

## 2020 年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

### 题目：绿色又经济的家庭农畜规划

#### 摘 要

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。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。针对于问题 1 采用时间序列分析方法的方法解决；针对问题 2 和 3 用多目标模糊随即优化的方法解决；针对问题 4 和 5 用简单线性规划的方法解决。

问题 1 要求通过网络平台查询得到农产品价格及产量随时间相关数据，以此来预测农产品的人力成本及收入。对此我们采用时间序列预测法，由所搜集得到往年的数据利用 Matlab 软件计算得出了不同农产品预期的人力成本及收入。

问题 2 为在土地资源充足的情况下，为农民提供合理大规模农产品种植计划。同时此计划需保证农民稳定收入，同时最大限度使土地循环利用。对于此问我们采用多目标模糊随机优化模型进行求解，利用线性规划相关算法和 Matlab 软件，得出了农作物最优种植面积。

问题 3 要求我们提供小规模种植计划，保证基本收入并且减少水资源的过度使用。对于此问我们采用与第 2 问相同的多目标模糊随机优化模型，利用 Matlab 相关算法进行计算求解，最终得到了各农作物的最优种植面积。

问题 4 要求我们提供兼顾农业、渔业和牧业的合理种植与养殖计划。我们提出桑基—蚕—鱼塘—大球盖菇的种植与养殖模式，相比旧桑基鱼塘系统增加了经济效益，实现了生态环境可持续，同时具有较强的稳定性。

问题 5 要求我们考虑多户合作规划，我们提出畜牧业，农业和草业养殖模式，这一模式规模效益更大，并且有稳定性，互补性，保护环境的特点。

**关键字：** 时间序列分析；多目标模糊随机优化；生态循环农业；线性规划

## 目 录

一、问题重述 . . . . .	3
二、问题分析 . . . . .	3
2.1 问题 1 的分析 . . . . .	3
2.2 问题 2 的分析 . . . . .	3
2.3 问题 3 的分析 . . . . .	3
2.4 问题 4 的分析 . . . . .	4
2.5 问题 5 的分析 . . . . .	4
三、模型假设 . . . . .	4
四、符号说明 . . . . .	4
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 确定性时间序列分析方法 . . . . .	7
5.1.2 移动平均法 . . . . .	7
5.1.3 模型的实例求解 . . . . .	8
5.1.4 结果 . . . . .	8
5.2 问题 2 的模型建立与求解 . . . . .	8
5.2.1 相对隶属度矩阵的确定 . . . . .	9
5.2.2 相对优属度的确定 . . . . .	10
5.2.3 多目标模糊随机优化模型 . . . . .	11
5.2.4 模型的实例求解 . . . . .	12
5.2.5 结果 . . . . .	13
5.3 问题 3 的模型建立与求解 . . . . .	13
5.3.1 模型的建立 . . . . .	13
5.3.2 模型的求解 . . . . .	13
5.3.3 结果 . . . . .	13
5.4 问题 4 的模型建立与求解 . . . . .	14
5.4.1 模型概述：桑基—蚕—鱼塘—大球盖菇模式 . . . . .	15
5.4.2 模型的建立 . . . . .	15

5.4.3 模型的求解 . . . . .	16
5.4.4 结果 . . . . .	16
5.5 问题 5 的模型建立与求解 . . . . .	16
5.5.1 畜牧业—农业—草业养殖模式 . . . . .	16
5.5.2 模型求解 . . . . .	17
5.5.3 结果 . . . . .	18
<b>六、模型的评价及优化 . . . . .</b>	<b>18</b>
6.1 误差分析 . . . . .	18
6.1.1 针对于问题 1 的误差分析 . . . . .	18
6.1.2 针对于问题 2 的误差分析 . . . . .	19
6.1.3 针对于问题 3 的误差分析 . . . . .	19
6.1.4 针对于问题 4 的误差分析 . . . . .	19
6.1.5 针对于问题 5 的误差分析 . . . . .	19
6.2 模型的优点（建模方法创新、求解特色等） . . . . .	19
6.3 模型的缺点 . . . . .	20
6.4 模型的推广 . . . . .	20
6.4.1 问题 1：确定性时间序列分析方法 . . . . .	20
6.4.2 问题 2，3：多目标随机优化模型 . . . . .	20
6.4.3 问题 4：桑基—蚕—鱼塘—大球盖菇模型 . . . . .	20
6.4.4 问题 5：畜牧业 + 农业 + 草业养殖模式 . . . . .	20
<b>参考文献 . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>附 录 . . . . .</b>	<b>22</b>
1.1 问题 1 的相关数据与程序 . . . . .	22
1.1.1 数据收集与计算 . . . . .	22
1.1.2 Matlab 源程序 . . . . .	23
1.2 问题 2 的相关数据与程序 . . . . .	24
1.2.1 数据收集与分析 . . . . .	24
1.2.2 计算相对优属度的 Matlab 源程序 . . . . .	24
1.2.3 多目标模糊随机优化的 Matlab 源程序 . . . . .	25
1.3 问题 3 的相关数据与程序 . . . . .	26
1.3.1 数据收集与计算 . . . . .	26
1.3.2 计算相对优属度的 Matlab 源程序 . . . . .	26
1.3.3 多目标模糊随机优化的 Matlab 源程序 . . . . .	27

1.4 问题 5 的相关数据 . . . . .	27
--------------------------	----

## 一、 问题重述

首先问题要求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；

然后问题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；

接着，改变问题情景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；

再次，在农业基础之上同时考虑牧业与渔业相关经营，计划更为合理的种植与养殖方案；

最后，考虑到一个家庭经营多种农畜产品往往消耗过多的人力成本，问题需要我们把角度放大，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

问题 1 属于确定性时间序列分析问题，对于此类问题，我们使用移动平均法进行近期预测。问题 1 要求我们对不同农产品预期的人力成本及收入展开相关分析讨论，需要先从权威网站搜集相关资料，确定适合不同地区种植的农产品，再对近一段时间该农产品所需的人力成本和收入分析，之后预测未来一段时间内该农产品的人力成本和收入。基于此，我们对相关数据进行处理，然后使用移动平均法进行预测。

### 2.2 问题 2 的分析

问题 2 在土地资源充足的情况下，建立一个同时保障农民的稳定收入与土地最大限度循环利用的农产品种植计划。对于此问我们建立了种植结构的多目标模糊随机优化模型。利用查询相关参考文献所得的数据，计算了各项农产品的相关指标，借助线性约束相关算法及 Matlab 得出了各农作物最优化种植面积。

### 2.3 问题 3 的分析

问题 3 属于线性规划问题，对于此类问题，我们使用 MATLAB 中的 linprog 函数处理。问题 3 要求我们为有充足土地资源的农民提供合理的大规模种植计划，不仅保证农

民收入，同时保证土地资源循环利用，需要先计算相对隶属矩阵和相对优属度，建立多目标模糊随机优化模型，之后再用 MATLAB 求解。

2.4 问题 4 的分析

问题 4 属于优化问题，对于此类问题，我们会提出一个与之前不同的计划，并与之对比。问题 4 要求我们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，我们查阅相关资料，在传统桑基鱼塘的基础上，创新提出了一个经济效益、社会效益、生态效益更好的模型。

2.5 问题 5 的分析

问题 5 属于优化问题，对于此类问题，我们会提出一个与之前不同的计划，并与之对比。问题 5 要求我们提出一个家庭合作后的最优养殖计划，我们查阅相关资料后，分析一个具体地区的种植业和畜牧业的状况，给出改进方案。

