

**2020 年第五届“数维杯”大学生  
数学建模竞赛论文  
以家庭为单位的小规模多品种绿色农畜产品经营模式开发**

**摘 要**

基于以家庭为单位的种养殖“新农业”，我们采用时间序列的方法，搜集并分析多种农产品的相关信息，并建立了多个目标规划模型，为不同规模、经营多种产业以及采取家庭合作的农户们提供一系列满足各自要求的合理计划。

针对问题一，我们将中国划分为 10 个地区，搜集所有地区主要农产品的产量与价格信息，通过 MATLAB 绘制时间序列折线图，并建立**人力成本预测模型**，对未来的人力成本及收入进行分析与预测。

针对问题二，我们定义了规模、收入、自然资源这三组概念。以满足大规模农户的稳定收入为基础，建立**土地资源最大化目标规划模型**，将土地划分并安排不同熟制的作物进行交替种植。我们以四种常见作物为例，通过 Visual Studio 求解，具体计划由 5.2.2 节中的表 5-11 给出。其次以小规模农户的基本收入为基础，建立**水资源最小化目标规划模型**，通过不同种类农作物的间作套种，在用水量最少的条件下，让农作物的产量尽可能地高。我们以全国产量较高的农作物和人均耕地面积较少的长三角地区为例，通过 MATLAB 求解，计划由 5.2.4 节中的表 5-12 和 5-13 给出。

针对问题三，我们分析了农、牧与渔业之间的关系，在各种资源最大化利用的条件下，建立**利润最大化目标规划模型**，研究农牧渔三种产业综合经营的最优比例，通过 MATLAB 求解为 35:33:32，种养殖版图见图 5-11。然后我们将人力成本量化，建立**多家庭最小人力成本模型**，在所算出的最大利润基础上，利用**递归法**，求解出 3 个家庭或 6 个家庭联合经营为最优搭配，种养殖计划见 5.3.2 节。

此外，我们对以上建立的模型进行灵敏性检验和优缺点分析，证明了我们的模型是稳定且有效的。最后，文中一系列的模型和理论也可以被应用到解决沙漠治理、城市用水、大农业生态系统等问题。

**关键词** 时间序列；目标规划；优化；农业；种养殖计划

## 目 录

一、问题重述	(1)
二、问题分析	(1)
三、模型假设	(2)
四、定义与符号说明	(3)
五、模型的建立与求解	(3)
5.1 问题 1 的模型	(5)
5.1.1 农产品人力成本与收入预测模型的建立	(5)
5.1.2 农产品人力成本与收入预测模型的求解	(7)
5.1.3 结论	(9)
5.2 问题 2 的模型	(10)
5.2.1 土地资源最大化目标规划模型的建立	(11)
5.2.2 土地资源最大化目标规划模型的求解	(14)
5.2.3 结论	(15)
5.2 问题 3 的模型	(22)
5.2.1 利润最大化目标规划模型的建立	(22)
5.2.2 利润最大化目标规划模型的求解	(24)
5.2.3 结论	(25)
六、模型的评价及优化	(27)
6.1 误差分析	(27)
6.2 模型的优点	(29)
6.3 模型的缺点	(30)
6.4 模型推广	(30)
参考文献	(33)
附录	(34)

## 一、问题重述

党的十九大报告提出实施乡村振兴战略，而农用地的合理高效利用是农业现代化的基础，是乡村振兴的根本保障<sup>[1]</sup>。随着国家政策的不断推进、居民对于绿色农畜产品需求量的增大，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国家新一轮的经济增长点。

为了进一步推进“新农业”的发展与普及，我们为以家庭为单位的广大具有种植或养殖计划的农牧民提供合理化的养殖计划，并将解决以下问题：

**问题 1：** 搜集适合不同地区种植的农产品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：** 为有充足土地资源的农民们提供大规模种植计划，在保障农民们稳定收入的同时，最大限度的保证土地资源的循环利用；针对缺乏土地资源的农民们提供小规模种植计划，在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 3：** 在农业基础之上同时考虑牧业与渔业相关经营，提出更为合理的种植与养殖计划，并在考虑人力成本的情况下，提供一个几个家庭合作的最优养殖计划。消耗过多的人力成本，所以我们将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 对问题一的分析

针对问题一，为了搜集适合不同地区种植的农产品的相关信息，我们首先应将全国划分为几个具有不同特点的种植地区。划分的依据为：地形、气温、环境以及国家政策。然后通过互联网搜集各个区域主要种植的农产品种类及产量与价格信息，基于以上数据通过 `matlab` 绘制时间序列相关折线图。

由于农产品的人工费用组成与人力成本相近，所以将其近似等于人力成本，又了解到人工成本主要是由职工工资和其他相关费用组成，因此通过将农产品雇佣职工的工资与农产品产量相联系，建立有关计算农产品人力成本的模型。

利用上述的时间序列数据可以进一步分析预测未来一段时间内农产品的价格和产量。通过未来的价格与产量数据，可进一步预测未来的人力成本及收入。

## 2.2 对问题二的分析

针对问题二，首先要对农产品种植规模进行划分，接下来是需要对稳定收入与基本收入进行界定。

影响土地循环利用的因素主要就是种植在相同土地上农作物的种类。因而，为了最大限度地保证土地的循环利用，就需要农作物再同一块土地上交替种植。我们通过量化农作物对于土壤的损害来表现土壤循环利用的程度。

在现代在农业当中，灌溉用水在所有环节中用水占比量是最大的一部分，因此我们通过节约灌溉用水来达到尽可能的节约水资源的目的。我们选取喷灌作为灌溉方式。其次我们还要探究农作物产量与灌溉水量的关系。

## 2.3 对问题三的分析

针对问题三，我们首先应分析农业、牧业与渔业这三种产业之间的相互关系。考虑到这三种产业的综合经营已经将各种资源最大限度的循环利用，因此我们在求解最优经营计划时，不再将资源的利用作为我们的目标，而是将利润作为我们的首要目标。在这一部分中，我们考虑三种产业之间的宏观联系与影响，在保证利润最大化的情况下去研究三种产业综合经营的最优比例。

在考虑人力成本的情况下，若想要维持所计算的最大利润，我们便需保持所计算出的三种产业的最佳比例，在此基础上将人力成本量化，建立使人力成本最小的模型，求解出最优的合作家庭数量。

## 三、模型假设

1. 假设每次选择的农作物都是那个季节适宜生长的；
2. 假设农作物平均每个时期所需要的用水量是相同的；
3. 假设农田水分的所有蒸发量只考虑主要的蒸发量；
4. 假设在家庭合作模式中，每个家庭的贡献量相同。

## 四、定义与符号说明

符号定义	符号说明
$P_i$	第 $i$ 种农作物的出售价格 单位：元/吨
$C_{ij}$	第 $j$ 块地上的第 $i$ 种农作物的产量 单位：kg
$I_{ij}$	第 $j$ 块地上的第 $i$ 种农作物的收入 单位：元
$W_i$	第 $i$ 种农作物从播种到收割所需喷灌的总用水量 单位：
$P_w$	地区水的单价 单位：元/吨
$D$	总成本 单位：元
$N$	一种产业（100 亩）人力成本 单位：元

## 五、模型的建立与求解

数据获取与准备工作：

### 1、农业区域划分

基于我国地形、气候、环境以及国家政策<sup>[2]</sup>，以省为基本单位，我们将全国划分为十个农业区域，分别为：东北大豆春麦玉米甜菜区（黑龙江 吉林 辽宁）；北部高原小杂粮甜菜区（内蒙古 陕西 甘肃 宁夏 河南）；黄淮海棉麦油烟果区（河北 山东 山西 北京 天津）；长江中下游稻棉油桑茶区（湖北 安徽 浙江 江苏 上海）；南方丘陵双季稻茶柑桔区（江西 湖南 重庆）；华南双季稻热带作物甘蔗区（福建 广东 广西 海南 台湾）；川陕盆地稻玉米薯类柑桔桑区（四川 青海）；云贵高原稻玉米烟草区（贵州 云南）；西北绿洲麦棉甜菜葡萄区（新疆）；青藏高原青稞小麦油菜区（西藏）。如图 5-1（编程代码见附录 1）

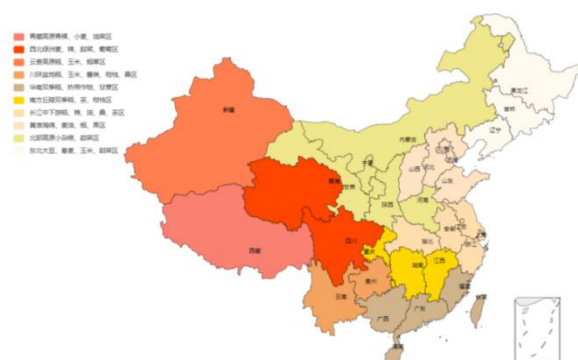


图 5-1：区域划分

## 2、代表性农作物选取

通过查阅，结合区域划分的准则，选取各区域的代表性农作物如表 5-1。

表 5-1：各区域代表农作物

东北大豆春麦玉米甜菜区	玉米、西瓜、甜菜
北部高原小杂粮甜菜区	谷物、苹果、甜菜
黄淮海棉麦油烟果区	小麦、苹果
长江中下游稻棉油桑茶区	稻谷（水稻）、油菜、西瓜
南方丘陵双季稻茶柑桔区	稻谷（双季稻）、柑桔
华南双季稻热带作物甘蔗区	稻谷（双季稻）、甘蔗
川陕盆地稻玉米薯类柑桔桑区	稻谷、柑桔
云贵高原稻玉米烟草区	油菜、柑桔
西北绿洲麦棉甜菜葡萄区	玉米、葡萄
青藏高原青稞小麦油菜区	大豆、油菜

## 3、数据获取

各地区农作物价格数据来自于中国农业信息网；各地区农作物产量数据来自于国家统计局。

## 4、数据处理

若某农业区各省份数据完备（未出现某省份数据查询不到），则相应农作物价格或产量以各省份的平均值计算。

若某农业区缺少一或以上省份数据，则按可查询的省份以均值计算。

若某农业区某农作物未查询到数据（各省份均无该农作物数据），则以同类

## 型价格数据或同类农作物数据计算。

以东北大豆春麦玉米甜菜区为例，其包括黑龙江省、吉林省、辽宁省，选取的农作物为玉米、西瓜、甜菜。

由于中国农业信息网无法查询三省份的甜菜月期价格，但可以查询到其价格指数，我们以甜菜市场均价为基准，用价格指数的变化趋势作为甜菜价格的增减标准计算甜菜的月期价格。

## 5、数据展示

以东北大豆春麦玉米甜菜区为例，其各个农产品的价格与产量如图 5-2。（其余农业区图表见附录；编程代码见附录 2）

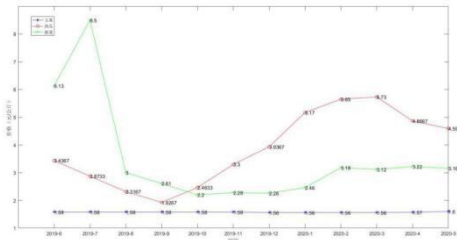


图 5-2: 东北大豆春麦玉米甜菜区历史价格

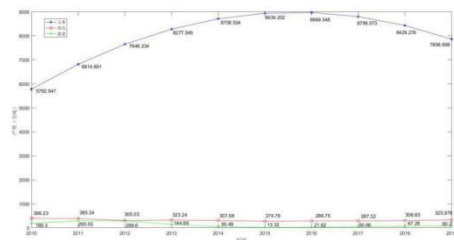


图 5-3: 东北大豆春麦玉米甜菜区历史产量

## 5.1 问题 1 的模型建立与求解

### 5.1.1 农产品人力成本与收入预测模型的建立

#### (1) 人力成本的定义

农产品成本是生产单位农产品所消耗的物质费用和人工费用的总额。由于现实生活中人工费用与人力成本几乎无差别。可以假设人工费用等于人力成本。（即人力成本仅考虑经济效益）

#### (2) 人力成本的计算

农产品的人工费用分为直接生产用工和间接生产用工两部分。我国规定的人工成本包括职工工资总额、社会保险费用、职工福利费用、职工教育经费、劳动保护费用、职工住房费用和其他人工成本支出<sup>[3]</sup>。其中，职工工资总额是人工成本的主要组成部分。

因此，农产品的人力成本包括人工工资以及其他与农作物生产相关的成本支

出。由于人工工资是其主要组成部分，可以将其他成本看作与该地区农产品产量成线性关系的函数。

综上所述，人力成本可表示为：

$$D = D_1 + D_2 \quad (5-1)$$

其中， $D_1$  表示农产品其他成本支出， $D_2$  表示人工工资总额。 $D_1$ 、 $D_2$  又可以具体表示为：

$$D_1 = K * C \quad (5-2)$$

$$D_2 = C * D_3 \quad (5-3)$$

其中， $K$  表示其他成本与农产品产量之间的系数， $C$  表示农产品产量， $D_3$  表示雇用人员在每公斤产量的农产品中可以获得的工资，计算公式如下。

$$D_3 = P - D_4 \quad (5-4)$$

式中， $P$  表示农场品的单价，每一种农产品并不是只有单一的某几个月份会有售卖，因此这里的价格可以取 12 个月份的平均单价。 $D_4$  表示每公斤产量的农产品所需要的成本。

$$D_4 = \frac{g * P * C + D'}{C} \quad (5-5)$$

其中， $g$  表示用于施肥等生产劳动中的成本与产量之比， $D'$  表示农田基础建设和管理成本等费用。

综合 (1-1)、(1-2)、(1-3)、(1-4) 与 (1-5) 可得人力成本的计算公式为：

$$D = K * C + (P - \frac{g * P * C + D'}{C}) * C \quad (5-6)$$

### (3) 收入的计算

由之前查询到的农产品的产量  $C$  以及农产品的单价  $P$ ，可以用  $I$  来表示农产品的收入。由公式：

$$I = P * C \quad (5-7)$$

可以得出农产品的收入。

### (4) 预测模型的建立：



根据公式（5-6）与公式（5-7），可以知道影响人力成本与收入的农作物因素为单价与产量，因此，我们在下文选取农作物单价与产量为预测对象，通过 R 语言建立时间序列预测模型。由于农作物单价与产量所对应的时间序列不同，我们选用不同的时间序列预测模型。

