[3-5]。因此，各种农产品生产时段存在交叉关系，应当选择适宜的农产品 C_j 和确定生产面积 X_j 以使生产周期内的土地既能保障农民们的稳定收入，也能最大限度的保证土地资源的循环利用。

需要进行大规模生产计划的农产品是可以在需要进行种植的地域进行良好种植的农产品，并且根据国家农产品数据库明确了各种农产品的平均亩产量，作为本次建模的常量。生产率、发芽时间、收成时间、生产面积之间存在的函数关系，视作变量，分别进行模型讨论。假设所种植的农产品都具有相对稳定的市场环境。土地可以具有不同的生产模式进行运营，农产品可以采取大棚种植，露天种植等多种种植模式。可以在不同的时间开始以及结束种植，顾名思义称作柔性。结合农产品 C_j 生产的时间柔性特征， $C_{i \cdot j \cdot k}$ 表示在 i 时期开始生产并在 k 时期结束收获的农产品 C_j ，其单位面积净利润为 $\pi_{i \cdot j \cdot k}$ ，单位为 元 / 亩。其生产面积为 $x_{i \cdot j \cdot k}$ ， $x_{i \cdot j \cdot k}$ 满足： $q_j = i, \sum \in I_{j \cdot k}, \sum \in K_{i \cdot j}, x_{i \cdot j \cdot k}$ 。农产品 $C_{i \cdot j \cdot k}$ 是经过在多种数据对比下的最佳选择品种。例如玉米东为 123、印其 962、天 343、红旗 286 等品种。在制定大规模的生产计划时，决定需求玉米与否，并不拘泥于某个品牌，因玉米与具体的适宜土地 D 生产的最优品种对应；农产品 $C_{i \cdot j \cdot k}$ 的生产开始时期 $t_{i \cdot j \cdot k}$ ($t_{i \cdot j \cdot k} = i$) 和收获结束时期 $t_{e \cdot i \cdot j \cdot k}$ ($t_{e \cdot i \cdot j \cdot k} = k$)，农产品生产时间为 $t_{i \cdot j \cdot k}$ ，当 $t_{s \cdot i \cdot j \cdot k} < t_{e \cdot i \cdot j \cdot k}$ 时，即 $i < k$ ， $t_{i \cdot j \cdot k} + t_{e \cdot i \cdot j \cdot k} - t_{s \cdot i \cdot j \cdot k} + 1 = k - i + 1$ 。

5.2.2 基于时空约束的大规模农产品时间柔性生产网络模型

基于时空约束的大规模农产品时间柔性生产网络的目标函数基于时空约束的大规模农产品生产计划是在既定的土地资源上科学、合理地进行农产品生产空间分布、时间序列安排，以使总净利润最大，用等式表示为：

$$Z = \max \sum_j^n \sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_j} x_{i \cdot j \cdot k} \pi_{i \cdot j \cdot k} \quad (5-2-1)$$

$i \in I_{j \cdot k}, \sum \in K_{i \cdot j}, X_{i \cdot j \cdot k}, \pi_{i \cdot j \cdot k}$ 表示计划生产农产品的净利润； $\sum_{i \in I_{j \cdot k}} \sum_{k \in K_{i \cdot j}}$

$\sum_{i,j} x_{i,j,k} \pi_{i,j,k}$ 表示总的净利润。

基于时空约束的大规模农产品时间判断农产品 $C_{i,j,k}$ 在某时间点 r 是否开始生产，当 $as_{i,j,k}=1$ ，表示农产品在 $r+1$ 月生产；当 $as_{i,j,k}=0$ ，表示农产品 $C_{i,j,k}$ 在 $r+1$ 月不生产。 $ae_{i,j,k}$ 表示判断农产品 r 是否结束收获。比较 $r+1$ 与某农产品 $C_{i,j,k}$ 的生产开始时间并赋值比较结束时间关系。 $ts_{i,j,k} \leq te_{i,j,k}$ 的时候，农产品 $C_{i,j,k}$ 种植收获在同一年，是否开始种植收获的决策参考值为：

$$as_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & r+1=i \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5-2-2)$$

$$ae_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & r=k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5-2-3)$$

$as_{i,j,k}=1$ 如果农产品生产的开始时间与时间点 r 表示的开始时间相同，否则不存在输出流描述开始生产。 $ae_{i,j,k}=1$ 表示如果农产品 $C_{i,j,k}$ 生产的结束时间与某时间点相同，在网络模型存在输入产品收获，释放土地。当 $ts_{i,j,k} > te_{i,j,k}$ 时，在时间点 r ，农产品 $C_{i,j,k}$ 是否种植收获的决策参考值为：

$$as_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & r+1=i \\ 1, & r=0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5-2-4)$$

$$ae_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & r=i \\ 1, & r=12 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5-2-5)$$

5-2-4 式中： $as_{i,j,k}=1$ 表示农产品 $C_{i,j,k}$ 生产没有跨越年度前开始时间与 $r+1$ 相同； $as_{i,j,k}=1, r=0$ 表示农产品 $C_{i,j,k}$ 生产跨越年度时，农产品继续生产。 $ae_{i,j,k}=1$ 表示农产品 $C_{i,j,k}$ 生产的结束时间与时间点 r 相同， $ae_{i,j,k}=1, r=2$ 表示在模型中存在农产品在年度内生产暂时结束；土地流量平衡：记 $r=0$ ，等式为

$$\sum_j \sum_{k \in K1_j} as_{1,j,k} x_{1,j,k} + x_1 = d \quad (5-2-6)$$

A 点的土地流量平衡：记 $r=1$ ，即 1 月生产结束的农产品释放的土地量与 1 月闲置土地量总和等于 2 月开始生产的农产品分配的土地量和 2 月闲置土地量总和，等式为

$$\sum_{k \in K1_j} as_{2,j,k} x_{2,j,k} + x_2 = \sum_j \sum_{k \in K1_j} as_{1,j,k} x_{1,j,k} + x_1 \quad (5-2-7)$$

B 点的土地流量平衡：记 $r=2$ ，即 2 月生产结束的农产品释放的土地量与 2 月闲置土地量总和等于 2 月开始生产的农产品分配的土地量和 3 月闲置土地量总和，等式为

$$\sum_j^n \sum_{k \in K3_j} as_{3,j,k} x_{3,j,k} + x_3 = \sum_j^n \sum_{i \in K1_j} ae_{i,j,2} x_{i,j,2} + x_2 \quad (5-2-8)$$

C、D、E、F、G、H、I、J、K 点的土地流量平衡：记 $r=3,4,5$ ，即 r 月生产结束的农产品释放的土地量与 i 月闲置土地量总和等于 $r+1$ 月开始生产的农产品分配的土地量和 $r+1$ 月闲置土地量总和，经整理得：

$$\sum_{i=1}^{r+1} \sum_{j=1}^n \sum_{k \in K_{ij}} as_{i,j,k} x_{i,j,k} - \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n \sum_{k \in K3_j} ae_{i,j,k} x_{i,j,k} + x_{r+1} = d \quad (5-2-9)$$