三、模型假设

- 1. 假设题目所给的数据真实可靠；
- 2. 由于环境成本难以统计，则不考虑环境成本严格量化分析；
- 3. 假设我们以少量农作物种类进行代表

四、符号说明

表 4-1 符号说明

符号定义	符号说明
$y_t$	观测目标 $t$ 时刻的观测记录
$T_t$	长期趋势项
$S_t$	季节变动趋势项
$C_t$	循环变动趋势项
$R_t$	随机干扰项
$M_t^{(k)}$	$k$ 次移动平均值
$\alpha_T, \beta_T$	趋势平均移动法的简化符号
$x_k$	第 $k$ 种方案
$\mathbf{X}$	方案集
$s_i$	第 $i$ 个目标

表 4-1 续表

符号定义	符号说明
$S$	目标集
$x_{ik}$	对于 $x_k$ 按 $s_i$ 进行评价得到的评价值
$R$	相对隶属矩阵
$\gamma_{ik}$	相对隶属度
$\max x_i$	$n$ 个方案中目标 $s_i$ 的最小值
$\min x_i$	$n$ 个方案中目标 $s_i$ 最小值
$W$	目标对“重要性”这个模糊概念的相对隶属矩阵
$w$	目标权向量
$w(i)$	$s_i$ 对于“重要性”的相对隶属度向量
$u_k$	$x_k$ 对于最佳综合效益的相对优属度
$u$	最佳综合效益的相对优属度向量
$\max V$	目标函数
$a_k$	作物 $k$ 最优种植面积
$a$	作物最优种植面积向量
$A$	可利用耕地面积总数
$b_k$	作物 $k$ 的灌溉定额
$B$	可利用农业用水总量
$c_k$	种植作物 $k$ 的单位面积所需成本
$C$	可利用农业资金总量
$d_k$	作物 $k$ 在某个时期单位面积需求的人工数
$D$	相应时期农业可利用的人工总数
$e_k$	作物 $k$ 在某个时期单位面积的净收入
$E$	在相应时期农业规定的最低总收入
$\tau_1$	农作物的种植时间
$C_{\tau_1}^{(i)}$	农作物 $i$ 的种植成本
$EP_{\tau_1}^{(i)}$	农作物 $i$ 种植时间为 $\tau_1$ 的经济效益
$\tau_2$	农作物的休耕时间
$C_{\tau_2}^{(i)}$	农作物 $i$ 的休耕成本
$EP_{\tau_2}^{(i)}$	农作物 $i$ 休耕时间为 $\tau_2$ 的经济效益
$EIR$	能值投资率
$EM_R$	自然环境投入的可更新资源能值
$EM_N$	自然环境投入的不可更新资源能值

表 4-1 续表

符号定义	符号说明
$EM_F$	人类经济社会反馈投入的不可更新资源能值
$EM_T$	人类经济社会反馈投入的可更新资源能值
$EY_R$	净能值产出率
$EM_Y$	产出能值
$ELR$	环境负载率
$ESI$	可持续发展指标
$S_S$	系统稳定性指数
$EM_{Y_i}$	第 $i$ 个子系统的能值产出
$W_R$	废弃物能值与可更新能值的比值
$EM_{Y^2}$	废弃物产出能值

## 五、模型的建立与求解

数据的预处理：

1. 部分数据全部缺失，不予考虑；
2. 对数据测试的特点，如周期等进行分析；
3. 有的数据残缺，根据数据挖掘等理论根据农作物丰收歉收等变化趋势进行补充；
4. 对数据特点（后面将会用到的特征）进行提取。

用 EXCEL 软件分析和各个不同问题的需要，采得分组采样，每组 5-8 个采样值。根据数据特点，对总体和个体的特点进行比较，以表格或图示方式显示。经过以上数据预处理，我们已经经过取舍的数据已陈列在附表中。

### 5.1 问题 1 的模型建立与求解

我们阅读文献 [1]，将预测对象按照时间顺序排列起来，构成一个所谓的时间序列，从所构成的这一组时间序列过去的变化规律，推断今后变化的可能性及变化趋势、变化规律，就是时间序列预测法）时间序列模型其实也是一种回归模型，其基于的原理是，一方面承认事物发展的延续性，运用过去时间序列的数据进行统计分析就能推测事物的发展趋势；另一方面又充分考虑到偶然因素影响而产生的随机性，为了消除随机波动的影响，利用历史数据，进行统计分析，并对数据进行适当的处理，进行趋势预测。（优点是简单易行，便于掌握，能够充分运用原时间序列的各项数据，计算速度快，对模型参数有动态确定的能力，精度较好，采用组合的时间序列或者把时间序列和其他模型组合效果更好。（缺点建不能反映事物的内在联系，不能分析两个因素的相关关系，只适

用于短期预测。

### 5.1.1 确定性时间序列分析方法

时间序列预测技术就是通过对预测目标自身时间序列的处理，来研究其变化趋势一个时间序列往往是以下几类变化形式的叠加或耦合：

1. 长期趋势变动。它是指时间序列朝着一定的方向持续上升或下降，或停留在某一水平上的倾向，它反映了客观事物的主要变化趋势。
2. 季节变动。
3. 循环变动。通常是指周期为一年以上，由非季节因素引起的涨落起伏波形相似的波动。
4. 不规则变动。通常分为突然变动和随机变动。

通常用  $T_t$  表示长期趋势项， $S_t$  表示季节变动趋势项， $C_t$  表示循环变动趋势项， $R_t$  表示随机干扰项。常见的确定性时间序列模型有以下几种类型。

#### 1. 加法模型

$$y_t = T_t + S_t + C_t + R_t \quad (5.1.1)$$

#### 2. 乘法模型

$$y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot R_t \quad (5.1.2)$$

#### 3. 混合模型

$$y_t = T_t \cdot S_t + R_t \quad (5.1.3)$$

$$y_t = S_t + T_t \cdot C_t + R_t \quad (5.1.4)$$

其中  $y_t$  为观测目标的观测记录，均值  $E(R_t) = 0$ ，方差  $Var(R_t) = \sigma^2$ 。

如果在预测时间范围以内，无突然变动且随机变动的方差 2 较小，并且有理由认为过去和现在的演变趋势将继续发展到未来时，可用一些经验方法进行预测。本小问我们使用移动平均法。

### 5.1.2 移动平均法

设观测序列为  $y_1, \dots, y_T$ ，取移动平均的项数  $N < T$ 。一次移动平均值计算公式为

$$\begin{aligned} M_t^{(1)} &= \frac{1}{N}(y_t + y_{t-1} + \dots + y_{t-N+1}) \\ &= \frac{1}{N}(y_{t-1} + \dots + y_{t-N}) + \frac{1}{N}(y_t - y_{t-N}) \\ &= M_{t-1}^{(1)} + \frac{1}{N}(y_t - y_{t-N}) \end{aligned} \quad (5.1.5)$$

二次移动平均值计算公式为

$$M_t^{(2)} = \frac{1}{N}(M_t^{(1)} + \dots + M_{t-N+1}^{(1)}) = M_{t-1}^{(2)} + \frac{1}{N}(M_t^{(1)} - M_{t-N}^{(1)}) \quad (5.1.6)$$



当预测目标的基本趋势是在某一水平上下波动时,可用 (5.1.5) 式建立预测模型,即

$$\hat{y}_{t+1} = M_t^{(1)}, t = N, N = 1, \dots, \tau \quad (5.1.7)$$

其预测标准误差为

$$S_E = \sqrt{\frac{\sum_{t=N+1}^{\tau} (\hat{y}_t - y_t)^2}{\tau - N}} \quad (5.1.8)$$

最近  $N$  期序列值的平均值作为未来各期的预测结果。一般  $N$  取值范围:  $5 \leq N \leq 200$ 。当历史序列的基本趋势变化不大且序列中随机变动成分较多时,  $N$  的取值应较大一些, 否则  $N$  的取值应小一些。在有确定的季节变动周期的资料中, 移动平均的项数应取周期长度。选择最佳  $N$  值的一个有效方法是, 比较若干模型的预测误差, 预测标准误差最小者为好。

当预测目标的基本趋势与某一线性模型相吻合时, 常用 (5.1.6) 式, 但序列同时存在线性趋势与周期波动时, 可用趋势移动平均法建立预测模型:

$$\hat{y}_{m+\tau} = \alpha_{\tau} + \beta_{\tau} m, m = 1, 2, \dots, \quad (5.1.9)$$

其中

$$\alpha_{\tau} = 2M_{\tau}^{(1)} - M_{\tau}^{(2)}, \beta_{\tau} = \frac{2}{N-1}(M_{\tau}^{(1)} - M_{\tau}^{(2)}) \quad (5.1.10)$$

### 5.1.3 模型的实例求解

根据上述模型,我们查找数据整合为附录的表 1-1和表 1-2,编写 Matlab 程序如 1.1.2, 得到不同农产品预期的人力成本及收入如附表 1-3.