针对农作物单价，我们查询到的数据是月期的，时间起止为 2019-6 至 2020-5，观察单价数据特点，结合生活常识，农作物单价的时间序列包含了趋势、季节变动和随机波动等多种成分，因此我们使用分解预测对农作物单价进型预测。

针对农作物产量，我们查询到的数据是年期的，时间起止为 2010-2019，观察产量数据，由于时间跨度较大，数据呈现非线性趋势，所以我们采用多阶曲线预测（二阶曲线与三阶曲线），最终根据残差图以及 2020 年新冠肺炎的国情确定最终预测结果。

### 5.1.2 农产品人力成本与收入预测模型的求解

将农产品单价与产量数据分别带入分解预测模型与多阶预测模型，通过 R Studio 求解结果如下。（编程代码详见附录 3）

以东北大豆春麦玉米甜菜区为例，对玉米、西瓜、甜菜的单价与产量预测。  
玉米产量预测：

2010-2019 年产量数据（单位：万吨）

表 5-2：玉米历史产量

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
5782.6	6814.6	7646.2	8277.5	8708.5	8939.2	8969.5	8799.5	8429.27	7858.6

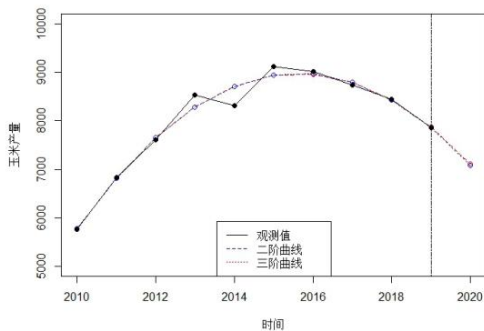


图 5-4：玉米产量预测图

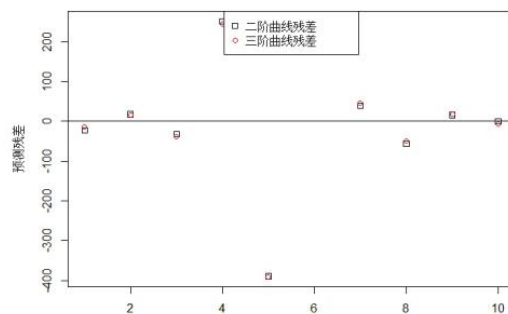


图 5-5：玉米产量预测残差图

由图 5-4 可知二阶曲线预测与三阶曲线预测结果相差不大，由图 5-6 可知拟合效果较好，这里选择三阶曲线的预测结果作为最终结果：2020 玉米产量为 7113.742 万吨。

玉米价格预测：

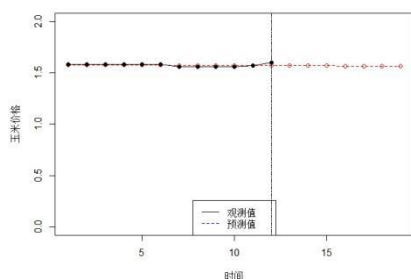


图 5-6：玉米价格预测图

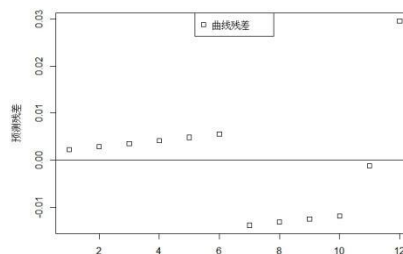


图 5-7：玉米价格预测残差图

由图 5-6 与图 5-7 可知分解预测曲线拟合较好，预测得 2020-6 至 2020-12 玉米价格（单位：元/公斤）为：

表 5-3：玉米价格预测表

2020-6	2020-7	2020-8	2020-9	2020-10	2020-11	2020-12
1.569848	1.569184	1.568520	1.567855	1.567191	1.566527	1.565862

结合历史数据，求得玉米 2020 年平均单价为：1.568333 元/公斤

### 计算人力成本与收入

根据公式（5-6）与公式（5-7）计算：

取参数为

表 5-4：玉米人力成本参数表

K	g	D'
0.1	0.2	400 亿

玉米种植预计人工成本：564.6234 亿元

玉米种植预计总收入：1115.669 亿元

### 5.1.3 结论

根据上述方法预测西瓜、甜菜结果如下（图见附录 9）：

2020 西瓜预测产量：370.5943 万吨。

表 5-5：西瓜价格预测表

2020-6	2020-7	2020-8	2020-9	2020-10	2020-11	2020-12
3.4367	2.8733	2.3167	1.9267	2.4633	3.3000	3.9367

西瓜 2020 平均单价：3.85508 元/公斤。

根据上表及公示（5-6）（5-7）计算得到西瓜种植预计人力成本：97.9996 亿元；西瓜种植预计总收入：142.8671 亿元。

2020 甜菜预测产量：81.34450 万吨。

表 5-6：甜菜价格预测表

2020-6	2020-7	2020-8	2020-9	2020-10	2020-11	2020-12
5.43	7.80	2.33	1.82	1.40	1.4	1.46

甜菜 2020 平均单价：3.253333 元/公斤。

甜菜人力成本与收入：

故甜菜种植预计人力成本：16.7847 亿元；甜菜种植预计总收入：26.46405 亿元。

为更好反映农作物的投入——回报比，我们根据 2010-2019 农作物的种植面积（数据来源：国家统计局）预测了 2020 年上述农作物的种植面积分别为 13260.67、80.33103、21.663381。（单位：千公顷）最终得到结果如下：

表 5-7：农作物投入——回报比表

农作物/投报（元/公顷）	人工成本	收入
玉米	4257.88	8413.368
西瓜	121994.7	177848
甜菜	77478.1	122160.3

## 5.2 问题 2 的模型建立与求解

在这一节中，我们会分别为土地资源充足的农民们提供合理的大规模农产品种植计划，为土地资源匮乏的农民们提供合理的小规模种植计划。

首先我们来界定规模大小、稳定收入与基本收入、土地资源与水资源利用这三组概念，在此基础上，建立土地循环利用目标规划模型和水资源使用量目标规划模型，分析并构建针对不同情形的农产品种植计划。

### 1. 规模大小的划分

我们这里所讨论的以家庭为单位的经营模式为以下两种农场模式。

**家庭农场：**大规模的种植与养殖模式。主要依靠家庭劳动力，经营土地超过 100 亩的农场。

**小规模农场：**较小规模的精细化和绿色化的生产模式。主要使用家庭劳动力，经营土地规模一般在 30 亩~100 亩，通过精耕细作获得家庭收入来源的农业经营主体。

### 2. 稳定收入和基本收入

**稳定收入：**每一个阶段（如每个月或每季度）都有一定的收入，这即要求农民们在一年四季都需有农作物收割与售卖的操作。

**基本收入：**只需在一年内的总收入能够满足农民一年生活的最低要求，并不一定需要收入是阶段性的。

### 3. 资源利用

**土地资源的循环利用：**在一片土地上交替进行种植及养殖活动，在保证土地经济效益的同时，避免因过度耕作导致的耕地土壤流失等土地退化<sup>[4]</sup>。

为了最大限度的保证土地资源的循环利用，我们应在一片土地上进行交替种植，避免出现一块土地连续几年只种一种作物的情况。

**水资源的节约利用：**为了最大限度减少水资源的浪费，需要采用新的农业技术例如喷灌技术等节约水资源的利用，同时可以进一步促进农业产量的提高。因此，在种植农作物时应该采用可以节约水资源的技术与方式。

## 5.2.1 土地资源最大化目标规划模型的建立

### 1. 影响因素分析与假设

我国农作物熟制的大概分布规律为：南方地区一年三熟，华北地区一年两熟，东北地区一年一熟。由于两年三熟的情况较少且较为复杂，因此我们不考虑，均以一年为一个种植计划周期。

为了便于计算和构建模型，我们建立如下假设：每种农作物的亩产量相同。

### 2. 目标规划模型的建立

#### (1) 目标函数的建立

由于农户拥有大规模的土地，因此假设将土地分为  $m$  块，土地总面积为  $A$ 。其次，因为选种农作物是未知的，所以可以用“0-1”规划来决定土地上种植哪一种农作物。设共有  $m$  块土地， $n$  种农作物，用  $x_{ij}$  来表示第  $i$  种作物是否在第  $j$  上种植，即

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 种作物在第 } j \text{ 块地上种} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 种作物不在第 } j \text{ 块地上种} \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$$

耕地在种植农作物之后会由于施肥等因素被造成破坏，因此最大限度的保证土地资源的循环利用也就是使得种植农作物对更的造成的伤害量最低。将  $Z$  表示为种植农作物对耕地的伤害总量，这里假设每一种农作物对于所有耕地的伤害程度相同，均为  $-0.1$ ，负号表示种植农作物对于耕地是负面影响。

下面解释  $-0.1$  系数选取的合理性。依据土地循环的要求，在同一块土地上种植更多种类的作物更有利于该块土地的循环利用。若在第  $j$  地上种植两种农作物，那么这两种农作物对于第  $j$  块耕地的伤害总量为  $-0.2$ ，若在第  $j$  地上种植三种农作物，那么这三种农作物对于第  $j$  块耕地的伤害总量为  $-0.3$ ，由  $-0.2 > -0.3$ ，可以看出在第  $j$  块地上种植两种作物比种植三种农作物对与第  $j$  块地的伤害程度更高，这也符合了土地循环利用要求，因此选取  $-0.1$  为系数是合理的。

那么有前面分析可以得到  $Z$  就可以表示为  $m$  块地上的农作物对于土地伤害的总和，即

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (-0.1) * x_{ij}$$

目标函数对于  $Z$  求最小值即可：

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (-0.1) * x_{ij} \quad (5-8)$$

## (2) 约束条件的建立

将农户的面积为  $A$  的土地分为  $m$  块， $j$  第块地的面积为  $S_j$ ，因此有等式

$$\sum_{j=1}^m S_j = A \quad (5-9)$$

$$1 \leq \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 3 \quad (5-10)$$

接下来我们考虑每块地上农作物的产量。为了便于计算，我们假设单位面积土地上的所有农作物产量相同，均为  $\alpha$ 。将种植在第  $j$  块土地上的第  $i$  种农作物的种植面积表示为  $y_{ij}$ ，则

$$y_{ij} = x_{ij} * S_j \quad (5-11)$$

因此，种在第  $j$  块地上的第  $i$  种农作物的产量  $C_{ij}$  就有

$$C_{ij} = y_{ij} * \alpha \quad (5-12)$$

以上我们讨论了种在第  $j$  块地上的第  $i$  种农作物的产量，我们需要知道第  $i$  种农作物的出售价格  $P_i$ ，至此，我们可以得出第  $j$  块地上的第  $i$  种农作物的收入  $I_{ij}$ ，

$$I_{ij} = C_{ij} * P_i \quad (5-13)$$

农户的最终收入除了出售农产品之外，还存在农田基础建设和农作物种子成本以及农田管理等其他成本，这些成本相较于农户的收入来说占比并不大，因此为了简化计算，将这些成本设为一个固定的值  $D_1$ 。由以上分析，农户的年收入为  $I$  就是所有种植的农作物收入扣除其他成本所得到的收入，即

$$I = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{ij} - D_1 \quad (5-14)$$

$$I \geq I'$$

### (3) 目标规划模型的建立

基于以上分析，我们建立最大限度保证土地资源循环利用的目标规划模型：

$$\begin{aligned} \min \quad & Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (-0.1) * x_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^m S_j = A, \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, \\ 0 \leq \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 3, \\ y_{ij} = x_{ij} * S_j, \\ C_{ij} = y_{ij} * \alpha, \\ I_{ij} = C_{ij} * P_i, \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{ij} - D_1 \geq I', \\ i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, \end{cases} \end{aligned} \quad (5-15)$$

#### 5.2.2 土地资源最大化目标规划模型的求解

为了方便计算，我们选取我国种植最多的四种农作物小麦、玉米、水稻、花生为例。同时根据查阅资料，可以得知四种农作物的价格，以及将农户的其他成本支出设定为 5 万元。由此可以得到模型的部分参数取值：

$$A = 15 \text{ 亩} \quad S = 5 \text{ 亩} \quad m = 3 \quad n = 4 \quad \alpha = 0.6 \text{ 吨/亩} \quad D_1 = 50000 \text{ 元} \quad I' = 150000 \text{ 元}$$

$$P_{\text{小麦}} = 2100 \text{ 元/吨} \quad P_{\text{玉米}} = 2120 \text{ 元/吨} \quad P_{\text{水稻}} = 1400 \text{ 元/吨} \quad P_{\text{花生}} = 7000 \text{ 元/吨}$$

