

参赛密码 \_\_\_\_\_

(由组委会填写)

第十一届华为杯全国研究生数学建模竞赛

学 校 上海理工大学

参赛队号 D10252179

队员姓名 1. 王洋  
2. 周中原  
3. 高艺芳

参赛密码 \_\_\_\_\_

(由组委会填写)



## 第十一届华为杯全国研究生数学建模竞赛

题 目                      人体营养健康角度的中国果蔬发展战略研究

### 摘                      要：

本文主要研究了中国果蔬发展的战略问题。首先运用聚类法对样本进行了初步分类，建立 0-1 规划模型筛选出主要果蔬。建立趋势外推法模型和 BP 神经网络模型对消费量进行预测，运用模糊评价法得到果蔬发展趋势。构建营养摄入合理性模型，分区给出了果蔬的年度合理人均消费量。最后，运用系统动力学仿真分析了果蔬生产规模调整模型，给出了战略调整方案。

对于问题一：首先根据最小距离统计量，运用聚类法对初始样本进行初步分类，采用对象到聚类中心的最大距离、最小距离和平均距离三个指标对聚类分析进行检验，验证了初步分类的合理性，得到主要果蔬品种种类。然后建立 0-1 规划模型，运用 *matlab* 编程求解，得到精确地主要果蔬品种。

|      |                           |
|------|---------------------------|
| 水果类别 | 仁果类，核果类，柑橘类，浆果，瓜果类，热带、亚热带 |
| 蔬菜类别 | 根菜类，鲜豆类，葱蒜类，茄果、瓜菜类，茄果、瓜菜类 |

然后，针对消费量预测问题，采用趋势外推法和 BP 神经网络法，借助 *matlab* 软件，对我国主要果蔬消费量进行了估计，分别采用拟合优度检验、显著性检验和均方根误差检验，对预测结果进行评价，得到 BP 神经网络法优于趋势外推法，最后分析了中国居民果蔬消费呈递增的发展趋势（见图 6.5,6.6,6.7）。

|       | 趋势外推法  | BP 神经网络 |
|-------|--------|---------|
| 均方根误差 | 2.735% | 0.7203% |

对于问题二：运用模糊评价法，设定营养素摄入水平合理性指标，即营养摄入量均衡指标、消费指标和感官舒适度指标，运用 BP 神经网络进行求解，得到我国居民目前营养的年摄入量为 0.6，占健康水平的 75%，因此不够合理，至 2020 年，营养的年摄入量为 0.66，相比 2014 年涨幅为 10%，人体营养健康状况缓慢

趋于好转，需要加大健康饮食的力度。

对于问题三：首先建立蔬菜水果等值转换关系，同时将中国分为华东、华南、华中等七个区域，然后建立以费用最小为目标函数的购买成本最小化规划模型，运用 *matlab* 软件编程求解，得到七个区域四个季节中主要水果的年人均消费量。以华北地区在春夏秋冬四个季节的水果和蔬菜年人均消费量为例，具体如下表。

|    |    | 春季        |    | 夏季     |    | 秋季     |    | 冬季     |  |
|----|----|-----------|----|--------|----|--------|----|--------|--|
| 华东 |    | 水果/消费量(g) |    |        |    |        |    |        |  |
|    | 青枣 | 222.65    | 草莓 | 226.3  | 青梅 | 204.4  | 甘蔗 | 171.55 |  |
|    | 樱桃 | 135.05    | 莲雾 | 164.25 | 山楂 | 200.75 | 柚子 | 204.4  |  |
|    |    | 蔬菜/消费量(g) |    |        |    |        |    |        |  |
|    | 春笋 | 332.15    | 苦瓜 | 335.8  | 菱角 | 313.9  | 甜豆 | 281.05 |  |
|    | 韭菜 | 244.55    | 生菜 | 273.75 | 秋葵 | 310.25 | 芹菜 | 313.9  |  |

最后，利用 *matlab* 的 GUI 工具箱作为平台搭建了友好的仿真界面，该界面能够有效地为用户提供最优营养搭配方案。以上海市，2014 年 9 月 22 日，19 岁女孩为例，得到其一天在保证营养均衡的条件下，水果消费额 5.665 元，蔬菜消费额 4.923 元，果蔬消费总额 10.588 元。

对于问题四：

基于系统动力学，建立了以营养均衡度、花费最小化、盈利最大化、种植面积最小化和进出口收益最大化的多目标果蔬生产规模调整模型，运用 *matlab* 编程求解得到新的果蔬年度合理人均消费量(见表 9.4)，以西北区水果为例(见下表)，由于西部计划的实施，西北区域经济得到发展，水果年度人均消费量有所增加。

|    |   | 春季 |        | 夏季  |       | 秋季 |        | 冬季 |       |
|----|---|----|--------|-----|-------|----|--------|----|-------|
| 西北 | 原 | 杏子 | 142.35 | 西瓜  | 167.9 | 葡萄 | 164.25 | 核桃 | 182.5 |
|    | 现 |    | 159.75 |     | 178.5 |    | 176.98 |    | 194.2 |
|    | 原 | 桑葚 | 215.35 | 哈密瓜 | 167.9 | 香瓜 | 138.7  | 大枣 | 175.2 |
|    | 现 |    | 248.3  |     | 180.6 |    | 140.7  |    | 180.5 |

然后，根据七个区域水果的年产量及恩格尔系数，确定不同区域之间的调度策略，以东北和华北调度到其它地区水果数量为例(见下表)。

| 水果调度量<br>(万吨) | 东北    | 华北   | 西北    | 华东    | 西南    | 华南    | 华中    |
|---------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 东北            | 0     | 7.89 | 4.84  | 7.39  | 5.92  | 8.73  | 9.48  |
| 华北            | 15.29 | 0    | 17.34 | 12.28 | 18.83 | 12.72 | 12.83 |
| ...           | ...   | ...  | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   |

对于问题五：在前面研究结论的基础上进行总结，运用编程得到的具体数据，给工商管理部门提出几条建议：

- 1.加强果蔬消费知识的宣传普及；
- 2.建立蔬菜种植补贴制度。
- 3.加强技术研究及基础设施建设。
- 4.制定进出口贸易优惠政策。
- 5.建设创新快捷体系。
- 6.开展质量认证体系建设。

**关键词：**模糊评价法 趋势外推法 BP 神经网络 营养均衡度 系统动力学

---

## 一 问题重述

### 1. 问题背景

水果和蔬菜是重要的农产品，主要为人体提供矿物质、维生素、膳食纤维。近年来，中国水果和蔬菜种植面积和产量迅速增长，水果和蔬菜品种也日益丰富，中国居民生活水平不断提高，人们对人体营养均衡的意识也有所增强。

但是，多数中国居民喜食、饱食、偏食、忽视人体健康所需的营养均衡的传统饮食习惯尚未根本扭转，这就使得我国的果蔬消费（品种和数量）在满足居民身体健康所需均衡营养的意义下，近乎盲目无序，进而影响到果蔬生产。预测我国果蔬的消费与生产趋势，科学地规划与调整我国果蔬的中长期的种植模式，具有重要的战略意义。

### 2. 已知条件

预测我国果蔬的消费与生长趋势，科学地规划与调整我国果蔬的中长期的种植模式，具有重要的战略意义。

1. 常见蔬菜营养成分表，常见水果营养成分表，各种食物营养成分表，其他食物营养成分表，蔬菜类营养成分表，水果类营养成分表，中国食物成分表 2010 版。

2. FAOSTAT 中柑橘和蔬菜数据，USDA 中柑橘和蔬菜数据。

3. 主要水果蔬菜损耗率。

4. 中国居民膳食营养素参考日摄入量。

### 3. 需要解决的问题

**问题一：**（1）从附件表格中筛选出主要的水果和蔬菜品种。（2）尝试用多种方法建立数学模型对其消费量进行估计，研究其发展趋势。

**问题二：**（1）评价中国居民目前矿物质、维生素、膳食纤维等营养的年摄入水平是否合理。

（2）按照水果和蔬菜近期的消费趋势，至 2020 年，中国居民的人体营养健康状况是趋于好转还是恶化。

**问题三：**为当今中国居民（可以分区域分季节）提供主要的水果和蔬菜产品的按年度合理人均消费量，使人们能够以较低的购买成本满足自身的营养健康需要。

**问题四：**考虑国家实施宏观战略，建立数学模型重新计算中国居民主要的水果和蔬菜产品的按年度合理人均消费量，并给出到 2020 年我国水果和蔬菜产品生产的调整战略。

**问题五：**结合前面的研究结论，给相关部门提供 1000 字左右的政策建议。

## 二 模型假设

1. 假设不存在垄断行为。
2. 假设进行预测的事物的发展过程是渐进式变化的，而不是跳跃式的变化。
3. 假设根据过去资料建立的趋势外推法模型能适合未来，能代表未来趋势变化的情况。
4. 假设果蔬种植不存在台风、暴雪等重大灾害。

## 三 符号说明

| 符号         | 符号说明                                |
|------------|-------------------------------------|
| $l_{uk}$   | 第 $k$ 种营养素的日均摄入量上界                  |
| $l_{bk}$   | 第 $k$ 种营养素的日均摄入量下界                  |
| $R_{lmn}$  | 第 $m$ 种与第 $n$ 种营养物质的比例下限            |
| $R_{umn}$  | 第 $m$ 种与第 $n$ 种营养物质的比例上限            |
| $x_{ij}$   | 某蔬菜被选情况                             |
| $y_{ij}$   | 某水果被选情况                             |
| $M_v$      | 蔬菜分类数                               |
| $M_f$      | 水果分类数                               |
| $P_{vij}$  | 第 $j$ 种类别中第 $i$ 个蔬菜的产量              |
| $P_{fij}$  | 第 $j$ 种类别中第 $i$ 个水果的产量              |
| $R^2$      | 拟合优度                                |
| $N_y$      | 营养素总数目                              |
| $X_{ij}$   | 第 $j$ 类蔬菜中第 $i$ 种蔬菜的食用量             |
| $Y_{ij}$   | 第 $j$ 类水果中第 $i$ 种水果的食用量             |
| $O_{vsij}$ | 各个省各蔬菜出口价格                          |
| $O_{fsij}$ | 各个省各水果出口价格                          |
| $U_{vsij}$ | 各个省各蔬菜出口价格                          |
| $U_{fsij}$ | 各个省各水果出口价格                          |
| $H_{vijk}$ | 第 $j$ 类蔬菜中第 $i$ 种蔬菜中第 $k$ 中营养素的营养含量 |
| $H_{fijk}$ | 第 $j$ 类水果中第 $i$ 种水果中第 $k$ 中营养素的营养含量 |
| $H_{mik}$  | 第 $i$ 种肉类食物的单位重量的第 $k$ 种营养素含量       |
| $H_{gik}$  | 第 $i$ 种粮谷类食物的单位重量的第 $k$ 种营养素含量      |

---

## 四 问题分析

### 问题一的分析:

#### 第一小问:

首先,搜集人体对维生素的需求量,全国某年的果蔬总产量等相关数据。运用聚类算法,以水果与水果,蔬菜与蔬菜之间的最小距离为依据进行分类。采用水果与水果之间、蔬菜与蔬菜之间的最小距离,最大距离以及平均距离三个指标对聚类分析进行检验,得到果蔬品种的初步分类。

然后以果蔬品种数量最小化作为目标函数,以所选果蔬的总计产量超过他们各自总产量的 90%为约束条件一,以初选分类中的每类果蔬中至少一种果蔬被选择进行研究作为约束条件二,建立 0-1 规划模型,运用 *matlab* 软件编程求解,可以得到主要果蔬品种的分类。

#### 第二小问:

首先,建立常用的 11 种趋势外推拟合曲线模型,运用 *matlab* 软件编程求解,绘制果蔬消费量预测图,得到其消费量预测趋势走向。采用拟合优度检验,显著性检验等统计检验,对预测结果进行评价,寻求较为科学合理的预测结果,通过分析在缺乏干预措施条件下,中国居民果蔬消费量的发展趋势。

然后,建立 BP 神经网络预测模型,运用均方根误差检验法,得到水果和蔬菜的消费量预测走势。通过蔬菜水果已消费量的真实值与预测值进行比较,可以分析预测值与真实值的拟合度。

以预测模型的均方根误差为基准,将趋势外推法和 BP 神经网络法进行对比,选择更为合理的预测模型,得到更为精确地中国居民果蔬消费量的发展趋势。

### 问题二的分析

首先,对人体所需各类营养物质的摄入量进行数据整理,由于本问需要考虑人体对矿物质、维生素、膳食纤维等营养素的摄入情况,因此将所有食物大致分为粮谷食物、肉类食物、蔬菜和水果四大类。

然后,确定营养素摄入水平合理性指标,即营养摄入量价值指标,消费指标,感官舒适度。运用模糊评价法对上述指标进行评价,得到 2004-2020 年三种合理性指标比较,运用 *matlab* 软件编程求解,得到每一种指标与健康指标的差距对比图,从而评价中国居民目前矿物质、维生素、膳食纤维等营养的年摄入水平的合理性。通过分析上述三种指标的预测图,预测人体营养健康状况的趋势。

### 问题三的分析

首先,考虑到不同地区不同季节的水果产量和品种各不相同,因此将中国分为华东、华南、华中、华北、西北、西南和东北七个区域。选取每个区域中的代表性水果作为研究对象。其次,搜集等值蔬菜与蔬菜,水果与水果之间的交换情况,如 Mg 大白菜的营养素等价于 Ng 胡萝卜的营养素。Xg 香蕉的营养素等价于 Cg 李子的营养素。而水果与蔬菜的营养素大致相近,因此,搜集获取一定营养元素需要摄入的水果或蔬菜的量。

然后，以最小费用为目标函数，以营养素的含量存在上下限，营养比例存在标准值，感官度因人而异却有感官下界等六个方面作为约束条件，构建购买成本最小化模型。运用 *matlab* 软件编程求解，给出我国不同区域主要水果和蔬菜的年度合理消费量，为人们在较低成本下获得营养健康需要提供数据支持。

最后，构建果蔬品种优选方案仿真 GUI。人们在优化界面上输入自身相关信息及口感需要，就可获得复合需求的果蔬优选方案。

## 问题四的分析：

问题四的分析：

首先，查阅相关资料搜集全国各地区果蔬种植面积、产量以及各地区的果蔬进出口状况。基于居民的食物消费与营养结构与许多复杂因素有关，因此采用系统动力仿真对这些相互影响的因素进行分析，得到精确的影响因子。

然后，建立系统动力学果蔬生产规模调整模型，在问题三的基础上增加种植面积最小，进出口收益最大，种植者盈利最大和营养均衡量评分等目标函数，对种植面积，果蔬数量的非负约束等进行约束。

最后，运用 *matlab* 进行编程求解，重新计算中国居民主要的水果和蔬菜产品的年度合理人均消费量，并对多目标函数进行分析，通过对七个区域果蔬产量和恩格尔系数进行分析，给出到 2020 年我国水果蔬菜产品生产的调整战略。

## 问题五的分析：

根据前四问逐步递进的思考和探索，从人体营养健康角度对中国果蔬发展战略研究有了一定的了解，通过程序编程，得到了一些可靠的数据。综合搜集到的资料和自己的感悟，对政府提出相关可行性建议。

# 问题一 筛选主要果蔬品种

## 5.1 数据整理

### 5.1.1 人体对维生素需求量

维生素又称之为必需维生素，它具有外源性，微量性，调节性，特异性等特点，人体一共需要十多种功能各不相同的维生素<sup>[1]</sup>。

表 5.1 人体的需求量表

| 名称      | 需求量(mg) | 名称    | 需求量(mg) |
|---------|---------|-------|---------|
| 维生素 A   | 0.8-1.1 | 维生素 E | 10      |
| 维生素 B1  | 1.4     | 尼克酸   | 18      |
| 维生素 B2  | 1.6     | 叶酸    | 0.2     |
| 维生素 B6  | 2       | 泛酸    | 6       |
| 维生素 B12 | 0.001   | 维生素 C | 200-300 |