### 5.1.4 结果

根据数据统计和计算,我们发现部分农作物(如大豆和棉花)仅靠售出的收入完全不能保证农民的生计维持,因而政府对三农的资助补助是必要的。如果国家不对三农进行民生补助,大量农村劳动力都会流向城镇打工维持生计。农作物有粮食作物与经济作物,为了保证中国粮食需求,政府一方面应规定农民必须种植粮食作物(否则在利益最大化的目标下农民只选择种植经济作物),另一方面,则应大力在物质上与精神上支持与鼓励农民多种粮食作物。

## 5.2 问题 2 的模型建立与求解

我们需要解决的问题是提供一个合理的大规模农产品种植计划。题目要求兼顾保障农民稳定收入以及土地资源的循环利用,因此我们考虑休耕这一促进土地循环利用的手段。剔除无关及不合理的数据后选用多目标模糊随机优化模型分点处理。具体步骤为:

1. 确定相对隶属度矩阵;
2. 确定目标相对优属度;
3. 建立多目标模糊随机优化模型;
4. 确定各作物最小、最大种植面积;
5. 通过所建模型求解最优种植面积。

### 5.2.1 相对隶属度矩阵的确定

设需种植  $n$  种农作物, 它们构成方案集为:

$$\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (5.2.1)$$

设优化模型有  $m$  个目标, 它们构成目标集

$$\mathbf{S} = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \quad (5.2.2)$$

对于方案  $x_k (k = 1, 2, \dots, n)$  按第  $i$  个目标  $s_i$  进行评价, 得到的评价值记为  $x_{ik}$ , 从而  $x_k$  可表示为:

$$x_k = \{x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{mk}\}^T \quad (5.2.3)$$

于是, (5.2.1) 式可用  $m \times n$  阶矩阵表示

$$\mathbf{X} = (x_{ik})_{m \times n} \quad (5.2.4)$$

优化模型中的目标通常有 2 种类型, 即效益型和成本型。效益型目标是越大越好型目标, 而成本型目标是越小越好型目标。在实际应用中, 目标的物理量纲往往不同, 为避免不同量纲对优化问题的影响, 需将 (5.2.4) 式变换为相对隶属度矩阵

$$\mathbf{R} = (\gamma_{ik})_{m \times n} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdots & \gamma_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.2.5)$$

其中, 相对隶属度  $\gamma_{ik}$  按照实际情况, 利用 (5.2.6) ~ (5.2.7) 式计算得到。

当目标为越大越好型时

$$\gamma_{ik} = \frac{x_{ik} - \min x_k}{\max x_k - \min x_k} \quad (5.2.6)$$

当目标为越小越好型时,

$$\gamma_{ik} = \frac{\max x_k - x_{ik}}{\max x_k - \min x_k} \quad (5.2.7)$$

其中  $\max x_k, \min x_k$  分别是  $n$  个方案中目标  $s_i$  的最大、最小值。

显然有

$$0 \leq \gamma_{ik} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n. \quad (5.2.8)$$

### 5.2.2 相对优属度的确定

一般而言，不同的目标在优选中的地位是不同的，需赋予不同的权重以体现它们的重要程度。设目标权向量为

$$\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (5.2.9)$$

且

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (5.2.10)$$

在多目标规划问题中，如果目标在整体优化中对优的相对隶属度大，那么该目标的客观地位就高，通常会引起更多的关注，也会被赋予更大的权重值。根据模糊数学知识 [2, 3]，可将隶属度定义为权重，即将 (5.2.5) 式转置得到目标对“重要性”这个模糊概念的相对隶属度矩阵 [4]

$$\mathbf{W} = \mathbf{R}^T = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{21} & \cdots & \gamma_{n1} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{1n} & \gamma_{2n} & \cdots & \gamma_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.2.11)$$

记

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} = (w_{ki})_{n \times m} \quad (5.2.12)$$

则

$$w_{ki} = \gamma_{ik}, k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m. \quad (5.2.13)$$

从 (5.2.12) 式可以看出，目标  $s_i$  对于“重要性”的相对隶属度向量为

$$\mathbf{w}(i) = (w_{1i}, w_{2i}, \dots, w_{ni})^T \quad (5.2.14)$$

利用 [5] 提供的模糊定权方法，目标的权重  $w_i (i = 1, 2, \dots, m)$  计算式为

$$w_i = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\sum_{k=1}^n (1 - w_{ki})}{\sum_{k=1}^n w_{ki}} \right]^2} \quad (5.2.15)$$

根据两级模糊优选模型，方案  $k$  对最佳综合效益的相对优属度  $u_k (k = 1, 2, \dots, n)$  的计算式为

$$u_k = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\sum_{i=1}^n w_i (1 - \gamma_{ik})}{\sum_{i=1}^n w_i \gamma_{ik}} \right]^2} \quad (5.2.16)$$

### 5.2.3 多目标模糊随机优化模型

利用前面得到的数据，建立农作物种植结构的多目标模糊随机优化模型。目标函数为：

$$\max V = \sum_{k=1}^n u_k a_k \quad (5.2.17)$$

其中， $a_k$  为作物  $k (k = 1, 2, \dots, n)$  最优种植面积，记最优种植面积向量为

$$\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (5.2.18)$$

在以下约束条件求解目标函数：

1. 面积约束

$$\sum_{k=1}^n a_k \leq A \quad (5.2.19)$$

$$\min a_k \leq a_k \leq \max a_k, k = 1, 2, \dots, n \quad (5.2.20)$$

其中， $A$  为可利用的耕地面积总数， $\min a_k$ ， $\max a_k$  分别为作物  $k$  的最小和最大种植面积，它们由市场需求、自主需求或专家经验确定；

2. 水量约束

$$\sum_{k=1}^n b_k a_k \leq B \quad (5.2.21)$$

其中， $b_k$  为作物  $k$  的灌溉定额， $B$  为可利用的农业用水总量；

3. 成本约束

$$\sum_{k=1}^n c_k a_k \leq C \quad (5.2.22)$$

式中， $c_k$  为种植作物  $k$  的单位面积所需成本， $C$  为可利用的农业资金总额；

4. 人工需求约束

$$\sum_{k=1}^n d_k a_k \leq D \quad (5.2.23)$$

其中， $d_k$  为作物  $k$  在某个时期单位面积需求的人工数， $D$  为在相应时期农业可利用的人工总数；

## 5. 最低收入约束

$$\sum_{k=1}^n e_k a_k \geq E \quad (5.2.24)$$

其中,  $e_k$  为作物  $k$  在某个时期单位面积的净收入,  $E$  为在相应时期农业规定的最低总收入;

