

2020 年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

题 目 关于种植养殖管理优化的研究

摘 要

本文主要研究的是优化种植养殖的优化管理问题，使用时间序列、模糊数学、线性规划等方法，通过考虑产量、价格、地区、成本预测等因素，结合所收集的数据，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的养殖计划。

在问题一中，我们为研究其变化规律，我们首先建立了指数平滑模型、ARIMA（求和自回归移动平均）模型及基于二者的组合预测模型，对 4 种农产品的价格、产量进行预测分析，然后再为研究影响收益的因素，建立了修正序列相关的对数多元线性回归模型，分析价格、产量、人工成本对收益的影响。

在问题二中，对于大规模的农产品种植，我们加入时间柔性，考虑不同农产品的生产周期、生产面积及劳动约束，基于时空约束用线性规划的方法建立大规模农产品种植计划模型，求得最优种植计划，在最大限度保证土地资源的循环利用的同时找到使得农民利润最大化的条件。以安徽省宿州市灵璧县 1000 亩土地为实例，代入数据得到，农民的最高收入为 358121.6 元，相应的种植计划为小麦 160 亩、花生 10 亩、棉花 270 亩、番茄 270 亩、大白菜 140 亩、黄瓜 160 亩、茄子 130 亩和萝卜 240 亩。

在问题三中，我们在第二问的基础上，调整了土地的规模并且加入了水资源的限制条件，将模型优化后得到模糊环境下小规模农业生产计划约束模型。然后以云南省盈江县 2018 年的农业数据为实例，代入数据得到在限制人均水量 14418t 的条件以及只有 10 亩以下的土地资源下，种植农作物水稻 1.6 亩、马铃薯 3 亩给小规模种植户带来最高收益，农民的最高收入为 6533.6 元。

在问题四中，在农业基础之上同时考虑牧业与渔业相关经营，我们提出了“水稻+田螺+”综合种养模式，以降低人力成本的消耗，更好地发挥家庭农场和合作社各自的优势。

在问题五中，对多个家庭的合作养殖提出“家庭农场+合作社”的养殖模式，以降低人力成本的消耗，更好地发挥家庭农场和合作社各自的优势。

关键词 模糊数学；线性规划；时空约束；ARIMA 模型；对数多元线性回归

目 录

一、问题重述.....	3
1.1 问题背景	3
1.2 问题提出	3
二、问题分析.....	3
2.1 问题 1 的分析	4
2.2 问题 2 的分析	4
2.3 问题 3 的分析	4
2.4 问题 4 的分析	5
2.4 问题 5 的分析	5
三、模型假设.....	5
四、定义与符号说明.....	5
五、模型的建立与求解.....	6
5.1 问题 1 的模型建立与求解	6
5.1.1 时间序列预测模型的建立.....	6
5.1.2 对数多元线性回归模型的建立.....	9
5.1.3 时间序列预测模型的求解.....	9
5.1.4 对数多元线性回归模型的求解.....	11
5.1.5 结果	13
5.1.6 模型评价及优化	13
5.2 问题 2 的模型建立与求解	14
5.2.1 基于时空约束的大规模农产品种植计划模型的建立	14
5.2.2 实例分析	17
5.2.3 模型评价	19
5.3 问题 3 的模型建立与求解	20
5.3.1 数据准备.....	20
5.3.2 建立模糊生产计划模型.....	21
5.3.3 实例分析.....	24

5.3.4 模型评价.....	24
5.4 问题4的模型建立与求解.....	25
5.4.1 “水稻+田螺+”综合种养模式.....	25
5.4.2 “水稻+田螺+”模式的优点.....	25
5.4.2 “水稻+田螺+”模式的展望.....	25
5.5 问题5的模型建立与求解.....	26
5.5.1 “家庭农场+合作社”养殖模式.....	26
5.5.2 “家庭农场+合作社”模式的优点.....	26
5.5.3 “家庭农场+合作社”模式的衍生.....	26
参考文献.....	27
附 录.....	28

一、问题重述

1.1 问题背景

在全球化疫情蔓延和国民生活水平稳步提高大形势下，居民对于绿色农畜产品的需求可能会迎来新的爆发期。传统大规模种植或养殖模式因其较大的风险、产品质量的非保障性及难以解决大规模居民就业问题等方面的缺陷将逐步丧失竞争优势。另外，国家所提倡的乡村振兴策略及解决各地区发展不充分不协调的问题的迫切需求等均预示着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。这种模式较为适合我国这一具有庞大人口规模及城镇化比率较高的国家加以推广。未来农村牧区的经营模式将会逐步走向两个极端，一类是大规模的种植与养殖模式，而另一类是较小规模的精细化和绿色化的生产模式。

1.2 问题提出

由上述的问题背景，请收集相关数据，建立数学模型回答以下问题：

(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；

(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；

(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；

(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；

(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

在经济新常态背景下，农业生产面临的挑战日益增多，研究不同农作物的产量及价格的变化规律、分析其对预期的人力成本及收入的影响，对促进农民增收具有重要的意义。

因此，问题 1 属于经济数据的时间序列分析问题，对于解决此类问题一般建立时间序列的经济学模型对其进行分析。

本题选择了小麦、棉花、马铃薯和苹果，共 4 种常见的适合不同地区种植的农产品，采集了近 20 年的统计数据，易见各项数据都具有上升的趋势。为研究其变化规律，我们首先建立了指数平滑模型、ARIMA（求和自回归移动平均）模型及基于二者的组合预测模型，对 4 种农产品的价格、产量进行预测分析，然后再为研究影响收益的因素，建立了修正序列相关的对数多元线性回归模型，分析价格、产量、人工成本对收益的影响。

2.2 问题 2 的分析

根据题目的要求，在最大限度的保证土地资源的循环利用及稳定收入下，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。对于大规模农业生产由于土地面积较大、资金充足等因素，多品种生产方式可充分利用土地资源，满足市场多方面需求，从而获取丰厚的利润且有利于规避自然和市场风险。因此我们加入时间柔性，考虑不同农产品的生产周期、生产面积及劳动约束，既考虑到时间维度，也考虑到空间维度，使得生产周期内的土地生产时间没有冲突且收益最大，建立约束和目标函数的线性模型。其次，我们收集了安徽省灵璧县的相关数据，将实际数据代入模型中，进行实例分析。

2.3 问题 3 的分析

根据题目要求，在考虑水资源的情况下，对缺乏土地资源的农民提出小规模种植计划从而达到农民基本收入。首先，我们建立模糊农业小规模生产模型，考虑水资源和土地资源限制的条件，将模型转化为线性规划模型，从而出农民的最大种植收入。其次，我们收集了云南省盈江县的相关数据，将实际数据代入模型中，进行实例分析。

2.4 问题 4 的分析

根据题目要求，在农业基础之上同时考虑牧业与渔业相关经营，我们提出了“水稻+田螺+”综合种养模式，从而达到延伸食物链，提高物质与能量循环和利用率、“一地多用”、“一地多收”，提高产出效益的目的。

2.4 问题 5 的分析

本题需对多个家庭的合作养殖提出规划，以降低人力成本的消耗。与单个家庭的养殖计划不同，多个家庭的合作养殖便是增加了耕地的数量，而如何做好土地的规划成为了本题的关键。而“家庭农场+合作社”的养殖模式能更好地发挥家庭农场和合作社各自的优势，成为现代农业经营体系中不可或缺的部分，其衍生模式也是我们有待挖掘的部分。

三、模型假设

1. 假设题目所给的数据真实可靠；
2. 不考虑种植过程中天气、品种、运输费用的变化等影响；
3. 不同地区之间的农作物生长差异忽略不计

四、定义与符号说明

符号定义	符号说明
JG	每 50 公斤产品实际价格（单位为元/50 公斤）
CL	产量（单位为万吨）
RG	每亩人工成本（单位为元/亩）
R	总的生产净利润
L	总的土地种植面积
W	总的劳动时间

K	总的水资源量
t	时间节点 t (0-12), 第 t 月的结束及第 t+1 月开始
x_m	m 月份的闲置土地面积
q_j	农产品 C_j 根据目标市场所需的土地面积
x_{i*j*k}	i 月份种植 k 月份收获的农产品 C_j 的种植面积
π_{i*j*k}	i 月份种植 k 月份收获的农产品 C_j 的单位面积的净利润
w_{i*j*k}	i 月份种植 k 月份收获的农产品 C_j 的单位面积的劳动时间
k_{i*j*k}	i 月份种植 k 月份收获的农产品 C_j 的单位面积的用水量
s_{i*j*k}	示性变量, 判断农产品 C_{i*j*k} 在时间点 t 是否开始生产
e_{i*j*k}	示性变量, 判断农产品 C_{i*j*k} 在时间点 t 是否结束生产

五、模型的建立与求解

5.1 问题 1 的模型建立与求解

5.1.1 时间序列预测模型的建立

5.1.1.1 指数平滑模型的建立

指数平滑法是对现有的历史数据进行“厚近薄远”的加权平均的一种预测方法。方法成熟，相对简单，适用于进行简单的时间序列分析。基于此本文将首先建立指数平滑模型。

(1) 一次指数平滑法

设时间序列 $X_1, X_2, \dots, X_t, \dots, X_N$ ，由移动平均法的递推公式可知：

$$M_t^{(1)} = M_{t-1}^{(1)} + \frac{X_t - X_{t-N}}{N}$$

式中， $M_{t-1}^{(1)}$ 为观测值 $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-N}$ 的一次移动平均值，进行变换则有

$$M_t^{(1)} = M_{t-1}^{(1)} + \frac{X_t - M_{t-1}^{(1)}}{N} = \frac{1}{N}X_t + \left(1 - \frac{1}{N}\right)M_{t-1}^{(1)}$$

令 $\alpha = \frac{1}{N}$, 以 $S_t^{(1)}$ 替换 $M_t^{(1)}$, 则可以得到一次指数平滑公式:

$$S_t^{(1)} = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_t^{(1)}$$

式中, $S_t^{(1)}$ 一次指数平滑值; α 为平滑系数, 且 $0 < \alpha < 1$.

因此, 一次指数平滑模型的预测公式为:

$$\hat{X}_{t+1} = \hat{X}_t + \alpha(X_t - \hat{X}_t) \quad (1)$$

式中, \hat{X}_{t+1} 为第 $t+1$ 期的预测值, X_t 为第 t 期的观测值。具体计算步骤如下

① 确定初始值 $S_0^{(1)}$;

② 分别取不同的 α 值进行迭代计算, 最终选取拟合历史曲线最优的 α 值为最终的平滑参数;

③ 运用式(1)进行预测。

(2) 二次指数平滑法

同理可得, 二次指数平滑模型的预测公式为:

$$\hat{X}_{t+T} = a_t + b_t T \quad (2)$$

其中:

$$a_t = S_t^{(1)} + (S_t^{(1)} - S_t^{(2)}) = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)}$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S_t^{(1)} - S_t^{(2)})$$

这里, α 为平滑系数; T 为所需预测的超前时期数; $S_t^{(1)}$ 为一次指数平滑值, $S_t^{(2)}$ 为二次指数平滑值。具体计算步骤如下:

① 确定初始值 $S_t^{(1)}, S_t^{(2)}$

② 分别取不同的 α 值进行迭代计算, 最终选取拟合历史曲线最优的 α 值为最终的平滑参数;

③ 运用式(2)进行相关预测。

依据图 1~图 8 可知, 四种农产品的价格呈上升趋势, 因此最终选取“Winters 可加性”模型作为具体平滑模型。

5.1.1.2 ARIMA 模型的建立

(1) 自回归移动平均 (ARMA) 模型

ARMA预测模型是确定型时间序列预测方法之一，可以适应不同环境，短期预测能力较强，预测精度较高，因此本文选取ARMA模型作为第二预测模型。

在建立一个实际时间序列模型时，可能既有自回归部分，又有移动平均部分，如：

$$X_n - \varphi_1 X_{n-1} - \cdots - \varphi_p X_{n-p} = \varepsilon_n - \theta_1 \varepsilon_{n-1} - \cdots - \theta_q \varepsilon_{n-q}$$

或者写成算子形式：

$$\Phi_p(B)X_n = \Theta_q(B)\varepsilon_n$$

简记此模型为ARMA(p, q)。括号中的第一个数据p是自回归阶数，第二个数据q是移动平均的阶数，故称之为(p, q)阶的自回归移动平均模型。

对ARMA(p, q)模型，总假定 $\Phi_p(B)$ 和 $\Theta_q(B)$ 无公共因子，分别满足平稳性条件和可逆性条件。如果 $\Phi_p(B)$ 满足平稳性条件，称ARMA(p, q)是平稳的；如果 $\Theta_q(B)$ 满足可逆性条件，称ARMA(p, q)是可逆的。对平稳的ARMA(p, q)模型， X_n 可表示为过去各期误差 ε_n 、 ε_{n-1} 、 ε_{n-2} 、...的线性组合；对可逆的ARMA(p, q)模型， ε_n 可表示为过去各期数据 X_n 、 X_{n-1} 、 X_{n-2} 、...的线性组合。

(2) 求和自回归移动平均 (ARIMA) 模型

ARMA模型仅适用于描述平稳的时间序列，而实际应用中遇到的时间序列往往是非平稳的，尤其是在经济管理领域中碰到的时间序列。对于有些序列，为了将其化为平稳时间序列，可以进行一次或者多次差分。

定义差分 $\nabla X_n = X_n - X_{n-1}$ ，差分算子 $\nabla = 1 - B$ 。n阶差分即为 $\nabla^n = (1 - B)^n$ 。则(p, d, q)阶求和自回归——移动平均模型为：

$$\Phi_p(B)\nabla^d X_n = \Theta_q(B)\varepsilon_n \quad (3)$$

式(3)记为ARIMA(p, d, q)。其中d为求和阶数，p、q分别为 $Y_n \triangleq \nabla^d X_n$ 序列的自回归和移动平均的阶数。

5.1.1.3 组合预测模型的建立

指数平滑模型与ARIMA模型都可以进行短期价格预测，但是由于每个模型都有各自的局限性，因此组合预测是一个很好的办法，可以充分利用每个模型的优点。

本文利用平均绝对百分误差(MAPE)来确定组合预测的权重大小，误差越小权重越大，误差越大权重越小。权重的计算公式为：

$$w_i = \frac{1}{MAPE_i} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{MAPE_i} \quad (4)$$

式(4)中： w_i 表示第*i*个模型在组合预测模型中的权重大小； $MAPE_i$ 表示第*i*个模型的平均绝对百分比误差， n 表示单个预测模型的个数。令组合预测模型的值为 P ，则：

$$P = \sum_{i=1}^n P_i w_i \quad (5)$$

式(5)中： P_i 为第*i*个单一模型的预测值， w_i 为该模型在组合模型的权重值。

通过比对以上模型的优劣，可选出误差最小的模型作为最优模型，以预测不同作物的价格及产量的变化的规律。

5.1.2 对数多元线性回归模型的建立

多元线性回归就是一个模型中多个自变量的回归模型，主要用来解释自变量与因变量的线性关系。经过查阅多篇农产品成本收益的文献，本文选定多元线性回归模型来进行实证分析，由于本文选取的数据是时间序列，容易出现不平稳现象，为了避免“伪回归”现象的发生，现将函数设计如下

$$LNY = LNC + aLNJG + bLNDC + cLNRG + \mu$$

即取对数再进行多元回归分析。其中 C 为常数项、 JG 为每 50 公斤产品实际价格（单位为元/50 公斤）， CL 为产量（单位为万吨）， RG 为每亩人工成本（单位为元/亩）

5.1.3 时间序列预测模型的求解

本题选择了小麦、棉花、马铃薯和苹果，共 4 种常见的适合不同地区种植的农产品为研究对象，原始数据资料来源于 1999 年~2019 年《全国农产品成本收益资料汇编》的每 50 公斤主产品平均出售价格数据及产量数据，使用 SAS 软件进行建模分析，代码详见附录 1。

建模主要步骤为：①读入数据；②模型的识别与定阶；③模型估计和预测；④绘制出序列观察值、序列拟合图和序列预测值的图形。

这里受篇幅所限，只展示了未来 1 年的关于 4 种农作物各项指标的预测数据及其模型的误差（预测数据如表 1 中的“指数平滑”、“ARIMA”、“组合模型”等三列所示）。

表 1 四种农作物价格及其产量的三个时间序列模型的预测及误差

指标	农作物	指数平滑	误差 1	ARIMA	误差 2	组合模型	误差 3
价格	小麦	121.375	6.660	103.930	4.272	112.001	6.485
	棉花	755.515	178.866	669.398	159.692	721.435	194.469
	马铃薯	67.305	13.794	61.859	11.921	75.530	18.754
	苹果	165.991	34.046	192.611	29.544	230.172	34.098
产量	小麦	13141.331	566.936	12512.166	501.560	13535.529	326.138
	棉花	661.047	68.789	571.715	59.320	601.185	68.807
	马铃薯	108.498	108.499	1790.204	112.024	1720.939	91.714
	苹果	3897.334	176.1174	3669.862	83.3351	3722.249	126.832

取其最高拟合度的模型绘制出相关预测图（如图 1~图 8 所示），其中红线代表真实值，蓝线代表预测值。



图 1 小麦价格的真实值与预测值时序图



图 2 小麦产量的真实值与预测值时序图



图 3 棉花价格的真实值与预测值时序图



图 4 棉花产量的真实值与预测值时序图



图 5 马铃薯价格的真实值与预测值时序图



图 6 马铃薯产量的真实值与预测值时序图



图 7 苹果价格的真实值与预测值时序图



图 8 苹果产量的真实值与预测值时序图

5.1.4 对数多元线性回归模型的求解

本题所选取的数据均来自于 1999 年-2019 年《全国农产品成本收益资料汇编》的每 50 公斤主产品平均出售价格数据、产量数据、每亩人工成本数据及每亩现金收益数据，由于有部分数据缺失，为了提高实证分析结果的科学性，我们剔除了数据缺失的样本，并用 SAS 对数据进行分析。

5.1.4.1 单位根检验(ADF 检验)

由于所选取的数据都是时间序列数据，虽然已经为每个数据取了对数，但仍然不能保证样本数据的单位根是平稳的，容易出现“伪回归”的现象，所以需要对本样本数据进行单位根的检验，看各数据是否存在单位根，若存在单位根则表明数据不平稳，影响实证分析结果的准确性。在这里选用 ADF 检验来检测样本数据的平稳性，三个模型分别为：

$$\Delta X_t = \delta X_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta X_{t-i} - 1 + \varepsilon_t$$

$$\Delta X_t = \alpha + \delta X_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta X_{t-i} - 1 + \varepsilon_t$$

$$\Delta X_t = \alpha + \beta_t + \delta X_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta X_{t-i} - 1 + \varepsilon_t$$

其中 t 为时间变量， β_t 为趋势项， α 为常数项， ε_t 为残差项， m 为滞后差分项数 (m 的取值是使 ε_t 为白噪声序列)。原假设都是 $H_0: \delta = 0$ 。检验时从模型 3 开始，然后模型 2，模型 1。若检验拒绝 $H_0: \delta = 0$ ，即原序列不存在单位根，为平稳序列，即可停止检验。否则就要继续检验，直到检验完模型 1 为止。

从上述三个模型可以看出，单位根检验的关键是：

- (1) 建立数据序列差分项的回归方程；
- (2) 适当选取 m 值，使回归方程中的残差项 ε_t ，为白噪声序列。

检验结果显示，各变量的 P 值显示单位根检验的结果全部是不平稳的，故对各变量进行差分，一阶差分后所有变量仍未达到全部平稳，二级差分后才达到所有变量时间序列全部平稳。

5.1.4.2 对数多元回归模型求解

对整理好的数据进行多元回归，选择逐步回归法得到如下结果：

小麦：
$$LNY1 = -3.732 + 2.124LNJG1$$

棉花：
$$LNY2 = -1.965 + 1.329LNJG2$$

马铃薯：
$$LNY3 = 3.319 + 0.930LNJG3$$

苹果：
$$LNY4 = 2.475 + 1.141LNJG4$$

对上述方程进行检验，检验结果均显著且拟合优度良好，充分表现了方程拟合度较好。

5.1.5 结果

第一问首先建立了指数平滑模型、ARIMA（求和自回归移动平均）模型及基于二者的组合预测模型，计算得出每种农作物对应指标下的预测模型及其误差，通过比较误差大小，得出相应的预测值，在一定程度上提高了预测精度。经过整理得模型对 2020 年预测结果如下：

表 2 模型对 2020 年预测结果的整理

指标	小麦	棉花	马铃薯	苹果
价格	103.930	669.398	61.859	192.611
产量	13535.529	571.715	1720.939	3669.862

（价格单位：元/50 公斤，产量单位：万吨）

然后再根据价格、产量、人工成本与收益的关系得出多元回归的方程，其经济意义如下：当前农产品的价格以正的系数进入方程，说明价格与收益有显著关联，即在其他因素保持不变的情况下，平均价格每增长 1 个单位，小麦、棉花马铃薯、苹果的收益分别平均增长 3.264、1.329、0.930、1.141 个单位，符合现实意义。虽然现实中人工成本的增加会导致收益的降低，但该变量对其他农作物收益的影响较小，关系较弱，因而不纳入模型中。

综上，由以上价格的预测及线性回归方程，易知未来收益的预测值如下：

指标	小麦	棉花	马铃薯	苹果
收益（元/亩）	217.15	86.28	60.85	222.24

5.1.6 模型评价及优化

对于问题一的时间序列模型，由结果图 1~图 8，选取的最优模型的真实值与拟合值、预测值的图中可见：拟合值（蓝线）与真实值（红线）拟合程度较高，且蓝线的发展趋势与事实较符合，说明预测值的可靠信较高。整理表 2 中模型的拟合优度如**错误！未找到引用源。**所示。

表 3 最优模型拟合度的整理

指标	小麦	棉花	马铃薯	苹果
价格	0.971	0.392	0.407	0.841
产量	0.956	0.694	0.920	0.992

由错误!未找到引用源。可见，模型大多拟合优度在 0.8 以上，表明该农作物的指标的波动规律符合该模型，不过也仍有部分拟合度偏低，可能是由于政策的、气候等变化，但这些因素未纳入模型考虑范围中，说明用传统预测方法对其进行预测有一定的局限性。进一步的优化方向是将智能预测模型纳入组合预测模型中以进一步提高预测精度。

5.2 问题 2 的模型建立与求解

5.2.1 基于时空约束的大规模农产品种植计划模型的建立

我们需要解决的问题是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，题目要求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。因此我们加入时间柔性，建立约束和目标函数的线性模型，求得最优化解。

5.2.1.1 目标函数的建立

基于时空约束的大规模农产品种植计划是在固定的土地面积上对农产品的种植空间以及起止时间进行合理、科学地安排，考虑农产品的生产周期，使土地资源循环利用，最终目标是使得总的生产净利润达到最大，目标函数用以下等式表示：

$$\text{Maximize } R = \sum_j^n \sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} \pi_{i*j*k} \quad (2)$$

其中， $x_{i*j*k} \pi_{i*j*k}$ 表示在 i 月份种植 k 月份收获的农产品 C_j 的净利润；

$\sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} \pi_{i*j*k}$ 表示计划生产农产品 C_j 的净利润；

$\sum_j^n \sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} \pi_{i*j*k}$ 表示计划生产所有农产品的总的净利润。

5.2.1.2 约束条件的建立

①参数介绍

模型中时间点 t 表示第 t 月的结束及第 $t+1$ 月开始，我们假定两个 0-1 变量（取值 1 表示是，取值 0 表示否）来判断某农产品生产的开始和结束： s_{i*j*k} 判断农产品 C_{i*j*k} 在时间点 t 是否开始生产， e_{i*j*k} 判断农产品 C_{i*j*k} 在时间点 t 是否结束生产。

当农产品 C_{i*j*k} 生产开始和结束时间在同一年内时，这两个判断参数表示为：

$$s_{i*j*k} = \begin{cases} 1, & i = t + 1 \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

$$e_{i*j*k} = \begin{cases} 1, & k = rt \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

当农产品 C_{i*j*k} 生产开始和结束时间不在同一年内时，即本年生产次年收获，这两个判断参数表示为：

$$s_{i*j*k} = \begin{cases} 1, & i = t + 1 \\ 1, & r = 0 \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

$$e_{i*j*k} = \begin{cases} 1, & k = t \\ 1, & t = 12 \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

②土地流量平衡约束

模型中每个时间节点 t 都应该满足土地流量平衡，即输出流（占有土地）等于输入流（释放土地），用土地的使用面积和空闲面积之和等于土地总面积来表示。由于时间节点 t 取值从 0-12，我们分别进行讨论如下：

当 $t=0$ 时的土地平衡等式：

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k \in K_{1j}} s_{1*j*k} x_{1*j*k} + x_1 = L \quad (3)$$

等式左边表示 1 月开始生产的土地面积和 1 月的闲置土地面积之和，右边表示土地总面积。

当 $t=1$ 时的土地平衡等式：

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n \sum_{k \in K_{1j}} s_{i*j*k} x_{i*j*k} - \sum_{k=1}^1 \sum_{j=1}^n \sum_{l \in I_j} e_{i*j*k} x_{i*j*k} + x_2 = L$$

$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n \sum_{k \in K_{1j}} s_{i*j*k} x_{i*j*k}$ 表示年初知道 2 月所使用的生产的土地面积，

$\sum_{k=1}^1 \sum_{j=1}^n \sum_{i \in I_j} e_{i*j*k} x_{i*j*k}$ 表示 2 月份结束释放的土地面积，等式左边表示 2 月开始生产的土地面积和 2 月的闲置土地面积之和，右边表示土地总面积。

与上面同理，可得时间点 $t = 1, 2, \dots, 11$ 的土地平衡等式：

$$\sum_{i=1}^{t+1} \sum_{j=1}^n \sum_{k \in K_{1j}} s_{i*j*k} x_{i*j*k} - \sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^n \sum_{i \in I_j} e_{i*j*k} x_{i*j*k} + x_{t+1} = L \quad (4)$$

当 $t=12$ 时的土地平衡等式：

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i \in I_j} e_{i*j*12} x_{i*j*12} + x_{12} = L \quad (5)$$

等式左边表示 12 月结束生产释放的土地面积和 12 月的闲置土地面积之和，右边表示土地总面积。

③农产品的市场约束

农产品种植的数量可以认为限定，对于大规模的农产品生产，如果同时期只生产一种农产品，将会出现生产过剩，供过于求，并且会付出一定的成本，我们选择生产多种农产品，各种农产品的种植量根据市场需求来决定，即

$$\sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} \leq q_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

④劳动力的约束

由于劳动时间的总长度是有限的，我们用 w_{i*j*k} 表示 i 月份种植 k 月份收获的农产品 C_j 的单位面积的劳动时间， W 表示劳动者总的劳动时间，即劳动约束，用等式表示如下：

$$\sum_j \sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} w_{i*j*k} \leq W \quad (7)$$

5.2.1.3 最终模型

结合目标函数(2)以及土地流量平衡约束(3)(4)(5)、农产品的市场约束(6)以及劳动力的约束(7)，最终的线性规划模型建立如下：

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } R = \sum_j^n \sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} \pi_{i*j*k} \\
 & \text{s. t. } \left\{ \begin{aligned}
 & \sum_{j=1}^n \sum_{k \in K_{1j}} s_{1*j*k} x_{1*j*k} + x_1 = L \\
 & \sum_{i=1}^{t+1} \sum_{j=1}^n \sum_{k \in K_{1j}} s_{i*j*k} x_{i*j*k} - \sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^n \sum_{i \in I_j} e_{i*j*k} x_{i*j*k} + x_{t+1} = L, t = 1, 2, \dots, 11 \\
 & \sum_{j=1}^n \sum_{i \in I_j} e_{i*j*12} x_{i*j*12} + x_{12} = L \\
 & \sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} \leq q_j, j = 1, 2, \dots, n \\
 & \sum_j^n \sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} w_{i*j*k} \leq W \\
 & x_{i*j*k} \geq 0, x_m \geq 0 \\
 & i, k, m = 1, 2, \dots, 12 \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \right. \tag{8}
 \end{aligned}$$

式(8)的前3个约束条件表示时间节点 t 需满足的空间约束,即时间节点土地的使用面积和空闲面积之和等于土地总面积;第4个约束条件表示每种农产品生产的土地面积根据市场需求而被限制。1~4约束条件描述了农产品需要遵循的时空约束,第5个约束条件表示劳动时间的总长度是有限的,目标函数表达了需要实现的目标,故求解此模型是求解大规模农产品生产网络模型,此线性规划模型可借助线性规划求解软件运算结果并作相应的分析。

5.2.2 实例分析

本文以安徽省宿州市灵璧县农产品生产为例研究大规模农产品生产计划。灵璧县位于安徽省东北部,气候类型为温带季风气候,夏季温热湿润、日照充足,土壤肥

沃。总面积 2054 平方公里，耕地 181 万亩，总人口 125 万人，并且劳力资源富足，物产资源较为丰富，盛产小麦、玉米、花生、棉花等，是全国重要的商品粮基地。

收集全国种植业产品成本收益的情况以及各农产品生产时间段数据，得如下表 1，其中，生产时间段 1 表示农产品生产的最佳时间段，生产时间段 2 是农产品提前或推迟生产的时间段，在生产时间段 2 生产获得的亩均净利润微低于在生产时段 1 生产获得的亩均净利润，是因为农产品没有在最佳生产时间段内生产，其产量会受到一定程度的影响。在实践中，可以进行更全面的分类及更细致的划分以提高计划的准确性和可操作性。

表 4 主要农产品的生产时间段及净利润表

农产品名称	编号	生产时间段	亩 净 利 润	生产时间段	亩 净 利 润
		1	1(元/亩)	2	2(元/亩)
小麦	1	9-4 月	121.63		
玉米	2	4-9 月	254.23		
花生	3	4-10 月	723.45		
棉花	4	4-9 月	201.46		
大豆	5	4-8 月	122.53		
甘薯	6	4-7 月	108.61		
番茄	7	3-8 月	3357.43	2-7 月	3021.69
大白菜	8	3-8 月	1231.20	4-9 月	1123.25
黄瓜	9	2-5 月	3321.62	3-6 月	2987.54
茄子	10	3-7 月	3287.52	4-8 月	2956.75
萝卜	11	10-1 月	1694.53	9-12 月	1534.55

将数据代入模型中，目标函数可以表示为：

$$\begin{aligned}
 \text{Max } R &= \sum_j^n \sum_{i \in I_j} \sum_{k \in K_{ij}} x_{i*j*k} \pi_{i*j*k} \\
 &= 121.63x_{9*1*4} + 254.23x_{4*2*9} + 723.45x_{4*3*10} + 201.46x_{4*4*9} + \\
 &\quad 122.53x_{4*5*8} + 108.61x_{4*6*7} + 3357.43x_{3*7*8} + 2021.69x_{2*7*7} + \\
 &\quad 1231.20x_{3*8*8} + 1123.25x_{4*8*9} + 3321.62x_{2*9*5} + 2987.54x_{3*9*6} +
 \end{aligned}$$

$$3287.52x_{3*10*7} + 2956.75x_{4*10*8} + 1694.53x_{10*11*1} + 1534.55x_{9*11*12}$$

土地流量平衡约束及劳动约束均用矩阵来表示，限于篇幅，不再赘述。而由于粮油类产品易于保存，蔬菜类产品不易储存，故以市场的预期需求为生产面积设定的参照，粮油类生产面积大，蔬菜类生产面积小。假定土地总面积 1000 亩，各种农产品最大的生产面积为：

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_{13}) = (1000 \ 1000 \ 1000 \ 270 \ 1000 \ 200 \ 230 \ 180 \ 160 \ 130 \ 240)$$

经计算可得目标函数值 $R=358121.6$ 元，农产品的生产时间和面积构成相应的农产品生产计划表，如表 2 所示。表 2 可以指导农村经济实体进行农产品种类的选择和面积的确定，并且可以根据时间进度表指导农产品的生产。

表 5 生产计划表

编号	农产品名称	月份												面积 (亩)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	小麦	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	160
3	花生			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
4	棉花				■	■	■	■	■	■	■	■	■	270
7	番茄			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	270
8	大白菜					■	■	■	■	■	■	■	■	140
9	黄瓜		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	160
10	茄子			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	130
11	萝卜	■									■	■	■	240

5.2.3 模型评价

本模型相对以往的研究来说，在经济效益作为目标，各种资源（土地、人力、资金等）约束条件下，增加考虑了空间维度和时间维度的分布约束，使得模型的结果更加符合实际，具有可行性，这是模型的优点。然而，要提高模型的准确性，就要提高农产品生产时间段及其划分的准确性和农产品净利润的准确性，这个利润与市场有关，尤其农产品具有生产季节性，即不同的农产品、不同的生产开始时期，不同的生产结束时期将有不同的经济效益，因此对此的预测仍需要进一步探讨。

5.3 问题 3 的模型建立与求解

根据题目要求，在考虑水资源的情况下，对缺乏土地资源的农民提出小规模种植计划从而达到农民基本收入。

5.3.1 数据准备

在这一问中，我们选择满足小规模种植这一条件的云南盈江县的水稻种植数据。根据农业部门统计，盈江县 2018 年主要农作物，大春作物以水稻为主，种植面积 278657 亩，产量 117781 吨，种植比例 36.90%。小春作物以马铃薯为主，种植面积 10000 hm^2 ，种植比例 19.89%；常年作物以甘蔗为主，种植面积 13800 hm^2 ，种植比例 27.55%。作物灌溉制度根据《云南省地方标准用水定额》（DB53/T168-2013）的灌溉定额标准，结合当地灌水经验拟定净用水量，盈江县属滇西南 III-2 区，水稻每亩用水量 410 m^3 。

盈江县境内江河纵横，水资源总量 104.35 亿 m^3 ，其中大盈江流域面积 2726.6 km^2 ，水资源量 35.1 亿 m^3 ，占水资源总量的 33.6%；勐嘎河流域面积 1073.4 km^2 ，水资源量 22.3 亿 m^3 ，占水资源总量的 21.2%；羯羊河流域面积 415 km^2 ，水资源量 8.5 亿 m^3 ，占水资源总量的 8.1%；全县人均水资源量 2473 m^3 ，亩均水资源量 14418 m^3 。

查询资料，有下表对盈江县水稻全生育期灌溉用水量比较：

表 6 盈江县水稻全生育期灌溉用水量比较 单位： m^3

月份	4月			5月			6月			7月			8月	9月	合计
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬			
秧期用水	20	13	15		15										63
泡田用水					200	55									255
本田期用水					100	55	40	40	40	30	30	30	30	0	395
合计灌水量	20	13	15	0	315	110	40	40	40	30	30	30	30	0	713

表 7 盈江县马铃薯全生育期灌溉用水量比较 单位： m^3

月份	10月			11月			12月			次年1月			次年2月		3月	合计						
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬								
马铃薯			30			30			100			100			45			100			30	435

表 8 盈江县甘蔗全生育期灌溉用水量比较 单位： m^3

月份	1月			2月			3月			4月			5月			11月			12月			合计
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
甘蔗	100		115	100	15	90	30	20	20	15	20	15	20	10	15	15	15	0	15			630

查询盈江县统计局 2018 年盈江县国民经济公报有下表：

表 9 2018 年盈江县农作物产量情况

指标名称	面积（亩）	产量（吨）
水稻	278657	117781
马铃薯	177449	47436
甘蔗	176001	853921

查询农业部数据，2018 年每亩水稻、马铃薯、甘蔗的利润分别为 896 元、1700 元、3400 元。

5.3.2 建立模糊生产计划模型

假设要生产 n 种庄稼,并且单位面积上每种庄稼的利润系数分别是 $c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{in}$, 其隶属度是 μ_i 。进一步定义 $c_i = (c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{in})^T$ 。决策变量 x_j 表示庄稼 j 的种植面积; w_j 表示单位面积土地里种植庄稼 j 的劳动时间, k_j 表示单位面积土地里种植庄稼 j 的单位用水量。

农场的土地是有限的，即 $x_1 + x_2 + \dots + x_n$ 必须小于或等于确定的常数 L （农场土地的总数），这里称 L 是“土地约束”；同样劳动时间的总长度也是有限的，即 $w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n$ 必须小于或等于确定的常数 W （劳动者总的劳动时间），这里称 W 是“劳动约束”；而水资源也是有限的，即 $kx_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n$ 必须小于或等于确定的常数 K （当地分配灌溉的总水量）由于利润系数是一个 n 维离散模糊变量，利用上面的叙述，可得到下面的种植规划模型：

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } R \\ & \left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq L \text{ (土地约束)} \\ w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n \leq W \text{ (劳动约束)} \\ kx_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n \leq K \text{ (水资源约束)} \\ c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n \geq R \\ c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2n}x_n \geq R \\ \dots \dots \\ c_{m1}x_1 + c_{m2}x_2 + \dots + c_{mn}x_n \geq R \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0, R \geq 0 \end{array} \right. \end{aligned}$$

从实际的角度考虑，把每一个约束看作是一个模糊约束 C ，即“ $c_{i1}x_1 + c_{i2}x_2 + \dots + c_{in}x_n \geq R$ 的可信性是以隶属度 μ_i 成立的”。因此，可得到下面的规划问题：

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } R \\ & \left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq L \text{ (土地约束)} \\ w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n \leq W \text{ (劳动约束)} \\ k_1kx_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n \leq K \text{ (水资源约束)} \\ C_r(c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n) \geq \mu_1 \\ C_r(c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2n}x_n) \geq \mu_2 \\ \dots \dots \\ C_r(c_{m1}x_1 + c_{m2}x_2 + \dots + c_{mn}x_n) \geq \mu_m \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0, R \leq 0, \max \mu_i = 1 \end{array} \right. \end{aligned}$$

$C_r(t)$ 是模糊约束 C 的可信性函数。 $\mu_c(t)$ 服从 $(R - 2d, R - d, R)$ 的三角分布：

$$\mu_c(t) \begin{cases} 0, 0 \leq t < R - 2d \\ \frac{t - R}{d} + 2, R - 2d \leq t < R - d \\ \frac{R - t}{d}, R - d \leq t < R \\ 0, R \leq t \end{cases}$$

其中 d 是决策者事先给定的常数。由模糊约束 C 的可能性分布 $\mu_c(t)$ 可得到它的可信性分布，即

$$C_r(t) = \frac{1}{2}(1 + \mu_c(t) - \mu_c(t^c)) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t < R - 2d \\ \frac{t - R}{2d} + 1, & R - 2d \leq t < R \\ 1, & R \leq t \end{cases}$$

接下来对模型求解：

由于 $C_r(t)$ 可以等价表示成 $c_{i1}x_1 + c_{i2}x_2 + \dots + c_{in}x_n \geq R + 2d(\mu_i - 1)$ ，所以可以得到的模糊规划问题：

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } R \\ & \left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq L \text{ (土地约束)} \\ w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n \leq W \text{ (劳动约束)} \\ kx_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n \leq K \text{ (水资源约束)} \\ c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n \geq R + 2d(\mu_1 - 1) \\ c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2n}x_n \geq R + 2d(\mu_2 - 1) \\ \dots \dots \\ c_{m1}x_1 + c_{m2}x_2 + \dots + c_{mn}x_n \geq R + 2d(\mu_m - 1) \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0, R \geq 0 \end{array} \right. \end{aligned}$$

以上模型可以采用线性规划的算法就可以得到模型的最优解。

例如，按照我们对小规模种植面积的限制，假设农场在特定的季节里将要种植萝卜、玉米、白菜和红薯 4 种农作物，其种植面积分别是 x_1, x_2, x_3, x_4 （单位： $0.0667hm^2$ ）。农场共有土地 $0.667hm^2$ 且劳动的总时间是 260 h，下表给出了各种农作物的利润系数（单位：100 元）和所需的劳动时间。这里只研究了 4 种情况的利润系数，成立的隶属度 C_1 是 0.1， C_2 是 0.5， C_3 是 1， C_4 是 0.3。

表 10 利润系数和工作时间

随时机变量 C_i	利润系数				隶属度%
	萝卜	玉米	白菜	甘薯	
C_1	31.2	11.2	15.3	16.8	10
C_2	23.9	21.4	49.2	32.8	50
C_3	35.0	17.6	5.0	10.3	100
C_4	19.3	26.6	48.4	75.6	30
工作时间 w/h	8.9	66.5	2.0	32.5	
水资源 k/t	135	156	213	189	

代入模型有：

Maximize R

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_2 + \cdots + x_n \leq 10 \text{ (土地约束)} \\ 8.9x_1 + 66.5x_2 + 2x_3 + 32.5x_4 \leq 260 \text{ (劳动约束)} \\ 135x_1 + 156x_2 + 213x_3 + 189x_4 \leq 1500 \text{ (水资源约束)} \\ 31.2x_1 + 11.2x_2 + 15.3x_3 + 16.8x_4 \geq R + 30(0.1 - 1) \\ 23.9x_1 + 21.4x_2 + 49.2x_3 + 32.8x_4 \geq R + 30(0.5 - 1) \\ 35.0x_1 + 17.6x_2 + 5.0x_3 + 10.3x_4 \geq R + 30(0.1 - 1) \\ 19.3x_1 + 26.6x_2 + 48.4x_3 + 75.6x_4 \geq R + 30(0.3 - 1) \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0, R \geq 0 \end{array} \right.$$

通过计算可得到上述规划问题的最优解：

$$x_1 = 7.79, x_2 = 0, x_3 = 1.28, x_4 = 0.74, R = 293.126$$

5.3.3 实例分析

将收集的 2018 年盈江县农业数据代入上述模型中：

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_2 + x_3 \leq 10 \text{ (土地约束)} \\ 713x_1 + 435x_2 + 630x_3 \leq 14418 \text{ (水资源约束)} \\ 896x_1 + 1700x_2 + 3400x_3 \geq 6300 \text{ (农民基本收入)} \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0 \end{array} \right.$$

通过计算可得到上述规划问题的最优解： $x_1 = 1.6, x_2 = 3, x_3 = 0$ 。

所以在限制人均水量14418t的条件以及只有 10 亩以下的土地资源下，种植农作物水稻 1.6 亩、马铃薯 3 亩给小规模种植户带来最高收益，农民的最高收入为 6533.6 元。

5.3.4 模型评价

由于本模型只考虑了利润的不确定因素，所以还不能完全描述现实的生产情况，只能够笼统的得到种植户在水资源和土地面积限制下的理论最大收益。但是影响生产农作物的因素还有很多，如天气、品种、运输费用、地区等。所以要进一步使理论值贴合现时，还要进一步考虑其他农作物的规划模型以及模型的性质和变量。

5.4 问题 4 的模型建立与求解

5.4.1 “水稻+田螺+” 综合种养模式

在农业基础之上同时考虑牧业与渔业相关经营，我们提出了“水稻+田螺+”综合种养模式。

田间通常种植单季晚稻、中稻或再生稻，选用抗病 虫害性能强、农艺性状好、生育期适中的优质水稻品种。在稻田中养殖的田螺应选择个体较大、贝壳完 整无破损的本地田螺，一般在 3 月上旬一次性放足种螺。鱼的放养一般选择鲢、鳙、鲫、草鱼鱼种。

5.4.2 “水稻+田螺+” 模式的优点

- (1) 延伸食物链，提高物质与能量循环和利用率；
- (2) “一地多用”、“一地多收”，提高了产出效益；
- (3) 改善稻田土壤的理化性状，促进水稻生长；
- (4) 减少化肥、农药的使用，降低环境污染风险；
- (5) 固碳减排，减少温室气体排放；
- (6) 投入饲料成本低，劳动力成本低；
- (7) 市场价格和市场需求客观。

5.4.2 “水稻+田螺+” 模式的展望

(1) 要提高水稻产业供给质量，满足市场对高端稻米的需求，解决水稻生产比较效益低、丰产不丰收、农民种粮积极性不高的问题。

(2) 要研究稻田的土壤培肥关键问题，以及土壤培肥和耕作的关键技术及其效应以及综合种养稻田土壤肥力和稻田环境的变化特征及影响土壤肥力和环境的因素，从而提出综合种养稻田土壤肥力可持续的调控途径。

(3) 根据种养密度比例设计田间设施（沟、坑 比例），将田间设施技术、协同种养技术、肥料调配技术等集成，创新种植与养殖模式。

5.5 问题 5 的模型建立与求解

5.5.1 “家庭农场+合作社” 养殖模式

一个家庭经营多种农畜产品往往消耗过多的人力成本，我们提出了“家庭农场+合作社”的养殖模式。

家庭农场作为现代化农业中家庭经营的典型代表，它的发展壮大需要通过农民合作社与现代农业有机衔接；合作社是中国现代农业生产经营体系中的重要组成部分，它的发展壮大和高效运转又必须要依靠能够适应现代农业发展的社员和有效的治理结构。

“家庭农场+合作社”性质上的相互耦合能够满足上述两方面的需求。在“家庭农场+合作社”模式中，家庭农场的适度规模性、经营管理性与类企业性和合作社的成员同质性、利益联结性和民主决策性相互促进，能够更好地发挥家庭农场和合作社各自的优势，成为现代农业经营体系中不可或缺的部分。

5.5.2 “家庭农场+合作社” 模式的优点

(1) 与传统农户相比，家庭农场更容易采用先进科技与生产手段，更能容纳土地、资本、技术等生产要素适度聚集，代表了家庭经营在现代农业中的发展方向，有利于坚持中国农业家庭经营的主体地位。

(2) “家庭农场+合作社”模式契合了中国农村基本经营制度中家庭经营基础之上合作经营的内在要求。

(3) “家庭农场+合作社”模式在实践中具有很强的弹性和适应性，它会有多种形式的衍生。

5.5.3 “家庭农场+合作社” 模式的衍生

资本、劳动力、土地等传统生产要素在现代农业发展过程中会不断相互碰撞和重新组合，家庭经营和合作经营将在农村基本经营制度的框架内不断涌现出新的形式，其主要类型有“家庭农场+合作社+公司”、“家庭农场+合作社+超市”、“家庭农场+合作社+直销”、“家庭农场+农民合作社+合作社自办加工企业”等。

参考文献

- [1]房少梅.数学建模理论、方法及应用[M].北京:科学出版社,2014.
- [2]李晖,叶一军,彭祖成.基于时空约束的中小规模农产品生产计划动态优化[J].江苏农业科学,2003.
- [3]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.
- [4]梁昌益,王文康.盈江县 2018 年农田灌溉用水现状调查分析[J].云南农业科学.2020
- [5]徐雅卿,魏轶华,李旭刚.农产品价格预测模型的构建[J].统计与决策,2017(12):75-77.
- [6]黄志乔. 河北省设施番茄种植成本收益分析[D].河北农业大学,2019.
- [7]范美蓉. “水稻+田螺+” 综合种养模式及其效益分析[J].水产科技情报.2018.
- [8]伍开群. 家庭农场的理论分析[J]. 经济纵横, 2013,(06).

附 录

ARMA 模型的 SAS 程序

```
cards;
/*输入数据*/
;
/*模型的识别与定阶 */
proc arima data=sasuser.example1;
identify var=price minic p=(0:5) q=(0:5);
run;
/*模型估计和预测*/
proc arima data=sasuser.example1;
identify var=price;
estimate p=2 q=3 method=ml; /*ARMA 模型参数估计，过程使用极大似然估计法*/
forecast lead=5 id=time out=sasuser.example11; /*ARMA 模型预测*/
run;
/*绘制出序列观察值、序列拟合图和序列预测值的图形*/
proc gplot data=sasuser.example11;
plot price*time=1 forecast*time=2 195*time=3 u95*time=3/overlay;
symbol1 c=black i=join v=dot;
symbol2 c=red i=join v=dot;
run;
```