### 5.1.2 全国果蔬总产量

通过查阅相关文献<sup>[2]</sup>，获得 2012 年全国各地区果蔬总产量，现以上海和湖北为例进行展示如下。

表 5.2 2012 年全国蔬菜总产量

| 蔬菜  | 总产量(万吨) | 蔬菜  | 总产量(万吨) |
|-----|---------|-----|---------|
| 菠菜  | 10457.0 | 大葱  | 2094.2  |
| 芹菜  | 1900.5  | 大蒜  | 1842.9  |
| 小白菜 | 2458.2  | 四季豆 | 1563.8  |
| 油菜  | 1646.9  | 菜豇豆 | 1147.4  |
| 黄瓜  | 4919.3  | 莲藕  | 812.0   |
| 茄子  | 2650.7  | 其他  | 3207.6  |
| 番茄  | 4920.0  | 萝卜  | 4127.1  |
| 辣椒  | 2397.4  | 胡萝卜 | 1640.6  |

表 5.3 2012 年水果总产量(以上海为例)

| 水果  | 产量(吨)  | 水果   | 产量(吨)  |
|-----|--------|------|--------|
| 苹果  | 42     | 葡萄   | 95429  |
| 梨   | 31671  | 红枣   | 1312   |
| 柑橘类 | 176846 | 柿子   | 1287   |
| 橘   | 176846 | 猕猴桃  | 661    |
| 桃   | 92284  | 园林水果 | 193683 |

表 5.4 2012 年水果总产量(以湖北为例)

| 水果  | 产量(吨)   | 水果  | 产量(吨)   |
|-----|---------|-----|---------|
| 苹果  | 9903    | 橘   | 1758874 |
| 梨   | 462901  | 橙   | 371250  |
| 国光  | 1039    | 柚   | 74362   |
| 雪花梨 | 462901  | 桃   | 690156  |
| 柑   | 1105251 | 猕猴桃 | 13327   |
| 葡萄  | 151896  | 红枣  | 31340   |

## 5.2 聚类法概述

### 5.2.1 聚类法的基本思想

聚类<sup>[3]</sup>就是对数据集中的数据应用某种方法进行分组，把具有相似性质的事物区分开加以分类。也就是将大量的数据划分成群组的过程，即把对象分成多个类，在同一个类中的数据对象之间具有较高的相似度，而不同类中的数据对象差别较大。

聚类分析是一种探索性的分析，在分类过程中，人们不必事先给出一个分类保准，聚类分析从样本数据出发，自动进行分类。

本问中需要从大量的水果，蔬菜中选择出符合要求的主要水果，是一个典型的层次聚类分析问题。由于需要选取进行研究的水果和蔬菜的品种不仅在总计产



量应分别超过他们各自总产量的 90%, 而且这部分品种所蕴含无论在成分上还是在含量上都满足研究的需要, 这时我们需要进行聚类分析得到种类不同的果蔬类别。

假设有  $N$  个对象要被聚类, 其距离矩阵大小为  $N \times N$ , 凝聚的层次聚类方法的最小距离方法的基本过程如下:

- (1) 将每一个数据对象视为一簇, 每簇仅一个对象, 计算他们之间距离  $d(i, j)$ , 得到初始化距离矩阵;
- (2) 将距离最近的 ( $d(i, j)$  最小的) 两个簇合并成一个新的簇;
- (3) 重新计算新的簇与所有其他簇之间的距离  $d(i, j)$ , 即将新合并的簇与原有簇的距离中选择中距离最小的值作为两个簇间的相似度;
- (4) 重复第二步和第三步, 直到所有簇最后合并成一个簇为止或者达到某个终止条件, 如希望得到的簇的个数或者两个相近的簇超过了某一个阈值。

层次聚类算法每合并完一个簇对象后, 必须重新计算合并后簇对象之间的距离, 也即是需要更新距离矩阵很多次。现给出基于最小距离的层次聚类算法流程图。

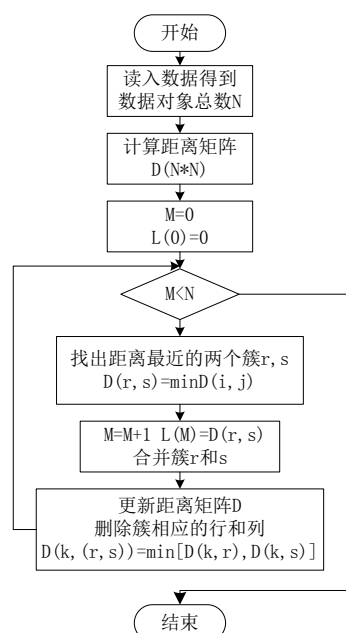


图 5.1 基于最小距离的层次聚类算法流程图

从基于最小距离的层次聚类算法的描述可知, 两个对象间的距离越小, 说明这两个对象越相似, 应该合并到同一个簇中。

## 5.2.2 聚类分析的实施过程

### (1) 步骤

1. 对数据进行变换处理。
2. 构造  $n$  个类, 每个类只包含一个样本。
3. 计算  $n$  个样本量量间的距离  $d_{ij}$ 。
4. 合并距离最近的两类为一新类。
5. 计算新类与当前各类的距离, 若类的个数等于 1, 转到 6; 否则回 4。
6. 画聚类图。

7.决定类的个数，从而得出分类结果。

## (2) 具体实施过程

将果蔬的营养元素含量作为特征变量，可以抽象为以下矩阵式：

$$X = (x_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

其中，n 为样本数，m 为特征变量数。

第 i 个样品的观测值： $(x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{im})^T, i = 1, 2, \cdots, n$

第 j 个指标的观测值： $(x_{j1}, x_{j2}, \cdots, x_{jm})^T, j = 1, 2, \cdots, m$

然后，运用最小距离统计量作为分类依据，

最小距离：是指用两个聚类所有数据点的最近距离代表两个聚类的距离。

$$d_{\min}(c_i, c_j) = \min_{p \in c_i, p' \in c_j} |p - p'| \quad p \in c_i, p' \in c_j$$

$n_i$  是簇  $c_i$  中对象的数目， $n_j$  是簇  $c_j$  中对象的数目，P 是某簇中的点。

## 5.2.3 聚类分析检验

在聚类分析中，同一个类中的数据对象之间具有较高的相似度，但不代表所有的对象都可以完全的分隔开来。采用对象到聚类中心的最小距离进行分类后，运用最小距离，最大距离，平均距离来进行聚类结果的检验<sup>[4]</sup>。

(1) 最小距离：是指用两个聚类所有数据点的最近距离代表两个聚类的距离。

$$d_{\min}(c_i, c_j) = \min_{p \in c_i, p' \in c_j} |p - p'| \quad p \in c_i, p' \in c_j$$

(2) 最大距离：是指用两个聚类所有数据点的最远距离代表两个聚类的距离。

$$d_{\max}(c_i, c_j) = \max_{p \in c_i, p' \in c_j} |p - p'| \quad p \in c_i, p' \in c_j$$

(3) 平均距离：是指用两个聚类所有数据点间的距离的平均距离。

$$d_{\text{avg}}(c_i, c_j) = \frac{1}{n_i n_j} \sum_{p \in c_i} \sum_{p' \in c_j} |p - p'| \quad p \in c_i, p' \in c_j$$

其中， $n_i$  是簇  $c_i$  中对象的数目， $n_j$  是簇  $c_j$  中对象的数目，P 是某簇中的点。

## 5.3 主要果蔬品种分类及结果分析

### 5.3.1 主要果蔬品种分类

表 5.5 各类水果中的主要品种

| 类别  | 主要水果                            |
|-----|---------------------------------|
| 仁果类 | 苹果、梨、沙果、山楂、圣女果、火龙果              |
| 柑橘类 | 橙子、柑橘、柠檬、柚子、文旦、莱姆、金橘            |
| 瓜果类 | 西瓜、哈密瓜、香瓜、白兰瓜                   |
| 浆果类 | 葡萄、柿子、草莓、樱桃、龙眼、猕猴桃、桑葚、青提、马奶子、榴莲 |

|          |                                 |
|----------|---------------------------------|
| 热带、亚热带水果 | 菠萝、桂圆、荔枝、芒果、木瓜、香蕉、椰子、人参果、枇杷、无花果 |
| 核果类      | 蜜桃、李子、杨梅、杏、枣、杨桃、橄榄、油桃、荔枝、槟榔     |

表 5.6 各类蔬菜的主要品种

| 类别       | 主要蔬菜                               |
|----------|------------------------------------|
| 根菜类      | 萝卜、胡萝卜、芥菜、甜菜根                      |
| 茄果，瓜菜类   | 茄子、番茄、青椒、冬瓜、黄瓜、苦瓜、南瓜、丝瓜、西红柿、葫芦条、葫子 |
| 嫩茎，叶，花菜类 | 大白菜、小白菜、油菜、甘蓝、菜花、菠菜、芹菜、生菜、竹笋       |
| 葱蒜类      | 大蒜、大葱、韭菜、韭苔、洋葱、蒜苗                  |
| 鲜豆类      | 四季豆、豇豆、豆芽、蚕豆、豆角、毛豆、豌豆              |
| 薯芋类      | 大薯、山药、芋头、黄姜、葛薯                     |

### 5.3.2 聚类结果分析

运用 matlab 软件编程计算，将不同水果品种到聚类中心的最大距离，最小距离以及平均距离展示如下：

表 5.7 不同水果品种到聚类中心的距离

| 类别       | 最大距离  | 最小距离  | 平均距离   |
|----------|-------|-------|--------|
| 仁果类      | 0.043 | 0.025 | 0.034  |
| 柑橘类      | 0.076 | 0.032 | 0.054  |
| 瓜果类      | 0.058 | 0.018 | 0.038  |
| 浆果类      | 0.063 | 0.016 | 0.0395 |
| 热带、亚热带水果 | 0.045 | 0.032 | 0.035  |
| 核果类      | 0.033 | 0.019 | 0.026  |

表 5.8 不同蔬菜品种到聚类中心的距离

| 类别      | 最大距离  | 最小距离  | 平均距离  |
|---------|-------|-------|-------|
| 根菜类     | 0.057 | 0.033 | 0.045 |
| 茄果，瓜菜类  | 0.064 | 0.034 | 0.049 |
| 嫩茎，叶花菜类 | 0.049 | 0.027 | 0.038 |
| 葱蒜类     | 0.080 | 0.045 | 0.062 |
| 鲜豆类     | 0.078 | 0.049 | 0.063 |
| 薯芋类     | 0.082 | 0.044 | 0.063 |

果蔬的类别反应了不同品种之间的相关性问题的，对他们之间的距离进行标准化处理，得到其标准化范围为[-1,1]。由表 5.7,5.8 可知，各类水果、蔬菜的最大距离、最小距离及平均距离均小于 0.1，完全在允许范围内，由此可以说明运用聚类分析所得到的初步分类是合理的。

## 5.4 建立 0-1 规划模型

运用聚类法已经对蔬菜水果按照营养元素含量进行了初步分类，但是，不同分类中具有较多的品种，参差不齐，具有一定的盲目性，不利于对果蔬营养以及分配的研究。因此，采用 0-1 规划模型，对初步分类后的果蔬进行选择，在满足需求的情况下，使得选取的品种最少，从而更精确的选择出主要果蔬品种。

### 5.4.1 确定目标函数

在大量的水果分类中，选取具有代表性，且满足营养成分含量和总产量要求的果蔬是问题的关键。因此，目标函数是被选择的果蔬品种数量的最小化。即：

$$\min \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{P_{vij}} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{P_{fij}} y_{ij}$$

其中：

$j$ ：聚类所得的类别； $i$ ：某个蔬菜或水果，

$x_{ij}$ ：某蔬菜被选情况， $x_{ij} = 0 \text{ or } 1$ ， $x_{ij} = 1$ ：被选择， $x_{ij} = 0$ ：未被选择；

$y_{ij}$ ：某水果被选情况，其他同上；

$M_v$ ：蔬菜分类数； $M_f$ ：水果分类数； $P_{vij}$ ：第  $j$  种类别中第  $i$  个蔬菜的产量。

$P_{fij}$ ：第  $j$  种类别中第  $i$  个水果的产量。

### 5.4.2 确定约束条件

**约束条件一：**选取主要果蔬的条件之一是其总计产量应分别超过他们各自总产量的 90%。

$$\text{蔬菜产量超过总产量的 90\%: } \frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{P_{vij}} x_{ij} \times P_{vij}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{P_{vij}} P_{vij}} \geq 0.9$$

$$\text{水果产量超过总产量的 90\%: } \frac{\sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{P_{fij}} y_{ij} \times P_{fij}}{\sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{P_{fij}} P_{fij}} \geq 0.9$$

**约束条件二：**根据营养成分兼顾的要求，聚类所分的每一个果蔬类别中，最好选取至少一种果蔬作为主要果蔬来进行研究，因此需要满足一下约束条件。

$$\text{第 } j \text{ 种类别中蔬菜的数目 : } \sum_{i=1}^{N_{v,j}} x_{i,j} \geq 1, j = 1, 2, \dots, M_v$$

$$\text{第 } j \text{ 种类别中水果的数目 : } \sum_{i=1}^{N_{f,j}} y_{i,j} \geq 1, j = 1, 2, \dots, M_f$$

综上所述，建立的 0-1 规划模型为：

$$\min \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{P_{vij}} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{P_{fij}} y_{ij}$$

$$s.t. \begin{cases} x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \\ y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \\ \frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{P_{vij}} x_{ij} \times P_{vij}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{P_{vij}} P_{vij}} \geq 0.9; \frac{\sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{P_{fij}} y_{ij} \times P_{fij}}{\sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{P_{fij}} P_{fij}} \geq 0.9 \\ \sum_{i=1}^{N_{vij}} x_{i,j} \geq 1; \sum_{i=1}^{N_{fij}} y_{i,j} \geq 1 \end{cases}$$

## 5.5 主要果蔬品种

通过建立 0-1 规划模型，运用 *matlab* 软件编程求解，得到主要的水果和蔬菜品种如下表所示。

表 5.9 主要水果品种分类

| 类别     | 主要水果                        |
|--------|-----------------------------|
| 仁果类    | 红富士苹果，雪梨，鸭梨                 |
| 核果类    | 桃，李子，杨梅，杏，枣，杨桃，猕猴桃          |
| 柑橘类    | 橙子，柑橘，柠檬，柚子                 |
| 浆果     | 葡萄，柿子，草莓，樱桃                 |
| 瓜果类    | 西瓜，哈密瓜                      |
| 热带、亚热带 | 菠萝，桂圆，荔枝，芒果，木瓜，香蕉，椰子，人参果，琵琶 |

表 5.10 主要蔬菜品种分类

| 类别      | 主要蔬菜                         |
|---------|------------------------------|
| 根菜类     | 萝卜，胡萝卜                       |
| 鲜豆类     | 四季豆，豇豆，豆芽，土豆                 |
| 葱蒜类     | 大蒜，大葱，韭菜                     |
| 茄果、瓜菜类  | 茄子，番茄，青椒，冬瓜，黄瓜，苦瓜，南瓜，丝瓜      |
| 嫩茎、叶花菜类 | 大白菜，小白菜，油菜，甘蓝，菜花，菠菜，芹菜，生菜，竹笋 |

## 结果分析

由表 5.9，5.10 可知，主要水果的种类为仁果类、核果类、柑橘类、浆果、瓜果类和热带、亚带热带六大类，每一类的主要水果均是常见常吃的水果，可以初步判断该分类方式行之有效。首先，从水果年产量来看，以仁果类水果为例，红富士水果产量为 2789.5 万吨，雪梨产量为 590 万吨，鸭梨产量为 474.2 万吨，三者的产量达到总产量 4120.9 万吨的 90%以上，满足主要水果的产量要求。