## 6. 非负约束

$$a_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, n \quad (5.2.25)$$

## 5.2.4 模型的实例求解

根据 [6] 中的休耕建议, 农民采用“一季休耕、一季雨养”模式, 只种植雨热同期的春小麦, 春玉米、大豆、马铃薯, 将需抽水灌溉的冬小麦休耕。

首先, 求出相对优属度, 根据参考资料, 给定休耕期间政府补贴 (包括基础补贴、翻地补贴、种植绿肥补贴), 假设耕种时间为  $\tau_1$ , 休耕时间为  $\tau_2$ 。对于农作物  $i$ , 种植成本为  $C_{\tau_1}^{(i)}$ , 休耕成本为  $C_{\tau_2}^{(i)}$ , 种植时间为  $\tau_1$  的经济效益为  $EP_{\tau_1}^{(i)}$ , 休耕时间为  $\tau_2$  的经济效益为  $EP_{\tau_2}^{(i)}$ , 其计算式为

$$EP_{\tau_1}^{(i)} = \frac{\text{政府补贴} - \text{机会成本}}{\text{机会成本}} \quad (5.2.26)$$

其中机会成本即为不休耕而种植的收益。

我们根据种植时间和休耕时间加权得到修正的农作物  $i$  经济效益  $EP^{(i)}$ , 即

$$EP^{(i)} = \frac{\tau_1 \cdot EP_{\tau_1}^{(i)} + \tau_2 \cdot EP_{\tau_2}^{(i)}}{\tau_1 + \tau_2} \quad (5.2.27)$$

得到数据如附录表 1-4, 数据计算顺序如子小节 (5.2.1) ~ (5.2.2), 程序如附录 1.2.2 Matlab 程序。

根据附录 1.2.2 Matlab 程序计算得到 (5.2.16) 式为

$$\mathbf{u} = (0.1023, 0.4842, 0.9454, 0.3792) \quad (5.2.28)$$

其次, 根据专家经验, 我们得到四种作物的最大最小种植面积, 与人工需求如附录表 (1-5) ~ (1-6)

最后, 根据上述数据进行多目标模糊随机优化, 由于土地资源充足, 且收入稳定, 故分别在 (5.2.19) 式和 (5.2.24) 式中令  $A = +\infty$ ,  $E = -\infty$ , Matlab 程序见附录 1.2.3。

根据附录 1.2.3 Matlab 程序计算得到线性规划最优解即 (5.2.18) 式和 (5.2.17) 式化为

$$\mathbf{a} = 10^3(3.8172, 3.8205, 2.5800, 1.5000, ), \max V = 5.2483 \times 10^3 \quad (5.2.29)$$

### 5.2.5 结果

从相对优属度上来说，小麦的相对优属度明显小于其他几种作物，这是因为小麦的经济效益偏低，成本需求偏高所以对效益型目标和成本型目标评价值都很低，所以小麦这样的粮食作物在我们的模型中属于不推荐种植的农作物（不考虑国家政策补贴的情况下）。而马铃薯这样的经济作物在模型中推荐度较高。

从最优种植面积上来看，实际结果与我们设想的相反，尽管小麦从经济效益角度来说不高，但是市场需求量很大，商品化程度也很高，这是因为小麦作为三大主粮之一，无论从国家粮食安全角度还是从个人喜好角度来说都要求它的产量很高。

综上此多目标模糊随机优化模型综合考了多种因素后，结合参考资料的数据，得出了在土地资料充足、保障农民收入情况下且让土地尽可能循环利用的种植计划，其中考虑了休耕情况，使土地循环利用，种植了经济作物保障农民收入，同时也兼顾了粮食作物。

## 5.3 问题 3 的模型建立与求解

### 5.3.1 模型的建立

我们需要解决的问题是提供合理的小规模种植计划，题目要求是在问题二的基础上增加土地资源有限，有基本收入保证且尽可能减少水资源的条件，剔除无效数据后，我们选用和问题 2 的模型完全相同，仅仅修改参数的模型进行分析。具体步骤也与问题 2 相同。

### 5.3.2 模型的求解

类似问题二的步骤，我们求解的 Matlab 程序为附录 1.3.2 和 1.3.3，由于土地资源有限，且收入有基本要求，故分别在 (5.2.19) 式和 (5.2.24) 式中令  $A, E$  均为有限值，求解结果如下

根据附录 1.3.2 Matlab 程序计算得到的相对优属度向量为

$$\mathbf{u} = (0.0501, 0.6528, 0.9727, 0.2328) \quad (5.3.1)$$

根据附录 1.3.3 Matlab 程序计算得到线性规划最优解<sup>1</sup>为

$$\mathbf{a} = 10^3(1.8075, 0.9200, 1.7725, 1.5000), \max V = 2.7644 \times 10^3 \quad (5.3.2)$$

### 5.3.3 结果

从相对优属度上来说，在考虑了需水量后小麦的相对优属度更低了。从最优面积来说，在土地资源有限的情况下，小麦与其他几种作物的最优面积的比例差距并不大，所

<sup>1</sup>面积约束  $A = 6000$ ，基本收入限制  $E = 14617$

以对于小规模种植，以小麦为主，多种经济作物为辅助的种植模式值得推广。

综上此多目标模糊随机优化模型综合考了多种因素后，结合参考资料的数据，得出在土地资源有限、保障农民收入情况下且尽量减少水资源过度使用的种植计划。

当然此计划的局限性是种植面积刻画的不是很有代表性，对于家庭种植仍需进一步探索。

5.4 问题 4 的模型建立与求解

桑基（果桑）—蚕—鱼塘—大球盖菇模式的具体能量流动过程如图 5-1。

桑基子系统中的部分桑叶进入蚕子系统，为蚕的生长提供食物；蚕子系统的蚕蛹可以用来喂养鱼塘子系统，蚕沙等废弃物产出则可改善鱼塘水质，用以新型经营模式评估肥塘水；桑基子系统中桑枝等废弃物产出可以作为食用菌的培养料，是大球盖菇培养基的优质原料。产出能值完全由桑葚、蚕茧、鱼产品及大球盖菇四部分经济产出决定，系统的废弃物能值产出为零。可利用产出能值与人工辅助能值的比值为 2.2，提高了单位能值投入的产出水平。因此，桑基—蚕—鱼塘—大球盖菇模式虽然未降低不可更新工业能和可更新有机能的能值投入，但通过充分利用农作物的副产品，提高能值总产出，平衡了产出结构。