将部分参数取值带入模型可通过 visual studio 求解关于土地循环利用的模型，我们得到以下结果：

$$Z_{\min} = -0.6$$

$$x_{11} = x_{12} = x_{13} = 0, x_{21} = x_{22} = x_{23} = 1$$

$$x_{31} = x_{32} = x_{33} = 0, x_{41} = x_{42} = x_{43} = 1$$

根据以上的分析，我们给出一个大规模种植计划。

将所有土地分为三块相同面积的部分，在每块土地上分别种植花生和水稻。由于花生一年一熟、水稻一年三熟的特点，每一块土地每年交替种植了花生和水

稻之后会有两个月左右的停产期，我们需要让这两个月的停产期不同时出现，而是交替出现的，这样既可以让土地休整减少耕种对于土地的破坏，也可以满足农户拥有稳定收入的目标。以下用表格来给出种植计划。

表 5-6: 种植计划

	第一块地	第二块地	第三块地
1-2 月		花生	晚稻
3-4 月	早稻		花生
5-6 月		花生	
7-8 月	花生		中稻
9-10 月		花生	
11-12 月			晚稻

## 5.2.3 水资源最小化目标规划模型的建立

### 1. 影响因素分析与假设

#### (1) 因素分析

农业新型节水灌溉技术主要有水资源的合理开发利用技术、工程节水技术等。对于缺乏土地资源的小规模农户切实可行的是采取相应的农业节水灌溉管理技术。目前的节水灌溉技术包括喷灌、微灌等。因而，我们选取喷灌技术为小规模农户的节水措施。

由于缺少土地资源的农户在保证土地资源循环利用的前提下不会间隔种植一年一熟的农作物，因此考虑一年两熟或者一年三熟的农作物，这样有利于土地资源的循环。采用间作套种的种植方式能明显增加经济效益。麦田间作套种充分利用了生长季的气候资源，明显提高了复种指数，降低了两茬间的农耗，提高了对光资源的利用。再者，合理搭配的间作套种明显改善农田小气候。

因此我们利用一年两熟的农作物间作套种的模式来计划小规模的种植。

#### (2) 假设建立

为了便于计算和构建模型，我们建立如下假设

- (1) 地区的年降水量平均分到每一天；



(2) 一年两熟的农作物成熟的时间为 5 个月。

## 2. 目标规划模型的建立

本题为典型的目标规划问题，通过对于水资源以及农户收入的限制可以建立优化模型，满足题目要求。

### (1) 目标函数的建立

对于题目要求的“尽量减少水资源的过度使用”，可以建立目标函数，使得农户在进行农业生产的用水量最小。因此，可以将农户一年的用水量  $F$  表示为

$$F = W_1 + W_2 \quad (5-16)$$

其中  $W_i$  表示第  $i$  种农作物从播种到收割所需喷灌的总用水量。

目标函数对于用水量  $F$  取最小值即可。

### (2) 约束条件的确立

在保证用水量的同时，也要顾及农户的收入，要使得农户的收入处于基本收入之上。因此，我们先来研究出售农作物所获得的收入。但是，<sup>[5]</sup>农作物的全生育期耗水量与产量呈现二次函数的关系。因而，可以将第  $i$  种农作物的亩产量表示为  $C_i$ ，

$$C_i = aET_i^2 + bET_i + c \quad (5-17)$$

其中  $ET_i$  表示第  $i$  种农作物的吸收水量，

$a$ 、 $b$ 、 $c$  均为表示农作物亩产量与用水量的系数

因此，若将  $P_i$  表示为第  $i$  种农作物的售卖单价， $S$  表示该农户所拥有的耕地面积，则可以将农户出售第  $i$  种农作物的收入  $I_i$  表示，

$$I_i = P_i * S * C_i \quad (5-18)$$

除了收入，农户为了保证基本生活，还应将收入扣除成本等其他费用。因此可以用  $D$  表示基建和其他成本费用。农户灌溉用水的费用应该等于用水量  $\times$  水的价格。因此第  $i$  种农作物所需要的用水价格  $PW_i$  应该为：

$$PW_i = P_w * W_i \quad (5-19)$$

其中  $P_w$  表示该地区水的单价。

通过以上分析可以得出农户总收入  $I$  就是两种农作物的收入之和—两种农作物用水的总值—其他成本费用，即

$$I = S * \sum_{i=1}^2 P_i * C_i - \sum_{i=1}^2 PW_i - D \quad (5-20)$$

为了让农户有基本收入，应该保证农户的总收入  $I \geq \alpha$ ，其中  $\alpha$  为本地区的最低标准年收入，具体计算方法为该地区最低标准工资  $\times 12$ 。

除了让农户满足最低收入之外，还要保证供水量满足每种农作物的最低需水量。考虑到该地区的降水量以及蒸发量等相关因素，设第  $i$  种农作物最终吸收的水量为  $ET_i$ ，农作物的吸收水量与灌溉水量、降水量  $ap$  以及蒸发量有关，由于假设地区的年水量平均分到每一天，因此，每种农作物所获得的降水量为  $ap/2$ 。

若用  $\beta$  表示该地区水分蒸发比率，则

$$\beta * (W_i + ap/2) \quad (5-21)$$

就表示第  $i$  种农作物的所有水分蒸发量；

$$(W_i + ap/2) - \beta * (W_i + ap/2) \quad (5-22)$$

表示第  $i$  种农作物生长过程中，进入土壤的全部水量；所以第  $i$  种农作物最终吸收的水量  $ET_i$  可表示出来，即

$$ET_i = \gamma * [(W_i + ap/2) - \beta * (W_i + ap/2)] \quad (5-23)$$

其中  $\gamma$  表示进入土壤的水分被该地区的农作物吸收的比率。

考虑到农作物的正常生长，应保证吸收的水量  $ET_i$  大于等于农作物最低需求水量  $J_i$ ，即

$$ET_i \geq J_i$$

因此通过以上分析，可以产生约束条件

### (3) 目标规划模型的建立

综上所述，可以建立关于水资源用量的目标规划模型：

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{i=1}^2 W_i \\
& \left\{ \begin{aligned}
& S * \sum_{i=1}^2 C_i * P_i - \sum_{i=1}^2 P W_i - D \geq \alpha \\
& ET_i \geq J_i \\
& C_i = a * ET_i^2 + b * ET_i + c \\
& P W_i = P_w * W_i \\
& ET_i = \gamma * [(W_i + ap/2) - \beta * (W_i + ap/2)] \\
& i = 1, 2
\end{aligned} \right. \quad (5-24)
\end{aligned}$$

## 5.2.4 水资源最小化目标规划模型的求解

### 1. 区域和农作物的选取

长三角区域，处于长江下游平原水网地区，人均耕地面积小，耕地规模主要以家庭为单位进行小规模的家庭农业种植。为了促进土地利用效率，长三角的大部分地区都采取间套复种的种植方式，不仅提高了土地的循环利用率还促进了农作物的产量。我国年产量最多的农作物为小麦和玉米，因此选取长三角种植的冬小麦和夏玉米作为本题的样本作物。

综上所述，长三角地区的冬小麦和夏玉米是一个很好的研究对象。

### 2. 相关数据的收集

设  $i=1$  时表示冬小麦， $i=2$  时表示夏玉米。

#### (1) 农产品价格 $P_i$ 的确定

通过对于第一小题的农作物价格的收集，可以得到冬小麦的价格是 2.38 元/公斤，夏玉米的价格是 2.1 元/公斤。

#### (2) 农作物的全生育期耗水量与产量系数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 的确定

长三角地区农作物的全生育期耗水量与产量呈现二次函数的关系，即

$$C_i = aET_i^2 + bET_i + c \quad (5-25)$$

冬小麦和夏玉米的耗水量与其产量函数的相关系数可以在“中国灌溉试验资料数据库”中查询到，即

$$C_1 = -0.1341 * ET_1^2 + 123.96 * ET_1 - 21868$$

$$C_2 = -0.4267 * ET_2^2 + 399 * ET_i - 80953.5$$

(3) 农作物最低需水量  $J_i$  的确定

农作物的最低需水量由耗水量和产量之间函数的系数所确定，即

$$J_i = \sqrt{\frac{c}{a}} \quad (5-26)$$

代入有关冬小麦和夏玉米的相关数据，得到有关两种农作物的最低需水量：

$$J_1 = 403.82mm \quad J_2 = 435.57mm$$

### 3.模型求解

通过计算机对于目标规划模型的求解，最终得出结果

$$W_1 = 270.97\text{吨} \quad W_2 = 320.58\text{吨}$$

$$F_{\min} = W_1 + W_2 = 591.55\text{吨}$$

由上一部分模型求解可知冬小麦全育期的喷灌总用水量为 270.97 吨，而对于传统灌溉方式，冬小麦的总用水量则需要至少 350 吨；夏玉米全育期的喷灌总用水量为 320.58 吨，而对于传统灌溉方式，夏玉米的总用水量则需要至少 400 吨。由此可明显看出，此方法可以减少对水资源的使用，但是农户的收入也仍然大于该地区的最低标准收入。因此，这是一个切实可行的方式，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。

接下来给出农户小规模的具体种植计划。

表 5-7：冬小麦的种植计划表

10月下旬	提前准备优良麦种。宜选高产、成穗率高的品种，如西农 979 号、山农 664 等。
12月中旬	越冬期管理。保全苗，根据生长情况追肥，对麦苗进行入冬养护。
3~4月	春季田间管理。以促健壮秆大穗为目标，根据苗情、土地等特点，酌情适量适时施肥、喷灌和化学除草。
5月中旬	后期管理。结合喷灌适量施肥或喷施叶面肥，增加粒重，防止早衰和倒伏；同时也要喷药防治病虫害。
6月中旬	适时收获。为夏玉米播种做准备

冬小麦的全时期平均每个月的喷灌用水量为 54 方。

表 5-8：夏玉米的种植计划

5 月下旬	提前准备优良种子：宜选高产、稳定性高的早熟或中熟品种，例如冀玉 9 号、掖单 20 等。
6 月下旬	抢时播种：通过晒种、包衣、拌种等对种子进行处理，播时施种肥时要科学；同时兼顾化学除草等。前期先用喷灌对种子补充水分。
6 月中旬至 7 月上旬	栽培管理：结合降水情况和喷灌生长情况，适时施肥；防治玉米穗腐病等病虫害。
8 月中旬至 9 月中旬	促叶壮秆：中耕 1~2 次以改善肥水供应情况；重点追施氮肥，但施肥量不宜过多，同时适量增加喷灌水量；防治病虫害。
10 月中旬至 11 月中旬	后期管理及收获：早时要适当增加喷灌的用水量；虫害防治；适时迟收，每晚收一天玉米亩增产数公斤。

夏玉米的全时期平均每个月的喷灌用水量为 64 方。

## 5.3 问题 3 的模型建立与求解

### 5.3.1 利润最大化目标规划模型的建立

农一牧一渔业系统即农牧渔业综合发展的路子,其重要性在于把农、牧、渔三者有机结合起来,充分利用资源,形成良性循环的耕作制度<sup>[6]</sup>,如图 5-10。

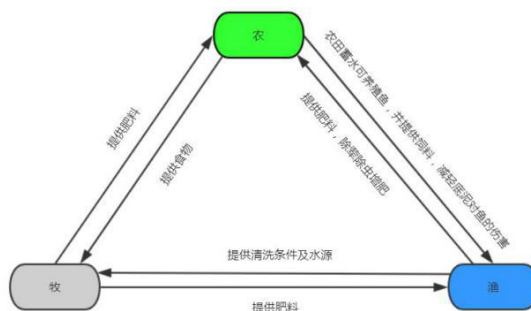


图 5-8：循环耕作制度图

从上图中可以看出，只要为三种产业的种养殖量提供一个合理的组合，都能够比单独经营其中一种产业所得到的利润高，并且三种产业的结合本身也有利于土地资源的循环利用、水资源的节约利用，极大化了产业的可持续发展。

### 1. 选择目标规划模型

本节我们的目标是在农业基础之上同时考虑牧业与渔业相关经营，提出更为合理的种植与养殖计划。本题为典型的目标规划问题，我们可以通过建立目标规划模型，来寻找农牧渔三个产业各自的最优占比，以达到最大化利润，并给出合理的种养殖计划。

### 2. 目标函数的确定

对比单独种植农产品，三种产业的结合已经极大地提高各种资源的利用效率，若再将最大化资源利用率用作为目标函数，将不再具有较大的可提升空间，并且结合三种产业，所需考虑的资源及其利用、转化方式更为复杂，因此为了解题的高效性，我们直接将与农民切身利益相关的最大化利润作为目标函数。

因此，农户同时经营农牧渔业时，一年的总利润  $I$  表示为：

$$I = P_1C_1 + P_2C_2 + P_3C_3 - D \quad (5-27)$$

其中， $P_1$  表示每斤农产品的价格， $P_2$  表示每斤畜牧产品的价格， $P_3$  表示每斤渔业产品的价格。 $C_1$  表示农业的总产量， $C_2$  表示畜牧业的总产量， $C_3$  表示渔业的总产量。 $D$  表示总成本。