其次，红富士苹果中含有基本的维生素和矿物质，且含有大量的胡萝卜素，

梨中则含有大量的钾元素，无论在成分还是含量上都满足人体甚至研究的需要。可以得知，上述分类方法行之有效。

## 六 问题一 预测果蔬消费量及发展趋势

不同的人对果蔬的需求量与人体的生理需求分不开，人体本身对食物的需要，所需的营养供给是分析人类对食物需求的基础。不同群体对食物的需求受多方面因素影响，如居民的收入水平，各类食物的供应情况及价格，居民饮食偏好，人口构成等。在预测时考虑所有影响因素是不可能的，因此可以通过对现有数据自身的关系进行分析和 预测。

本文采用统计预测方法中的计量经济模型，时间序列分析中的趋势外推法和BP神经网络，借助 *matlab* 软件，对我国主要果蔬消费量进行估计，并采用回归方程的拟合优度检验，回归方程的显著性检验等统计检验，对预测结果进行评价，寻求科学合理的预测结果，以通过分析在缺乏干预措施的条件下，中国居民果蔬消费发展趋势。

### 6.1 建立果蔬消费量预测模型

#### 6.1.1 趋势外推法模型<sup>[5]</sup>

趋势外推法就是，当预测对象依时间变化过程中呈现某种上升或下降的趋势，并且无明显的季节波动，又能找到一条合适的函数曲线反映这种变化趋势时，就可用时间  $t$  为自变量，时序数值  $y$  为因变量，建立趋势模型：

$$y = f(t)$$

当对其赋予变量  $t$  所需要的值，可以得到相应时刻的时间序列未来值的一种统计预测方法。同时，趋势外推法是对序列中的长期趋势利用人们已知的具有各种变化特征曲线进行拟合的分析方法。

- 趋势外推法有两个基本假设：
- (1)进行预测的事物的发展过程是渐进式变化的，而不是跳跃式的变化。
  - (2)假设根据过去资料建立的趋势外推法模型能适合未来，能代表未来趋势变化的情况。

趋势外推预测法的关键是选择合适的趋势外推拟合曲线的数学模型，常用的数学模型有多项式曲线模型，指数曲线模型，对数曲线模型，生长曲线模型，复合式曲线模型等。具体见表 6.1。

表 6.1 趋势外推法的各种预测函数表达式

| 选用函数 | 函数表达式       |                     |
|------|-------------|---------------------|
| 线性函数 | Linear      | $Y=A-BX$            |
| 对数函数 | Logarithmic | $Y=A-B \ln(X)$      |
| 逆函数  | Inverse     | $Y=A+B/X$           |
| 二次曲线 | Quadratic   | $Y=A+B/X-CX^2$      |
| 三次曲线 | Cubic       | $Y=A+B/X+CX^2+DX^3$ |

|      |          |                   |
|------|----------|-------------------|
| 复合曲线 | Compound | $Y=A*B^X$         |
| 幂函数  | Power    | $Y=AX^B$          |
| S 曲线 | S        | $Y=e^{A+B/x}$     |
| 增长曲线 | Growth   | $Y=e^{A+BX}$      |
| 指数曲线 | Exponent | $Y=Ae^{BX}$       |
| 逻辑函数 | Logical  | $Y=1/(1/u+A*B^X)$ |

### 6.1.2 BP 神经网络模型

BP 算法<sup>[6]</sup>的主要思想是把学习过程分为信号的正向传播与误差的反向传播两个阶段。在正向传播阶段，输入信息从输入层经隐含层传向输出层，在输出端产生输出信号。在信号的向前传递过程中网络的权值固定不变，每一层神经元的状态只影响下一层神经元的状态。如果在输出层不能得到期望的输出，则转入误差信号反向传播。在反向传播阶段，未能满足精度要求的误差信号由输出端开始，以某种方式逐层向前传播，并将误差分摊给各层的所有单元，依据误差信号动态的调整各单元层的连接权重。通过周而复始的正向传播与反向调节，神经元间的权值得到不断的修正。当输出信号的误差满足精度要求时，停止学习。

#### BP 算法的学习机制

两个隐层的 BP 神经网络足以表示输入图形的任意输出函数。主要介绍以包含两个隐层的 BP 神经网络的学习机制，网络结构如图。

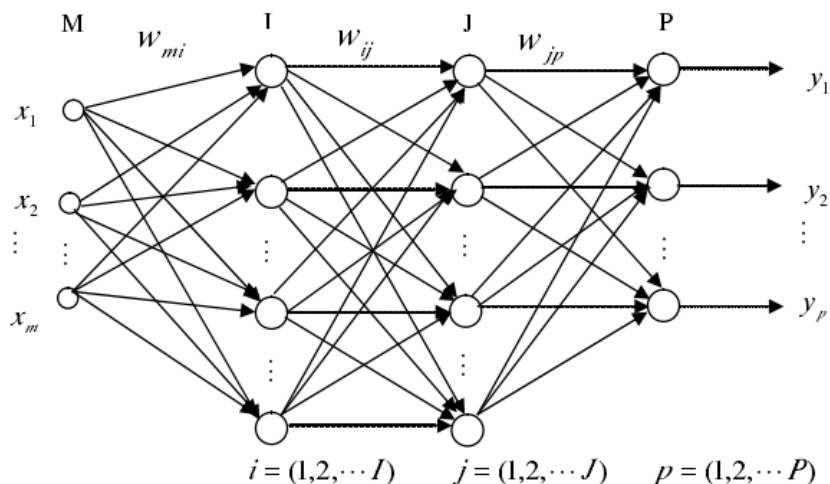


图 6.1 含有两个隐含层的 BP 网络

设输入层有  $M$  个输入信号，其中的任一输入信号用  $m$  表示；第 1 隐层有  $I$  个神经元，其中任一神经元用  $i$  表示；第 2 隐层有  $J$  个神经元，其中任一神经元用  $j$  表示；输出层有  $p$  个神经元，其中任一神经元用  $p$  表示。输入层与第 1 隐层的权用  $w_{mi}$  表示，第 1 隐层与第 2 隐层的权用  $w_{ij}$  表示，第 2 隐层与输出层的权用  $w_{jp}$  表示。神经元的输入用  $u$  表示，激励输出用  $v$  表示。 $u$  和  $v$  的上标表示层，下标表示层的某个神经元，如  $u_i^I$  表示第 I 隐层第  $i$  个神经元的输入。设训练样本集为  $X = [X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_N]$ ，对应任一训练样本  $X_k = [X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{kM}]'$ ，其中  $k \in (1, 2, \dots, M)$ 。实际输出  $Y_k = [Y_{k1}, Y_{k2}, \dots, Y_{kP}]'$ ，期望输出  $D_k = [d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{kP}]'$ 。设  $n$  为迭代次数，权值和实际输出是  $n$  的函数。

网络输入训练样本  $x_k$ ，由工作信号的正向传播过程可得

$$\begin{aligned} u_i^I &= \sum_{m=1}^M w_{mi} x_{km} & v_i^I &= f(u_i^I) = f\left(\sum_{m=1}^M w_{mi} x_{km}\right) & i &= 1, 2, \dots, I \\ u_j^I &= \sum_{i=1}^I w_{ij} v_i^I & v_j^J &= \phi(u_j^I) = \phi\left(\sum_{i=1}^I w_{ij} v_i^I\right) & j &= 1, 2, \dots, J \\ u_p^p &= \sum_{j=1}^J w_{jp} v_j^J & v_p^J &= \phi(u_p^p) = \phi\left(\sum_{j=1}^J w_{jp} v_j^J\right) & p &= 1, 2, \dots, p \\ y_{kp} &= v_p^p = \phi\left(\sum_{j=1}^J w_{jp} v_j^J\right) \end{aligned}$$

输出层第  $p$  个神经元的误差信号为

$$e_{kp}(n) = d_{kp}(n) - y_{kp}(n)$$

定义神经元的误差能量为  $\frac{1}{2} e_{kp}^2(n)$ ，则输出层所有神经元的误差能力综合为：

$$E(n) = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^p e_{kp}^2$$

通过网络的输出，可以计算出学习误差，正向传播随即结束。在反向传播过程中，误差信号从后向前传递，逐层修改联接权值，BP 神经网络的反向传播图如下：

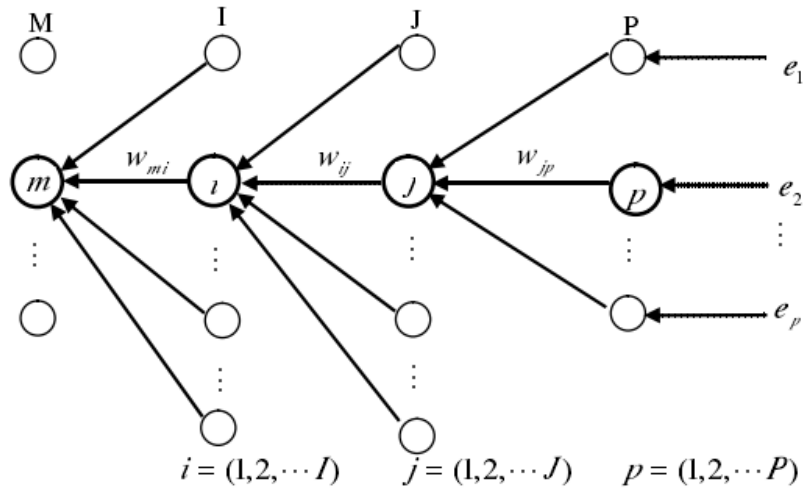


图 6.2 BP 神经网络反向传播

反向传播的过程暂略，至此，BP 神经网络完成了正向传播和反向调节的过程，此过程称为一次学习或一次迭代。BP 算法需要经过多次迭代，才能使学习误差收敛到预设精度。因此，网络的学习时间、迭代次数和最终达到的误差精度成为衡量 BP 神经网络性能的重要指标。



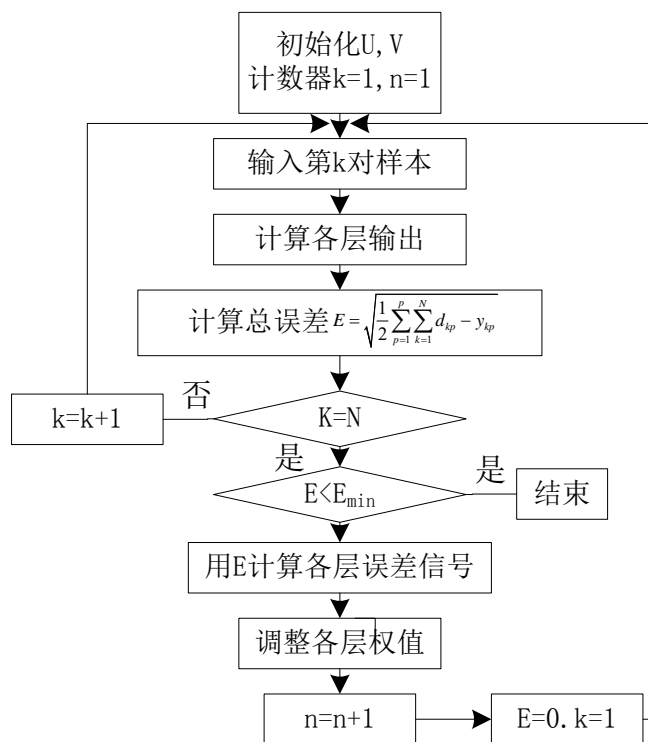


图 6.3 BP 神经网络算法流程图

## 6.2 求解趋势外推法预测模型

### 6.2.1 趋势外推法模型求解

运用趋势外推法，借助 *matlab* 软件，用常用的 11 种曲线估计模型对果蔬消费量进行预测，得到趋势外推法对果蔬消费量的预测图。

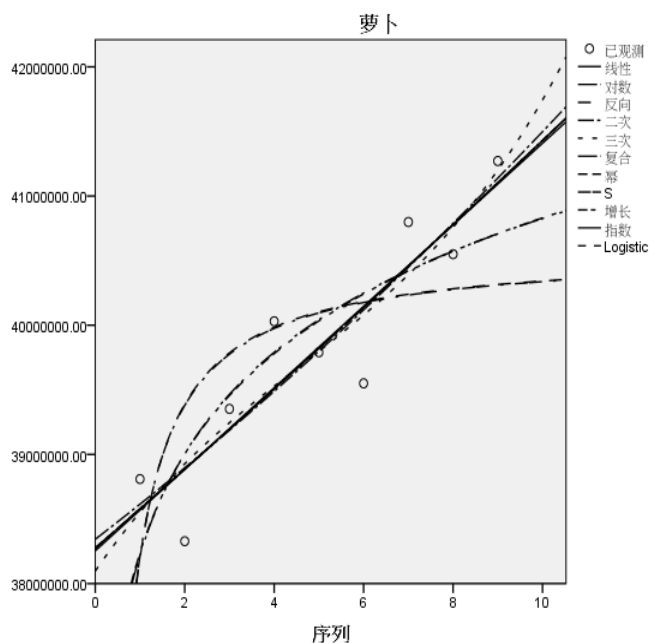


图 6.4 运用趋势外推法对果蔬的消费量预测

由图 6.4 萝卜消费量预测图结果显示，运用趋势外推法进行预测，可知萝卜

的消费量将呈现递增的趋势。这 11 种曲线函数的 F 检验都达到了高度显著,  $F > F_0$ ; 说明这 11 种常见曲线估计模型基本都能用于预测果蔬消费量。

### 6.2.2 预测精度测定

预测精度是用来评价预测模型的好坏程度的指标。

#### (1) 预测标准差

首先, 预测误差的方差可用公式表示为:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

将预测误差的方差开根号, 即可求出预测误差的标准差:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

预测误差的方差将每个预测值的误差以其误差的倍数放大, 因此, 他比平均绝对误差能更好地衡量预测的精确度。方差越小, 说明预测的越精确。

### 6.2.3 趋势外推法模型检验

通过样本数据建立回归方程后一般不能立即用于实际问题的分析和预测, 预测的结果需要采用一定的方法进行检验, 具有一定可靠性和精确度的预测结果才合理有效。包括回归方程的拟合优度检验, 回归方程的显著性检验。

#### (1) 回归方程的拟合优度检验

对于一元线性回归方程的拟合优度检验采用  $R^2$  统计量<sup>[7]</sup>, 该统计量成为判定系数或决定系数。判定系数是衡量因变量和自变量关系密切程度的指标, 表示自变量解释因变量变动的百分比。它取值于 0 与 1 之间, 并取决于回归模型所解释的 y 方差的百分比。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} = \frac{SSA}{SST}$$

$R^2$  越接近于 1, 说明回归方程对样本数据的拟合优度越高; 反之,  $R^2$  越接近于 0, 说明回归方程对样本数据点的拟合优度越低。

#### (2) 回归方程的显著性检验

回归方程的显著性检验要检验的是被解释变量与所有变量之间的线性关系是否显著。检验统计量 F 可以表示为:

$$F = \frac{\sum (y - \hat{y})^2 / 1}{\sum (y - \bar{y})^2 / (n - 2)}$$

F 服从  $F(1, n-2)$  分布, 去显著性水平  $\alpha$ , 如果  $F > F_\alpha(1, n-2)$ , 则表明回归模型显著; 如果  $F < F_\alpha(1, n-2)$ , 则表明回归模型不显著, 回归模型不能用于预测。

表 6.2 萝卜消费量趋势外推法预测结果比较

| 选用函数 |             | 函数表达式               | 判定系数 $R^2$ | 显著性指标 |
|------|-------------|---------------------|------------|-------|
| 线性函数 | Linear      | $Y=A-BX$            | 0.832      | 0.3   |
| 对数函数 | Logarithmic | $Y=A-B \ln(X)$      | 0.737      | 0.45  |
| 逆函数  | Inverse     | $Y=A+B/X$           | 0.310      | 0.48  |
| 二次曲线 | Quadratic   | $Y=A+B/X-CX^2$      | 0.833      | 0.12  |
| 三次曲线 | Cubic       | $Y=A+B/X+CX^2+DX^3$ | 0.835      | 0.24  |
| 复合曲线 | Compound    | $Y=A*B^X$           | 0.830      | 0.30  |
| 幂函数  | Power       | $Y=AX^B$            | 0.524      | 0.27  |
| S 曲线 | S           | $Y=e^{A+B/x}$       | 0.240      | 0.42  |
| 增长曲线 | Growth      | $Y=e^{A+BX}$        | 0.830      | 0.14  |
| 指数曲线 | Exponent    | $Y=Ae^{BX}$         | 0.830      | 0.14  |
| 逻辑函数 | Logical     | $Y=1/(1/u+A*B^x)$   | 0.830      | 0.14  |