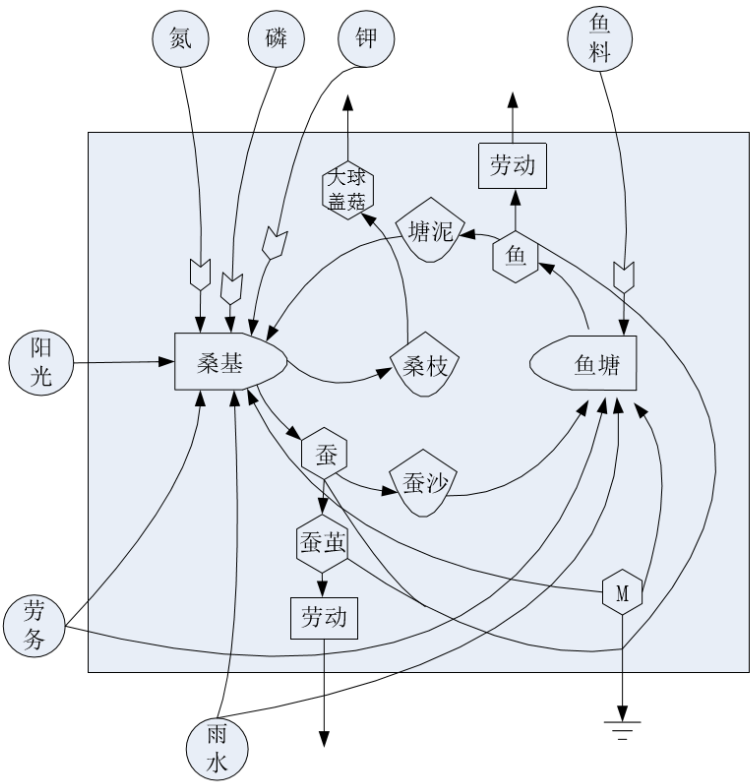


图 5-1 桑基—蚕—鱼塘—大球盖菇模式能量系统图

### 5.4.1 模型概述：桑基—蚕—鱼塘—大球盖菇模式

现存的桑基—蚕—鱼塘经营模式存在能值结构不合理、无机能投入较大、系统稳定性差等问题，在基塘比例失衡的发展趋势下，桑基鱼塘系统的发展形势日益严峻。因此，为了提高系统整体稳定性，维持良好的可持续发展水平实现经济效益与生态效益并存，将大球盖菇子系统与现存的桑基—蚕—鱼塘模式结合，形成桑基（果桑）—蚕—鱼塘—大球盖菇新型经营模式。

### 5.4.2 模型的建立

本研究为对桑基鱼塘系统不同模式的结构、功能与效率进行综合评价，在各系统的能值分析基础上，建立能值指标体系，不仅可以评估系统的生态效益与经济效益，更为系统综合分析决策提供参考。本研究的主要能值指标如下 [7, 8]：

1. 能值投资率（ $EIR$ ）是社会经济反馈投入能值与自然环境投入能值的比值。能值投资率低，说明农业经济水平低，对自然环境的依赖程度高；反之，则表明农业生产方式先进，对经济依赖程度高。

$$EIR = \frac{EM_F + EM_T}{EM_R + EM_N} \quad (5.4.1)$$

其中  $EM_R$  为自然环境投入的可更新资源能值， $EM_N$  为自然环境投入的不可更新资源能值， $EM_F$  和  $EM_T$  分别为人类经济社会反馈投入的不可更新资源能值和可更新资源能值。

2. 净能值产出率（ $EYR$ ）为系统总产出能值占社会经济反馈投入能值的比重。净能值产出效率越高，表明系统经济效益越高，资源利用效率越强。

$$EYR = \frac{EM_Y}{EM_F + EM_T} \quad (5.4.2)$$

其中  $EM_Y$  为产出能值。

3. 环境负载率（ $ELR$ ）为系统不可更新能源投入能值总量与可更新能源投入能值总量的比例。环境负载率越大，表明对环境的压力越大，可持续性能越差。

$$ELR = \frac{EM_F + EM_N}{EM_R + EM_T} \quad (5.4.3)$$

4. 可持续发展指标（ $ESI$ ）为能值产出率与环境负载率的比值，反映系统的可持续性。

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} \quad (5.4.4)$$

5. 系统稳定性指数（ $S_S$ ），衡量系统生产稳定性的大小，稳定性越高，表明系统自我调节和控制能力越强，越有助于持续发展。

$$S_S = - \sum_{i=1}^n \frac{EM_{Y_i}}{EM_Y} \ln \frac{EM_{Y_i}}{EM_Y} \quad (5.4.5)$$



其中  $EM_{Y_i}$  为第  $i$  个子系统的能值产出。

6. 废弃物能值与可更新能值的比值 ( $W_R$ ) 可以用来反映对系统产出的有效利用率, 衡量废弃物对环境的压力。该比例越大, 表明产出利用程度越低, 对环境压力越大。

$$W_R = \frac{EM_{Y_2}}{EM_T + EM_R} \quad (5.4.6)$$

其中  $EM_{Y_2}$  为废弃物产出能值。

此外, 用系统的产投比来评估经济效益, 系统的产投比为总产出能值中扣除废弃物的产出能值与系统外投入能值的比值。

### 5.4.3 模型的求解

桑基(果桑)一蚕一鱼塘一大球盖菇模式提高了农业生产效率, 显著提高了农户的生产收入。根据公式 (5.4.1) 式, 该模式的能值投资率 ( $EIR$ ) 为 9.78, 比桑基一蚕一鱼塘系统模式的无机能值投入略高。从净能值产出来看, 净能值产出率 ( $EYR$ ) 达到 2.25, 表明该模式的产出能值较高。在人工辅助能值投入基础上, 结合自然资源投入, 实现能值的有效利用, 可有效提高复合系统的生产效率。废弃物能值与可更新能值 ( $W_R$ ) 降为 0, 即能够充分利用各物质的产出, 使得经济效益显著增加。从能值—货币价值角度, 单位货币的能值投入可实现 2.26 倍的产出, 经济效益较为显著。

依据 (5.4.3) 式和 (5.4.4) 式, 计算得出该模式的环境负载率 ( $ELR$ ) 和可持续发展指标 ( $ESI$ ) 分别为 0.66 和 3.41, 桑基鱼塘系统的可持续发展性能得到优化。大球盖菇子系统实现了对桑枝废弃物的利用, 减少了资源浪费和环境污染, 实现了生态环境的保护及农业文化遗产的可持续发展。

系统的稳定性指标 ( $S_S$ ) 增加至 0.51, 稳定性指数较高, 系统内的物质流和能量流连接网络更为发达, 自控、调节和反馈作用增强, 具有较强的自稳定性。不同系统的产出结构较为均衡, 避免了某一子系统产出减少引起的能值总产出大幅度降低。

### 5.4.4 结果

由上可知, 该模式在桑基一蚕一鱼塘系统的基础上实现了优化, 增加经济效益, 实现生态环境可持续, 同时具有较强的稳定性。[9]

## 5.5 问题 5 的模型建立与求解

### 5.5.1 畜牧业—农业—草业养殖模式

畜牧业 + 农业 + 草业的养殖模式是畜牧业与农业和草业相结合。

A 家庭种植青贮和玉米和草, B 家庭养奶牛和猪, C 家庭养公牛和种植紫花。

A 家庭种植的青贮全部用于喂养 B 家庭和 C 家庭的牛，部分玉米当做饲料，剩余的出售。无论天气是否干旱，牲畜的饲草料都可以完全满足家畜的需求；此外家庭牧户在养牛方面也有自己的经营特色，

B 家母牛产的奶主要用于制作奶制品，出售奶制品的收入也成为该家庭牧户的主要经济来源。多余的奶水用于喂养 C 的公牛犊，既充分利用了母牛的奶水，又可获取相应的利润。

C 家庭在种草方面，紫花苜蓿的种植虽然投入资金较多，但一年多产的优质牧草收获效益更为可观，且紫花苜蓿的种植可以有效地减轻土壤风蚀，改良土壤理化性状，更好地保护草原生态环境。

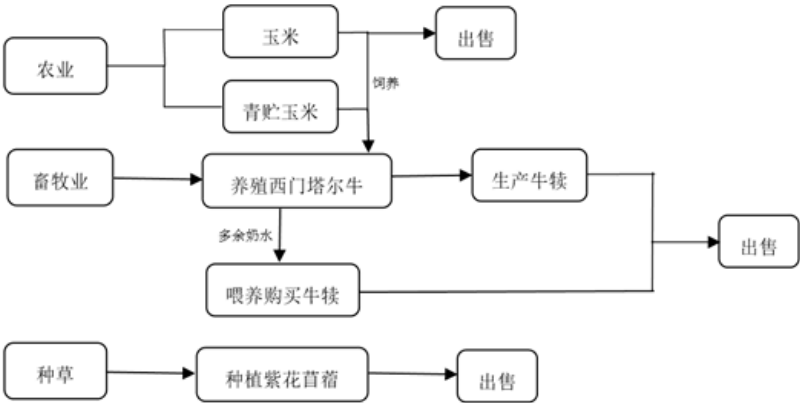


图 5-2 以内蒙古阿鲁科尔沁旗为例

5.5.2 模型求解

详细计算数据见附录1.4节.