T 点的土地流量平衡： $r=12$ ，即表示 12 月的结束，农产品释放的土地量和闲置土地量总和等于土地总面值，等式为

$$x_{12} + \sum_{j=1}^n \sum_{i \in I1_j} ae_{i,j,12} x_{i,j,12} = d \quad (5-2-10)$$

5.2.3 算例分析

本文以辽宁省 A 地作为大规模生产种植的算例进行分析建模。以辽宁省种植成本以及种植的净利润为基础，根据 A 地的实际情况确定种植时间（具体建模参数见附录中表 5-2-1）既保证农民生产收入又保证土地资源的合理利用得到大规模农产品种植计划（分析所得的具体种植计划安排见附录中表 5-2-2）。

5.3 问题三：模型的建立与求解：

5.3.1 基于时空约束的中小规模农产品生产计划动态优化模型的建立

针对缺乏土地资源的农民们提供合理的小规模种植计划，这一计划能够兼顾农民基本收入的同时尽量减少水资源的过度使用；问题转化为在生产时间允许范围内农产品是否生产，由此引入 0 到 1 的变量 y_{ij} ，表示农产品 C_j 在时期 i 是否进行生产。令 $y_{ij} = 1$ 表示 i 时期农产品 C_j 生产 $y_{ij} = 0$ 表示 i 时期农产品 C_j 不生产

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 时期农产品 } C_j \text{ 生产} \\ 0, & i \text{ 时期农产品 } C_j \text{ 不生产} \end{cases} \quad (5-3-1)$$

如果 $y_{ij} = 1$ ， $y_{i+1j} = 1$ ， $ts_j \leq i \leq te_j$ 。如果 $y_{ij} = 0$ ， $y_{i+1j} = 0$ ， $ts_j \leq i \leq te_j$ 。小规模种植只要在种

植时间开始生产就拥有在其生产时段内占有土地资源权利。在适宜的时间没有生产，就释放土地资源。小规模种植农产品生产计划的主要现周期 T 内的利润最大化，并且生产时间不能存在冲突，能够兼顾农民基本收入的同时尽量减少水资源的过度使用。根据模型假设、约束条件、目标，建立如下数学模型：

$$\max z = \sum_{j=1}^n d \times y_{ij} \times \pi_j \tag{5-3-2}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n y_{ij} \leq 1, i=1, \dots, T; j=1, 2, \dots, n \\ y_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, i=1, \dots, T; j=1, 2, \dots, n \\ \prod_{t=i}^{t_j} t_{ij}, i=1, \dots, T; j=1, 2, \dots, n \end{cases} \tag{5-3-3}$$

公式 (5-3-2) 是目标函数，求解满足约束条件的农产品生产计划的利润最大值。公式 (5-3-3) 表示农产品在时期 i 生产，其他农产品就不能生产，同一时期只能有一种产品生产，是时间约束条件。此数学模型是典型的 0-1 型整数规划，有 n 种农产品，解此数学模型需要进行 n² 运算。故引入按时间划分阶段进行动态规划对模型进行计算得出合理的种植计划。

利用计划网络多个生产周期的生产顺序，B_i 表示第 i 月结束，第 i+1 月的开始；虚线 B_m...B_n (m < n; m = 1, 2, ...12; n = 1, 2...12) 表示在第 m 月完成收获到第 n+1 月生产的农产品 C_k 之间虚拟生产，农产品 C_j 完成收获等待生产农产品过程。虚拟农产品应满足条件见图 5-3-1，基于时间的农产品生产计划网络。

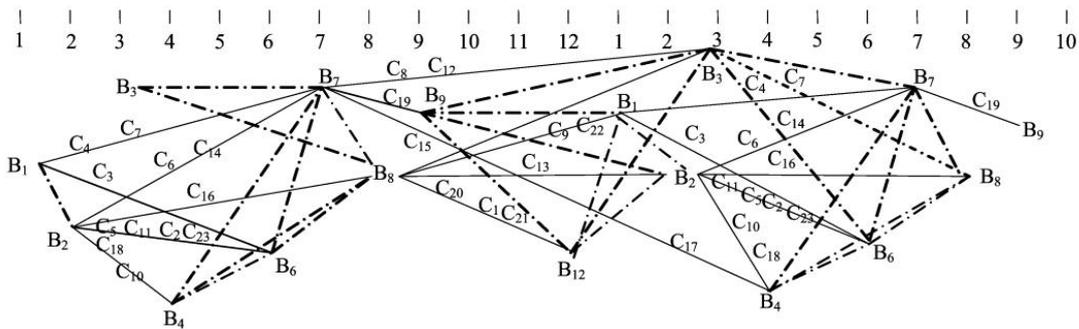


图 5-3-1 基于时间的农产品生产计划网络

虚拟农产品生产时段内不能生产其他任何农产品，如果存在，任意宜生产的农产品集合不满足 $t_{ej}+1 \leq t_{si} \leq t_{sk}-1$ 。实线 B_m-B_n (m = 1, 2...12; n = 1, 2...12) 表示在第 m+1 月开始种植，在第 n 月完成收获。实线符号表示适合种植生产计划与标准网络存

在较大差异。图 5-3-1 农产品生产计划网络，是一个无限循环的过程，相邻各个阶段不是递进的。较难应用标准动态方法。本研究 1 月开始，12 月结束，对小规模农产品多生产周期网络进行建模。假定跨越年度的农产品，如附录中表 6 所示，C8 的生产时段是 8 月至次年 3 月，属于跨越年度生产的农产品；C6 的生产时段是三到七月，属于没有跨越年度生产的农产品。（图 5-3-2 跨越年度生产的农产品安排）。图 5-3-3 基于时间的农产品生产计划优化网络

| 月份 | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | | | | | | | | | |

图 5-3-2 跨越年度生产的农产品安排

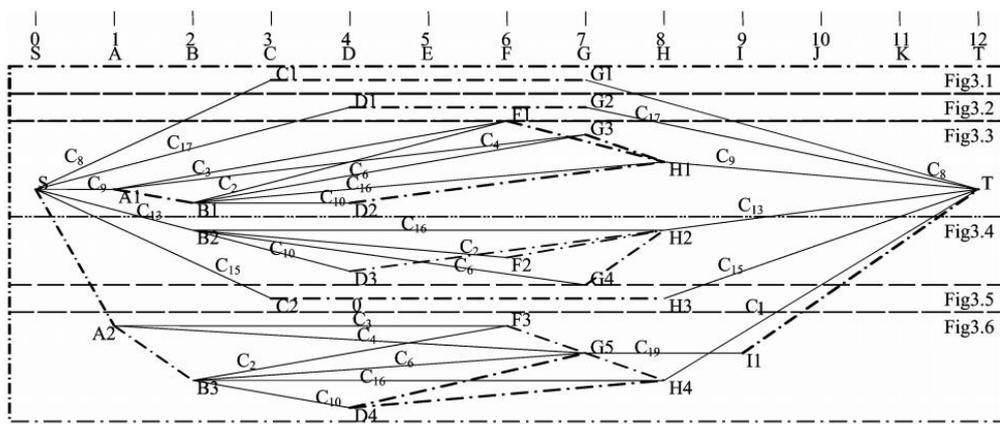


图 5-3-3 基于时间的农产品生产计划优化网络

5.3.2 算例分析

本问题以辽宁省 B 地小规模农产品种植为研究计划。兼顾 B 地区家庭小规模种植的经济收入，并考虑水资源等必要因素，依托第一部分所提到的模型以及计算方法，对于家庭为单位的小规模种植进行了种植计划的研究，并且通过国家数据库调查了宁省 B 地农产品生产时间（附录中表 5-3-1）。以一年作为小规模农产品生产计划周期，拟定的生产计划。