如表 6.2 所示, 比较各项预测函数的  $R^2$  值可见, 三次曲线>二次曲线>线性函数>复合曲线/增长曲线/指数曲线/逻辑函数>对数函数>幂函数>逆函数>S 曲线, 即三次曲线拟合模型最优, 二次曲线次之。逆函数和 S 曲线的  $R^2$  值过低, 因此其预测结果仅作为参考。

通过这 11 中曲线估计的预测模型的结果进行分析发现, 尽管三次曲线、二次曲线、线性函数对果蔬消费量预测的拟合优度非常好, 但是其对长期的预测结果不理想, 与实际差异太大, 应予以删除。S 曲线、逆函数曲线对显示的拟合优度太差, 对短期预测的结果不太理想, 但对长期的预测具有参考价值。因此对数曲线, 逆函数, 逻辑函数, 幂函数以及 S 曲线是较好的预测模型。

### 6.3 求解 BP 神经网络预测模型

#### 6.3.1 均方根误差检验法

均方根误差检验法是一种直观的逐点比较的算术检验方法, 使用较为普遍, 将预测数据与真实值相比较, 计算观测值与真实值的平方和和观测次数  $N$  比值的平方根。

残差序列为:

$$E = (e(1), e(2), \dots, e(n)) = X^{(0)} - \hat{X}^{(0)}$$

其中,  $e(i) = X^{(0)}(i) - \hat{X}^{(0)}(i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

计算均方根误差, 得到均方根误差为:

$$\overline{\varepsilon(i)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N e(i)^2}{N}} \times 100\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X^{(0)}(i) - \hat{X}^{(0)}(i))^2}{X^{(0)}(i)}} \times 100\%$$

以均方根误差作为 BP 神经网络预测模型的检验指标。由于果蔬的销量随着很多因素的变化而变化, 因此可将该销量看作为正态分布, 因而均方根误差值  $\overline{\varepsilon(i)} \leq 5\%$  作为 BP 神经网络预测模型合格的标准。

### 6.3.2 求解预测模型

将搜索到已有的果蔬消费量作为原有设定数据，运用 BP 神经网络模型，采用 *matlab* 软件编程求解，得到萝卜产量的神经网络预测值如表 6.3，萝卜的走势如图 6.5；香蕉和梨的消费量走势如图 6.6。

表 6.3 萝卜消费量的预测值表

| 年份      | 2007    | 2008    | 2009    | 2010    | 2011    | 2012    | 2013    |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 预测值(万吨) | 4002.78 | 3979.06 | 4024.17 | 4080.41 | 4055.48 | 4087.19 | 4137.64 |
| 年份      | 2014    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    | 2019    | 2020    |
| 预测值(万吨) | 4155.49 | 4147.05 | 4161.40 | 4189.58 | 4205.67 | 4226.46 | 4244.81 |

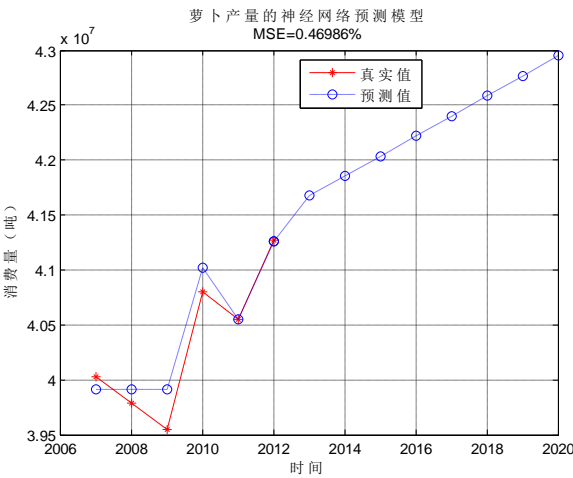


图 6.5 萝卜消费量的预测走势图

表 6.4 香蕉消费量的预测值表

| 年份      | 2007    | 2008    | 2009    | 2010    | 2011    | 2012    | 2013    |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 预测值(万吨) | 2475.06 | 2786.49 | 2958.87 | 3205.78 | 3398.54 | 3543.63 | 3744.59 |
| 年份      | 2014    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    | 2019    | 2020    |
| 预测值(万吨) | 3960.62 | 4164.29 | 4373.02 | 4592.46 | 4824.74 | 5071.19 | 5332.78 |

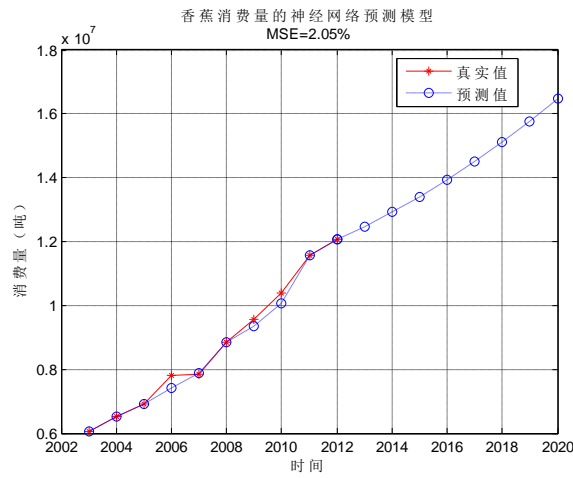


图 6.6 香蕉消费量的预测走势图

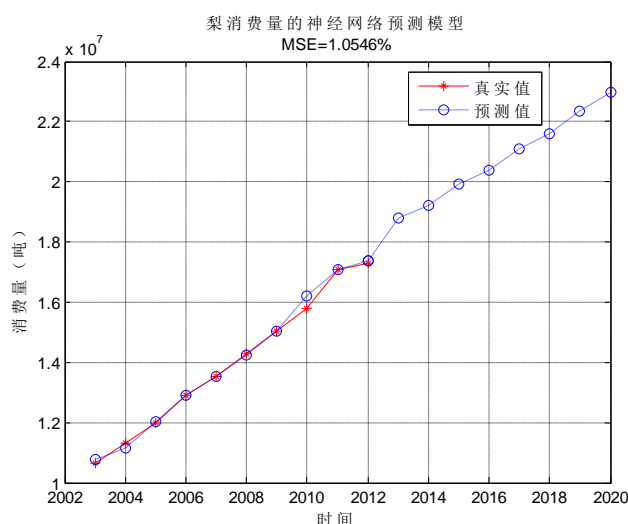


图 6.7 梨消费量的预测走势图

由图 6.5 可知，在均方根误差 RMSE 为 0.46986%<5%的条件下，萝卜的产量呈小波动递增的趋势，2007-2012 年间，萝卜消费量的真实值与预测值近似拟合，2012 年以后，随着人们生活水平的提高，人们对果蔬营养价值观念随之增加，萝卜的消费量预测也呈现递增的趋势。

由图 6.6 可知，在均方根误差 RMSE2.05%<5%的条件下，香蕉的产量呈逐年递增趋势且接近线性增加。香蕉产量的预测值与真实值间拟合效果非常好。香蕉的营养非常丰富，每百克果肉中含蛋白质 1.2 克，脂肪 0.5 克，碳水化合物 19.5 克，粗纤维 0.9 克，钙 9 毫克，磷 31 毫克，铁 0.6 毫克，还含有胡萝卜素、硫胺素、烟酸、维生素 C、维生素 E 及丰富的微量元素钾等。对身体益处很多，此外，人们的养生意识越来越强，也因此加大香蕉的消费量。

同时，由图 6.7 可知，在均方根误差 RMSE1.0547%<5%的条件下，梨的消费量预测值也是近似线性增加。伴随着人们生活水平的提高，生活方式的改变，传统的吃饱饭就行的思想渐渐褪去，加强水果的摄入量以增加体内各营养元素的吸收是目前的发展趋势。

## 6.4 两种预测模型的比较

趋势外推法是根据对按时间序列排列的统计数据的分析，可看出该统计内容与对象的发展变化趋势，再把这一趋势机械地向外推延，可得到预测值。BP 神经网络法是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络。

通过趋势外推法和 BP 神经网络法的比较分析，得到两者预测出来的果蔬消费总量水平比较接近。但是，其均方根误差存在着一定的差距。

表 6.5 两种预测模型的均方根误差比较

|       | 趋势外推法  |        |        |        |        |          |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
|       | 对数曲线   | 逆函数    | 逻辑函数   | 幂函数    | S 曲线   | BP 神经网络  |
| 均方根误差 | 3.826% | 2.735% | 4.025% | 1.567% | 2.562% | 0.72034% |

由表 6.5 可知，趋势外推法中的对数曲线，逆函数，逻辑函数，幂函数以及 S 曲线的均方根误差均大于 BP 神经网络。而均方根误差是将预测数据与真实值相比较，计算观测值与真实值的平方和和观测次数 N 比值的平方根。因此均方

根误差越小意味着预测结果越准确。

综上所述，BP 神经网络模型的预测能力要强于趋势外推法的预测能力，且果蔬消费量的发展呈递增趋势。

## 七 问题二 建立营养素摄入合理性模型

### 7.1 数据收集整理

表 7-1 人体所需各类营养物质的摄入量(天/人)

|             | 营养素     | 摄入量(mg) |             | 营养素 | 摄入量(mg) |        | 营养素   | 摄入量(mg)               |
|-------------|---------|---------|-------------|-----|---------|--------|-------|-----------------------|
| 维<br>生<br>素 | 维生素 A   | 0.8-1.1 | 矿<br>物<br>质 | 钙   | 800     | 其<br>他 | 蛋白质   | 90                    |
|             | 维生素 B1  | 1.4     |             | 磷   | 700     |        | 尼克酸   | 0.018                 |
|             | 维生素 B2  | 1.6     |             | 钠   | 2.2     |        | 叶酸    | 0.2                   |
|             | 维生素 B6  | 2       |             | 钾   | 2000    |        | 碳水化合物 | 309.4x10 <sup>3</sup> |
|             | 维生素 B12 | 1       |             | 镁   | 350     |        |       |                       |
|             | 维生素 E   | 10      |             | 铁   | 17      |        |       |                       |

表 7-2 食物的分类

| 分类   | 具体种类                     |
|------|--------------------------|
| 粮谷食物 | 稻米、面条、烙饼、馒头、扁豆、黄豆、豌豆……   |
| 肉类食物 | 猪肉、鱼肉、鸡肉、鸭肉……            |
| 蔬菜   | 萝卜、白菜、马铃薯、芹菜、西红柿、莴笋、大蒜…… |
| 水果   | 苹果、梨、西瓜、香蕉、柑橘、桃、石榴……     |

### 7.2 营养素摄入水平合理性指标

合理是一个比较的范畴，也是一个相对的概念，在经济发展的不同阶段，合理食物消费的内涵不同，标准不同。因此对合理的食物消费结构的理解应该站在一个动态的角度。

食物消费与营养结构的合理性应该以食物消费的生理需求为基点，即营养价值、消费指标以及感官需求来进行讨论，另外，食物的合理消费与我国具名的饮食习惯、国情状况和食物结构等特点有关。将食物分为肉类食物，粮谷食物，蔬菜和水果四大类进行营养素的分析。因此营养素摄入水平合理性指标描述如下。

#### (1) 营养摄入量价值指标

合理是食物消费与营养结构必须有利于提高人的素质和健康水平，进而提高劳动力的素质。同时，充足的营养是健康的基础，合理的营养保证人体的生长发育、组织修补、维持体内各种生理功能，提高机体抵抗力与免疫力。合理营养又应该避免膳食构成的比例失调和某些营养素过量而引起人体不必要的负担与代谢上的紊乱。衡量营养素价值的指标可以分为：食品的供给量、人体对各种营养素的需求量、食物多样化、饮食合理饮食制度及合理加工烹调食物。

按国际公认标准，一个国家人均每天的膳食能提供 2400kcal 热量，75g 蛋白质和 65g 脂肪就可以满足基本的需求，后来，WHO 建议脂肪能力占膳食总量

15%-30%为合理范围，如果膳食中脂肪供热比例过高，一些与膳食有关的慢性病如高血压、冠心病、糖尿病发生的危险性将明显增高。

同时，食物数量和品味的提高，并不能说明营养合理。营养科学的理论基础是营养平衡，即只有在适量的能量物质和许多不可缺少的调节物质来供应有机体的条件下，才能保证正常的生命活动。由于人每个月营养素摄入量有一个最优化的值，低于该值会造成营养不良，高于该值会造成营养过剩。因此将摄入的各个营养素的总量的指标表示如下。

$$\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} X_{ij} H_{vijk} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} Y_{ij} H_{fijk} + \sum_{i=1}^{N_m} H_{mik} Z_i + \sum_{i=1}^{N_g} H_{gik} S_i, k=1,2,\dots,N_y$$

其中：

$N_y$ ： 营养素总数目；

$X_{ij}$ ： 第j类蔬菜中第i种蔬菜的食用量；

$Y_{ij}$ ： 第j类水果中第i种水果的食用量；

$H_{vijk}$ ： 第j类蔬菜中第i种蔬菜中第k中营养素的营养含量；

$H_{fijk}$ ： 第j类水果中第i种水果中第k中营养素的营养含量；

$H_{mik}$ ： 第i种肉类食物的单位重量的第k种营养素含量；

$H_{gik}$ ： 第i种粮谷类食物的单位重量的第k种营养素含量；

$Z_i$ ： 第i种肉食食用量；  $S_i$ ： 第i中粮谷类食用量。

## (2) 消费指标

随着社会的发展，人们的生活水平显著提高，膳食标准逐步提高。但是合理食物消费是指在保证合理营养的基础上，符合农产品供应状况，高效益利用食物的行为。

从个人角度来说，消费指标要在满足基本营养摄入的基础上充分考虑三个方面的因素：1、经济收入水平；2、人均国内生产总值(GDP)；3、消费支出和食物消费支出。从经济角度来说，消费指标要满足居民对食品消费的需要，以及合理的食物结构必须促进农业生产的发展和农业结构的调整。因此消费指标可以用蔬菜的消费加上水果的消费来进行描述。

$$\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fij} y_{ij} + \sum_{i=1}^{N_m} D_{mi} Z_i + \sum_{i=1}^{N_g} D_{gi} S_i,$$

其中：

$D_{vij}$ ： 第j类蔬菜中第i种蔬菜的单价；

$D_{fij}$ ： 第j类水果中第i种水果的单价；

$D_{mi}$ ： 肉类单价；  $D_{gi}$ ： 粮谷类单价；

$Z_i$ ： 第i种肉食食用量；  $S_i$ ： 第i种粮谷食用量。

定义：消费指标  $C_z$  为食物花费与总生活花费  $T_c$  的比值。

$$C_z = \frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fij} y_{ij} + \sum_{i=1}^{N_m} D_{mi} Z_i + \sum_{i=1}^{N_g} D_{gi} S_i}{T_c},$$

### (3) 感官舒服度

人们对食物的选择经常取决于感官,因此感官度指标是膳食合理性中的重要指标之一。选取果蔬感官指数作为衡量一种果蔬被选择的标准,感官指数的大小直接表明着人们对该种食物的青睐程度。感官度指标用人们对果蔬的选择与果蔬总量的比例来表示。其中,对果蔬的选择是用对其的食用量与感官指数的乘积来表示的。

$$\frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} E_{vij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} E_{fij}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} + \sum_{i=1}^{N_m} E_{mi} Z_i + \sum_{i=1}^{N_g} E_{gi} S_i}$$

其中:

$E_{vij}$ : 第  $j$  类蔬菜中第  $i$  种蔬菜的感官指数;

$E_{fij}$ : 第  $j$  类水果中第  $i$  种水果的感官指数;

$E_{mi}$ : 第  $i$  种肉食的感官指数;

$E_{gi}$ : 第  $i$  种粮谷的感官指数;