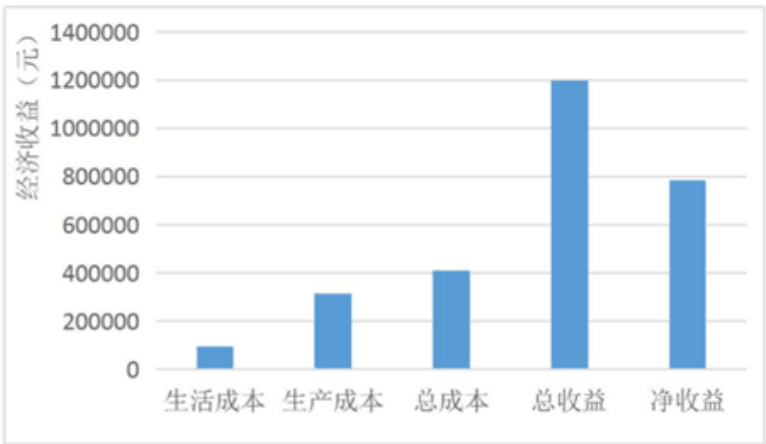


图 5-3 2013-2017 年畜牧业 + 农业 + 草业的养殖模式经济情况

如图 5-3所示，近五年来，三户家庭牧户获得的平均净收益达到近 80 万元。

### 5.5.3 结果

在气候干旱时，B 家庭和 C 家庭所需要购买的饲草料数量更多，生产成本明显增加，而产出水平在牛肉价格和奶制品下降时，家庭牧户的经济收益却大大减少。如果持续几年发生大面积气候干旱或雪灾，牧民就会负债累累，很难维持牲畜的再生产和满足家庭生活的基本需求。若是单一放牧养殖模式，普通家庭牧户养殖规模小，收益水平低，特别是牛肉价格降低时，家庭牧户的收益会更少。因此，我国北方农牧交错带半农半牧区的牧民们应该积极转变传统的放牧饲养方式，将畜牧业与农业、草业或其它行业有机结合，相互促进，协调发展，不能只是靠天吃饭，被动适应。

种田养畜，以畜产奶，这种具有地方特色的养殖模式有利于改善农牧民的生活环境，提高自然资源的利用效率，转变农牧民落后的思想意识和思维习惯，加快我国北方农牧交错带半农半牧区和纯牧区家庭牧户脱贫速度和社会发展步伐。

从生态环境保护角度分析，由于阿鲁科尔沁旗常年干旱，土地沙化非常严重但紫花苜蓿在大旱的年份产量依旧能够保持比较高的水平，且紫花苜蓿的根部可以有效地减少水土流失，枯枝落叶可以覆盖地表，防治土壤侵蚀，落入土壤也可以改善土壤结构，培育土壤肥力。在大量种植紫花苜蓿后，阿鲁科尔沁旗的草原生态环境有了很大改善，沙化程度明显减轻，植被覆盖度增加，使草原生态系统逐步向良好的方向发展。因此，种植紫花苜蓿不仅可以缓解草畜矛盾，产生可观的经济收益，而且对生态环境的改善和自然资源的高效利用也产生了积极的促进作用。[10]

## 六、模型的评价及优化

将模型进行数值计算，并与附件中的真实采样值（进行列表或图示）比较。对误差进行分析，给出误差分析的理论估计。

### 6.1 误差分析

#### 6.1.1 针对于问题 1 的误差分析

我们采用了移动平均法来分析确定性时间序列，这是建立在认为最近  $N$  期数据对未来影响相同，权重相同， $N$  期以前的数据对未来值没有影响。所以我们略去了 2004-2007 年的数据，分析了 2008 到 2019 年的数据，来预测该农产品 2020 年的预期人力成本和收益。

并且对于移动平均项数  $N$  的取值，我们取了  $N = 3, 4, 5, 6$ ，并计算他们预测的标准误差来决定采用哪一个预测值，客观上减少了误差。

但是对于部分农产品时间和价格历史序列基本趋势变化较大，随机变动成分较多，一次平均移动法就存在局限性，视趋势，采用指数平滑法、差分指数平滑法会更精确一些。

### 6.1.2 针对于问题 2 的误差分析

我们采用多目标模糊随机优化模型，计算了相对隶属矩阵和相对优属度，最终转化为线性规划问题求解，在模型建立过程中，我们简化了模型，没有考虑该农产品的环境效益，而是以休耕来保证土地的循环利用，这里会产生一些误差。

问题 2 中我们假设土地资源无限，对土地面积约束不考虑，这也是对题目中土地资源充足的简化。当然我们只考虑种植了四种具有代表性的作物，这对于实际推广是远远不够的。

### 6.1.3 针对于问题 3 的误差分析

问题 3 中我们直接延用了模型 2 的四种作物，是考虑四种作物需水量都相对较低后选择的，但是若要使水资源利用尽可能小，还要选取更多的作物进行分析。

### 6.1.4 针对于问题 4 的误差分析

我们在原有的桑基鱼塘模型上进行了改进，并通过计算一些指标来证明新模型较之原来的优势。但是这是部分指标，比较仍不太全面，并且对于这样农业、渔业、牧业的大型生态系统，对技术、资金、环境要求可能很高，在推广方面与理论上的效益有一定差距。

而且此模型为了使生态效益较好，生产绿色农畜产品，没有考虑其他的种植物和鱼类对系统影响，是一个理想化模型。

### 6.1.5 针对于问题 5 的误差分析

问题 5 没有详细比较原来的单一养殖计划与现在的合作养殖计划之间人力成本的差别，仅仅从净收入角度说明了现在模型的优越性。

## 6.2 模型的优点（建模方法创新、求解特色等）

1. 问题 1 通过时间序列分析得到满意的解，使问题描述比较清晰，结果更合理，避免数据波动（如粮食丰收年和歉收年）带来的较大误差

2. 问题 2 和 3 通过多目标模糊随机优化模型较好地解决了帮农民多个目标的种植问题的问题，同时使模型得到简化，减少大的计算量

3. 问题 4 的模式综合考虑了大球盖菇子系统与桑基一蚕一鱼塘模式的特点，大球盖菇子系统通过利用桑基子系统的桑枝产出能，一方面减少了桑基一蚕一鱼塘模式废弃物的能值产出，扩大生态系统的物质流和能量流网络，另一方面又填补了劳动力零碎时间的空白，延伸了产业链，增加农户的经济收入。

4. 问题 5 的模型优点分别有：稳定性，互补性，保护环境。

### 6.3 模型的缺点

1. 主观性略强；
2. 建立在不考虑环境效益的前提条件下；
3. 在问题三中可能会出现无最优解的情况；
4. 由于时间问题，问题四和五无法建立更完美的模型。

### 6.4 模型的推广

#### 6.4.1 问题 1：确定性时间序列分析方法

此模型简单易行，能够充分利用原时间序列的各项数据，计算速度快，对模型参数有动态确定的能力，精度较好，但是不能反映事物的内在联系，不能分析两个因素的相关关系，只适用于短期预测。