利用动态的规划的逆序解法求解图 5-3-4 的农产品生产计划，虚线框 Fig4.1, Fig4.2, Fig4.3, Fig4.4, Fig4.5, Fig4.6 的求解是相互独立的，即利用动态规划解法对每个虚线框内的农产品生产进行求解时，使得各个生产不会出现耦合的情况，所以就可以视虚线

框 Fig4.1, Fig4.2, Fig4.3, Fig4.4, Fig4.5, Fig4.6 为互相不影响的生产计划网络描述, 是已经进行了分解的生产计算网络, 应用动态规划分别对其求解。农产品生产计划优化网络求解设虚线框 Fig4.1, Fig4.2, Fig4.3, Fig4.4, Fig4.5, Fig4.6 所描述的农产品生产过程为独立的方案。Fig4.1, Fig4.2, Fig4.3, Fig4.4, Fig4.5, Fig4.6 对应的最优解和策略为 $p_i, p_i(C_k)$ ($i = 1, 2, \dots, 6; k = 1, 2, \dots, 16$)。方案 F1 的求解将虚线框 Fig4.1 转化为图 5 的生产计划优化网络, 在图 5-3-5 包括 5 个节点, 故将其划分为 4 个阶段的动态规划模型进行求解。求解结果: $p_1 = 72525.3$ 元 / hm^2 , $p_1(C_8, C_{11}) =$ (露地黄瓜, 露地圆白菜)。方案 F2 的求解将虚线框 Fig4.2 转化为图 6 的生产计划优化网络, 图 5-3-6 中包括 9 个节点, 故将其划分为 8 个阶段的动态规划模型进行求解。求解结果: $p_2 = 75812.25$ 元 / hm^2 , $p_1(C_2, C_7) =$ (露地番茄, 露地萝卜) 方案 F3 的求解将虚线框 Fig4.3 转化为图 5-3-7 的生产计划优化网络, 图 5-3-7 中包括 6 个节点, 故将其划分为 5 个阶段的动态规划模型进行求解。求解结果: $p_3 = 33544.2$ 元 / hm^2 , $p_1(C_4, C_{13}) =$ (花生, 露地马铃薯)。方案 F4, F5 的求解。图 5-3-4 中虚线框 Fig4.4、Fig4.5 分别代表小麦、油菜, 如果只生产 2 种农产品中的 1 种, 其他的农产品因生产时段与其冲突就不能生产, $p_4 = 319.05$ 元 / hm^2 , $p_1(C_5) =$ (油菜); $p_5 = 1768.8$ 元 / hm^2 , $p_1(C_1) =$ 小麦。方案 F6 的求解将虚线框 Fig4.6 转化为图 5-3-8 的生产计划优化网络, 图 5-3-8 包括 11 个节点, 故将其划分为 10 个阶段的动态规划模型进行求解。求解结果: $p_6 = 68787.75$ 元 / hm^2 , $p_1(C_7, C_{12}) =$ (露地番茄, 露地大白菜)。从上述结果可以看出: $p_2 = 75812.25$ 元 / hm^2 是最优的, 其相应的策略 (露地番茄, 露地萝卜) 是最佳的农产品生产计划。

根据国家统计局数据得到小规模农产品净利润受到土地资源限制、水资源限制的扰动, 应引入实时数据修正小规模农产品生产计划优化网络。如果某农产品不适应小规模种植条件, 就不进行种植。本研究确定了农产品生产时段的准确性, 农产品的生产时段直接影响后续农产品对于水资源需求的影响, 并且还通过准确的数据确定了净利润的准确性。