获取营养素以维护人体生命和健康,是食物消费模式选择的先决条件。对合理食物消费指标进行分析是判断营养素年摄入水平是否合理的关键环节。

## 7.3 模糊评价

模糊评价<sup>[8]</sup>是利用模糊数学的方法,对受到多个因素影响的事物,按照一定的评判标准,给出事物获得某个评语的可能性。他的评判特点鲜明,是对受多种因素影响的事物做出全面评价的一种十分有效的多因素决策方法,且其评价结果不是绝对地肯定或否定,而是以一个模糊集合来表示。

### 模糊综合评价法基本步骤

模糊综合评价法,是应用模糊关系合成的原理,从多个因素对被评判事物隶属度等级状况进行综合评判的一种方法。模糊综合评价法的基本步骤如下:

#### (1) 建立综合评价的因素集

因素集是以影响评价对象的各种因素为元素所组成的一个普通集合,通常用  $U$  表示,即  $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ , 其中元素  $u_i (i = 1, 2, \dots, m)$  代表影响评价对象的第  $i$  个因素。这些因素,通常都具有不同程度的模糊性。

#### (2) 确定因素权向量

评价工作中,各因素的重要程度有所不同,为此,给各因素  $u_i (i = 1, 2, \dots, m)$  给定一个权重  $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$ , 各因素的权重集合的模糊集,用  $A$  表示:  
 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 。

#### (3) 建立综合评价的评价集

评价集是评价者对评价对象可能做出的各种结果所组成的集合,通常用  $V$  表示,即:  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ , 其中元素  $v_j (j = 1, 2, \dots, n)$  代表第  $j$  种评价结果,可以根据实际情况的需要,用不同的等级、评语或数字来表示。

#### (4) 进行单因素模糊评价,获得评价矩阵



若因素集  $U$  中第  $i$  个元素对评价集  $V$  中第 1 个元素的隶属度为  $r_{i1}$ ，则对第  $i$  个元素单因素评价的结果，用模糊集合表示为： $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 。以  $m$  个单因素评价集  $R_1, R_2, \dots, R_m$  为行组成矩阵  $R$ ，称为模糊综合评价矩阵。

(5) 建立综合评价模型  
确定  $R, A$  之后，通过模糊变化将  $U$  上的模糊向量  $A$  变为  $V$  上的模糊向量  $B$ ，即  $B = A \circ R = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 。其中“ $\circ$ ”称为综合评价合成算子。

(6) 确定系统总得分  
综合评价模型确定后，确定系统总得分，即  $F = B \times S^T$ ，其中  $F$  为系统总得分， $S^T$  为相应因素的级分。

### 7.4 合理性评价结果

将模糊评价方法应用于合理性指标评价中，全面考虑了合理性指标的各种因素，建立了合理性评价体系，同时食物被分为肉类，粮谷类，蔬菜和水果四大类，然后将矿物质、维生素和膳食纤维等营养的年摄入量作为评判对象。结合第一问中的消费量预测结果得到表 7-3 三种合理性指标的比较，图 7.1 所示营养摄入量指数曲线。图 7.2 所示消费指标预测图，图 7.3 所示感官舒适度预测图。

表 7.3 三种合理性指标比较

|         | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 营养摄入量指标 | 0.4348 | 0.5443 | 0.5485 | 0.5485 | 0.5721 | 0.5723 | 0.5661 | 0.5728 | 0.5832 |
| 消费指标    | 0.6573 | 0.6194 | 0.6031 | 0.5757 | 0.5603 | 0.5406 | 0.5105 | 0.4916 | 0.4789 |
| 感官舒适度   | 0.4235 | 0.5140 | 0.5693 | 0.5955 | 0.6399 | 0.6594 | 0.6711 | 0.6941 | 0.7199 |
|         | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   |        |
| 营养摄入量指标 | 0.5970 | 0.6022 | 0.6036 | 0.5917 | 0.5998 | 0.5882 | 0.5903 | 0.5923 |        |
| 消费指数    | 0.4711 | 0.4632 | 0.4532 | 0.4460 | 0.4440 | 0.4362 | 0.4337 | 0.4318 |        |
| 感官舒适度   | 0.7477 | 0.7661 | 0.7662 | 0.7796 | 0.7988 | 0.7975 | 0.8094 | 0.8207 |        |

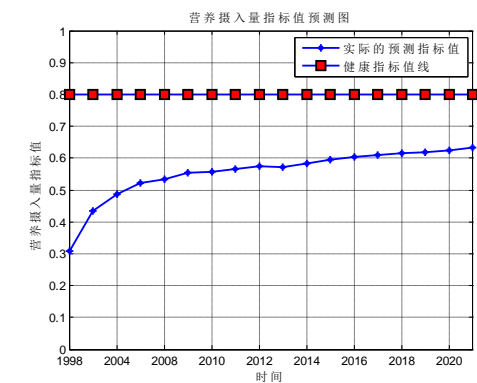


图 7.1 营养摄入量均衡指标预测图

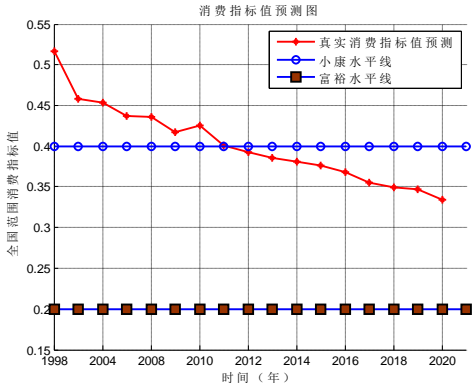


图 7.2 消费指标预测图

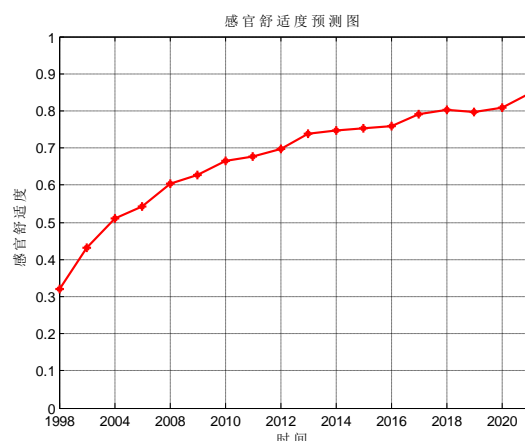


图 7.3 感官舒适度预测图

由图 7.1 营养摄入量指标预测图可知：

(1) 从 1998 年到 2020 年，营养摄入量指标呈现先快速再缓慢递增趋势，

(2) 在 1998 年，营养摄入量指标为 0.3，而健康指数为 0.8，说明当时经济相对落后，人们的生活水平处于较为低下的状态，随着时间的推移，情况渐渐趋于好转。

(3) 2014 年，营养摄入量指标为 0.6，健康指数为 0.8，依然没有达到健康水平，并且呈现缓慢上升趋势，说明应该加强改变人们的饮食观念的力度，增加居民的营养摄入量。

由图 7.2 消费指标预测图可知：

(1) 从 1998 年到 2020 年，消费指标依次递减至趋于平稳。

(2) 实际的预测值于 2011 年接近小康水平线，未来的几年里，略低于小康水平线，说明生活小幅度改善，但与富裕水平线还有一大段距离。另外，人们的经济水平依然不高，欲达到富裕的生活水平还需要进行长期的规划和指导。

由图 7.3 感官舒适度预测图可知：随着时间的推移，国民经济的发展，人们生活水平的提高，追求感官的趋势大幅度增加。预示着人们健康饮食的意识逐渐增强，对食物口感的要求越来越高。

综上所述，我国居民目前的矿物质、维生素、膳食纤维等营养的年摄入水平不够合理，依然比较低，接近健康摄入量水平，与富裕水平相隔较远，需要进行调整以达到合理水平。因此，在加强经济建设的同时，也需要提高对食物的营养平衡的意识，通过对食物进行合理选择和科学搭配来达到健康水平，从而满足人体健康所需要的各种营养成分要求。

## 7.5 人体营养健康状况的预测

由问题一中的消费预测结果，可以得到水果和蔬菜的产量逐年大幅度递增，也有着继续逐年增加的趋势。由问题二的消费指标预测结果，可以得到食物的支出占生活消费总支出的比重越来越低，说明人们在满足营养需求的基础上，有更多的经济来源进行其他消费。

由图 7.1-7.3 可知，三个合理性指标均对人体的营养摄入水平有不同程度的影响，尤其是感官舒适度的逐年增加意味着人们对合理膳食，营养均衡越来越重视。

因此，我国居民的人体营养健康状况趋于好转，但是依然有很多传统思维的存在导致其不能在短时期内大幅度改善，还需要加大教育指导力度，逐渐改变观念和生活方式，从而提高我国居民的身体素质。

## 八 问题三 购买成本最小化模型

### 8.1 数据整理

#### 8.1.1 不同区域盛产水果情况

由于不同的区域盛产不同类型的水果，因此将中国分为华东、华南、华中、华北、西北、西南和东北 7 个区域，对各个区域盛产果蔬的相关特性展示如表 8.1，8.2 所示。

表 8.1 不同区域盛产水果情况

| 区域 | 省份  | 盛产水果 | 季节 | 年产量(万吨) |
|----|-----|------|----|---------|
| 华东 | 安徽  | 蜜枣   | 秋季 | 18      |
|    | 福建  | 枇杷   | 夏季 | 10.03   |
| 华南 | 广西  | 荔枝   | 夏季 | 39      |
|    | 海南  | 木瓜   | 春季 | 3.2     |
| 华中 | 湖南  | 桃子   | 秋季 | 10.8    |
|    | 河南  | 石榴   | 秋季 | 5.5     |
| 华北 | 内蒙古 | 苹果梨  | 秋季 | 23.4    |
|    | 天津  | 柿子   | 秋季 | 15      |
| 西北 | 宁夏  | 枸杞   | 夏季 | 4.3     |
|    | 新疆  | 葡萄   | 夏季 | 60      |
| 西南 | 贵州  | 猕猴桃  | 秋季 | 10      |
|    | 四川  | 柚子   | 秋季 | 23      |
| 东北 | 黑龙江 | 蓝莓   | 夏季 | 1.6-2.4 |
|    | 吉林  | 山里红  | 秋季 | 25      |

表 8.2 不同区域盛产蔬菜情况

| 区域 | 省份  | 盛产蔬菜 | 季节 | 年产量(万吨) |
|----|-----|------|----|---------|
| 华东 | 安徽  | 油菜   | 秋天 | 6.4     |
|    | 福建  | 南瓜   | 秋天 | 2.3     |
| 华南 | 广西  | 红薯   | 秋季 | 10.2    |
|    | 海南  | 四季豆  | 四季 | 40      |
| 华中 | 湖南  | 白菜   | 春季 | 3000    |
|    | 河南  | 冬瓜   | 秋季 | 2.9     |
| 华北 | 内蒙古 | 甘蓝   | 秋季 | 2       |
|    | 天津  | 白萝卜  | 秋季 | 1.2     |
| 西北 | 宁夏  | 茄子   | 秋季 | 25.7    |
|    | 新疆  | 甜菜   | 秋季 | 52.3    |
| 西南 | 贵州  | 辣椒   | 夏季 | 30      |

|    |     |    |    |       |
|----|-----|----|----|-------|
| 东北 | 四川  | 油菜 | 秋季 | 22.1  |
|    | 黑龙江 | 土豆 | 夏季 | 100   |
|    | 吉林  | 大葱 | 夏季 | 295.1 |

### 8.1.2 等值蔬菜水果交换

蔬菜与蔬菜之间营养素的种类相近，食用功能相似，因此可以相互转换。下列每份蔬菜类提供蛋白质 5g，碳水化合物 17g，热能 90Kcal。同理，水果与水果之间亦可以相互转化而不影响营养素的缺失。每份水果类提供蛋白质 1g、碳水化合物 21g，热能 90Kcal。

表 8.3 等值蔬菜交换表

| 食品           | 重量 (g) | 食品           | 重量 (g) |
|--------------|--------|--------------|--------|
| 大白菜、圆白菜、菠菜   | 500    | 胡萝卜          | 200    |
| 韭菜、茴香        | 500    | 倭瓜、南瓜、花菜     | 350    |
| 芹菜、茼蒿、油菜     | 500    | 扁豆、洋葱、蒜苗     | 250    |
| 葫芦、西红柿、冬瓜、苦菜 | 500    | 白萝卜、青椒、茭白、冬笋 | 400    |
| 黄瓜、茄子、丝瓜     | 500    | 山药、荸荠、藕      | 150    |
| 芥蓝菜、瓢菜       | 500    | 次菇、百合、芋头     | 100    |
| 苋菜、雪里蕻       | 500    | 毛豆、鲜豌豆       | 70     |
| 绿豆芽、鲜蘑菇      | 500    |              |        |

表 8.4 等值水果交换表

| 食品         | 重量 (g) | 食品     | 重量 (g) |
|------------|--------|--------|--------|
| 柿、香蕉、鲜荔枝   | 150    | 李子、杏   | 200    |
| 梨、桃、苹果（带皮） | 200    | 葡萄（带皮） | 200    |
| 桔子、橙子、柚子   | 200    | 草莓     | 300    |
| 猕猴桃（带皮）    | 200    | 西瓜     | 500    |

水果和蔬菜中的营养元素大致相近，欲获取 100mg 某种营养元素需要摄入的各种水果量(kg)如表 8.4 所示，蔬菜量(kg)如表 8.5 所示。

表 8.5 获取一定营养元素需摄入的水果量

| 品种 | 营养元素 |        |       |         |         |        |        |
|----|------|--------|-------|---------|---------|--------|--------|
|    | 钙    | 铁      | 钠     | 锌       | 维生素 B1  | 维生素 B2 | 维生素 B6 |
| 苹果 | 0.91 | 100.00 | 11.11 | 1000.00 | 1000.00 | 333.33 | 166.67 |
| 梨  | 3.33 | 14.29  | 14.29 | 100.00  | 333.33  | 333.33 | 333.33 |
| 桃子 | 0.83 | 20.00  | 10.00 | 66.67   | 1000.00 | 333.33 | 500.00 |
| 杏子 | 0.71 | 16.67  | 4.35  | 50.00   | 500.00  | 333.33 | 200.00 |

|     |      |       |       |        |        |         |        |
|-----|------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 李子  | 1.25 | 16.67 | 2.63  | 71.43  | 333.33 | 500.00  | 250.00 |
| ... | ...  | ...   | ...   | ...    | ...    | ...     | ...    |
| 香蕉  | 0.31 | 25.00 | 25.00 | 58.82  | 500.00 | 250.00  | 26.32  |
| 草莓  | 0.67 | 4.55  | 1.54  | 90.91  | 333.33 | 333.33  | 250.00 |
| 橙子  | 0.50 | 25.00 | 8.33  | 71.43  | 200.00 | 250.00  | 166.67 |
| 橘子  | 0.29 | 50.00 | 7.69  | 10.00  | 200.00 | 250.00  | 200.00 |
| 柚子  | 0.83 | 33.33 | 3.33  | 25.00  | 142.86 | 100.00  | 111.11 |
| 西瓜  | 0.77 | 50.00 | 4.35  | 200.00 | 333.33 | 250.00  | 142.86 |
| 哈密瓜 | 2.50 | 33.33 | 0.37  | 76.92  | 200.00 | 1000.00 | 90.91  |