### 3. 约束函数的确定

固定农户拥有 100 亩土地，则三种产业的种养殖面积均在 100 亩以内。通过查阅资料<sup>[7]</sup>并结合生活实际，我们发现三种产业的面积应符合以下关系式

$$0 < s_3 < s_2 < s_1 < 100 \quad (5-28)$$

而农户种养殖所花费的总成本与种植面积及三种产业的单位成本相关，即为下式

$$D = d_1s_1 + d_2s_2 + d_3s_3 \quad (5-29)$$

其中， $x_1$  表示农业种植所占的面积， $x_2$  表示畜牧业养殖所占的面积， $x_3$  表示渔业养殖所占的面积。 $d_1$  表示每亩农业种植的成本， $d_2$  表示每亩畜牧业养殖

的成本， $d_3$  表示每亩渔业养殖养殖的成本。

由于是综合经营，三种产业之间会在产量上相互影响，因此我们建立如下关系式

$$\begin{aligned} C_1 &= s_1 * \alpha_1 (1 + \alpha_{21} + \alpha_{31}) \\ C_2 &= s_2 * \alpha_2 (\alpha_{12} + 1 + \alpha_{32}) \\ C_3 &= s_3 * \alpha_3 (\alpha_{13} + \alpha_{23} + 1) \end{aligned} \quad (5-30)$$

其中， $\alpha_1$  为每亩农产品的产量， $\alpha_2$  为每亩畜牧产品的产量， $\alpha_3$  为每亩渔业产品的产量。 $\alpha_{21}$  表示牧业使农业单位产量增加的倍数， $\alpha_{31}$  表示渔业使农业单位产量增加的倍数， $\alpha_{12}$  表示农业使牧业单位产量增加的倍数， $\alpha_{32}$  表示渔业使牧业单位产量增加的倍数， $\alpha_{13}$  表示农业使渔业单位产量增加的倍数， $\alpha_{23}$  表示牧业使渔业单位产量增加的倍数。

#### 4. 目标规划模型的建立

综上所述，可以建立关于三种产业综合经营以达到最大化利润的目标规划模型：

$$\begin{aligned} \max I &= P_1 Q_1 + P_2 Q_2 + P_3 Q_3 - D \\ s.t. \begin{cases} 0 < s_3 < s_2 < s_1 < 100 \\ D = d_1 s_1 + d_2 s_2 + d_3 s_3 \\ C_1 = s_1 * \alpha_1 (1 + \alpha_{21} + \alpha_{31}) \\ C_2 = s_2 * \alpha_2 (\alpha_{12} + 1 + \alpha_{32}) \\ C_3 = s_3 * \alpha_3 (\alpha_{13} + \alpha_{23} + 1) \\ \alpha_{ij} = -4 \left( \frac{s_i}{s_j} \right)^2 + 4 \frac{s_i}{s_j}, i=1,2,3, j=1,2,3 \end{cases} \end{aligned} \quad (5-31)$$

### 5.3.2 利润最大化目标规划模型的求解

通过查阅资料并结合生活实际经验，我们以市面上最常见的交易品种作为参考进行计算，因此取小麦、猪肉、草鱼的培育价格和成品交易价格为参考价格，取水稻、猪肉、草鱼的收成产量为参考产量，以此确定上述模型中的部分参数取值：

$$P_1 = 2 \text{元/斤}, P_2 = 14 \text{元/斤}, P_3 = 5 \text{元/斤}, d_1 = 100 \text{元/亩}, d_2 = 2000 \text{元/亩},$$

$d_3 = 150$ 斤元/亩,  $\alpha_1 = 2000$ 斤/亩,  $\alpha_2 = 1000$ 斤/亩,  $\alpha_3 = 4000$ 斤/亩。

通过 MATLAB 软件求解利润最大化的综合经营目标规划模型, 我们得到以下结果 (编程代码详见附录 6) :

$$I_{MAX} = 906572.29 \text{元}, s_1 = 35, s_2 = 33, s_3 = 32$$

即为在 100 亩地上, 我们需要划分 35 亩地用来种植农产品, 33 亩地用来养殖畜牧业, 32 亩地用来养殖渔业, 并采用能将三种产业互利互惠的影响效果发挥到最大的种养版图, 如图 5-11:

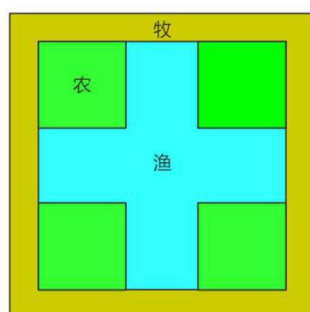


图 5-9: 种养版图

按照以上经营的模式, 渔业贯穿整个农田, 能够很便利地将渔业和种植业的产物及各种剩余资源进行互换, 而牧业也能够为农业、渔业提供肥料的同时, 满足自身的食用需求以及较为宽敞的活动空间。

此时采取以上经营计划和模式能够得到最大利润达 906572.29 元。此计划在保证最大利润的条件下, 三种产业的比例及分布均较为合理, 符合现实情况。

### 5.3.3 多家庭最小人力成本模型的建立

在保证三种产业同时经营所带来的的丰厚利润, 我们需要采取多个家庭合作的模式来减少平均人力成本。

在下文中, 为了减少人力成本, 我们应该使一个家庭负责的产业种类尽可能的少, 并且假设每个家庭的贡献都一样多, 人力成本加总然后均分。

在本节中, 我们所提供的计划仍采用上一节算出的结果, 即农牧渔业的占比接近 1:1:1, 多个家庭合作开展农牧渔业, 虽然扩大了规模, 但由于经营模式均与上一节相同, 因此产生的效益平均分摊到每一个家庭上应该与一个家庭单独



开展农牧渔业相同。

### 1. 模型的建立与求解

假设一个家庭做一种产业（100 亩）人力成本为  $N$ ，做两种产业（100 亩）的人力成本为  $k_1N$ ，做三种产业（100 亩）的人力成本为  $k_2N$ ， $2 > k_2 > k_1 > 1$ ， $D'$  为平均人力成本。

由于一家做多种产业会增加人力成本，因此需尽可能使一家只做一个产业。

由上一节算出的农牧渔业综合经营的最优种养殖计划，我们可知在这一节中虽然是多家合作，但为了保证利润尽量极大化，我们还是应该维持上一节中算出的三种产业的比例：农：牧：渔=1:1:1。

我们仍固定每家有 100 亩地，并且为了人力成本和利润好分配，合作的情况下，每家的工作量仍为 100 亩地。

假设有  $n$  个家庭合作：

$$n=1 \text{ 时, } D' = k_2N; \quad n=2 \text{ 时, } D' = k_1N; \quad n=3 \text{ 时, } D' = N;$$

$$n=4 \text{ 时, } D' = \frac{3+k_2}{4}N; \quad n=5 \text{ 时, } D' = \frac{3+2k_1}{5}N; \quad n=6 \text{ 时, } D' = N;$$

$$n=7 \text{ 时, } D' = \frac{6+k_2}{7}N; \quad n=8 \text{ 时, } D' = \frac{6+2k_1}{8}N; \quad n=9 \text{ 时, } D' = N;$$

以此类推，可以发现，只有当家庭的数量为 3 的倍数时，平均人力成本才能达到最小，即为  $N$ ，其他所有数量的家庭所得出的平均人力成本均大于  $N$ 。

因此在选取家庭来组合经营时，我们选取的家庭数量应为 3 的倍数。但若家庭数量过多，会导致共同经营的面积过大，不仅不好统筹管理各家庭人员，也难以在过大的范围内形成互利互惠的农牧渔业生态系统。因此结合实际情况考虑，我们将选取 3 和 6 作为最优家庭数量。以此给出最优合作种养殖计划：

表 5-9：最优合作种养殖计划一表

	家庭 1	家庭 2	家庭 3
经营范围	100 亩农业	100 亩牧业	100 亩渔业

表 5-10：最优养殖计划二表

	家庭 1	家庭 2	家庭 3	家庭 4	家庭 5	家庭 6
经营范围	100 亩农业	100 亩农业	100 亩牧业	100 亩牧业	100 亩渔业	100 亩渔业

具体区域划分见下图：

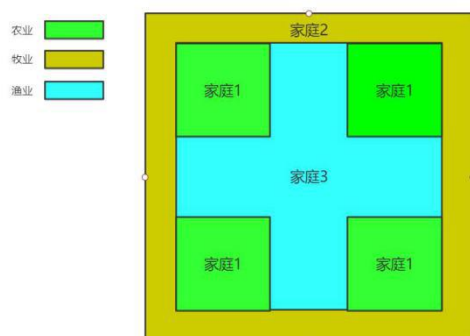


图 5-10：最优合作种养殖计划一图

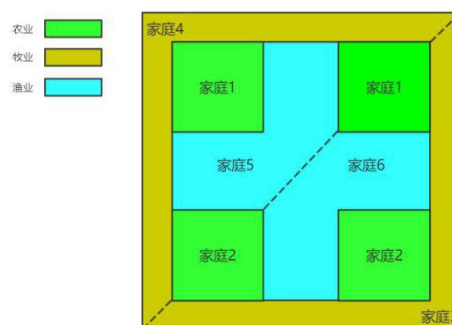


图 5-11：最优合作种养殖计划二图

## 六、模型的评价及优化

### 6.1 误差分析

#### 6.1.1 针对问题 1 的误差分析

##### 1. 对于农作物的预测误差分析

以问题 1 中对西瓜产量的预测为例，其实际值与预测值曲线如图 6-1：

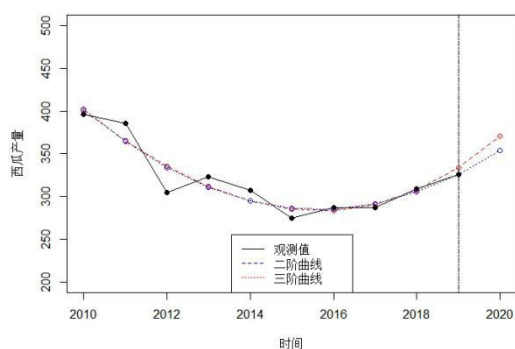


图 6-1：西瓜产量预测图

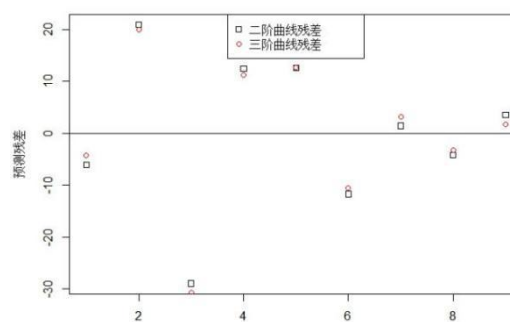


图 6-2：西瓜产量预测残差图

可知 2010-2015 年多阶曲线拟合效果不佳，2016-2019 年曲线拟合效果较好。

从图 6-2 中可以看出，三阶曲线的残差值虽然比二阶曲线小，但两者相差不大并且残差只都较小，说明两者的拟合效果俱佳，下面给出具体拟合参数。

二阶曲线拟合参数：

表 6-1: 二阶曲线拟合参数表

截距(Intercept)	$x$	$x^2$
447.548	-48.882	3.673

三阶曲线拟合参数:

表 6-2: 三阶曲线拟合参数表

截距(Intercept)	$x$	$x^2$	$x^3$
443.082	-44.921	2.814	0.052

根据以上分析,我们选取时间序列预测模型中的多阶曲线预测模型对于具有升降及存在拐点特征的农作物产量来进行预测是正确的。

## 2. 对人力成本的误差分析

以东北大豆春麦玉米甜菜区的西瓜为例,根据公式(1-6),我们以预测 2020 年的农作物价格 ( $P$ ) 与产量 ( $C$ ) 为自变量计算出人力成本,下面对参数  $g$  进行误差分析。

表 6-3: 误差分析参数表

$K$	$g$	$D'$	人力成本
0.1	0.2	20 亿	97.9996 亿元
0.1	0.202	20 亿	97.71386 亿元

对参数  $g$  起止取值为 0.200 ~ 0.220, 对应人力成本变化如图:

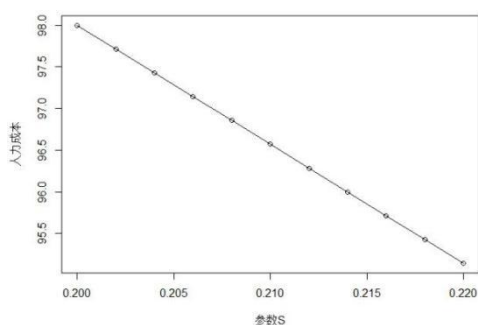


图 6-3: 人力成本误差分析图

可知参数  $g$  上升 1%，人力成本下降 0.291%。

由上述分析，参数  $g$  对人力成本敏感，但敏感程度不高，说明我们的模型较为稳定。

### 6.1.2 针对问题 2 的误差分析：

对于约束条件的公式 (5-15)，我们对该农业种植区的平均收入  $I'$  与目标函数  $Z$  进行灵敏度分析。

平均收入  $I'$  起止取值为 100000 ~ 110000，对应土地破坏程度如图：

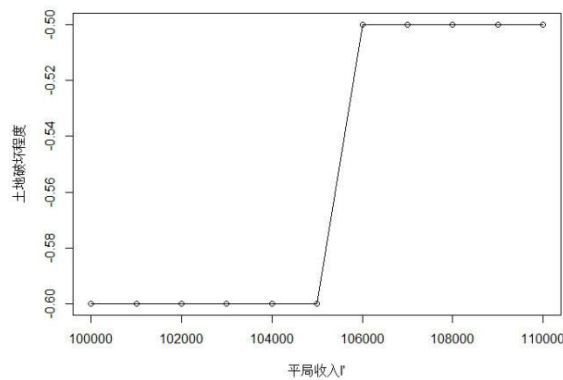


图 6-4: 土地破坏程度误差分析图

可知，对于平均收入从 100000 ~ 110000，土地破坏程度仅在 105000 处上升，故对本例而言，若农民想要提高平均收入，仅当达到某个阈值（本例为 105000）时，才会增加对土地的破坏程度。而对于参数  $I'$  的浮动，目标函数（土地破坏程度）表现出较强的稳定性，因此可以认为我们的模型稳定性较强。