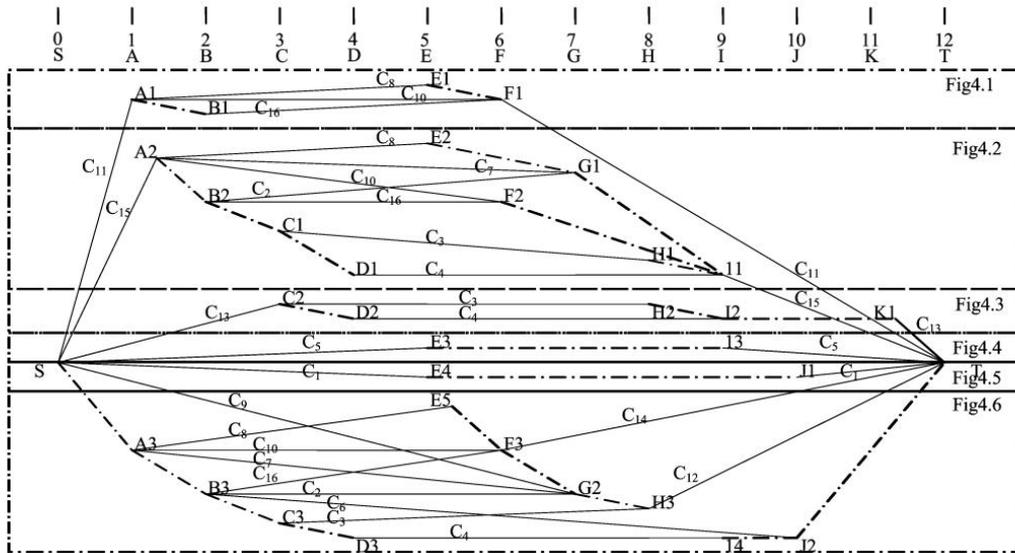


图 5-3-4 基于时间的主要农产品生产计划优化网络

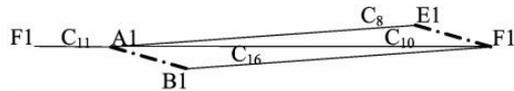


图 5-3-5 方案 F1 的结构优化网络

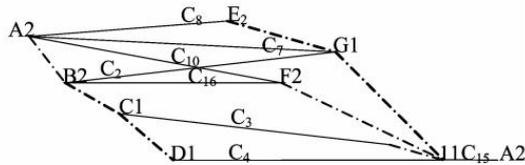


图 5-3-6 方案 F2 的结构优化网络

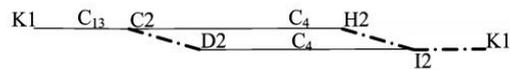


图 5-3-7 方案 F3 的结构优化网络

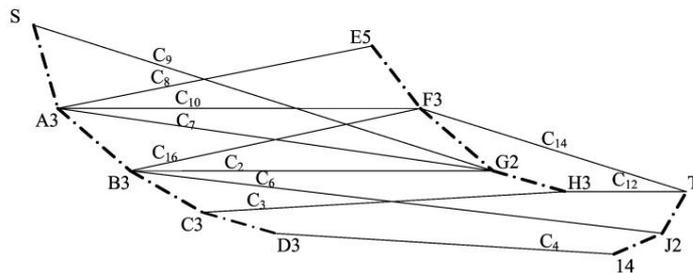


图 5-3-8 方案 F6 的结构优化网络

5.4 问题四：模型的建立与求解：

5.4.1 种养结合循环农业数据的预处理：

我们小组参考相关研究文献，种养结合循环农业污染第三方治理系统是以沼气工程

为纽带联接养殖业与种植业，污染第三方治理是核心。养殖业、污染治理企业、种植业的利润是系统发展的动力，养殖规模、沼气工程规模、种植业规模是系统发展的保障。基于专家判断力，确定养殖业利润、企业年利润、种植业利润、日均存栏、年产沼液量、沼肥种植规模为流位变量；基于循环经济理论，循环经济以“再循环、再使用、减量化”为原则。再结合实践，污染第三方治理的实践体现了循环经济的“再循环”原则，即废弃物再次资源化。系统中的废弃物为猪粪尿，废弃物资源化产品为沼气能源和沼肥资源。基于理论、实践，确定年猪粪尿量、年产沼气量、年产沼肥量为系统的流位变量。

综上，确定如下种养结合循环农业污染第三方治理系统结构的九组流位、流率系，如表 5-4-1 所示。

表 5-4-1 种养结合循环农业污染第三方治理系统流位流率系

| 流位变量 | 流率变量 |
|--------------------|-------------------------|
| 养殖业利润 L1(t) (万元) | 养殖业利润改变量 R1(t) (万元/年) |
| 日均存栏 L2(t) (头) | 日均存栏变化量 R2(t) (头/年) |
| 年猪粪尿量 L3(t) (t) | 年猪粪尿改变量 R3(t) (t/年) |
| 企业年利润 L4(t) (万元) | 企业年利润改变量 R4(t) (万元/年) |
| 年产沼液量 L5(t) (t) | 年产沼液改变量 R5(t) (t/年) |
| 年产沼肥量 L6(t) (t) | 年产沼肥改变量 R6(t) (t/年) |
| 年产沼气量 L7(t) (3m) | 年产沼气改变量 R7(t) (t/年) |
| 种植业利润 L8(t) (万元) | 种植业利润改变量 R8(t) ((万元)/年) |
| 沼肥种植规模 L9(t) (2hm) | 沼肥种植规模改变量 R9(t) (2hm/年) |

5.4.2 种养结合循环农业模型的建立

建立种养结合循环农业污染第三方治理系统流率基本入树模型^[6-7]：建立三个刻画沼气工程的序列模型，得到刻画沼气工程物理流程的序列模型如图 5-4-1：a 所示；同时建立两个刻画企业利润的序列模型，再逐一建立其他序列模型，得到刻画系统利润目标的序列模型如图 5-4-1：b~d 所示。进而，得到种养结合循环农业污染第三方治理系统流率基本入树模型如图 5-4-1：

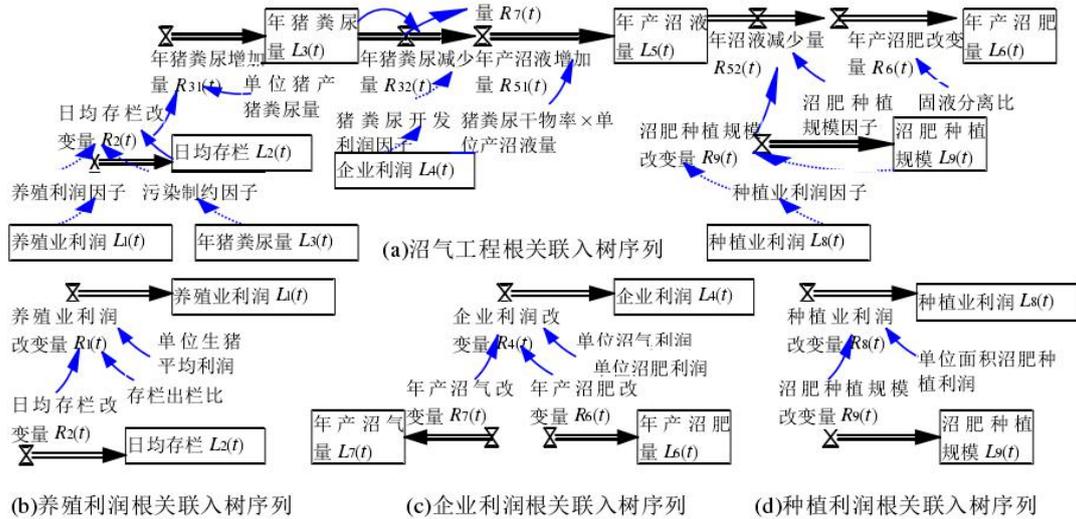


图 5-4-1 种养结合循环农业污染第三方治理系统流率基本入树模型

从建立的模型可以看出：根关联流率基本入树建模法简化了模型符合流率基本入树模型的思想，沼气工程和利润结构得以完整保留，可以说明建模过程有效。

(1) 系统极小反馈基模集计算

采用极小基模集入树组合删除生成法，计算系统极小基模集合。构造对角置 1 枝向量行列式如下：

$$\begin{vmatrix}
 1 & (R(t), R_2(t)) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 (R_2(t), L_1(t)) & 1 & (R_2(t), L_3(t)) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & (R_3(t), R_2(t)) & 1 & (R_3(t), L_4(t)) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & (R_4(t), R_6(t)) & (R_4(t), R_7(t)) & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & (R_5(t), R_3(t)) & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & (R_5(t), R_9(t)) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & (R_6(t), R_5(t)) & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & (R_7(t), R_3(t)) & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & (R_8(t), R_9(t)) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (R_9(t), L_8(t)) & 1
 \end{vmatrix}$$

此对角置 1 枝向量行列式各对应位置的元素 a_{ij} 与 a_{ji} ，假设 a_{ij} 与 a_{ji} 均不为 0，则入树 $T_i(t)$ 与入树 $T_j(t)$ 得到二阶极小基模。计算得到系统全体二阶极小基模为： $G_{12}(t)$ 、 $G_{23}(t)$ 、 $G_{89}(t)$ ，如图 5-4-2 所示：