#### 6.4.2 问题 2, 3：多目标随机优化模型

对于一片土地来说，只有科学有效地使用有限的水土资源，人力资源和农业资金，优化农作物的种植结构，农业发展才能获得最佳的种植效益。该模型推理严谨，计算简便，利用相对优属度作为决策变量的权系数，更好地解决多目标规划问题。利用该模糊随机优化模型，实现了农作物的种植面积、水资源、农业资金和劳动力的最佳分配。但是此模型需要已知各类方案的对应目标的指标值，对于数据的搜集、筛选条件已经精度要求较高，若是搭配相应的数据分析类模型能够达到更好地效果。

#### 6.4.3 问题 4：桑基—蚕—鱼塘—大球盖菇模型

此模型可维持良好的可持续发展水平，实现经济效益与生态效益并存，且具有较强的稳定性。此模型可以结合不同地区的现实情况，以探索其适应当地生态、经济和社会的最佳比例，对不可更新的自然资源进行有效保护。

#### 6.4.4 问题 5：畜牧业 + 农业 + 草业养殖模式

此模型不仅可以缓解草畜矛盾，产生可观的经济效益，而且对生态环境的改善和自然资源的高效利用也产生了积极的促进作用，但其所需启动资金较多，需要劳动力较多，改变相应参数可以建立一个需要较低成本资金适宜推广到大部分地区和农民的模式。

## 参考文献

- [1] 孙玺菁,周刚,仲维杰,等. 数学建模算法与应用[M]. Ed. by 司守奎, 孙兆亮. 北京: 国防工业出版社, 2015.05: 167-169.
- [2] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 4 版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2015: 1-108.
- [3] 刘合香. 模糊数学理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 1-99.
- [4] 陈守煜. 工程水文水资源系统模糊集分析理论与实践[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1998: 120-202.
- [5] 陈守煜,马建琴,张振伟. 作物种植结构多目标模糊优化模型与方法[J]. 大连理工大学学报, 2003,43(1): 12-15.
- [6] 农业部等十部委联合出台. 探索实行耕地轮作休耕制度试点方案[Z]. [http://www.moa.gov.cn/nybgb/2016/diqiqi/201711/t20171128\\_5921712.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgb/2016/diqiqi/201711/t20171128_5921712.htm). 2016.
- [7] 孙路. 临潼区两种循环农业生产模式能流、能值及经济效益分析[D]. 西北农林科技大学, 2015.
- [8] 钟珍梅,翁伯琦,黄勤楼,等. 基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例[J]. 生态学报, 2012,32(18): 5755-5762.
- [9] 刘少慧. 湖州桑基鱼塘系统经营模式评估与选择[D]. 山东师范大学, 2018: 15-32.
- [10] 赵婷. 内蒙古草原家庭牧户养殖模式和牧企合作研究[D]. 内蒙古大学, 2019.

## 1.1 问题 1 的相关数据与程序

## 1.1.1 数据收集与计算

表 1-1 农作物人工成本（单位：元/亩）<sup>2</sup>

时间 \ 农作物	小麦	玉米	大豆	花生	棉花	苹果
2008	133.19	176.98	88.32	233.15	527.08	1001.5
2009	145.64	192.61	103.53	254.83	568.18	1488.97
2010	178.83	235.1	115.31	319.61	728.25	1707.2
2011	225.68	295.49	136.38	399.15	858.21	1944.15
2012	291.4	398.4	177.5	533.59	1170.71	2519.85
2013	343.78	455.37	200.95	645.51	1359.84	2746.83
2014	364.77	474.68	216.73	678.07	1408.39	3186.83
2015	364.39	468.72	215.16	693.64	1387.75	3253.8
2016	370.99	458.1	218.11	695.08	1393.72	3369.15
2017	361.87	441.2	215.85	693.87	1353.72	3110.96
2018	350.76	433.52	204.27	691.58	1194.91	3065.22
2019	345.55	422.56	201.25	690.8	1144.85	2965.4

<sup>2</sup>数据来源: 前瞻数据库<http://d.qianzhan.com>

表 1-2 农作物现金收益（单位：元/亩）<sup>3</sup>

农作物 时间	小麦	玉米	大豆	花生	棉花	苹果
2008	376.69	416.76	350.35	588.17	587.11	2806.09
2009	392.44	462.11	312.43	909.48	970.21	3766.6
2010	419.29	584.42	378.42	942.94	1773.91	6110.23
2011	459.95	686.04	372.54	1261.77	1121.34	5997.63
2012	437.13	730.79	435.44	1362.8	1281.79	5785.77
2013	460.64	680.69	383.92	966.56	1223.17	5258.11
2014	601.76	728.59	353.99	1029.67	747.24	5844.76
2015	542.89	522.95	265.07	1012.46	493.94	4339.18
2016	455.61	341.21	163.77	1178.58	937.26	3222.35
2017	532.02	425.66	237.27	966.52	895.74	4285.55
2018	358.79	446.35	157.46	940.49	777.29	4903.05
2019	340.05	456.11	154.27	875.91	822.3	5347.1

根据附录1.1.2Matlab 程序计算得到的预期结果为

表 1-3 预期结果

农产品	小麦	玉米	大豆	花生	棉花	苹果
预期人力成本（元/亩）	352.73	432.43	207.12	692.08	1231.20	3047.20
预期现金收益（元/亩）	410.27	442.71	183.00	994.80	922.23	4419.40

### 1.1.2 Matlab 源程序

```
clc,clear
y=[62.23 73.03 81.58 89.19 105.6 119.48 110.53 114.41 121.49 115.89 133.13 136.14];
m=length(y);
n=[3,4,5,6]; %n为移动平均的项数
```

<sup>3</sup>数据来源同表 1-1



```

for i=1:length(n) %由于n的取值不同，下面使用了细胞数组
for j=1:m-n(i)+1
yhat{i}(j)=sum(y(j:j+n(i)-1))/n(i);
end
y2020(i)=yhat{i}(end); %提出第2020年的预测值
s(i)=sqrt(mean((y(n(i)+1:end)-yhat{i}(1:end-1)).^2)); %求预测的标准误差
end
y2020, s %分别显示两种方法的预测值和预测的标准误差

```

## 1.2 问题 2 的相关数据与程序

### 1.2.1 数据收集与分析

表 1-4 不同作物的定量指标比较<sup>4</sup>

农作物		小麦	玉米	马铃薯	大豆
成本需求（元/亩）	初始	10900	10450	8610	8490
	休耕	2290	2290	2290	2290
	修正	4791	5935	6133	4461
经济效益（元/亩）	初始	3589	5305	5602	3093
	休耕	7196	7196	7196	7196
	修正	4791	5935	6133	4461
商品化程度（%）		80	40	20	15

表 1-5 农作物最大最小种植面积

农产品	春小麦	春玉米	大豆	马铃薯
最小种植面积（亩）	850	920	1622	1500
最大种植面积（亩）	5967	4985	2580	2410

表 1-6 农作物人工需求

农作物种类	春小麦	春玉米	大豆	马铃薯
人工需求（工日/亩）	50	35	41	40

### 1.2.2 计算相对优属度的 Matlab 源程序

计算相对隶属度的 Matlab 源程序如下

<sup>4</sup>令 (5.2.26) 式中政府补贴为 500 元/667 平方米，机会成本为 20 元/667 平方米，(5.2.27) 式  $\tau_1 = 6$ ， $\tau_2 = 3$

```

clc,clear
X=[4791.3 5935.3 6133.3 4460.6; 0.8 0.4 0.2 0.25; 8030 7730 6503.3 6423.3];
[m,n]=size(X);%找到矩阵X的行数m和列数n
[max_X,index]=max(X,[],2);%找到每一行最大值
[min_X,index]=min(X,[],2);%找到每一行最小值
for i=1:m-1
for j=1:n Y(i,j)=(X(i,j)-min_X(i,1))/(max_X(i,1)-min_X(i,1));%效益型目标的相对隶属矩阵
end
end
for i=3
for u=1:n;
Y(i,u)=(max_X(i,1)-X(i,u))/(max_X(i,1)-min_X(i,1));%成本型目标的相对隶属矩阵
end
end
W=Y';%目标权重矩阵
for i=1:m
w(i)=1/(1+((n-sum(W(1:n,i)))/sum(W(1:n,i)))^2));%, 目标对“重要性”的相对隶属矩阵
end
k=sum(w);
for i=1:m
w(i)=w(i)/k;%将权重向量w归一化
end
for k=1:n
for j=1:m Q(k,j)=w(j)*W(k,j)
end
for i=1:m P(k,i)=w(i)*W(k,i)
end
end
for k=1:n
mu(k)=1/(1+((sum(w)-sum(Q(k,:)))/sum(P(k,:)))^2) %求出4种农作物的综合效益的相对优属向量
end

```

### 1.2.3 多目标模糊随机优化的 Matlab 源程序

利用表 (1-4) ~ (1-6) 实例计算最优种植面积的 Matlab 程序如下

```

clc,clear
f=[-0.1023;-0.4842;-0.9454;-0.3792];
a=[;6200 4800 4500 6000;10900 10450 8610 8490; 60 45 54 52;50 35 41 40;-280.91 141.43
191.12 16.17];
%分别对应约束条件1.2.3.4.5
b=[;6261.5e4;142.02e6;68.2e4;49.27e4;-14617];
[a,V]=linprog(f,a,b,[],[],[850;920;1621.6;1500],[5966.7;4985;2580;2410])
%求出线性优化最优解
a=a,V=-V

```

### 1.3 问题 3 的相关数据与程序

#### 1.3.1 数据收集与计算

表 1-7 考虑灌溉水源的不同作物的定量指标比较

农作物		小麦	玉米	马铃薯	大豆
成本需求（元/亩）	初始	10900	10450	8610	8490
	休耕	2290	2290	2290	2290
	修正	4791	5935	6133	4461
经济效益（元/亩）	初始	3589	5305	5602	3093
	休耕	7196	7196	7196	7196
	修正	4791	5935	6133	4461
商品化程度（%）		80	40	20	15
灌溉用水量（立方米/亩）		6200	4800	4500	6000

#### 1.3.2 计算相对优属度的 Matlab 源程序

计算相对隶属度的 Matlab 源程序如下

```

X=[4791.3 5935.3 6133.3 4460.7;
0.8 0.4 0.2 0.25;
6200 4800 4500 6000;
8030 7730 6503 6423];
[m,n]=size(X);%找到矩阵X的行数m和列数n
[max_X,index]=max(X,[],2);%找到每一行最大值
[min_X,index]=min(X,[],2);%找到每一行最小值
for i=1:m-2
for j=1:n
Y(i,j)=(X(i,j)-min_X(i,1))/(max_X(i,1)-min_X(i,1));%效益型目标的相对隶属矩阵
end
end

for i=m-1:m
for u=1:n;
Y(i,u)=(max_X(i,1)-X(i,u))/(max_X(i,1)-min_X(i,1));%成本型目标的相对隶属矩阵
end
end
W=Y';%目标权重矩阵

```

```

for i=1:m
w(i)=1/(1+((n-sum(W(1:n,i)))/sum(W(1:n,i)))^2));%, 目标对“重要性”的相对隶属矩阵
end

k=sum(w);
for i=1:m

w(i)=w(i)/k%将权重向量w归一化
end
for k=1:n
for j=1:m
Q(k,j)=w(j)*W(k,j)
end
for i=1:m
P(k,i)=w(i)*W(k,i)
end
end
for k=1:n
mu(k)=1/(1+((sum(w)-sum(Q(k,:)))/sum(P(k,:)))^2)%求出4种农作物的综合效益的相对优属向量

end

```

### 1.3.3 多目标模糊随机优化的 Matlab 源程序

利用表 (1-4) ~ (1-6) 实例计算最优种植面积的 Matlab 程序如下

```

f=[ -0.0501 -0.6528 -0.9727 -0.2328];
a=[1 1 1 1;6200 4800 4500 6000;10900 10450 8610 8490;
60 45 54 52;50 35 41 40;-280.91 141.43 191.12 16.17];
%分别对应约束条件1.2.3.4.5
b=[6000;6261.5e4;142.02e6;68.2e4;49.27e4;-14617];
[a,V]=linprog(f,a,b,[],[],[850;920;1621.6;1500],[5966.7;4985;2580;2410])
%求出线性优化最优解
a=a,V=-V

```

### 1.4 问题 5 的相关数据

A 牧户共有 48 亩草场，其中 30.7 亩种植紫花苜蓿，4.7 亩种植青贮饲料，5.3 亩种植玉米。紫花苜蓿是一种豆科多年生草本植物，产量高且品质好，广泛种植既可以作为优质牧草饲喂家畜，同时可以通过生物固氮作用，改善土壤结构，增加土壤肥力。由于种植紫花苜蓿投入的生产成本较高，因此家庭牧户种植的紫花苜蓿一般不会用于喂养自家家畜，而是出售给牧草企业以获得更多的经济收益。在牧草种植阶段，投入紫花苜蓿种子费用是 4500 元/亩，使用的化肥为复合肥，复合肥投入 1.65 吨/亩，每年共使用约 50 吨，其中 1 吨肥料分为 25 袋，130 元/袋，每年化肥花费 162500 元。紫花苜蓿收获方式可一年三次收割，平均生产牧草 7500 千克/亩，牧草的售价为 24750 元/亩，30.7 亩共可

获得利润 227 万多元。用电量大约 1950 千瓦时/亩，一年总耗电费用约为 3 万元左右。出售的牧草由牧草公司派车辆来拉走，因此无汽车运输消耗。该家庭牧户种植青贮玉米 4.7 亩，种子花费 5700 元/亩，耗电量 11280 千瓦时/亩，使用复合肥 0.3 吨/亩，共用约 1.4 吨，尿素 0.15 吨/亩，尿素 25 千克/袋，价格 140 元/袋。种植的 4.7 亩青贮玉米全部用于喂养牛，可以喂养 50 头牛约 9 个月的时间。

B 牧户养殖的牛的品种也为西门塔尔牛，该牧户家中有基础母牛 30 头，每年产崽量平均 28 头，基本保持每头母牛每年可以生产一个牛犊，基础母畜每天吃精饲料 1.5 千克、青贮 25 千克，青贮售价为 0.5 千克/0.02 元，一头母牛一个月青贮饲料花费大约为 120 元。在 30 头母牛中，有 10 头母牛的奶水多且质量好，喂养一头牛犊之后还有剩余的奶水，因此该家庭牧户每年以 5000 6000 元的价钱购买 10 头左右刚出生的公牛犊，利用多余的奶水喂养 C 的公牛犊，之后按照正常饲草料配比喂养后育肥出栏。该家庭牧户出售的肉牛质量上乘，每头平均可以卖出 13000 元的价格，出售肉牛所获得的经济收入颇为可观。用于养牛养殖的费用支出：电力消耗大约为 1100 元/亩，水是自家挖井所使用的地下水，因此水资源利用没有费用支出，一年所有牛的药用费用支出大约在 3000 元左右。

C 牧户养殖的牛的品种也为西门塔尔牛，共有 52 头牛（包含幼崽），其中基础母牛有 30 头。在幼崽阶段时，牛犊的初始体重大约在 40 60 千克左右，每只牛犊每天喂养 2.5 千克青贮饲料、0.5 1 千克精饲料，每只牛犊每天产出粪便 2 3 千克，进入成年阶段，牛的重量可以达到 400 500 千克。