## 6.2 模型的优点

- 我们在文中灵活地使用了多个不同形式目标规划模型，在适应农户们的各种不同条件下，也能够很好地满足他们的不同需求，为各农户提供了合理的种养殖计划。
- 在水资源利用最小化目标规划模型中，通过工资总额的方式来表现由人工成

本比较创新而且契合实际，同时计算简便，可以较为容易的得到人工成本的数值

- 我们在求解模型时，均以现实生活中的各种真实数据为参考来估计我们所使用的参数，计算出的结果也比较合理，贴近实际。
- 我们对模型中的部分参数做了充分的灵敏性分析，证实了我们模型的稳定性与有效性。

### 6.3 模型的缺点

- 我们的模型中包含了很多参数，由于参数的取值与生活中的各种情况相关，十分复杂，因此存在较大的不确定性，可能变化一些参数的值会得出不一样的结果。
- 在计算利润最大化目标规划模型时，无法确切地得出农牧渔三种产业彼此之间的影响比例大小，只能大概估计数值，因此可能得出的结果与现实情况有一定偏差。
- 在人力成本最小模型中，每个家庭贡献程度相同的假设现实中有一定局限性，即使种养殖的面积相同，但因为工作的内容不同，贡献程度还是会有一些偏差。

### 6.4 模型的改进推广

#### 1. 模型的改进

如果有更多的时间，我们将进一步考虑每一种产业内部的种养殖情况，例如农田分成几块、每一块种几熟制的作物等，并结合现实生活中的数据，仔细构建出三种产业相互影响的精确函数关系式，再带入模型之中，更加准确给出三种产业的最优组合比例与经营模式。

而在人力成本最小模型中，我们可以进一步研究三种产业在人力成本方面的计算，为每一种产业所耗费的人力成本构建出精确的函数表达式，以此来区分各个家庭对于联合经营的贡献程度，这样可以提供更加公平的联合种养殖计划。

## 2. 模型的推广

我们的模型及文中所运用的相关理论符合数学、自然以及农业方面的知识及规律，因此我们的模型在适当改进后还可以用来解决现实生活中的其他问题。例如，我们的土地资源最大化目标规划模型可以用来研究沙漠治理的问题；我们的水资源最小化目标规划模型还可以应用到城市水资源合理分配的问题上，有利于城市水资源的优化配置；我们的利润最大化目标规划模型可以用来探索未来生态大农业的开发，为农、林、牧、副、渔组成的大农业提供最优组合计划，将其有机结合综合利用。

## 参 考 文 献

- [1] 袁磊,何元斌,包广静,李彦. 云南省农用地循环利用的可持续性评价[J]. 国土与自然资源研究, 2019(05):56-60.
- [2] 张翔. 1983\_2015年我国农业区域三类骤旱时空分布特征分析[J]. 地球科学进展, 2018(03). 1409-1055.
- [3] 杨昕波. 试谈农产品成本核算中人工费用的计算[J]. 农业技术经济, 1988(01):56-58.
- [4] <http://www.xjishu.com/zhuanli/01/201510664658.html>
- [5] 肖俊夫,刘战东,段爱旺,刘祖贵. 中国主要农作物全生育期耗水量与产量的关系[J]. 中国农学通报, 2008(03):430-434.
- [6] 钟树福. 试论江西稻区农一牧一渔业系统[J]. 江西农业大学学报, 1986, 8(03):38-44.
- [7] 朱玉林,李明杰,龙雨孜,王茂溪,侯茂章,李晓敏. 基于能值分析的环洞庭湖区农业生态系统结构功能和效率[J]. 生态学杂志, 2012, 31(12):3086-3093.
- [8] 夏忠国,胡宏海,张新华,王宏清. 谈谈生态渔业与大农业综合开发利用[J]. 河南水产, 1996(04):29-30.
- [9] 蔡友芳. 小池塘与稻田结合养鱼应大力推广[C]. 中国水产科学研究院. 可持续水产养殖——资源、环境、质量——2003水产科技论坛论文集. 中国水产科学研究院:中国水产科学研究院, 2003:166-168.
- [10] 石建华. 渔业和农业结合是有益的[J]. 甘肃畜牧兽医, 1985(04):24.
- [11] 宋冰. 基于水循环及水资源转化率的农业用水策略[J]. 农业工程, 2017, 7(06):104-105.
- [12] 周惠成,彭慧,张弛,肖建民. 基于水资源合理利用的多目标农作物种植结构调整与评价[J]. 农业工程学报, 2007(09):45-49.
- [13] 杨军香,王合亮,焦洪超,林海. 不同种植模式下的土地适宜载畜量[J]. 中国农业科学, 2016, 49(02):339-347.

## 附 录

<<操作系统:

Win10 x64

<<c++集成开发环境及版本:

Microsoft Visual Studio 2017(141)

Windows SDK:10.0.17763.0

<<MATLAB 版本:

-----  
MATLAB 版本: 9.0.0.341360 (R2016a)

MATLAB 许可证编号: 123456

操作系统: Microsoft Windows 10 家庭中文版 Version 10.0 (Build 14393)

Java 版本: Java 1.7.0\_60-b19 with Oracle Corporation Java HotSpot(TM) 64-Bit Server  
VM mixed mode  
-----

MATLAB                    版本 9.0                    (R2016a)

<<R studio 版本:

R x64 3.5.2

<<Javascript 集成开发环境及版本:

IntelliJ IDEA 2017.1.2

### 附录 1: 问题一的区域图程序

```
<!DOCTYPE html>
```

```
<html>
```

```
<head>
```

```
<meta charset="UTF-8">
```

```
<title>ECharts</title>
```



```
</head>
```

```
<body>
```

```
<div id="Map" style="width: 700px;height:500px;"></div>
```

```
<script type="text/javascript">
```

```
let myChart = echarts.init(document.getElementById("Map"));
```

```
var mydata = [{
```

```
    name: '河北',
```

```
    value: 3
```

```
},
```

```
{
```

```
    name: '山东',
```

```
    value: 3
```

```
},
```

```
{
```

```
    name: '河南',
```

```
    value: 2
```

```
},
```

```
{
```

```
    name: '重庆',
```

```
    value: 5
```

```
},
```

```
{
```

```
    name: '广西',
```

```
    value: 6
```

```
},
```

```
{
```

```
    name: '四川',
```

```
    value: 9
```

```
},
```

```
{
  name: '海南',
  value: 6
},
{
  name: '北京',
  value: 3
},
{
  name: '天津',
  value: 3
},
{
  name: '上海',
  value: 4
},
{
  name: '江苏',
  value: 4
},
{
  name: '浙江',
  value: 4
},
{
  name: '福建',
  value: 6
},
{
```

```
    name: '安徽',  
    value: 4  
  },  
  {  
    name: '江西',  
    value: 5  
  },  
  {  
    name: '湖北',  
    value: 4  
  },  
  {  
    name: '湖南',  
    value: 5  
  },  
  {  
    name: '广东',  
    value: 6  
  },  
  {  
    name: '辽宁',  
    value: 1  
  },  
  {  
    name: '吉林',  
    value: 1  
  },  
  {  
    name: '台湾',
```

```
    value: 6
  },
  {
    name: '黑龙江',
    value: 1
  },
  {
    name: '内蒙古',
    value: 2
  },
  {
    name: '云南',
    value: 7
  },
  {
    name: '贵州',
    value: 7
  },
  {
    name: '山西',
    value: 3
  },
  {
    name: '陕西',
    value: 2
  },
  {
    name: '甘肃',
    value: 2
  }
```

```
    },
    {
      name: '新疆',
      value: 8
    },
    {
      name: '西藏',
      value: 10
    },
    {
      name: '青海',
      value: 9
    },
    {
      name: '宁夏',
      value: 2
    },
  ];
  option = {
    backgroundColor: '#ffff',
    title: {
      text: '',
      subtext: '',
      x: 'center',
      y: '5%'
    },
    tooltip: {
      trigger: 'item',
      formatter: '{b}',

```

```
},  
  
roam: true,  
  
dataRange: {  
  min: 0,  
  max: 5,  
  x: '5%',  
  y: '5%',  
  splitList: [  
    {  
      start: 9.5,  
      end: 10.5,  
      label: '青藏高原青稞、小麦、油菜区',  
      color: '#FA8072'  
    },  
    {  
      start: 8.5,  
      end: 9.5,  
      label: '西北绿洲麦、棉、甜菜、葡萄区',  
      color: '#FF4500'  
    },  
    {  
      start: 7.5,  
      end: 8.5,  
      label: '云贵高原稻、玉米、烟草区',  
      color: '#FF7F50'  
    },  
    {  
      start: 6.5,  
      end: 7.5,
```

```
    label: '川陕盆地稻、玉米、薯类、柑桔、桑区',
    color: '#F4A460'
  },
  {
    start: 5.5,
    end: 6.5,
    label: '华南双季稻、热带作物、甘蔗区',
    color: '#D2B48C'
  }, {
    start: 4.5,
    end: 5.5,
    label: '南方丘陵双季稻、茶、柑桔区',
    color: '#FFD700'
  },
  {
    start: 3.5,
    end: 4.5,
    label: '长江中下游稻、棉、油、桑、茶区',
    color: '#FFDEAD'
  },
  {
    start: 2.5,
    end: 3.5,
    label: '黄淮海绵、麦油、烟、果区',
    color: '#FFE4C4'
  },
}
```

```
    {
      start: 1.5,
      end: 2.5,
      label: '北部高原小杂粮、甜菜区',
      color: '#F0E68C'
    }, {
      start: 0.5,
      end: 1.5,
      label: '东北大豆、春麦、玉米、甜菜区',
      color: '#FFFAF0'
    },
  ],
  color: ['white'],
},
toolbox: {
  show: true,
  orient: 'vertical',
  x: 'right',
  y: 'center',
  feature: {
    mark: {
      show: true
    },
    dataView: {
      show: true,
      readOnly: false
    },
    dataZoom: {
```



```
        show: true
      },
      restore: {
        show: true
      },
      saveAsImage: {
        show: true
      }
    }
  },
  roamController: {
    show: true,
    x: 'right',
    mapTypeControl: {
      'china': true
    }
  },
  series: [{
    name: '大区',
    type: 'map',
    mapType: 'china',
    roam: false,
    layoutCenter: ['50%', '50%'],
    layoutSize: '130%',
    itemStyle: {
      normal: {
        borderColor: 'black',
        label: {
          show: true,
```

```
        color: 'black',
        fontSize: 11,
        position: 'inside',
        // textBorderWidth: 1,
        // textShadowColor: 'black',
        // textShadowBlur: '2',
        formatter: param => {
            console.log(param)
            if (param.name !== '香港' && param.name !== '澳门' &&
param.name !== '南海诸岛') {
                return param.name
            } else {
                return ''
            }
        }
    },
    ],
    data: mydata,
}, ]
};

if (option && typeof option === "object") {
    myChart.setOption(option, true);
}
})
</script>
</body>
</html>
```

**附录 2：问题一农作物价格及产量折线图绘制 MATLAB 程序**

```
%绘制各地区价格折线图
```

```
%x=1:12;
```

```
%a=[];
```

```
%b=[];
```

```
%c=[];
```

```
%绘制产量折线图
```

```
x=1:10;
```

```
%y(价格)数据
```

```
a=[1484.08, 1478.05, 1483.98, 1483.39, 1450.49, 1465.19, 1467.34, 1473.70, 1478.60, 1483.948];
```

```
b=[289.97, 315.36, 334.53, 340.85, 357.60, 375.82, 397.91, 415.68, 432.98, 451.8007];
```

```
%c=[186.3000, 295.5500, 298.6000, 144.6900, 55.4900, 13.3200, 21.6200, 50.6600, 67.2800, 80.200];
```

```
%绘图
```

```
%plot(x, a, '-*b', x, b, '-or', x, c, '-xg');
```

```
plot(x, a, '-*b', x, b, '-or');
```

```
set(gca, 'XTick', x);
```

```
%价格折线图绘制
```

```
%set(gca, 'Xticklabel', {'2019-6', '2019-7', '2019-8', '2019-9', '2019-10', '2019-11', '2019-12', '2020-1', '2020-2', '2020-3', '2020-4', '2020-5'});
```

```
%产量折线图绘制
```

```
set(gca, 'Xticklabel', {'2010', '2011', '2012', '2013', '2014', '2015', '2016', '2017', '2018', '2019'});
```

```
%set(gca, 'YTick', [0:1:25]);
```

```
for i=1:10
```

```
text(x(i), a(i)+0.1, num2str(a(i)));
```

```
text(x(i), b(i)+0.1, num2str(b(i)));
```

```
%text(x(i), c(i)-0.1, num2str(c(i)));
```

```
end  
%legend('玉米','西瓜','甜菜');  
legend('稻谷','柑橘');  
xlabel('时间');  
%ylabel('价格(元/公斤)')  
ylabel('产量(万吨)')
```