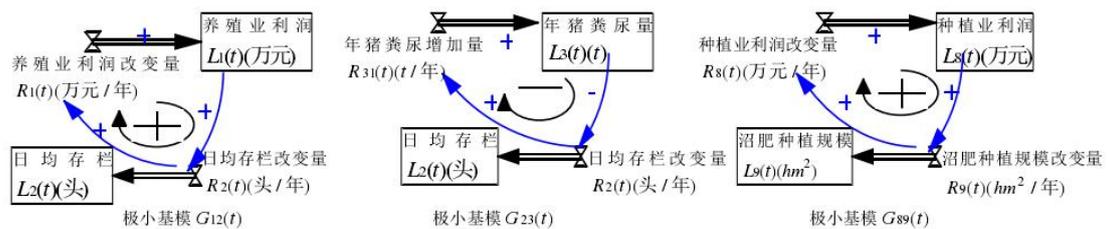


图 5-4-2 种养结合循环农业系统二阶极小基模

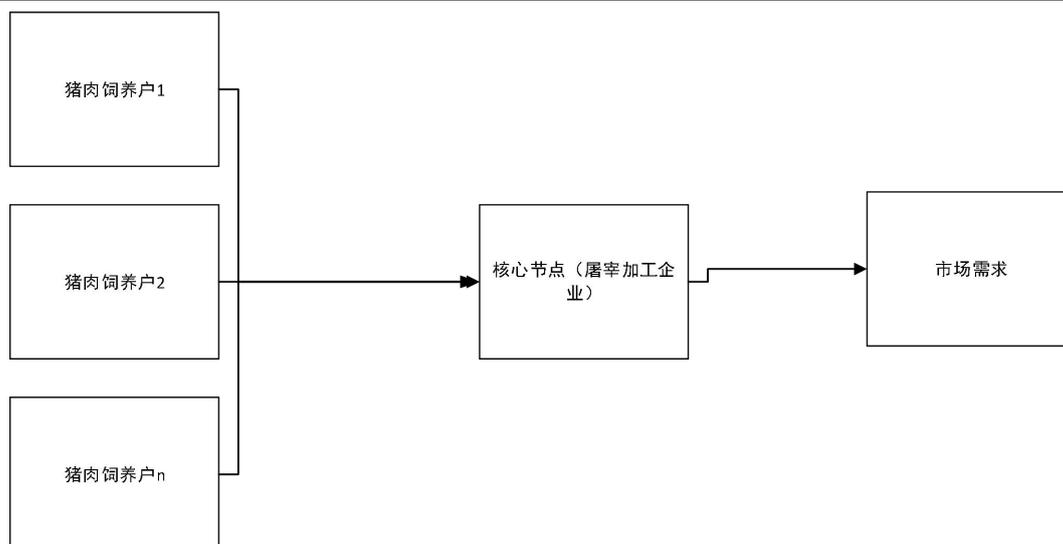


图 5-5-1 “公司+农户” 模式生猪供应链结构

5.5.2 最优养殖计划模型的建立

在整个合作过程中农户的各类成本为：

$$C_s = \frac{1}{2}k_s s^2 + \frac{1}{2}k_q q^2 + C_s \times s \times \eta + T_s \times \eta + \psi_s \quad (5-5-1)$$

其中， C_s ：每头猪的可变成本， k_s ：固定投资系数 T_s ：契约执行成本 k_q ：质量成本系数

农户合作周期总利润为：

$$\pi_s(n) = I_s(n) - C_s(n) = (1 - \rho)\beta q s \eta - \left(\frac{1}{2}k_s s^2 + \frac{1}{2}k_q q^2 + C_s \times s \times \eta + T_s \times \eta + \psi_s \right) \quad (5-5-2)$$

农户合作周期内生猪平均死亡率为 ρ

假设保留效用为 0，则只需满足 $\pi_s(n) > 0$ ，满足农户参与的条件

$$\pi_s(n) = (1 - \rho)\beta q s \eta - \left(\frac{1}{2}k_s s^2 + \frac{1}{2}k_q q^2 + C_s \times s \times \eta + T_s \times \eta + \psi_s \right) > 0 \quad (5-5-3)$$

可以求解出：

$$n \geq \frac{\frac{1}{2}k_s s^2 + \frac{1}{2}k_q q^2 + \psi_s}{(1 - \rho)\beta q s - C_s \times s - T_s} \quad (5-5-4)$$

根据假设条件 $T_s > 0, \frac{1}{2}k_q q^2 > 0, \psi_s > 0$ ，则：

$$n \geq \frac{\frac{1}{2}k_s s^2}{(1-\rho)\beta q s - C_s} \quad (5-5-5)$$

得到：S 与 η 成正比，S 小 η 小，只需要断气续约；又有 $\frac{1}{2}k_s s^2 > 0, \psi_s > 0$ ，整理得到

$$q^2 \leq \frac{2[(1-\rho)\beta q s - C_s \times s - T_s]}{k_q} \eta, \text{ 可以得到规模很小时, 产品质量也会降低。}$$

在供应链中，农户应当选择适当的规模和质量，均衡两种风险，逆向求解利润函数，使得农户利润最大化，并求得此时条件，经过观察该函数为二次型非线性函数，首先判断凹凸性，在确定那个全局最优。

采用凹凸函数的定义进行判断，根据其二阶条件，其凹凸性可由海赛矩阵判断，即利润函数可转化为：

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial s^2} = -k_s, \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial q^2} = -k_q, \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial s \cdot \partial q} = \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial q \cdot \partial s} = 0 \quad (5-5-6)$$

对应海塞矩阵为：

$$|H| = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial s^2} & \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial s \cdot \partial q} \\ \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial q \cdot \partial s} & \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial q^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -k_s & 0 \\ 0 & -k_q \end{vmatrix} = k_s k_q > 0 \quad (5-5-7)$$

结合凹凸性定义，可判断 $\pi_s(s, q)$ 为凹函数。

求解规划，根据二次函数极值条件 $\max_{s, q} \pi_s$ 的充要条件为： $\nabla \pi_s = 0$ ，即

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial s^2} = 0; \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial q^2} = 0; \text{ 得出:}$$

$$q^* = \frac{(1-\rho)\beta \eta^2 c_s}{(1-\rho)^2 \beta^2 \eta^2 - k_s k_q} \text{ 和 } s^* = \frac{k_q c_s \eta}{(1-\rho)^2 \beta^2 \eta^2 - k_s k_q} \quad (5-5-8)$$

将式 q^*, s^* 代入式 (5-5-3)：

因此，最有饲料规模

$$s^* = \sqrt{\frac{T_m \eta}{k_s}} \quad (5-5-9)$$

饲养品质选择为：

$$q^* = \sqrt{\frac{c_s \eta}{k_q} \sqrt{\frac{T_m \eta}{k_s} + \frac{T_m \eta}{k_q}}} = \sqrt{\frac{c_s \eta}{k_q} s^* + \frac{T_m \eta}{k_q}} \quad (5-5-10)$$

5.5.3 最优养殖计划结果分析

令 $k_s = 1, k_q = 1, T_m = 2, c_s = 1, \delta = 0.95$ ，对式(5-5-9)和(5-5-10)进行分析和数值模拟，得出如表 5-5-1 及图 5-5-2 至图 5-5-7 所示结果