表 8.6 获取一定营养元素需摄入的蔬菜量

| 品种  | 营养元素 |       |       |       |         |        |        |
|-----|------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|
|     | 钙    | 铁     | 钠     | 锌     | 维生素 B1  | 维生素 B2 | 维生素 B6 |
| 胡萝卜 | 0.31 | 10.00 | 0.14  | 43.48 | 250.00  | 333.33 | 16.67  |
| 萝卜  | 0.18 | 33.33 | 0.17  | 76.92 | 333.33  | 166.67 | 16.67  |
| 竹笋  | 1.11 | 20.00 | 25.00 |       | 125.00  | 125.00 | 16.67  |
| 大白菜 | 0.14 | 20.00 | 0.11  | 47.62 | 166.67  | 142.86 | 12.50  |
| 菠菜  | 0.15 | 3.45  | 0.12  | 11.76 | 250.00  | 90.91  | 16.67  |
| 菜花  | 0.43 | 9.09  | 0.32  | 26.32 | 333.33  | 125.00 | 16.67  |
| 韭菜  | 0.24 | 6.25  | 1.23  | 23.26 | 500.00  | 111.11 | 12.50  |
| 芹菜  | 0.21 | 12.50 | 0.14  | 21.74 | 1000.00 | 125.00 | 25.00  |
| ... | ...  | ...   | ...   | ...   | ...     | ...    | ...    |
| 蒜苗  | 0.34 | 7.14  | 1.96  | 21.74 | 90.91   | 125.00 | 20.00  |
| 小白菜 | 0.11 | 5.26  | 0.14  | 19.61 | 500.00  | 111.11 | 14.29  |
| 油菜  | 0.09 | 8.33  | 0.18  | 30.30 | 250.00  | 90.91  | 14.29  |
| 圆白菜 | 0.20 | 16.67 | 0.37  | 40.00 | 333.33  | 333.33 | 25.00  |

## 8.2 购买成本最小化模型

### 8.2.1 建立目标函数

平衡膳食是实现食物消费系统目标的重要保证。选择食物消费模式还要对食物消费系统进行成本效益分析。任何系统都是以付出费用用来换取效益的，以最小费用获得最大效益，因此建立以最小费用为目标函数的购买成本最小化模型。

$$\min \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fij} y_{ij}$$

### 8.2.2 确定约束条件

**约束条件一：**基于每个营养素的含量均在一定的范围内才能保证健康的摄入量。因此，营养素的含量存在着上下限的约束。

$$l_{bk} \leq \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} H_{vijk} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} H_{fijk} \leq l_{uk}$$

其中， $l_{uk}$ ：第  $k$  种营养素的日均摄入量上界；

$l_{bk}$ ：第  $k$  种营养素的日均摄入量下界；

**约束条件二：**人体营养素的摄入必须按比例提供，营养失调则易引起疾病，营养过多会引起过剩营养障碍病。因此对食物进行合理选择和科学搭配，存在着营养比例摄入约束。

$$R_{lmn} \leq \frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} H_{vijm} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} H_{fijm}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} H_{vijn} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} H_{fijn}} \leq R_{umn}, \begin{pmatrix} m=1, \dots, N_y \\ n=1, \dots, N_y \end{pmatrix}$$

其中， $R_{lmn}$ ：第  $m$  种与第  $n$  种营养物质的比例下限；

$R_{umn}$ ：第  $m$  种与第  $n$  种营养物质的比例上限；

**约束条件三：**每种蔬菜和水果的食用量均不应该为负值，因此存在食用量非负约束。

$$x_{ij} \geq 0, y_{ij} \geq 0$$

**约束条件四：**人们花费在果蔬上的金额存在一个花费上限，大多数情况，果蔬花费占工资的 10%。全国人均果蔬花费额应该低于花费上限  $C_{\max}$

$$\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fij} y_{ij} \leq C_{\max}$$

**约束条件五：**所有的水果和蔬菜均是多种多样的，存在多样性约束。

$$\sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} > 0, \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} > 0$$

**约束条件六：**感官度是一个因人而异，且变化范围较大的指标。但是它依然存在一个感官下界。所有事物的感官水平必须在这个感官下界之上。

$$\frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} E_{vij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} E_{fij}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij}} \geq E_{\min}$$

其中， $E_{\min}$ ：感官度下界。

综上所述，购买成本最小化模型为：

$$\min \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fij} y_{ij}$$

$$\begin{aligned}
& l_{bk} \leq \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} H_{vijk} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} H_{fijk} \leq l_{uk} \\
& R_{lmn} \leq \frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} H_{vijm} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} H_{fijm}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} H_{vijn} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} H_{fijn}} \leq R_{umn}, \begin{pmatrix} m=1, \dots, N_y \\ n=1, \dots, N_y \end{pmatrix} \\
& x_{ij} \geq 0, y_{ij} \geq 0 \\
s.t. & \begin{cases} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fij} y_{ij} \leq C_{\max} \\ \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} > 0, \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} > 0 \\ \frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} E_{vij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij} E_{fij}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{ij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{ij}} \geq E_{\min} \end{cases}
\end{aligned}$$

### 8.2.3 模型求解

针对购买成本最小化模型，运用 *matlab* 软件编程求解，得到全国七个区域每个季度中主要水果和蔬菜的年人均消费量如表 8.7，8.8 所示。

表 8.7 全国 7 个区域四个季度主要水果的年人均消费量

| 区域 | 春季 |        | 夏季  |        | 秋季  |        | 冬季  |        |
|----|----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
|    | 水果 | 消费量(g) | 水果  | 消费量(g) | 水果  | 消费量(g) | 水果  | 消费量(g) |
| 华东 | 青枣 | 222.65 | 草莓  | 226.3  | 青梅  | 204.4  | 甘蔗  | 171.55 |
|    | 樱桃 | 135.05 | 莲雾  | 164.25 | 山楂  | 200.75 | 柚子  | 204.4  |
| 华南 | 香蕉 | 156.95 | 芒果  | 248.2  | 甘蔗  | 178.85 | 柚子  | 193.45 |
|    | 樱桃 | 215.35 | 菠萝  | 200.75 | 火龙果 | 178.85 | 木瓜  | 167.9  |
| 华中 | 枇杷 | 204.4  | 西瓜  | 215.35 | 莲子  | 167.9  | 猕猴桃 | 208.05 |
|    | 桑葚 | 167.9  | 草莓  | 182.5  | 柿子  | 167.9  | 橙子  | 200.75 |
| 华北 | 桑葚 | 237.25 | 杏子  | 178.85 | 葡萄  | 211.7  | 橙子  | 171.55 |
|    | 樱桃 | 219    | 猕猴桃 | 178.85 | 毛桃  | 204.4  | 椪柑  | 197.1  |
| 西北 | 杏子 | 142.35 | 西瓜  | 167.9  | 葡萄  | 164.25 | 核桃  | 182.5  |
|    | 桑葚 | 215.35 | 哈密瓜 | 167.9  | 香瓜  | 138.7  | 大枣  | 175.2  |
| 西南 | 石榴 | 186.15 | 桃子  | 146    | 甘蔗  | 164.25 | 油梨  | 131.4  |
|    | 青枣 | 175.2  | 荔枝  | 197.1  | 杨桃  | 189.8  | 柠檬  | 200.75 |
| 东北 | 青枣 | 164.25 | 龙眼  | 131.4  | 梅子  | 186.15 | 橘子  | 142.35 |
|    | 石榴 | 175.2  | 杏子  | 204.4  | 桃子  | 178.85 | 橙子  | 189.8  |

表 8.8 全国 7 个区域四个季度主要蔬菜的年人均消费量

| 区域 | 春季 |        | 夏季  |        | 秋季  |        | 冬季  |        |
|----|----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
|    | 蔬菜 | 消费量(g) | 蔬菜  | 消费量(g) | 蔬菜  | 消费量(g) | 蔬菜  | 消费量(g) |
| 华东 | 春笋 | 332.15 | 苦瓜  | 335.8  | 菱角  | 313.9  | 甜豆  | 281.05 |
|    | 韭菜 | 244.55 | 生菜  | 273.75 | 秋葵  | 310.25 | 芹菜  | 313.9  |
| 华南 | 洋葱 | 266.45 | 茄子  | 357.7  | 豆角  | 288.35 | 芥菜  | 302.95 |
|    | 豌豆 | 324.85 | 番茄  | 310.25 | 辣椒  | 288.35 | 胡萝卜 | 277.4  |
| 华中 | 香椿 | 313.9  | 佛手瓜 | 324.85 | 黄瓜  | 277.4  | 白菜  | 317.55 |
|    | 辣椒 | 277.4  | 黄瓜  | 292    | 扁豆  | 277.4  | 萝卜  | 310.25 |
| 华北 | 油菜 | 346.75 | 玉米  | 288.35 | 黄瓜  | 321.2  | 青椒  | 281.05 |
|    | 蒜苗 | 328.5  | 葫芦  | 288.35 | 茄子  | 313.9  | 菠菜  | 306.6  |
| 西北 | 洋葱 | 251.85 | 木耳  | 277.4  | 红薯  | 273.75 | 白菜  | 292    |
|    | 芹菜 | 324.85 | 西红柿 | 277.4  | 地瓜叶 | 248.2  | 胡萝卜 | 284.7  |
| 西南 | 辣椒 | 295.65 | 竹笋  | 255.5  | 莲藕  | 273.75 | 花椰菜 | 240.9  |
|    | 青椒 | 284.7  | 香菇  | 306.6  | 芸豆  | 299.3  | 白菜  | 310.25 |
| 东北 | 芥菜 | 273.75 | 大豆  | 240.9  | 冬瓜  | 295.65 | 洋葱  | 251.85 |
|    | 油菜 | 284.7  | 生菜  | 313.9  | 豆角  | 288.35 | 茼蒿  | 299.3  |

#### 8.2.4 结果分析

由表 8.7, 8.8 可知, 全国七个区域在同一季节中的果蔬种类各不相同, 华东地区春季的主要水果为青枣和樱桃, 夏季的主要水果为草莓和莲雾, 秋季的主要水果为青梅和山楂, 冬季的主要水果为甘蔗和柚子; 在相同的季节, 全国七个区域的主要水果也各有特色, 例如, 春季, 华东、华南、华中、华北、西北、西南和东北的主要水果不尽相同, 但樱桃在华东和华南均有生产, 桑葚在华中和华北也均有生产。另外, 年度合理人均消费量可为人们进行合理选择果蔬提供一定的依据。

### 8.3 构建果蔬品种优选方案仿真 GUI

#### 8.3.1 GUI 概述

GUI, 图形用户界面, 是指采用图形方式显示的计算机操作用户界面。GHI 的引入, 极大地方便了非专业用户的使用, 通过窗口、菜单和按键方式进行操作。它具有轻型、占用资源少、高性能、高可靠性、便于移植和可配置的特点。GUI 界面的层次结构如图 8-1 所示。



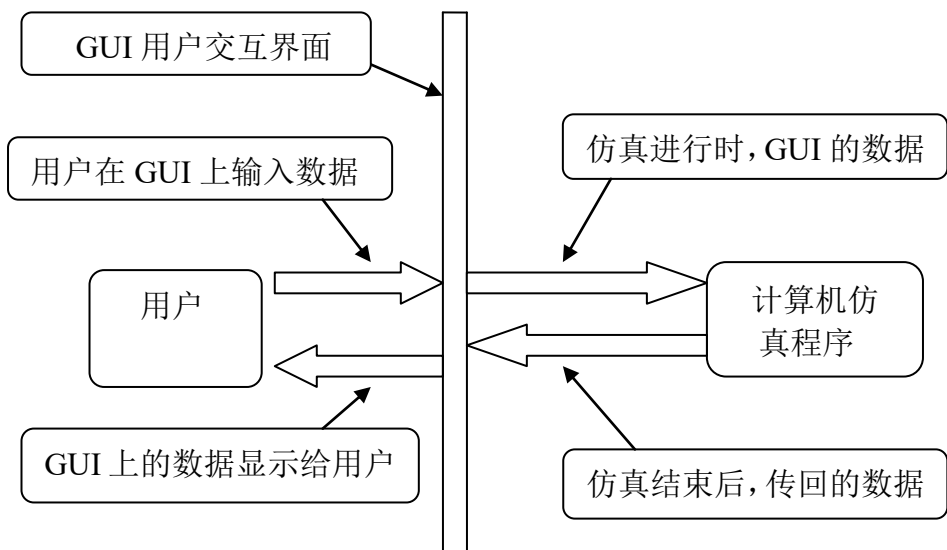


图 8.1 GUI 界面的层次结构

### 8.3.1 GUI 操作流程

#### 1. 输入参数

进入果蔬品种优选仿真初始界面，如图 8.2，输入“整体输入指标”，即消费期望、口感期望、所在城市和当地时间，然后输入“用户个体情况”和“用户偏好”等基本资料。

图 8.2 GUI 初始界面

#### 2. 输出结果

输入所在城市和时间后，通过数据库搜索，界面自动显示当地当时的各类水果和蔬菜的单价，点击“计算优选方案”，系统会根据已经输入的用户偏好，为用

户制定最优方案，在界面右下角进行展示，该方案符合营养素摄入标准且总消费最低，用户可根据优选方案进行采购。

现将上海市 9 月 22 日，居民选择优化果蔬方案的界面展示如下图 8.3 所示。

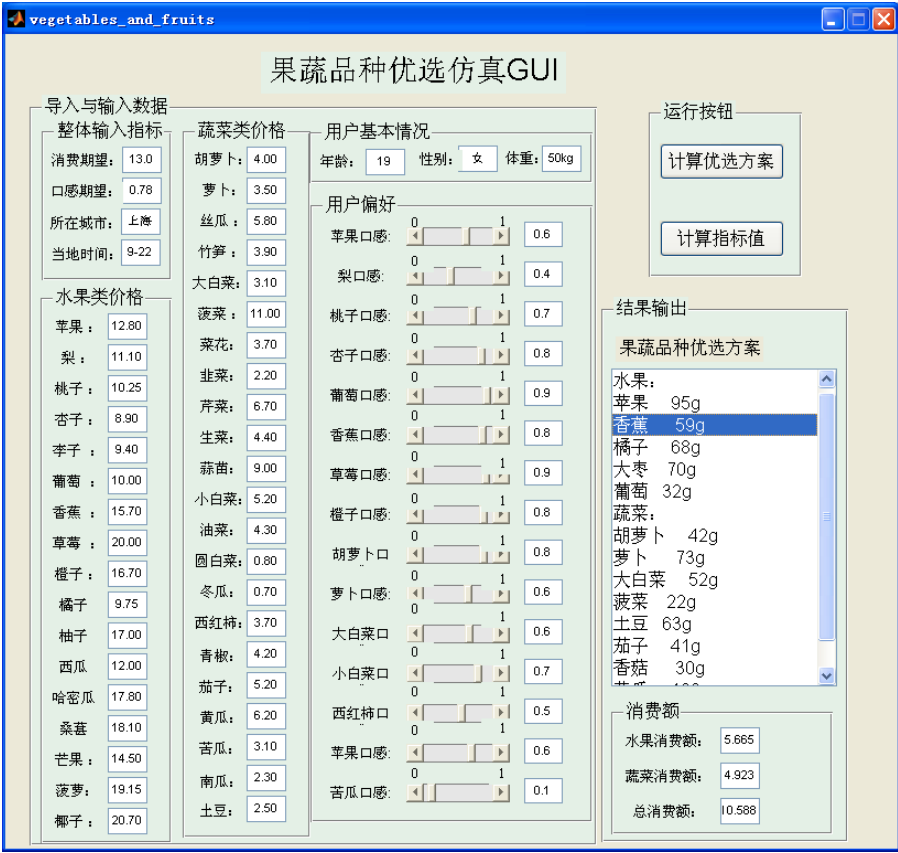


图 8.3 输出结果图

由图 8.3 可知，通过 GUI 界面，用户可以获知需要摄入的水果和蔬菜量以及其分别的消费金额。以上海市，2014 年 9 月 22 日为例，用户为 19 岁女孩，根据她的基本信息和口感指数，GUI 为其展示了当天需要购买的水果种类以及对应的重量，同时得到水果消费额为 5.665 元，蔬菜消费额为 4.923 元，果蔬消费总额为 10.588 元。

GUI 界面为用户解决果蔬营养均衡搭配的问题，通过输入基本参数及个人喜好，得到消费量最少且满足自身营养健康需要的最优营养搭配方案，为人们的实际生活带来了极大的便利。