### 附录 3: 问题一的时间序列预测 R Studio 程序

```
y=c(5760.23,6832.09,7614.48,8527.84,8319.12,9116.08,9009.16,8743.33,8444.83,785  
8.658)  
#x=c(2010,2011,2012,2013,2014,2015,2016,2017,2018,2019)  
x=1:10  
fit1<-lm(y~x+I(x^2))  
fit2<-lm(y~x+I(x^2)+I(x^3))  
predata<-predict(fit1,data.frame(x=1:11))  
predata2<-predict(fit2,data.frame(x=1:11))  
#实际值与预测值  
plot(2010:2020,predata2,type='o',lty=2,col="red",xlab="时 间",ylim=c(5000,10000),ylab="玉米产量")  
lines(2010:2020,predata,type="o",lty=3,col="blue")  
points(c(2010:2019),y,type="o",pch=19)  
legend(x="bottom",legend=c("观测值","二阶曲线","三阶曲线"),lty=1:3,col=c("black","blue","red"))  
abline(v=2019,lty=6)  
#残差图  
plot(fit1$residuals,ylab="预测残差",xlab="",pch=0)  
points(fit2$residuals,col="red")  
abline(h=0)  
legend(x="top",legend=c("二阶曲线残差","三阶曲线残差"),pch=0:1,col =
```

```
c("black", "red"))
```

附录 4: 问题二的目标规划模型 C++源程序

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
#define N 4
#define M 3
bool IsSwap(vector<int>&a, int start, int end)
{
    for (int i = start; i < end; i++)
        if (a[i] == a[end])
            return false;

    return true;
}
void swap(vector<int>&a, int i, int j)
{
    int temp;
    temp = a[j];
    a[j] = a[i];
    a[i] = temp;
}
void de_prem(vector<int>&a, int start, int end, vector<vector<int>>&ret)
{
    if (start == end)
    {
        /*vector<int>::iterator iter;
```

```
        for (iter = a.begin(); iter < a.end(); iter++)
        {
            cout << (*iter) << " ";
        }
        cout << endl;*/

        ret.push_back(a);
        return;
    }
    else
    {
        for (int i = start; i <= end; i++)
        {

            if (IsSwap(a, start, i))
            {
                swap(a, start, i);
                de_prem(a, start + 1, end, ret); //每次选择子后一个元素为开始第
一个元素
                swap(a, i, start);
            }

        }
    }
}

void printVec(vector<vector<int>> vec)
{
    for (int i = 0; i < vec.size(); i++)
    {
```

```
        for (int j = 0; j < vec[i].size(); j++)
        {
            cout << vec[i][j] << ' ';
        }

        cout << endl;
    }
}

int main()
{
    //初始化破坏因子
    double C[N*M] = { -0.1, -0.1, -0.1,
                    -0.1, -0.1, -0.1,
                    -0.1, -0.1, -0.1,
                    -0.1, -0.1, -0.1};

    //初始化农作物收入
    double P[N*M] = {
                    2120, 2120, 2120,
                    7000, 7000, 7000,
                    1400, 1400, 1400,
                    2100, 2100, 2100,
                    };

    //对可能情况排列组合
    vector<vector<int>> source =
    { {1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}, {1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
      {1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}, {1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
      {1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}, {1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
      {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0}, {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0},
      {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0}, {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0},
      {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1}
    };

    vector<vector<int>> res;
```

```
for (int i = 0; i < source.size(); i++)
{
    de_prem(source[i], 0, 11, res);
}

vector<int>zero = { 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 };
vector<int>one = { 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 };
res.push_back(zero);
res.push_back(one);

double minDes = 1000;

vector<int>result;

//目标规划

for (int i = 0; i < res.size(); i++)
{
    double des = 0;

    int sum1 = 0;

    int sum2 = 0;

    int sum3 = 0;

    double price = 0;

    for (int j = 0; j < res[i].size(); j++)
    {
        des += C[j] * res[i][j];

        if (j == 0 || j == 3 || j == 6 || j == 9)
            sum1 += res[i][j];

        if (j == 1 || j == 4 || j == 7 || j == 10)
            sum2 += res[i][j];

        if (j == 2 || j == 5 || j == 8 || j == 11)
            sum3 += res[i][j];

        if (res[i][j] == 1)
            price += P[j] * res[i][j]*6;
    }
}
```



```
    }  
    if (res[i][0] == 1)  
        if (sum1 > 1)  
            continue;  
    if (res[i][1] == 1)  
        if (sum2 > 1)  
            continue;  
    if (res[i][2] == 1)  
        if (sum3 > 1)  
            continue;  
    if (res[i][3] == 1)  
        if (sum1 > 2)  
            continue;  
    if (res[i][4] == 1)  
        if (sum2 > 2)  
            continue;  
    if (res[i][5] == 1)  
        if (sum3 > 2)  
            continue;  
    if (sum1 <= 3 && sum2 <= 3 && sum3 <= 3 && price >= 150000)  
        if (des <= minDes)  
        {  
            minDes = des;  
            result = res[i];  
        }  
}  
  
//打印结果  
if (minDes == 1000)  
    cout << "规划失败";
```

```
else{
    for (int i = 0; i < result.size(); i++)
        cout << result[i] << " ";
    cout << endl;
    cout << minDes << endl;
}
system("pause");
return 0;
}
```

**附录 5: 问题三目标规划 MATLAB 程序:**

```
function f=fun1(x);
f=x(1)+x(2);
function [g,h]=fun2(x);
g=[0.3927*x(1).^2-282.53*x(1)+1.1025*x(2).^2-806.4*x(2)-101595];
h=[];
[x,y]=fmincon('fun1',[200,200],[-0.64 0;0
-0.64],[-173.42;-205.17],[[],[],[],[]],'fun2')
```

**附录 6: 问题四目标规划 MATLAB 程序:**

%使用 matlab 规划函数

```
function f=fun1(x);
f=4000*((x(2)^2+x(3).^2)/x(1))+14000*((x(1).^2+x(3).^2)/x(2))+20000*((x(1).^2+x
(2).^2)/x(3))-140000*x(1)-110000*x(2)-92000*x(3);
function [g,h]=fun2(x);
g=[];
h=[x(1)+x(2)+x(3)-100];
[x,y]=fmincon('fun1',[0,0,0],[0 -1 1;-1 1 0;1 0
0],[0;0;100],[[],[],[0,0,0],[[],'fun2')
```

```
%蛮力遍历
max=0;
for i=0:100
    for j=0:100
        for k=0:100
            if (i+j+k==100&&(k<j)&&(j<i))

Max=140000*i+110000*j+92000*k-16000*((j*j+k*k)/i)-56000*((i*i+k*k)/j)-80000*((i
*i+j*j)/k)