表 5-5-1 农户规模与合作年限、饲养品质及各项交易费用的关系

| 序号 | 农户规模 | 合作年限 | 饲养品质 | 农户规模资产 | 农户品质资产 | 交易费用 |
|----|------|------|------|--------|--------|-------|
| 1 | 1.00 | 0 | 1.22 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| 2 | 1.50 | 1 | 1.98 | 1.13 | 1.97 | 2.25 |
| 3 | 2.00 | 2 | 2.83 | 2.00 | 4.00 | 4.00 |
| 4 | 2.50 | 3 | 3.75 | 3.13 | 7.03 | 6.25 |
| 5 | 3.00 | 5 | 4.74 | 4.50 | 11.25 | 9.00 |
| 6 | 3.50 | 7 | 5.80 | 6.13 | 16.84 | 12.25 |
| 7 | 4.00 | 10 | 6.93 | 8.00 | 24.00 | 16.00 |
| 8 | 4.50 | 14 | 8.11 | 10.13 | 32.91 | 20.25 |
| 9 | 5.00 | 19 | 9.35 | 12.50 | 43.75 | 25.00 |

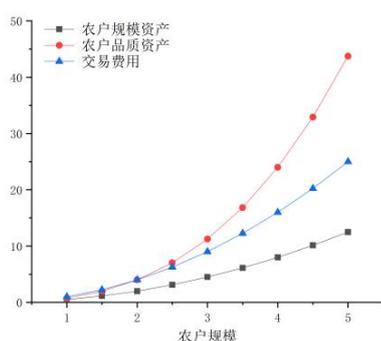


图 5-5-2 饲养规模与交易费用关系

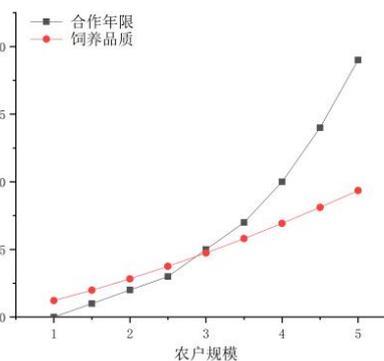


图 5-5-3 饲养规模与合作年限及品质关系

图 5-5-2 显示养殖规模越大，越容易获得专用性资产；规模越大，质量越好图 5-5-3 显示养殖规模和合作时间正相关，图 5-5-6 所示饲养规模越大，农户投入规模资金系数越小，饲养品质的好坏与农户的饲养边界有密切关系，具体地他们之间成正相关图 5-5-4

显示规模专用性系数和农户养殖规模成负相关，图 5-5-5 显示农户投入的品质资金越多饲养品质越好，这也是符合常理的。

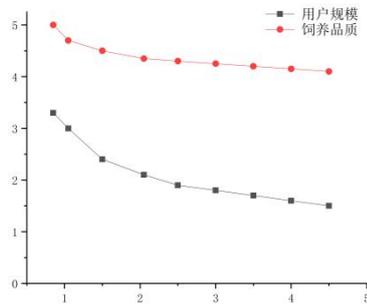


图 5-5-4 规模资产系数与与规模及品质关系

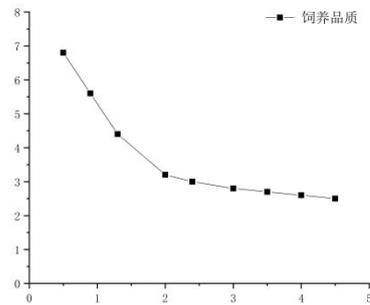


图 5-5-5 品质资产系数与饲养品质关系

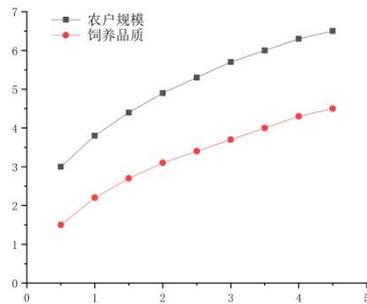


图 5-5-6 T_m 农户规模及饲养品质关系

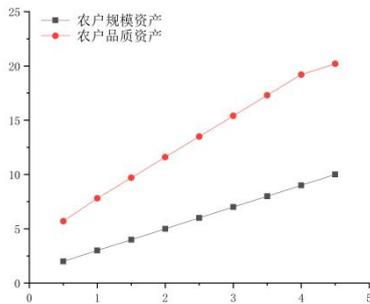


图 5-5-7 T_m 与农户投入资产关系

通过以上分析可以提出一些家庭农户养殖计划的建议：

站在家庭养殖农户的角度，如果由于各种原因导致饲养规模较小，那么势必会导致各方向其投入的规模性资金较少，与之相关的企业也不愿意与其签订长期的合作协定，缺乏相关的技术服务，饲养品质自然无法得到保障。但是，农户可以自由的选择饲养领域，发挥自己的主观能动性。

通过建模分析可以发现农户与企业合作的时间长短、饲养品质都与饲养规模有很强的相关性。合作时间越长家庭饲养品质越好，经济效益自然也就越好，饲养规模越倾向于扩大。同时，饲养规模扩企业就更愿意与饲养农户长期合作。这样就形成了一个良性的闭环循环。使得产业链健康发展，各方均能获得利益。

综合分析提出建议：

单个家庭劳动力较少，家庭合作扩大养殖规模，就容易获得与企业长期合作的机会，

规避单个家庭小而散的养殖风险，同时也可以建立一条长期的产业供应链，使得各方面都有稳定地收入，饲养品质提高有利于消费者。建立与企业合作的规模化养殖，解可以有效地解决肉类价格波动带来的风险问题。研究发现要扩大规模，就得从投入栏舍、及养殖配套设备相应资产发力，这样有利于吸引技术、人才进入，进而提高饲养品质，健康产业发展。

六. 模型的评价及优化

6.1 误差分析

对于问题 1 的误差在于：

1、数据来源：本文所采取的数据来自辽宁省，河北省，广东省，受地域限制较大，不能很好的反应全国不同地区农作物的时间与产量、价格的关系，具有一定的误差

2、忽略因素：本文忽略了不同的外界因素对人工成本的影响，通过数据中所得的人工成本即认为每年的人工成本固定不变，具有一定的不确定性

3、数学模型的建立：模型建立较为简单，只考虑了人工成本对价值的影响，而并没有考虑到物质与服务费用，土地成本等因素对价格的影响，存在一定的偏差

对于问题 2 与问题 3 的误差在于：

1、本文所采取的基本数据来国家统计局，但是并没有考虑劳动力对土地资源的影响。针对与问题 3，只考虑水资源满足农业用地，没有考虑其他用水。

对于问题 4 的误差在于：

拓扑模型是基于现实生产抽取模型中的关键重要环节及影响因素建立的理想化模型，所以与现实不可避免的存在差距，但并不影响模型概括解决现实问题的能力。

对于问题 5 的误差在于：

1.数据问题：由于时间有限，只选取了 9 组数据，所得结果难免与实际有所区别，但是经过分析所得出的结论还是没有超出现实情况，根据分析总结出来的结论反映出的规律与现实情况一致。

2.忽略因素：模型建立只是站在农户家庭合作从成本收益和产业链的稳定性分析问题，并没有站在与农户有密切关系的企业角度分析问题，今后仍有改进空间。

3.定性假设问题：为了更加方便的求解函数，分析结果，找出规律，模型求解过程

中根据查阅资料和参考专业人士经验人为的将一些模糊的，变化不大的变量，假定为某一具体的值，可能会有误差。

6.2 模型的优点

对于问题 1 所建立模型的优点在于：

1、对已知数据进行了充分的分析，通过数据拟合出了预期曲线，较好的解决了所提出的问题。

2、对所建立模型拟合出的曲线进行了对比分析，并对曲线是否线性进行了验证，保证拟合结果更为真实。

对于问题 2、3 所建立模型的优点在于：

1、对于问题 2 与 3 都进行了算例分析，验证了所建立模型的应用型。

2、对问题三所建立模型拟合出的网络图行了对比分析，得出了适当的种植计划，既能满足土地资源紧缺，又考虑了多种因素

对于问题 4 与问题 5 所建立模型的优点在于：

模型的优点是建立流率基本入树模型和极小基模型看可以清楚的分析种植业与养殖畜牧业所构成的循环系统的运作机理，以及物质能量转换过程。有利于解决现实问题。较为全面的收集信息，短时间内考虑到较多的影响因素，采用定性的分析农户饲养规模对其成本收益的影响，在此基础上，定量求解二次型规划，以图像的形式直观的展示出来，方便后面分析各影响因素内在关系，给出较为准确的解决对策。

6.3 模型的缺点

对于问题 1 中建立的人力成本及价格之间关系模型，忽略因素较多，未能考虑其他外界因素对模型的影响，误差相对较大

对于问题 2 与问题 3 模型只考虑了部分农作物，并且各个地区对于土壤质量，气候等不确定因素没有加以限制和计算。

对于问题 4 与问题 5 模型中，分析较为困难，数据限制程度较大，因此误差可能较大。

6.4 模型的推广

在问题 1 中所建立模型的基础上，可以加入与人力成本有关的变量，如外部因素（物价上涨，人力资源变化）和内部因素（销售额降低，无效成本增加）等方面的变量，建立多变量的线性回归方程，使线性方程更加贴近现实，分析所得结论更加准确。

在问题 2 与问题 3 所建立的模型基础上考虑大批农民进城务工，相对的土地资源劳动力是否充裕的问题可以进行进一步的研究。本文探讨了绝对土地资源多少的农产品种植计划。

在问题 4 与问题 5 中流率基本入树模型和极小基模型适合应用于分析系统性的问题，更有助于说明系统的内部运作过程，并且该模型可以推广到类似农业适度规模化生产的分析应用中，分析之约农业规模化发展的各种因素的相互影响。

参考文献

- [1]陈云,梅索.用 Matlab 多元线性回归分析企业商品价格指数[J].经济师,2008(05):204-205.
- [2]易芳.采用 MATLAB 的线性回归分析[J].兵工自动化,2004(01):68-69.
- [3]范少玲. 中国玉米种植成本收益研究[D].山东农业大学,2014.
- [4]阮荣平,蓝海涛.农产品成本变动文献综述[J].江淮论坛,2009(06):64-70.
- [5]李春萍,刘晓俊.模糊环境下的农业生产计划模型[J].安徽农业科学,2007(24):7697-7698.
- [6]穆勇,乔忠,侯忠生,黄梯云.垦区农场种植业决策的模糊规划法[J].系统工程理论与实践,2000(06):137-143.
- [7]贾伟强,王雯,贾仁安.德邦规模养种系统发展对策的关键变量关联反馈环分析[J].中国管理科学,2018,26(01):186-196.

附 录

一、

表 5-1-1 辽宁省玉米总产量及每亩地的生产价格

| 时间 | 产量（万吨） | 物质与服务费用 （元/亩） | 人工成本（元/ 亩） | 土地成本（元 /亩） | 价格（元/ 亩） |
|------|---------|------------------|---------------|---------------|-------------|
| 2010 | 687.21 | 274.6 | 195.4 | 188.56 | 658.56 |
| 2011 | 790.29 | 318.52 | 244.4 | 212.3 | 775.22 |
| 2012 | 869.32 | 352.13 | 335.29 | 235.63 | 923.05 |
| 2013 | 912.788 | 366.54 | 389.63 | 247.33 | 1003.5 |
| 2014 | 958.42 | 373.39 | 371.6 | 322.13 | 1067.12 |
| 2015 | 1054.27 | 372.79 | 348.5 | 349.31 | 1070.6 |
| 2016 | 1159.69 | 380.22 | 388.6 | 359.52 | 1128.34 |
| 2017 | 1264.07 | 392.21 | 395.4 | 368.22 | 1155.83 |
| 2018 | 1365.2 | 396.22 | 402.2 | 389.96 | 1188.38 |

表 5-1-2 河北省小麦总产量及每亩地的生产价格

| 时间 | 产量（万吨） | 物质与服务费用 （元/亩） | 人工成本（元/ 亩） | 土地成本（元 /亩） | 价格（元/ 亩） |
|------|--------|------------------|---------------|---------------|-------------|
| 2010 | 1230.6 | 230.32 | 190.6 | 165.56 | 586.48 |
| 2011 | 1276.1 | 250.116 | 200.6 | 200.32 | 651.036 |
| 2012 | 1337.7 | 257.62 | 216.32 | 213.45 | 687.39 |
| 2013 | 1391.2 | 270.6 | 235.6 | 226.54 | 732.74 |
| 2014 | 1460.7 | 266.8 | 264.3 | 248.3 | 779.4 |
| 2015 | 1504.5 | 305.3 | 300.5 | 253.6 | 859.4 |
| 2016 | 1560.7 | 308.6 | 316.5 | 276.32 | 901.42 |
| 2017 | 1605.4 | 315.9 | 387.32 | 312.5 | 1015.72 |
| 2018 | 1689.5 | 325.6 | 400.3 | 330.56 | 1056.46 |

表 5-1-3 山东省苹果总产量及每亩地的生产价格

| 时间 | 产量（万吨） | 物质与服务费用 （元/亩） | 人工成本（元/ 亩） | 土地成本（元 /亩） | 价格（元/ 亩） |
|------|---------|------------------|---------------|---------------|-------------|
| 2010 | 813.492 | 300.45 | 700.9 | 188.56 | 1189.91 |
| 2011 | 837.9 | 315.42 | 750.32 | 212.3 | 1278.04 |
| 2012 | 863.03 | 350.47 | 907.6 | 235.63 | 1493.7 |

| | | | | | |
|------|----------|--------|---------|--------|---------|
| 2013 | 897.55 | 348.56 | 910.68 | 247.33 | 1506.57 |
| 2014 | 934.46 | 326.42 | 950.71 | 322.13 | 1599.26 |
| 2015 | 974.66 | 360.56 | 1000.32 | 349.31 | 1710.19 |
| 2016 | 1035.6 | 389.65 | 1036.33 | 359.52 | 1785.5 |
| 2017 | 1077.024 | 407.69 | 1100.32 | 368.22 | 1876.23 |
| 2018 | 1113.05 | 418.65 | 1147.65 | 389.96 | 1956.26 |

数据来源：中国农村统计年鉴

程序一：非线性曲线拟合程序

```
clear;
```

```
clc;
```

```
x=[813.492;837.9;863.03;897.55;934.46;974.66;1035.6;1077.024;1113.05];%辽宁省种植玉米的人工成本
```

```
%x=[586.48;651.036;687.39;732.74;779.4;859.4;901.42;1015.72;1056.46]河北省种植小麦的人工成本
```

```
%x=[813.492;837.9;863.03;897.55;934.46;974.66;1035.6;1077.024;1113.05]山东省种植苹果的人工成本
```

```
y=[1189.91;1278.04;1493.7;1506.57;1599.26;1710.19;1785.5;1876.23;1956.26];%辽宁省种植玉米的价格
```

```
%y=[1230.6;1276.1;1337.7;1391.2;1460.7;1504.5;1560.7;1605.4;1689.5]河北省种植小麦的价格
```

```
%y=[1189.91;1278.04;1493.7;1506.57;1599.26;1710.19;1785.5;1876.23;1956.26]山东省种植苹果的价格
```

```
n=1;
```

```
%%曲线拟合
```

```
p=polyfit(x, y, n);
```

```
r=sum(sqrt((y-polyval(p, x)).^2));
```

```
TF=1;
```

```
while(TF)
```

```
    nnew=n+1;
```

```
pnew=polyfit(x, y, nnew);

rnew=sum(sqrt((y-polyval(pnew, x)).^2));

if rnew>=r

    break;

end

n=nnew;p=pnew;r=rnew;

end

xx=linspace(min(x), max(x));

plot(x, y, 'k. ');hold on

plot(xx, polyval(p, xx), 'r');

hold off;
%%作图
title(['y=' poly2str(p, 'x')]);

legend('数据', '拟合曲线', 'location', 'northwest');

程序二：线性曲线拟合
clc;
clear;
%%引入数据
x = [195.4;244.4;335.29;389.63;371.6;348.5;388.6;395.4;402.2];
%x=[586.48;651.036;687.39;732.74;779.4;859.4;901.42;1015.72;1056.46]%河北省种植小麦的
人工成本
```

```
%x=[813.492;837.9;863.03;897.55;934.46;974.66;1035.6;1077.024;1113.05]%山东省种植苹果
的人工成本
y = [658.56;775.22;923.05;1003.5;1067.12;1070.6;1128.34;1155.83;1188.38];
%y=[1230.6;1276.1;1337.7;1391.2;1460.7;1504.5;1560.7;1605.4;1689.5]%河北省种植小麦的价
格
%y=[1189.91;1278.04;1493.7;1506.57;1599.26;1710.19;1785.5;1876.23;1956.26]%山东省种植
苹果的价格
%%曲线拟合
p = polyfit(x, y, 1);

xx = min(x) : .1 : max(x);

yy = polyval(p, xx);

f = poly2str(p, 'x');

hold on;
%%作图
plot(x, y, 'bo');

plot(xx, yy, 'r-');

legend('原始数据点', '拟合曲线');

title(['y = ' f]);

grid on;

hold off;
```

四、

表 5-2-1 主要农产品生产时间，净利润表

| 农产品 | 编号 | 生产时间段/月 | 亩净利润，亩 | 生产时间段 | 亩净利润，亩 |
|-----|----|---------|--------|-------|--------|
| | | | /元 | 2/月 | /元 |

| | | | | | |
|-------|-----------------|------|---------|------|------|
| 小麦 | C ₁ | 9-12 | 117.2 | | |
| 玉米 | C ₂ | 3-6 | 265.09 | | |
| 花生 | C ₃ | 2-7 | 123.9 | | |
| 油菜 | C ₄ | 2-6 | 722.29 | | |
| 棉花 | C ₅ | 3-7 | 21.55 | | |
| 露地番茄 | C ₆ | 2-7 | 2345.68 | 3-8 | 3612 |
| 露地黄瓜 | C ₇ | 8-3 | 3426.78 | 3-6 | 1242 |
| 露地茄子 | C ₈ | 4-9 | 1295 | 2-8 | 2345 |
| 露地菜椒 | C ₉ | 9-1 | 1355 | 2-7 | 1978 |
| 露地圆白菜 | C ₁₀ | 3-4 | 3618 | 2-9 | 1854 |
| 露地大白菜 | C ₁₁ | 3-6 | 4179 | 1-3 | 1115 |
| 露地马铃薯 | C ₁₂ | 8-3 | 1123 | 1-6 | 1852 |
| 露地菜花 | C ₁₃ | 9-2 | 1282 | 1-5 | 1253 |
| 露地萝卜 | C ₁₄ | 3-7 | 1932 | 9-12 | 1374 |
| 露地豆角 | C ₁₅ | 9-3 | 1634 | 4-9 | 1145 |
| 露地四季豆 | C ₁₆ | 3-8 | 1321 | 9-11 | 3212 |

表 5-2-2 农产品生产计划表

| 农产品 | 编号 | 生产时间段/月 | 亩净利润, 亩 /元 | 生产时间段 2/月 | 面积 (亩) |
|-------|-----------------|---------|---------------|--------------|-----------|
| 花生 | C ₃ | 2-7 | 123.9 | | 10 |
| 露地番茄 | C ₆ | 2-7 | 2345.68 | 3-8 | 270 |
| 露地黄瓜 | C ₇ | 8-3 | 3426.78 | 3-6 | 230 |
| 露地茄子 | C ₈ | 4-9 | 1295 | 2-8 | 160 |
| 露地圆白菜 | C ₁₀ | 3-4 | 3618 | 2-9 | 200 |
| 露地大白菜 | C ₁₁ | 3-6 | 4179 | 1-3 | 110 |
| 露地菜花 | C ₁₃ | 9-2 | 1282 | 1-5 | 40 |
| 露地萝卜 | C ₁₄ | 3-7 | 1932 | 9-12 | 160 |
| 露地豆角 | C ₁₅ | 9-3 | 1634 | 4-9 | 50 |

表 5-3-1 中小规模农产品生产计划模型不同农产品生产时间

| 农产品 | 编号 | 生产时间段/月 |
|-----|----------------|---------|
| 马铃薯 | C ₁ | 9-12 |
| 大白菜 | C ₂ | 3-6 |

| | | |
|-------|-----------------|------|
| 西兰花 | C ₃ | 2-7 |
| 甘蓝 | C ₄ | 2-6 |
| 花菜 | C ₅ | 3-7 |
| 甜菜 | C ₆ | 2-7 |
| 菠菜 | C ₇ | 8-3 |
| 西葫芦 | C ₈ | 4-9 |
| 南瓜 | C ₉ | 9-1 |
| 大蒜 | C ₁₀ | 3-4 |
| 大葱 | C ₁₁ | 3-6 |
| 洋葱 | C ₁₂ | 8-3 |
| 茄子 | C ₁₃ | 9-2 |
| 胡萝卜 | C ₁₄ | 3-7 |
| 秘鲁胡萝卜 | C ₁₅ | 9-3 |
| 四季豆 | C ₁₆ | 3-8 |
| 豌豆 | C ₁₇ | 3-4 |
| 菜豆 | C ₁₈ | 3-4 |
| 太阳麻 | C ₁₉ | 8-9 |
| 刀豆 | C ₂₀ | 9-12 |
| 黑豆 | C ₂₁ | 9-1 |
| 野豌豆 | C ₂₂ | 9-12 |
| 绿豆 | C ₂₃ | 8-11 |