## 九 问题四 系统动力学果蔬生产规模调整模型

### 9.1 建模前的准备

表 9.1 各地区果蔬的种植面积

| 区域         | 年代   | 苹果                          |                           |  | 梨                          |                           |  |
|------------|------|-----------------------------|---------------------------|--|----------------------------|---------------------------|--|
|            |      | 种植面积<br>( $\times 10^3$ 公顷) | 产量<br>( $\times 10^5 t$ ) | 单位面积产量<br>( $\times 10^2 t/\text{顷}$ ) | 种植面积<br>( $\times 10^5$ 顷) | 产量<br>( $\times 10^4 t$ ) | 单位面积<br>产量( $\times 10^2 t/\text{顷}$ ) |
| 华东<br>(浙江) | 2012 | 22.5                        | 5.27                      | 2.34                                   | 24.4                       | 3.86                      | 1.58                                   |
|            | 2011 | 20.0                        | 4.26                      | 2.13                                   | 24.9                       | 3.79                      | 1.52                                   |
|            | ...  | ...                         | ...                       | ...                                    | ...                        | ...                       | ...                                    |
|            | 2000 | 4.6                         | 0.97                      | 2.12                                   | 12.8                       | 1.14                      | 0.89                                   |
| ....       | 2012 | 1.9                         | 9.90                      | 5.21                                   | 48.8                       | 4.63                      | 0.95                                   |
|            | 2011 | 1.7                         | 9.67                      | 5.69                                   | 36.6                       | 4.81                      | 1.31                                   |
|            | ...  | ...                         | ...                       | ...                                    | ...                        | ...                       | ...                                    |
|            | 2000 | 11.0                        | 30.45                     | 2.67                                   | 54.1                       | 5.42                      | 1.00                                   |
| 华中<br>(湖北) | 2012 | 10.9                        | 1.14                      | 1.05                                   | 4.6                        | 4.02                      | 8.74                                   |
|            | 2011 | 11.4                        | 1.17                      | 1.03                                   | 4.8                        | 3.76                      | 7.84                                   |
|            | ...  | ...                         | ...                       | ...                                    | ...                        | ...                       | ...                                    |
|            | 2001 | 28.6                        | 1.12                      | 0.39                                   | 5.8                        | 2.63                      | 4.56                                   |

(具体数据见附录一)

表 9.2 近期进出口贸易情况

| 年份   | 萝卜          |             |              |              | 马铃薯         |             |              |              | ... |
|------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----|
|      | 出口量<br>(千吨) | 进口量<br>(千吨) | 出口额<br>(万美元) | 进口额<br>(万美元) | 出口量<br>(千吨) | 进口量<br>(千吨) | 出口额<br>(万美元) | 进口额<br>(万美元) |     |
| 2012 | 571         | 0.62        | 25655        | 21.4         | 382         | 0.214       | 17882        | 19.6         | ... |
| 2011 | 497.2       | 0.00173     | 19791        | 0.1          | 262         | 0.0465      | 0.107        | 0.7          | ... |
| 2010 | 428.5       | 0.114       | 16637        | 1.2          | 387.1       | 0.076       | 11582        | 7.8          | ... |
| 2009 | 415.62      | 0.203       | 148253       | 9            | 347.5       | 0.062       | 86801        | 7.1          | ... |
| 2008 | 418.61      | 1.474       | 124649       | 80           | 370         | 0.113       | 84187        | 10.9         | ... |
| 2007 | 430.58      | 0.0225      | 13507        | 1            | 368         | 0.561       | 8096         | 431.6        | ... |
| 年份   | 西瓜          |             |              |              | 苹果          |             |              |              | ... |
|      | 出口量<br>(千吨) | 进口量<br>(千吨) | 出口额<br>(万美元) | 进口额<br>(万美元) | 出口量<br>(千吨) | 进口量<br>(千吨) | 出口额<br>(万美元) | 进口额<br>(万美元) |     |
| 2012 | 47.37       | 398.12      | 1575         | 4895.6       | 1034.6      | 77          | 91433        | 11583        | ... |
| 2011 | 50.7        | 313.2       | 1247.7       | 3493.9       | 1122        | 66.8        | 83163        | 7593.2       | ... |
| 2010 | 57.841      | 263.7       | 1512.5       | 3234.6       | 1171.8      | 54.11       | 71213        | 5410.8       | ... |
| 2009 | 33          | 222.73      | 9279         | 26984        | 1153        | 42.39       | 698398       | 45188        | ... |
| 2008 | 36.67       | 167         | 7597         | 23549        | 1019.8      | 36.39       | 512645       | 34674        | ... |
| 2007 | 36.416      | 144.34      | 730          | 2450         | 804.22      | 31.07       | 37256        | 2528         | ... |

定义 恩格尔系数：食品支出总额占个人消费支出总额的比重。某个地区的恩格

尔系数减小,说明食品消耗量没有巨大变化,个人消费总额明显增加,意味着人的生活水平提高,有更多的金钱从事其他活动。

## 9.2 系统动力学果蔬生产规模调整模型

居民的食物消费与营养结构的形成与变化是在许多因素共同作用、相互影响下逐渐形成的结果。如何采取有利的宏观调整手段,合理引导居民食物消费与营养发展,实现食物资源利用的最大化,具有重要意义。

可是,这些诸多影响因素的关系很复杂,通过直观观察分析是很难搞清楚他们之间的精确关系,但可以根据经验公式或者调查数据寻求结果。建立系统动力学模型,其准确度可以被检验出来,只有检验合格的结果才能够用来探究调整模型的合理性。

清楚明白各个变量之间的相互关系后,建立营养均衡性等五个目标函数和果蔬花费上限及种植面积等六个约束。结合系统动力学<sup>[9]</sup>分析描绘各因子关系如下:

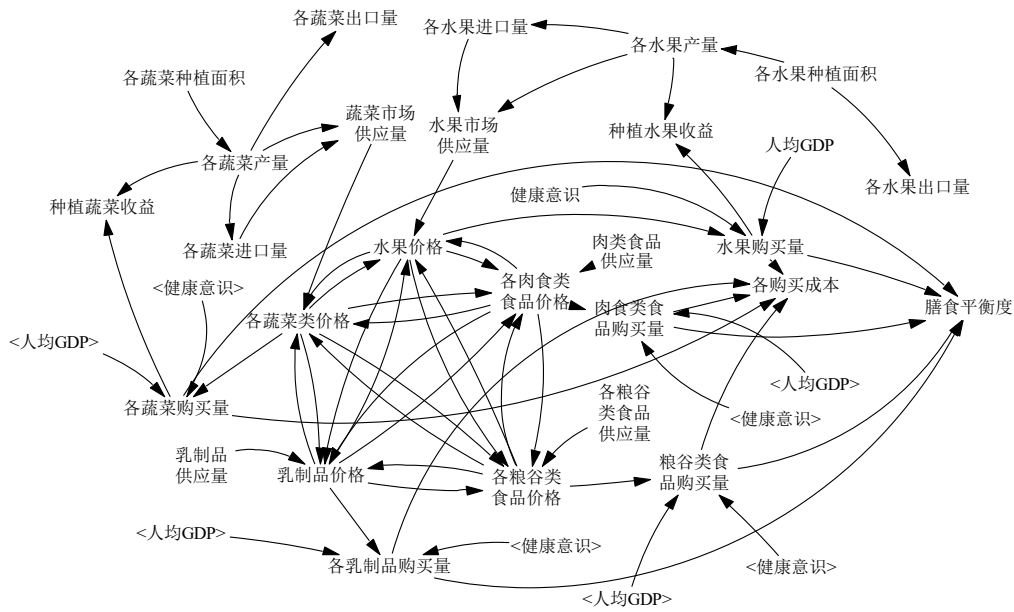


图 9.1 果蔬生产规模调整的系统动力学关系图

### 9.2.1 确定目标函数

**目标函数一：营养均衡度。**从居民营养健康的角度出发,合理安排膳食,调整食物摄入比例,达到人体的营养均衡很有必要。人体所需的每一种营养素均有一个范围,缺乏或者过剩都将对身体带来负面影响,因此每个省份营养达到均衡作为目标函数。

$$\left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} H_{vij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fij}} y_{sij} H_{fij} \right) / N_s, \quad \begin{pmatrix} k=1,2,\dots,N_y \\ s=1,2,\dots,N_s \end{pmatrix}$$

其中:

$N_s$ : 省份总数;

$x_{sij}$ ：各个省份居民购买的蔬菜量；

$y_{sij}$ ：各个省份居民购买的水果量；

上述营养素含量包含很多种类且不同营养素的含量标准不同，因此无法定量评判，采用模糊综合评价法，对其进行评分。如果在营养素标准摄入范围内，则认为其摄入量满足健康要求，此时评分值为 1。偏离正常范围的幅度决定着其他分段的评分值。以维生素 A 为例，标准人一天摄入维生素 A 的量为 0.8-1.1mg，其不同评分段的值见表 9.3。

表 9.3 维生素 A 的不同摄入量的评分值

| 摄入量范围 | <0.3 | 0.3-0.5 | 0.6-0.8 | 0.8-1.1 | 1.1-1.3 | 1.4-1.6 | 1.7-1.9- | >1.9 |
|-------|------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------|
| 模糊评分值 | 0.3  | 0.6     | 0.8     | 1       | 0.8     | 0.6     | 0.4      | 0.3  |

**目标函数二：花费最小化。**任何系统都是以付出费用来换取效益的，人们是通过摄入合适的营养素换取健康的身体，于是就存在着成本最小化问题，无论人们通过什么方式进行选择，在获得相同效果的情况下，花费最少是经济建设和日常生活的基本目标。

$$\min \left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vsij} x_{sij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fsij} y_{sij} \right) / N_s$$

其中：

$D_{vsij}$ ：各个省各个区蔬菜价格；

$D_{fsij}$ ：各个省各个区水果价格；

**目标函数三：盈利最大化。**成本效益分析是评价经济效果好坏的主要方式。对于果蔬种植者而言，保证果蔬顺利生长，从而追求盈利最大化是他们的主要目标之一。

$$\max \left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} (D_{vsij} - T_{vsij}) C_{vsij} A_{vsij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} (D_{fsij} - T_{fsij}) C_{fsij} A_{fsij} \right)$$

其中：

$T_{vsij}$ ：各个省各个区蔬菜种植成本；  $T_{fsij}$ ：各个省各个区水果种植成本；

$A_{fsij}$ ：各个省各个区水果种植面积；  $A_{vsij}$ ：各个省各个区蔬菜种植面积；

$C_{fsij}$ ：各个省各个区水果单位面积产量；

$C_{vsij}$ ：各个省各个区蔬菜单位面积产量；

**目标函数四：种植面积最小化。**人口和土地是一个国家关心的重大问题，由于我国土地面积有限，人均占有面积较少，因此调整果蔬种植面积获得最大产量是一个关键问题。于是，存在种植面积最小化目标函数。

$$\min \left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} A_{vsij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} A_{fsij} \right)$$

**目标函数五：进出口收益最大化。**对果蔬生产规模作出战略性调整<sup>[10]</sup>，需要考虑果蔬的进出口情况。随着中国市场经济体制的不断完善与果蔬储运水平的提高，果蔬的损耗率持下降趋势，这样使得果蔬供给过剩，解决供给过剩最有效

的方法是加大果蔬进出口力度，缓解国内果蔬消费能力不足的局面。自中国加入 WTO 以来，一方面改善了中国水果出口的外部环境，另一方面随着水果关税的大幅下降，进出口水果对我国起到了经济促进作用。因此进出口收益最大化为目标函数之一

$$\max (\sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} (O_{vsij} - T_{vsij}) U_{vsij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} (O_{fsij} - T_{fsij}) U_{fsij})$$

其中：

$O_{vsij}$ ：各个省各蔬菜出口价格；  $O_{fsij}$ ：各个省各水果出口价格；

$U_{vsij}$ ：各个省各蔬菜出口价格；  $U_{fsij}$ ：各个省各水果出口价格；

### 9.2.2 确定约束条件

**约束条件一：**人们花费在果蔬上的金额存在一个花费上限，大多数情况，果蔬花费占工资的 10%。全国人均果蔬花费额应该低于花费上限  $C_{\max}$ 。

$$(\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vsij} x_{sij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fsij} y_{sij}) / N_s \leq C_{\max}$$

**约束条件二：**水果和蔬菜的多样性限制。

$$\sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} > 0, \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij} > 0$$

**约束条件三：**感官度是一个因人而异，且变化范围较大的指标。但是人均感官度依然存在一个感官下界。所有事物的感官水平必须在这个感官下界之上。

$$\frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} E_{vsij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij} E_{fsij}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij}} \geq E_{\min}$$

其中， $E_{\min}$ ：感官度下界。

**约束条件四：**基于每个营养素的含量均在一定的范围内才能保证健康的摄入量。因此，营养素的含量存在着上下限的约束。

$$l_{bk} \leq (\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} H_{vijk} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij} H_{fijk}) / N_s \leq l_{uk}$$

其中， $l_{uk}$ ：第 k 种营养素的日均摄入量上界；

$l_{bk}$ ：第 k 种营养素的日均摄入量下界；

**约束条件五：**每个省的果蔬数量应满足非负约束。

$$x_{sij} \geq 0, y_{sij} \geq 0$$

**约束条件六：**各个省果蔬种植面积应低于该省的种植总面积<sup>[11]</sup>。

$$\sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} A_{fsij} + \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} A_{vsij} \leq A_s$$

综上所述，果蔬生产规模调整模型为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} H_{vij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij} H_{fij} \right) / N_s, \quad \left( \begin{array}{l} k = 1, 2, \dots, N_y \\ s = 1, 2, \dots, N_s \end{array} \right) \\ \min \left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vsij} x_{sij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fsij} y_{sij} \right) / N_s \\ \max \left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} (D_{vsij} - T_{vsij}) C_{vsij} A_{vsij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} (D_{fsij} - T_{fsij}) C_{fsij} A_{fsij} \right) \\ \min \left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} A_{vsij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} A_{fsij} \right) \\ \max \left( \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} (O_{vsij} - T_{vsij}) U_{vsij} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} (O_{fsij} - T_{fsij}) U_{fsij} \right) \end{array} \right.$$

$$s.t. \left\{ \begin{array}{l} \left( \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} D_{vsij} x_{sij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} D_{fsij} y_{sij} \right) / N_s \leq C_{\max} \\ \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} > 0, \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij} > 0; x_{sij} \geq 0, y_{sij} \geq 0 \\ \frac{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} E_{vsij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij} E_{fsij}}{\sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij}} \geq E_{\min} \\ l_{bk} \leq \left( \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} x_{sij} H_{vijk} + \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} y_{sij} H_{fijk} \right) / N_s \leq l_{uk} \\ \sum_{j=1}^{M_f} \sum_{i=1}^{N_{fj}} A_{fsij} + \sum_{j=1}^{M_v} \sum_{i=1}^{N_{vj}} A_{vsij} \leq A_s \end{array} \right.$$

### 9.2.3 模型求解

建立新的基于系统动力学的果蔬生产规模调整模型，运用 matlab 软件进行编程求解，得到全国八个区域分别在四个季节中，主要果蔬的年合理消费量的变化情况。以西北地区为例，将 2014 年果蔬年合理消费量与之前的消费量进行对比得到如表 9.4 所示。

表 9.4 西北地区果蔬年合理消费量对比

|    |    | 春季 |        | 夏季  |       | 秋季 |        | 冬季 |       |
|----|----|----|--------|-----|-------|----|--------|----|-------|
| 西北 | 水果 | 杏子 | 142.35 | 西瓜  | 167.9 | 葡萄 | 164.25 | 核桃 | 182.5 |
|    |    | 桑葚 | 215.35 | 哈密瓜 | 167.9 | 香瓜 | 138.7  | 大枣 | 175.2 |
|    |    | 杏子 | 159.75 | 西瓜  | 178.5 | 葡萄 | 176.98 | 核桃 | 194.2 |
|    |    | 桑葚 | 248.3  | 哈密瓜 | 180.6 | 香瓜 | 140.7  | 大枣 | 180.5 |

|    |    |    |        |     |       |     |        |     |       |
|----|----|----|--------|-----|-------|-----|--------|-----|-------|
| 西北 | 蔬菜 | 洋葱 | 251.85 | 木耳  | 277.4 | 红薯  | 273.75 | 白菜  | 292   |
|    |    | 芹菜 | 324.85 | 西红柿 | 277.4 | 地瓜叶 | 248.2  | 胡萝卜 | 284.7 |
|    |    | 洋葱 | 260.58 | 木耳  | 299.9 | 红薯  | 289.67 | 白菜  | 298   |
|    |    | 芹菜 | 333.95 | 西红柿 | 287.6 | 地瓜叶 | 254.7  | 胡萝卜 | 296.7 |

由表 9.4 可知，西北区域的果蔬年合理消费量均有所增加，说明西北区域的人们受到西部计划的促进，生活和经济水平都得到了改善，政府对其实施了补贴获其他专项治理。由此可见，实施国家宏观战略后，人们生活水平有所提高，营 养素均衡的意识大大加强。

### 9.2.4 结果分析

基于系统动力学分析果蔬生产规模调整模型，得到营养摄入量指标预测图、 消费指标预测图、感官舒适度预测图。

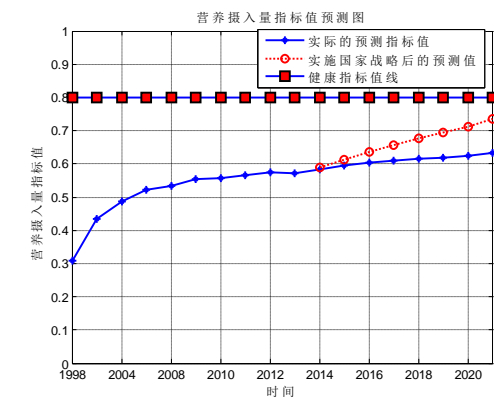


图 9.2 营养摄入量指标预测图

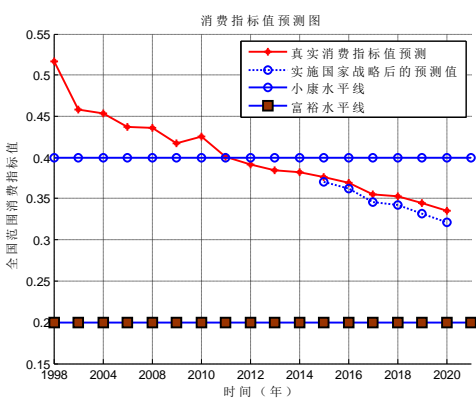


图 9.3 消费指标预测图

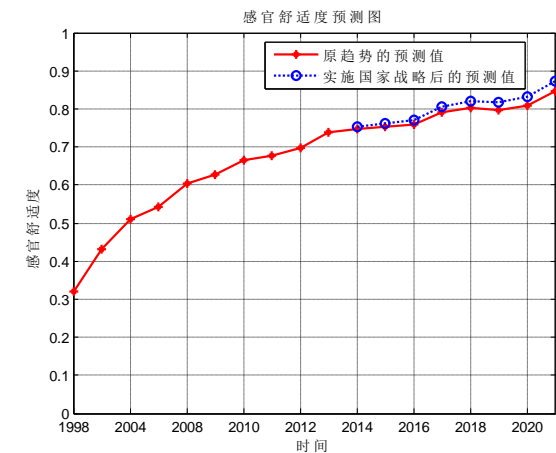


图 9.4 感官舒适度预测图

由图 9.2 可知，营养摄入量预测值在实施国家战略前缓慢趋于健康指标，在 实施国家战略之后，指标值迅速上升，预计于 2020 年达到健康指标值。由图 9.3 可知，消费指标值在实施国家战略后，从 2014 年开始，逐渐远离小康水平线， 快速趋于富裕水平线。由图 9.4 可知，实施国家战略后的感官舒适度由 0.75 增加 至 0.9，比未实施战略增加了 0.1。

这意味着在国家宏观战略后，政府认清形势，加大果蔬科研与推广投入，调



整供给结构,同时也对居民加强教育和指导力度,居民的生活水平得到明显提高。但是力度依然不够满足快速进入健康水平的状态,需要一个长期的发展过程,所以,需要政府加强对营养均衡摄入的引导和教育。

9.3 战略调整方案

通过实施国家宏观战略后,我国居民主要的水果和蔬菜产品的按年度合理人均消费量发现了变化,西北地区的人均消费量得以增加,华中地区的人均消费量保持稳定。不同的地区根据自身经济状况和个人思想觉悟的不同,恩格尔系数会有很大的不同,营养素健康指数不尽相同。

表 9.5 2020 调度前与调度后恩格尔系数(%):

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 省区  | 内蒙古   | 北京    | 山西    | 河北    | 天津    | 吉林    | 宁夏    | 河南    | 浙江    | 江苏    | 上海    |
| 调度前 | 26.48 | 29.46 | 30.09 | 32.16 | 34.96 | 26.95 | 33.48 | 31.19 | 34.33 | 35.03 | 32.57 |
| 调度后 | 22.82 | 25.44 | 27.91 | 31.13 | 33.07 | 26.39 | 30.11 | 30.17 | 31.08 | 34.06 | 28.85 |
| 省区  | 辽宁    | 甘肃    | 黑龙江   | 陕西    | 山东    | 广东    | 湖南    | 青海    | 新疆    | 安徽    | 广西    |
| 调度前 | 34.08 | 34.01 | 32.48 | 33.91 | 30.70 | 31.09 | 32.53 | 37.77 | 34.38 | 35.62 | 34.41 |
| 调度后 | 32.68 | 33.22 | 31.47 | 29.44 | 30.10 | 30.68 | 29.21 | 34.43 | 32.18 | 31.95 | 33.26 |
| 省区  | 福建    | 云南    | 江西    | 贵州    | 湖北    | 四川    | 重庆    | 海南    | 西藏    | 台湾    |       |
| 调度前 | 36.39 | 35.89 | 35.76 | 38.28 | 39.04 | 40.22 | 39.14 | 41.64 | 48.46 | 19.97 |       |
| 调度后 | 33.36 | 32.87 | 34.46 | 36.01 | 38.74 | 40.00 | 37.02 | 38.53 | 44.72 | 19.97 |       |

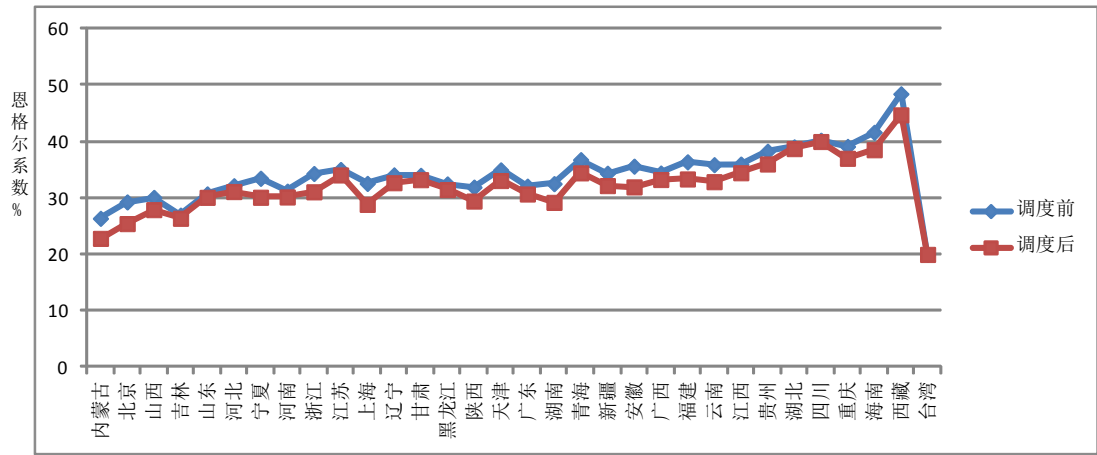


图 9.5 2020 年前后各个地区的恩格尔系数变化表

由表 9.5 和图 9.5 可知,2020 年前后,所有地区的恩格尔系数均下降,说明随着收入的增加,人们用于食品消费的绝对金额也会相应增加,而食品支出占生活消费总支出的比重即恩格尔系数呈逐步下降趋势。

具体的调整战略见表 9.6 和表 9.7。

表 9.6 七个区域的水果调度量

|               |       |      |       |       |       |       |       |
|---------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 水果调度量<br>(万吨) | 东北    | 华北   | 西北    | 华东    | 西南    | 华南    | 华中    |
| 东北            | 0     | 7.89 | 4.84  | 7.39  | 5.92  | 8.73  | 9.48  |
| 华北            | 15.29 | 0    | 17.34 | 12.28 | 18.83 | 12.72 | 12.83 |

|    |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 西北 | 5.83  | 8.27  | 0     | 16.35 | 10.33 | 6.35  | 8.23  |
| 华东 | 34.26 | 44.28 | 45.52 | 0     | 25.72 | 37.49 | 37.37 |
| 西南 | 10.37 | 13.88 | 16.92 | 14.23 | 0     | 12.57 | 4.74  |
| 华南 | 43.27 | 34.28 | 62.93 | 98.39 | 53.29 | 0     | 45.38 |
| 华中 | 53.25 | 48.27 | 33.48 | 24.86 | 65.75 | 28.29 | 0     |

表 9.7 七个区域的蔬菜调度量

| 蔬菜调度量<br>(万吨) | 东北    | 华北    | 西北    | 华东    | 西南    | 华南    | 华中    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 东北            | 0     | 5.65  | 2.67  | 8.89  | 3.71  | 7.81  | 8.62  |
| 华北            | 12.63 | 0     | 16.25 | 15.38 | 14.92 | 13.72 | 19.82 |
| 西北            | 3.43  | 5.64  | 0     | 6.47  | 7.23  | 3.87  | 9.24  |
| 华东            | 67.23 | 34.17 | 34.71 | 0     | 34.89 | 47.32 | 57.07 |
| 西南            | 8.76  | 23.78 | 12.9  | 24.51 | 0     | 13.73 | 5.65  |
| 华南            | 23.67 | 20.78 | 32.9  | 87.45 | 43.09 | 0     | 54.98 |
| 华中            | 42.12 | 38.09 | 23.45 | 14.89 | 45.78 | 23.12 | 0     |

将全国分成的 7 个区域经济状况和盛产水果的情况各不相同,通过对各个地区果蔬的产量和恩格尔系数的分析,得到具体的果蔬调度量。由表 9.6 可知,东北地区调度 5.65 万吨水果到华北地区,调度 2.67 万吨水果到西北地区等等。由表 9.7 可知,东北地区调度 7.89 万吨蔬菜到华北地区,调度 4.84 万吨蔬菜到西北地区,西北地区调度 3.43 万吨蔬菜到东北地区等等。

## 十 中国果蔬发展战略研究报告

确保全国居民营养健康，是中国发展的重要目标之一。预测结果显示，如果不进行合理的食物消费干预，我国居民的食物消费与营养发展会偏离合理膳食营养模式。为了达到增强国民体质的目的，食物生产、加工、消费应该从营养健康的角度进行优化，因此就个人观点提几点建议。

**1.加强果蔬消费知识的宣传普及。**根据营养摄入量均衡指标预测图(图 7.1)，在 2014~2020 年，营养摄入量指标由 0.6 增加到 0.63，低于健康指标 0.8。健康科学的饮食单靠市场机制是无法形成的，政府应积极主动引导居民树立营养均衡的意识，加强食物营养与合理果蔬消费知识的宣传普及。

**2.建立蔬菜种植补贴制度。**根据七个区域水果的调度量(表 9.6)，全国七个区域每年的动态调度量直接影响着我国果蔬产业的发展，2020 年，预计东北应调度水果 37.35 万吨到其他六个区域。这就需要政府建立蔬菜种植补贴制度，如调度差旅费，路途保险费等政策性补贴。

**3.加强技术研究及基础设施建设工作。**根据各地区果蔬的种植面积(表 9.1)，全国的种植面积有限，尤其是华中地区，2012 年种植面积  $1.9 \times 10^3$  公顷，这与我国是一个人口大国的基本国情有着直接关系，人均占有面积少。基于这种现状，政府部分应增加财政对果蔬产业的科技投入，加强科学技术研究工作，以提高果蔬产品的科技含量，推动增长方式的转变。另外，加强以水利建设和节水工程为核心的基础设施建设工作，间接减少农民的成本支出。

**4.制定进出口贸易优惠政策。**根据进出口贸易情况(表 9.2)，我国近年来进出口果蔬的种类有限，2012 年，出口萝卜 571 千吨，出口马铃薯 383 千吨，西瓜 47.37 千吨。由此看来，我国进口贸易现状不容乐观。应制定优惠政策，吸引外资，加快落实有关外商直接投资我国果蔬加工领域的优惠政策，适当调整果蔬生产、加工、流通、营销和对外贸易中的有关税费。

**5.建设创新快捷体系。**根据果蔬品种优选仿真 GUI(图 8.3)，只需输入基本信息，通过已有数据库进行搜索，可得到量身定制的果蔬优选方案。政府可加大投资，建设方便快捷的渠道，进而促进营养素均衡发展。

**6.开展质量认证体系建设。**食物安全问题是关系民生的重中之重。相关部分应加快蔬菜技术标准体系建设，积极开展质量认证体系建设，强化蔬菜检验体系建设，严格质量健康，全面检测指导，做到赏罚分明，才能促进果蔬标准化建设发展。

随着社会快速发展，果蔬应尽量想营养保健型转化，向“绿色食品”型转化，进一步重视无公害果蔬问题，同时加强无公害果蔬生产的指导语推广工作。

加强果蔬体系的建设是一个循序渐进的过程，只要政府加大投资，积极支持，用户积极响应，我国的果蔬发展状况将会一片光明。

---

## 十一 模型的评价与推广

### 11.1 模型的评价

#### 优点

(1) 对问题进行求解时, 采用样本到聚点中心的最大、最小和平均距离作为检验指标对聚类法进行检验, 结果令人满意。

(2) 搭建 GUI 友好界面, 为用户寻找最优营养搭配方案提供了方便快捷有效的方式, 体现了健康饮食基础上的人性化的一面。

(3) 使用系统动力学对果蔬生产规模调整模型进行分析, 选取了恰当的规划指标, 得到结果与预期情况吻合度好。

#### 缺点

(1) 由于涉及到全国各地不同种类的蔬菜和水果, 存在着数据量大的特点, 对数据的搜集可能存在一定的误差, 计算得到的结果有小范围的偏差。

### 11.2 模型的推广

本文构建的趋势外推法模型和 BP 神经网络法模型除了对果蔬消费量进行预测外, 还可运用于人口预测、粮食消耗量预测以及销售营业额等其他预测方面。系统动力学模型可以用来解决具有很多影响因素的复杂问题, 如环境污染, 心理教育等方面。该模型适用性强, 使用面广。

---

## 参考文献

- [1]张车伟.营养、健康与效率[D].中国社会科学院研究生院,2001.
- [2] 农业经济统计[S].中国农业年鉴.
- [3]汪晓银.中国蔬菜生产、消费与贸易研究.——一个供需平衡的计量经济分析框架[D].华中农业大学.2004,6.
- [4] 张峭,杨霞. 中国水果消费现状分析及其预测[J]. 农业展望.2006,(8).
- [5] 骆建忠. 基于营养目标的粮食消费需求研究[D].中国农业科学院,2008.
- [6] 王德明,王莉,张广明. 基于遗传 BP 神经网络的短期风速预测模型[J]. 浙江大学学报(工学版),2012,05:837-841+904.
- [7] 李哲敏. 中国城乡居民食物消费与营养发展的趋势预测分析[J]. 农业技术经济.2008,(6).
- [8]李锁平. 中国蔬菜产业的经济学分析与政策取向研究[D].中国农业科学院,2006.
- [9] 刘永,郭怀成. 湖泊生态系统动力学模型研究进展[J].应用生态学报.2005,16(6).
- [10]唐华俊,李哲敏.基于中国居民平衡膳食模式的人均粮食需求量研究[J].中国农业科学,2012,11:2315-2327.
- [11] 许世卫,李哲敏. 以营养健康为重点目标的农业生产结构调整战略[J]. 农业经济问题.2006,(12).