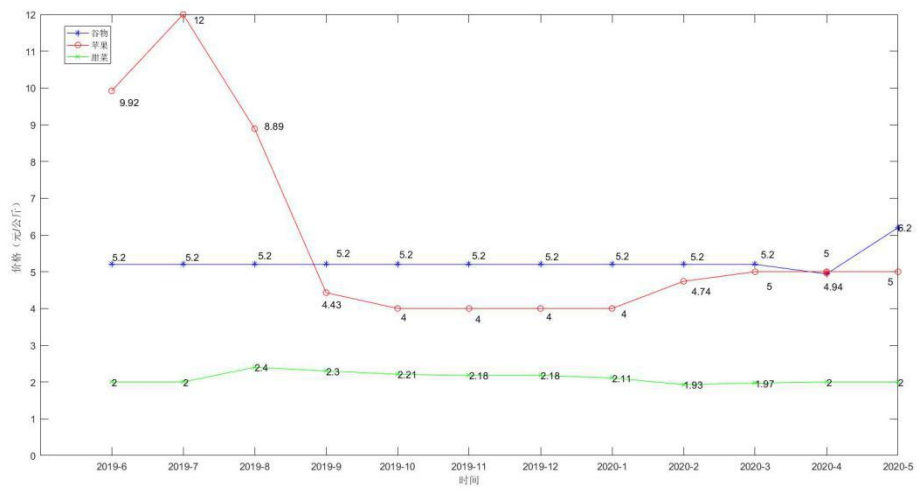
                if (Max>max)
                    max=Max;
                    x1=i
                    x2=j
                    x3=k
                end
            end
        end
    end
end
end
```

#### 附录 7: 问题一灵敏度分析 R Studio 程序

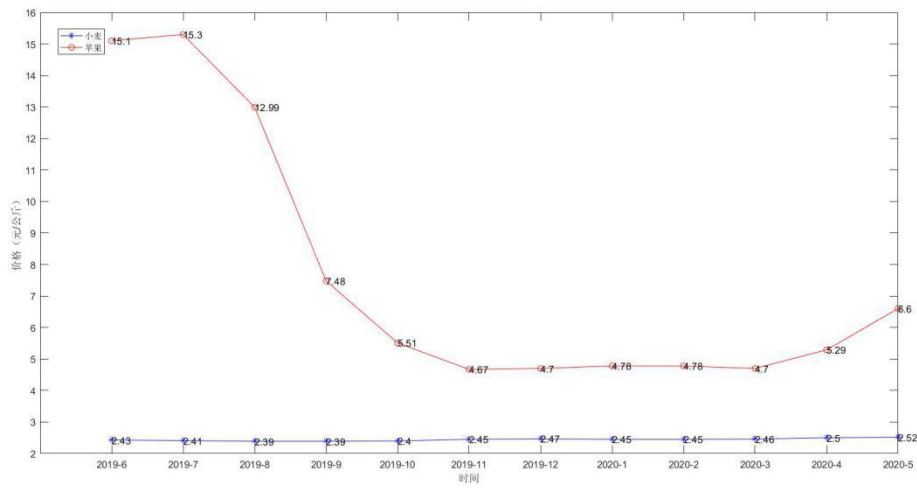
```
s=c(0.2, 0.202, 0.204, 0.206, 0.208, 0.210, 0.212, 0.214, 0.216, 0.218, 0.220)
R=(0.1*c+(3.85508-(s*3.85508*c+2000000000)/c)*c)/100000000
plot(s, R, type='o', col='black', xlab = '参数 S', ylab = '人力成本')
```

#### 附录 8: 问题一其余地区折线图

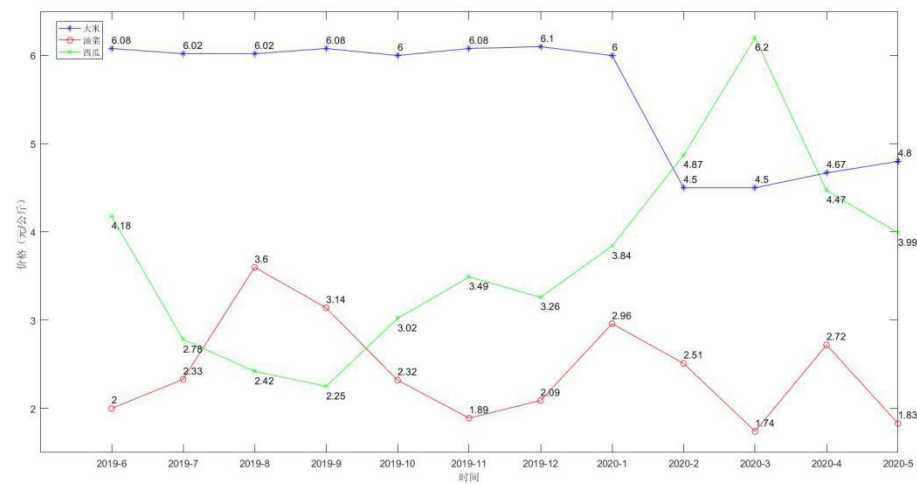
北部高原小杂粮甜菜区 :



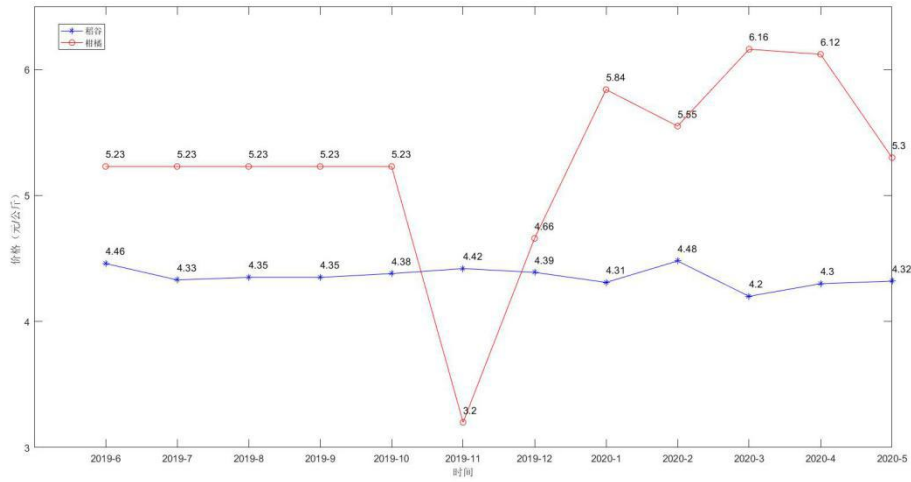
黄淮海棉麦油烟果区:



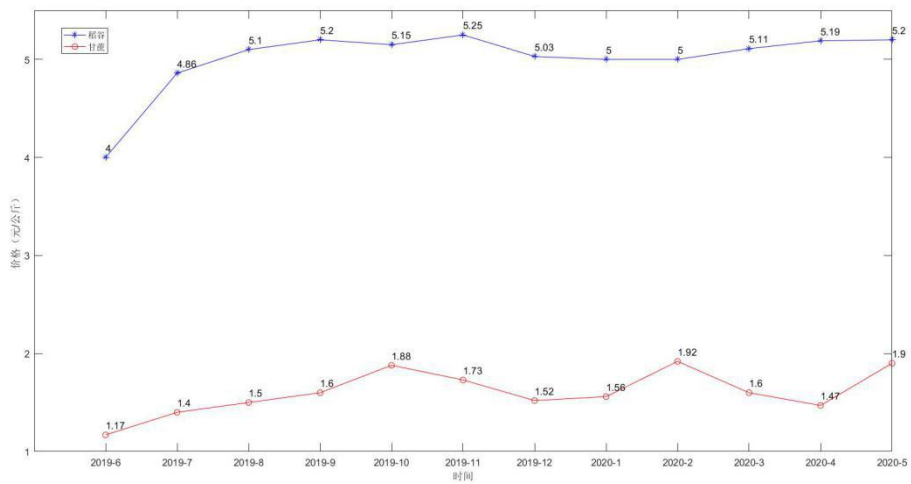
长江中下游稻棉油桑茶区:



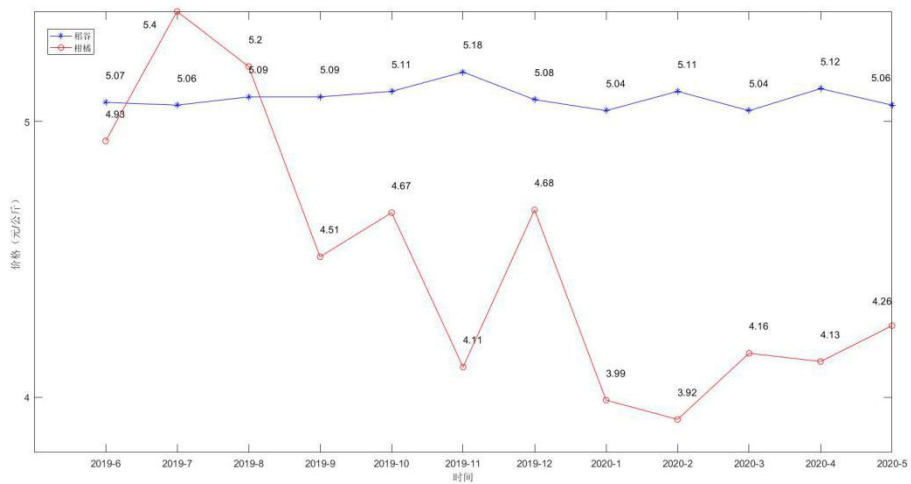
南方丘陵双季稻茶柑桔区：



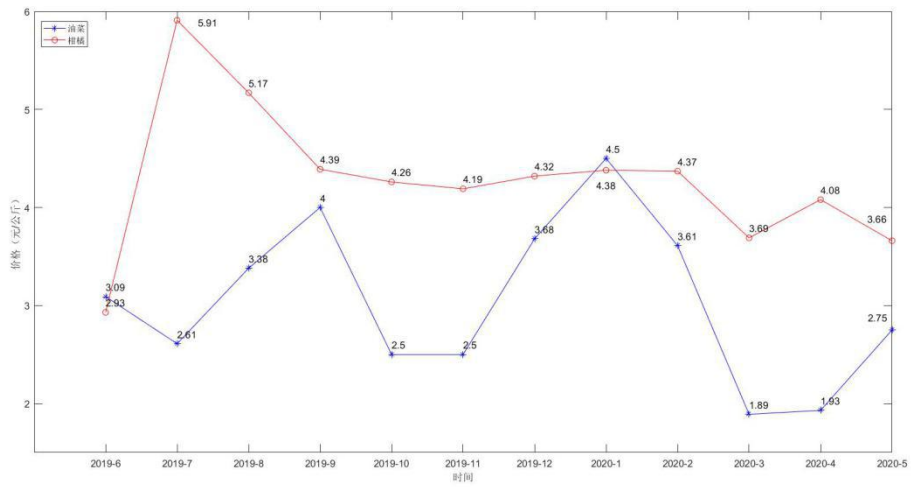
华南双季稻热带作物甘蔗区：



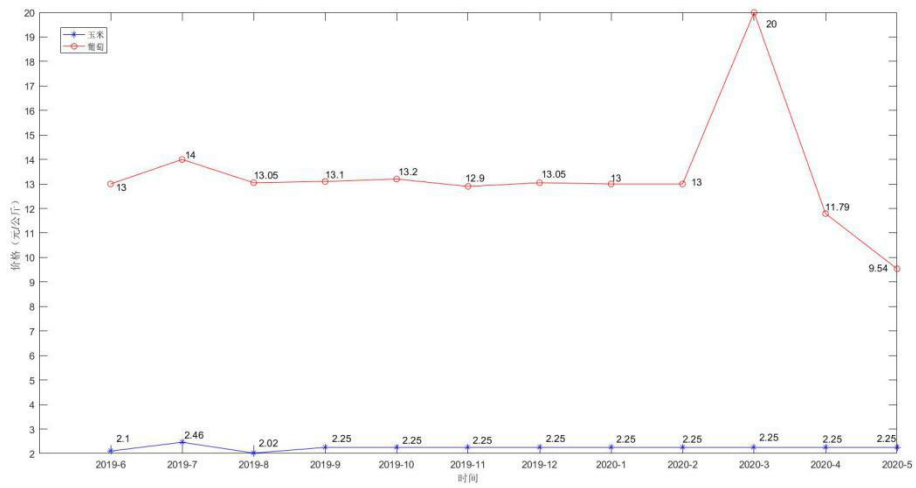
川陕盆地稻玉米薯类柑桔桑区：



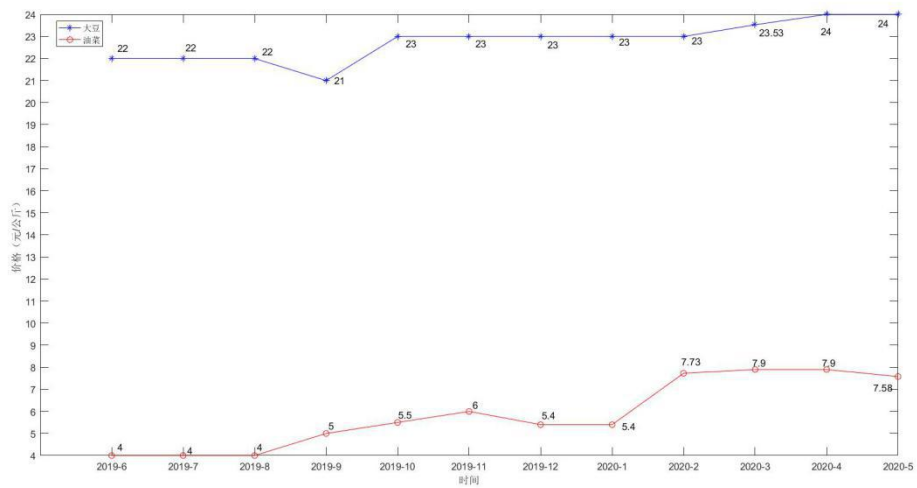
云贵高原稻玉米烟草区：



西北绿洲麦棉甜菜葡萄区：



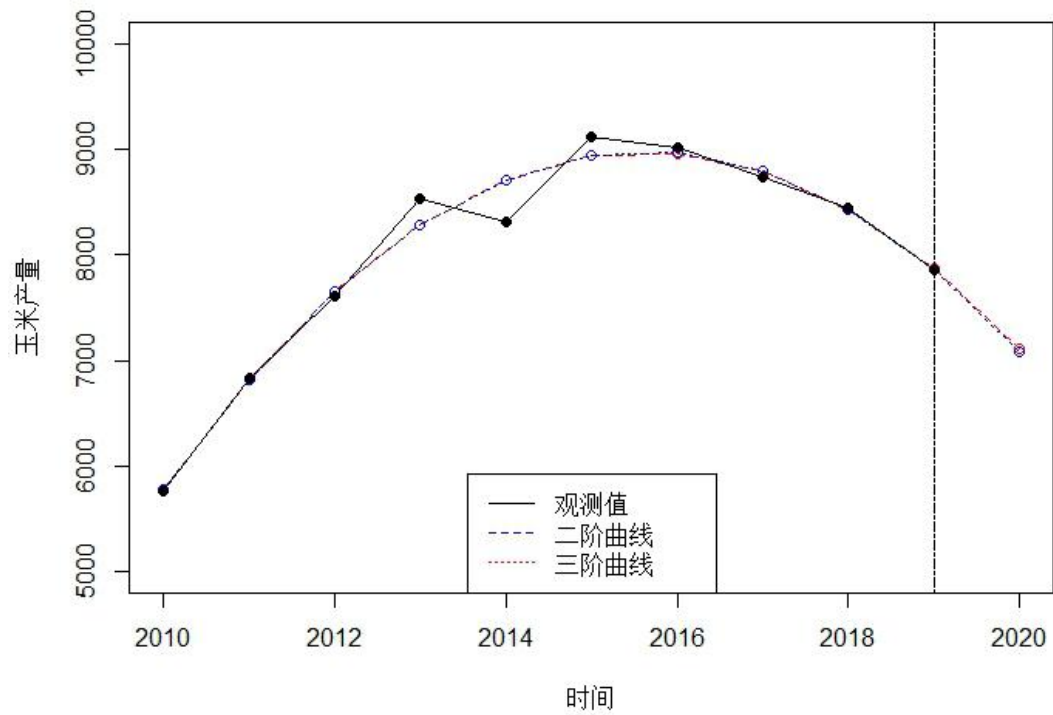
青藏高原青稞小麦油菜区：



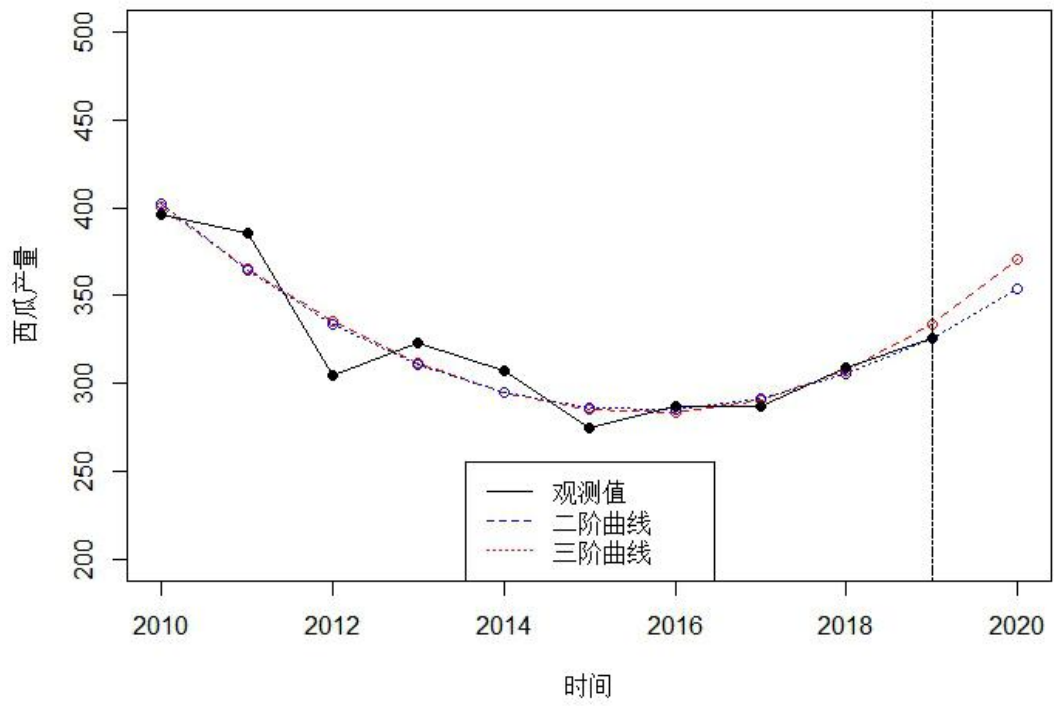
附录 9：问题一农作物预测图与残差图：

预测图：

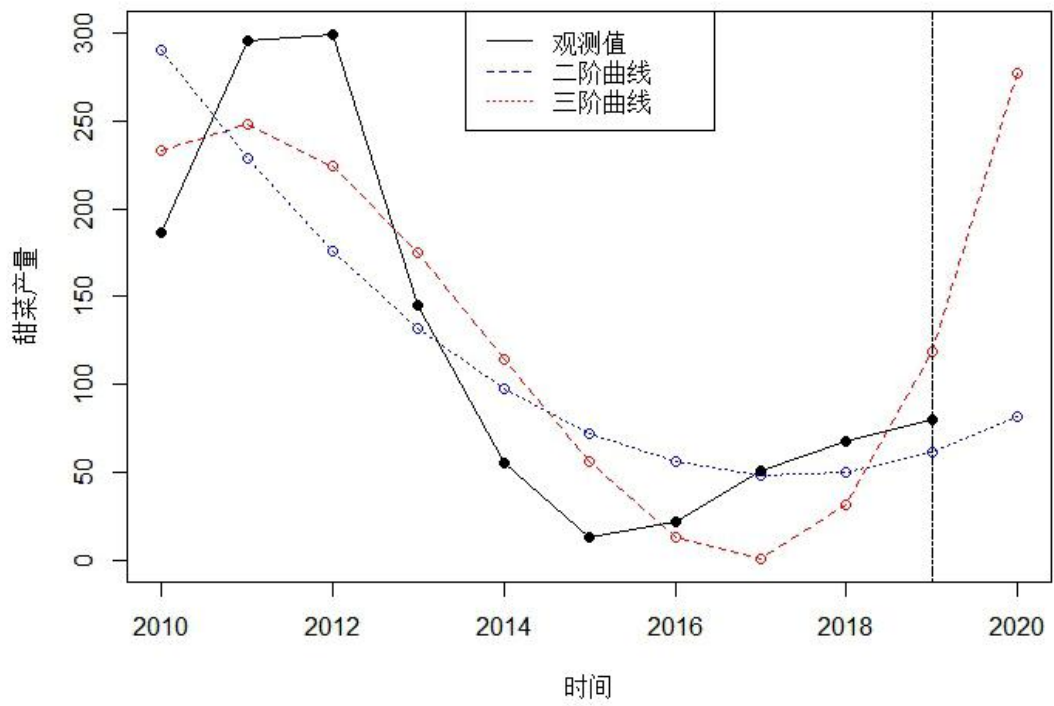
玉米：



西瓜：

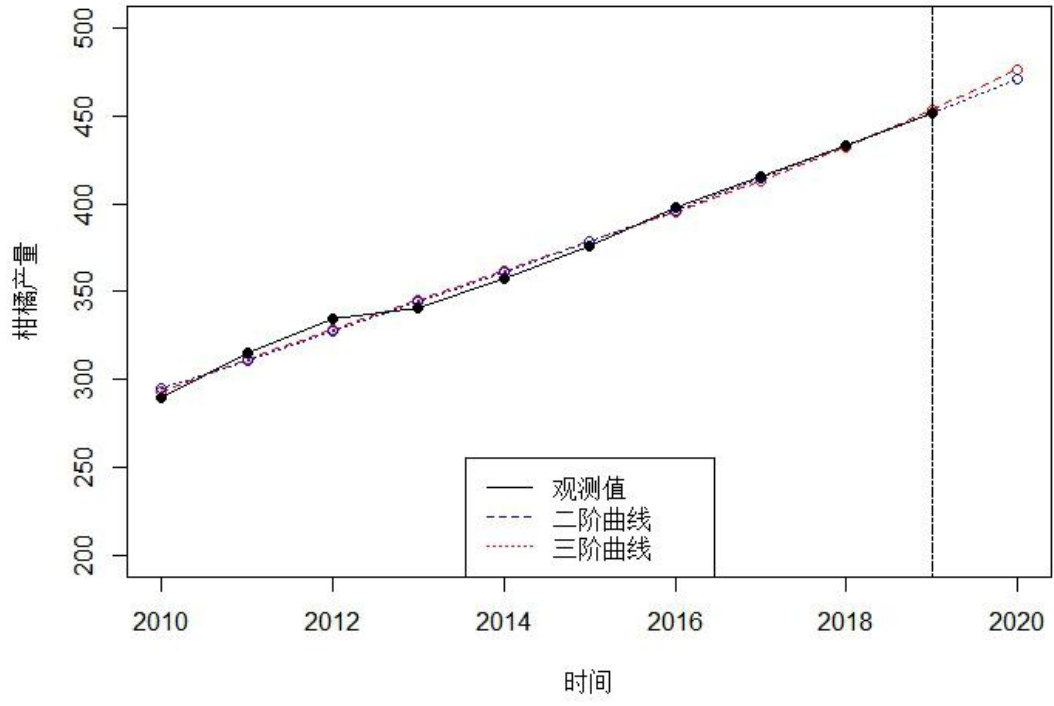


甜菜:

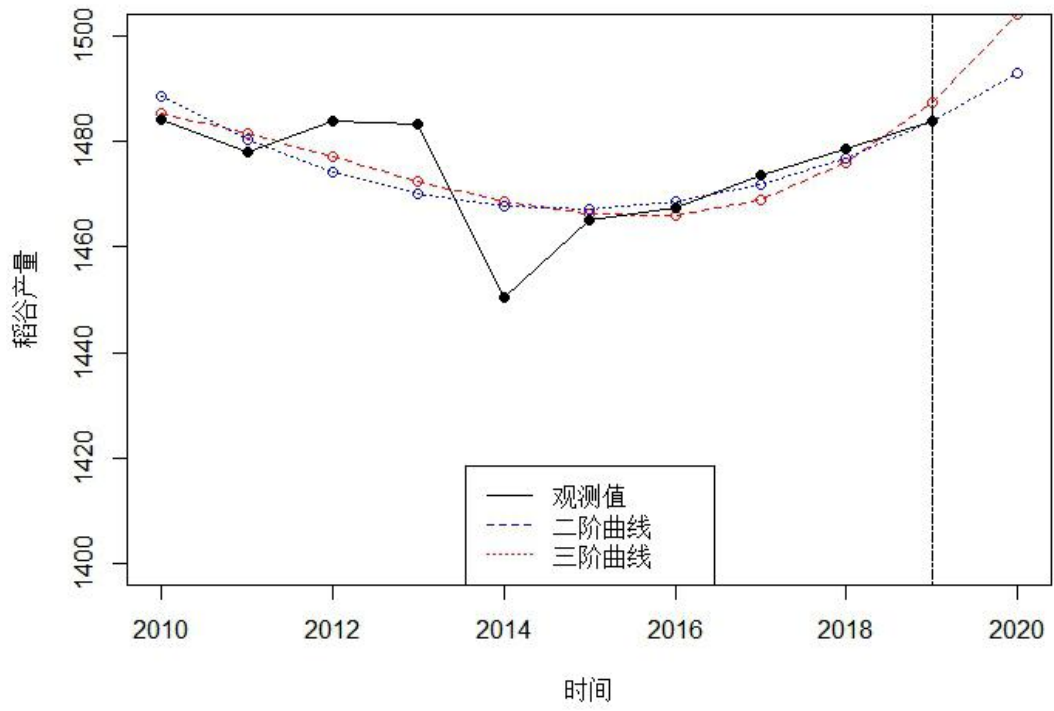




柑橘：

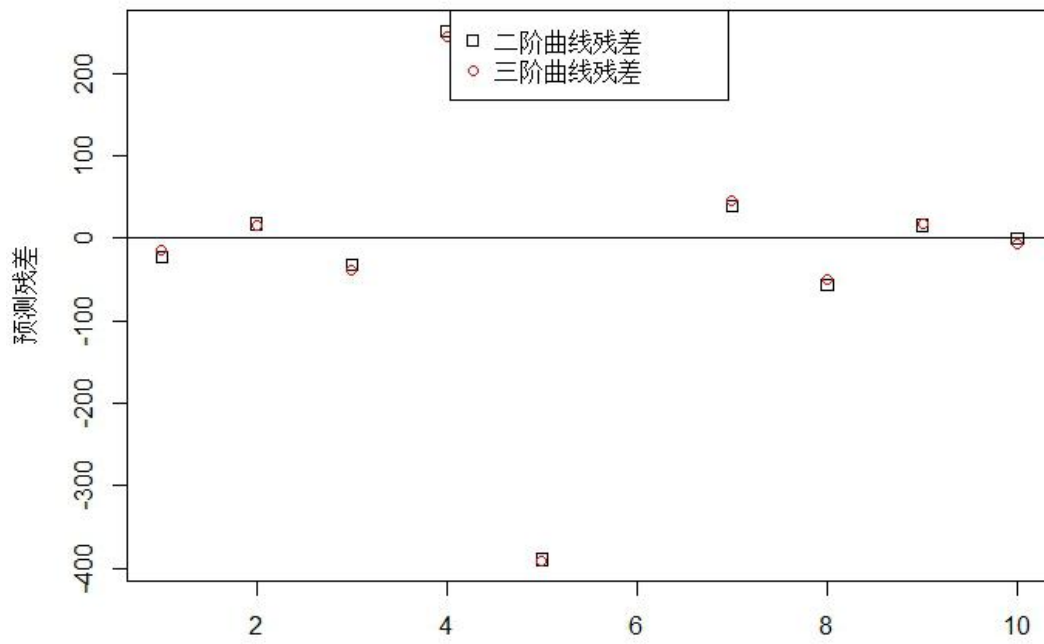


稻谷：

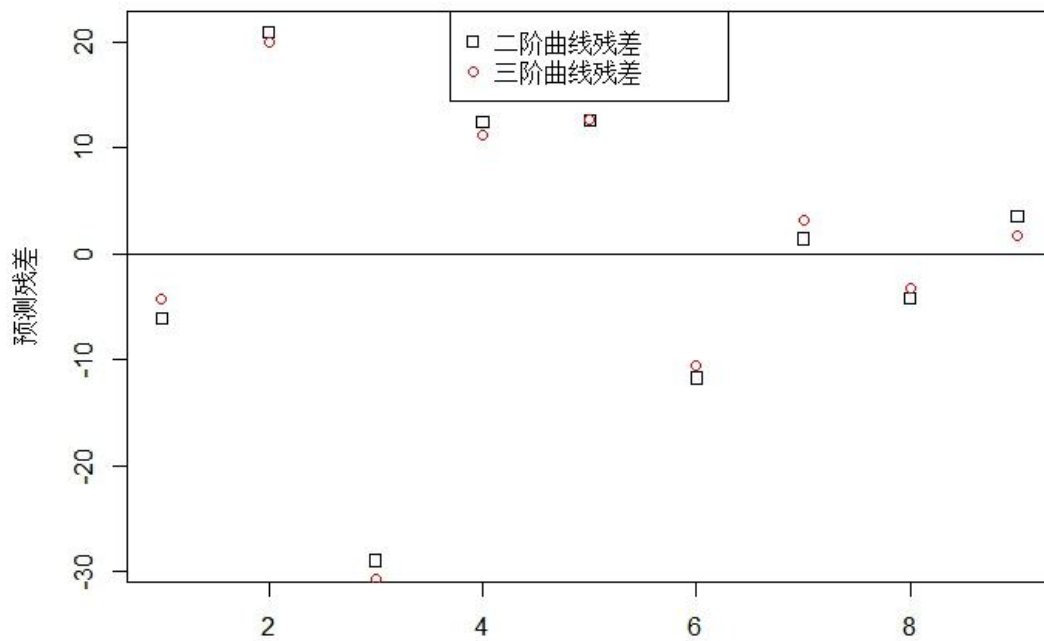


残差图:

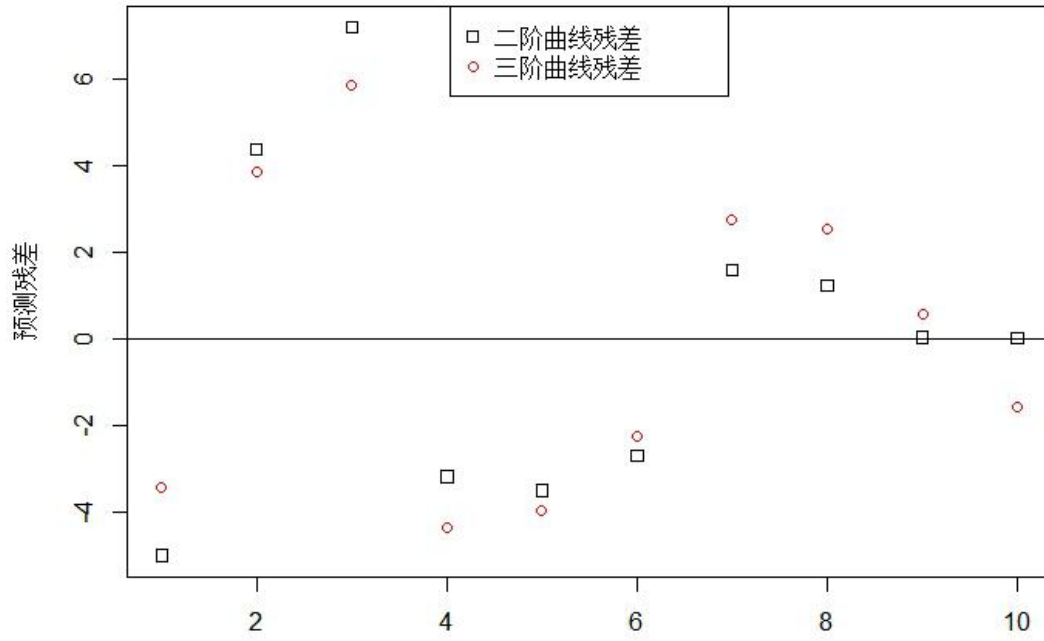
玉米:



西瓜：



柑橘:



稻谷:

