

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：

人体营养均衡日益受到国家和居民的重视，其中矿物质无机盐、维生素、膳食纤维对人体新陈代谢有着举足轻重的地位，是人体所需营养素的重要组成部分。而蔬菜与水果中含有丰富的维生素、矿物质和膳食纤维。另一方面，我国居民存在喜食、饱食、偏食等不健康的饮食习惯。为此党中央、国务院高度重视果蔬产业发展，因而从人体营养健康角度研究中国果蔬发展战略相当有必要。

本文在此背景下，以收集统计数据为基础，建立数学模型解决了以下问题。

问题一要求选出主要的水果和蔬菜，用多种方法建立数学模型对居民消费量进行估计，研究其发展趋势。为此，首先依据人体对营养素的正常需求，筛选出能够满足这些需求的水果和蔬菜；其次，考虑其产量和常见性，筛选出 10 种主要水果和 10 种主要蔬菜，分别为：苹果、橘子、梨子、香蕉、李子、大枣、芒果、草莓、柚子、猕猴桃；大白菜、土豆、西红柿、黄瓜、萝卜、茄子、菠菜、胡萝卜、生菜、南瓜。主要品种产量之和占各自总产量的比例达到 81.99% 和 74.11%，证明主要品种选取是合理。对于消费量的估计，选用了两种方法：第一种是考虑产量、损耗率和进出口量建立模型：

$S_i = x_i \times (1 - a_{1i}) \times (1 - a_{2i}) \times (1 - a_{3i}) + C_{进口i} - C_{出口i}$ ；第二种是考虑果蔬能够提供的营养素比

例及人体营养素摄入现状建立模型： $W_j \times r_{ij} = \sum_{i=1}^n S_i \times U_{ij}$ 。对比分析两个模型估计得到的居民消费量，可知模型二更优。

问题二要求评价我国居民营养素的年摄入水平是否合理，按照果蔬近期消费量的趋势，预测 2020 年我国居民的人体健康状况是好转还是恶化。为此，我们先是人口比例作为权重，算出人体营养素平均摄入量的现状；然后与人体健康所需要的营养素参考值进行对比，得知中国居民对钙、铁、维生素 A 等微量元素摄入偏低，而钠摄入量偏高，营养素的年摄入水平是不合理的。对于 2020 年中国居民的人体营养健康状况，我们先

是用时间序列预测法，预测出 2020 年主要果蔬的消费量，再结合这些消费量能够提供给人体的各种营养素的量，与人体健康所需要的营养素参考值进行对比，得出到 2020 年，我国居民营养健康状况总体趋于恶化，其中城市居民健康状况恶化更为明显，农村居民健康状态恶化情况不明显。

问题三：要求给出主要水果和蔬菜的年度合理消费量，在保障营养素均衡满足健康需要的条件下，使人们的购买成本较低。为此，对主要的水果和蔬菜进行相关性分析和聚类分析，通过相关性分析，得到某些水果和蔬菜之间的相关系数很高，比如说：苹果和芒果之间的相关系数为 0.9091；通过聚类分析将水果和蔬菜分为三类，同类之间可以互换，不同类之间不能互换，例如苹果和梨子分为一类，可以互换。然后，建立了基于分类的 0-1 互换模型；查找出主要水果和蔬菜的价格范围和高产省份，划分出我国水果和蔬菜种植富集区域，建立以人均每年果蔬上花费最小为目标的优化模型，并利用罚函数对模型求解，分区域得出了合理人均年消费量，比如说：对于区域 2，在胡萝卜上的消费量为 61.2kg，最终该区域确定出在果蔬上花费的平均最低成本为 964.2 元。

问题四：要求考虑居民人体的营养均衡需要，顾及居民的购买成本，使种植者能够尽量获得较大收益，还要考虑进出口贸易、土地面积等因素，建立数学模型计算我国居民主要的水果和蔬菜产品的年度人均消费量，并给出 2020 年我国主要水果和蔬菜产品生产的调整战略。为此，我们以居民购买成本达到最低、种植者收益达到最高为目标，以土地种植面积和居民购买成本为约束条件，建立了多目标优化模型。然后使用了时间序列方法预测了进出口贸易和土地面积于 2020 年的情况。接着，基于改进的层次分析法对模型进行求解，得出 2020 年区域与季节相交叉的中国居民主要水果和蔬菜年度人均合理消费量，对于区域 3，在春季居民购买量为 287.5kg，成本在 1405 元左右，苹果种植者收益 8.7 万元。据此，给出了我国果蔬生产的调整战略，体现为福建、广东等地南菜北运；早春菜生产基地为江苏，海南等地；西菜东运。

问题五，建议以高新技术优选水果和蔬菜；开发冷冻保鲜贮运技术；扩大出口贸易为基本目标，根据气候、区位优势以及产业基础，将全国蔬菜产区划分为不同特色区域，有针对性，有目的性的部署生产和调配。完善和健全标准体系，加快标准制修订和推广应用，重点制定农药残留、重金属等污染物限量安全标准及其检测方法。

关键词：营养均衡；果蔬发展；时间序列预测；多目标优化

# 1 问题的来源

## 1.1问题的背景

人体需要的营养素主要有蛋白质、脂肪、维生素、矿物质、糖和水。其中维生素对于维持人体新陈代谢的生理功能是不可或缺的，多达 30 余种，分为脂溶性维生素（如维生素 A、D、E、K 等）和水溶性维生素（如维生素 B1、B2、B6、B12、C 等）。矿物质无机盐等亦是构成人体的重要成分，约占人体体重的 5%，主要有钙、钾、硫等以及微量元素铁、锌等。

水果和蔬菜是重要的农产品，主要为人提供矿物质、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。然而多数中国居民喜食、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。

协调水果和蔬菜生产、水果和蔬菜消费与居民营养三者之间的关系是转变水果和蔬菜发展方式的必然要求，也是大幅度改善居民营养水平、提高国民整体素质、构建和谐社会的迫切需要。在当前水果和蔬菜生产与消费、水果和蔬菜消费与营养改善不完全对应的条件下，研究中国果蔬发展战略，建立起营养引导消费、消费指导生产的水果和蔬菜生产模式，对合理利用水果和蔬菜生产资源、转变水果和蔬菜供需平衡方式、确保水果和蔬菜安全整体目标的实现具有重要现实意义。

## 1.2问题的重述

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。需要完成以下几项任务：

第一，从附件表格中筛选出选取主要的水果和蔬菜品种进行研究，要求超过总产量的 90%，所含营养素满足研究的需要。并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。

第二，结合为保障人体健康所需要的各种营养成分的范围（见附件和参考文献）和前面预测的人均消费结果，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量是否合理。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？

第三，考虑水果和蔬菜的相似性和差异，以及价格的差异，在保证营养均衡满足健康需要条件下，解决如何选择消费产品。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（假定各品种价格按照原有趋势合理变动）满足自身的营养健康需要。

第四，一方面要考虑到居民人体的营养均衡，并使营养摄入量尽量在合理范围内；

另一方面要顾及居民的购买成本，使其购买成本尽量低；同时还要使种植者能够尽量获得较大收益；而且，还要考虑进出口贸易、土地面积等其他因素。请基于上述考虑，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。

第五，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。

## 2 问题的分析

**对于问题一：**分析我国官方公布的数据如中华人民共和国农业部种植管理司和国外公布的数据如世界粮农组织数据库等，均不完整、缺失较为普遍，而且品种、口径不一，因此对数据进行校正、预测等预处理。考虑到我国的蔬菜和水果种类繁多，对于大量的主体，应该选取主要的蔬菜和水果品种进行研究。从人体的营养学健康角度出发，考虑水果和蔬菜主要为人体提供矿物质、维生素、膳食纤维，按照不同年龄段的人体所需营养素量的不同，筛选出主要的矿物质元素和维生素；分别选取各个营养素最富集的水果，然后在选取水果和蔬菜的产量接近于它们总产量的 90% 的约束下，从附件表格中筛选出主要的水果和蔬菜品种。最后通过水果和蔬菜的产量，从损耗率和营养素摄入现状两个方面建立数学模型对其消费量进行估计，研究发展趋势。主要思路如图 1 所示：

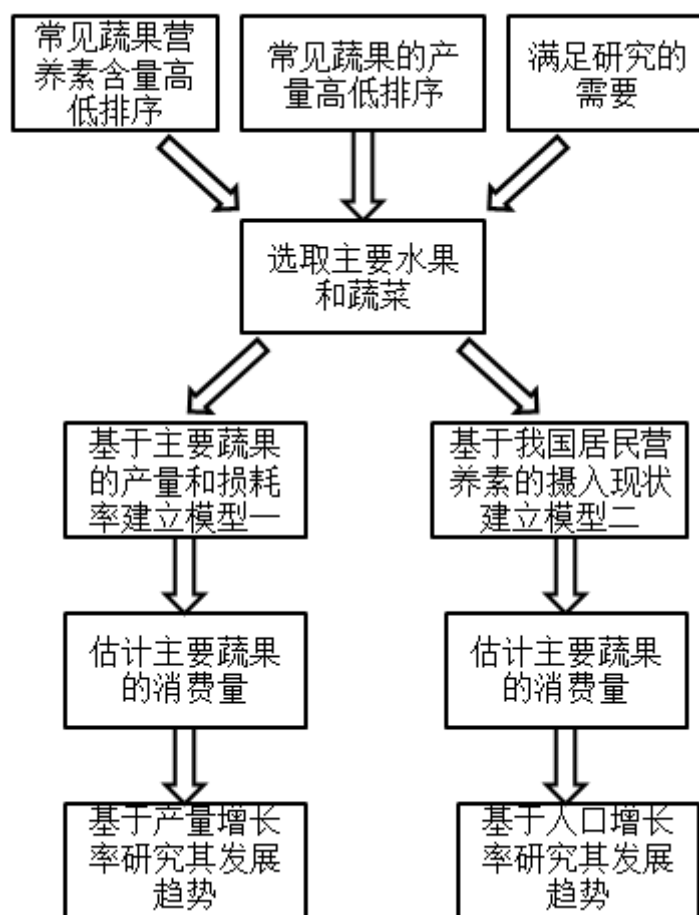


图 1 求解问题一思路流程图

**对于问题二：**考虑到要评价目前我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素的摄入水平，需要对问题一中收集的我国居民矿物质、维生素、膳食纤维的摄入现状数据进行分析，同时需要对人体健康所需要的各种营养成分进行分析，从而选出应该考虑的营养素；在应该考虑的营养素下，计算主要水果和蔬菜提供该营养素的含量；预测该样水果和蔬菜能提供的营养素含量变化趋势，考虑城乡营养素摄入差异，分析至 2020 年，该营养素摄入含量是否趋于好转。主要思路如下图 2 所示：

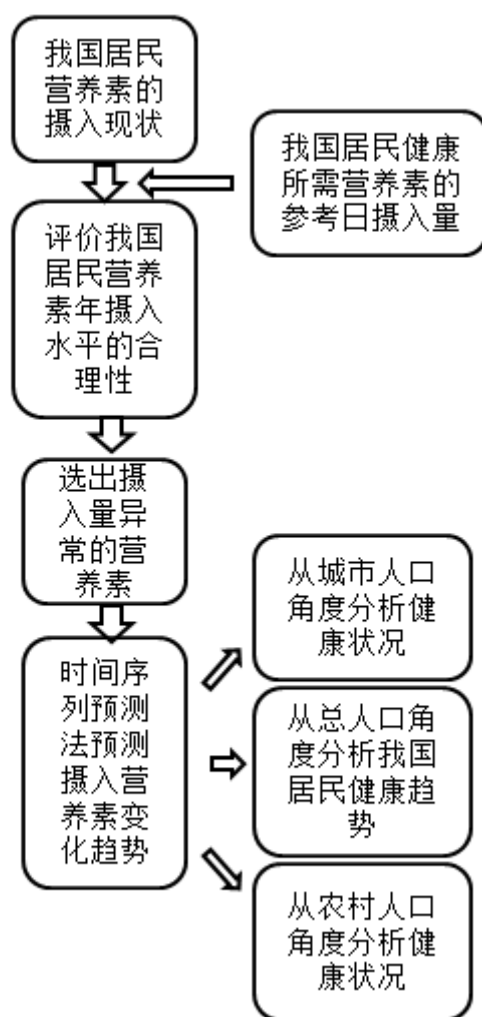


图 2 求解问题二思路流程图

**对于问题三：**不同的蔬菜、水果尽管各种营养素含量各不相同，但营养素的种类大致相近，存在着食用功能的相似性。对选取的主要蔬菜和水果作相关性分析，对水果与水果、蔬菜与蔬菜、水果与蔬菜进行相似性的验证。再考虑水果和蔬菜的异同，对水果和蔬菜进行聚类分析。在此基础上，查找主要果蔬的价格区间，在人体营养均衡的约束下，根据不同区域主要水果和蔬菜的产量，建立以购买成本为目标的函数，并进行优化，提出主要的水果和蔬菜的年度合理人均消费量。主要思路如下图 3 所示。

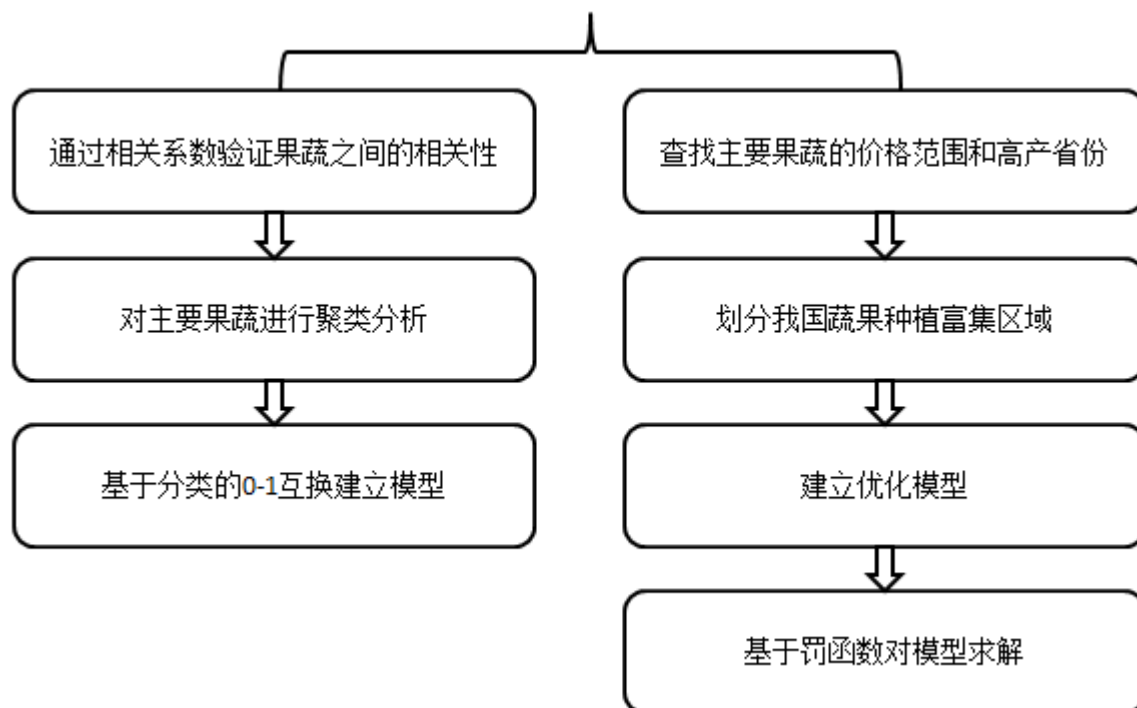


图 3 求解问题三思路流程图

**对于问题四：**在问题三的基础上，考虑种植者利益最大化、主要品种的水果和蔬菜的进出口贸易情况以及我国土地面积等因素，站在国家层面上对居民主要的水果和蔬菜产品按年度合理消费量进行计算。首先，收集历年我国主要品种的水果和蔬菜进出口贸易情况数据，以及历年我国用于种植水果和蔬菜的土地面积情况数据，并且对数据进行预测。建立多目标、多约束条件的综合模型，并对模型进行求解。最后根据预测基础数据，利用模型，预测出 2020 年我国主要品种的水果和蔬菜的年度合理人均消费量，并给出调整战略。主要思路如下图 4 所示。

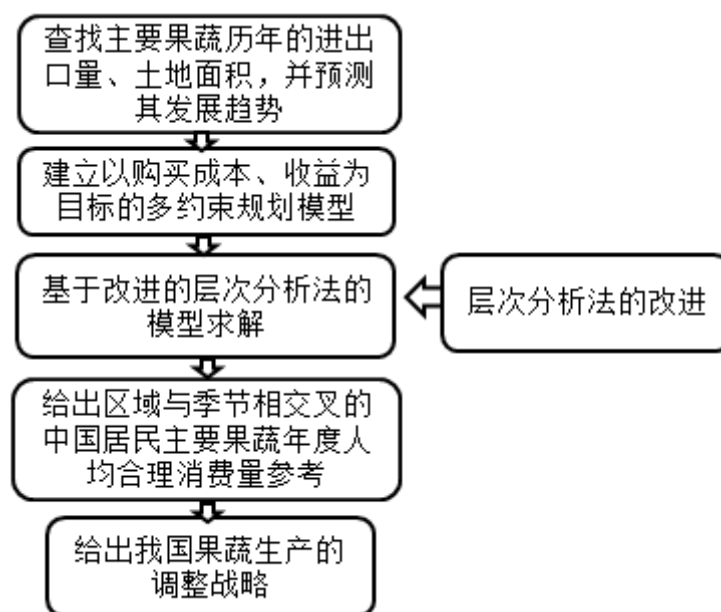


图 4 求解问题四思路流程图

**对于问题五：**综合考虑由前四问所得到的结论，并结合在前面收集的资料加以分析。在以保证较低的购买成本下提高居民人体的营养水平，并提高种植者收益的思考下，站在国家宏观战略的高度上，给相关部门提供一些可供参考的建议。

### 3 符号说明

$a_{1i}$	田间地头到大市场损耗率
$a_{2i}$	大市场到零售市场损耗率
$a_{3i}$	零售市场到餐桌的损耗率
$B_i$	种植者生产第 <i>i</i> 种水果或蔬菜的成本，元
$C_i$	当年第 <i>i</i> 种果蔬总产量，t
$E_i$	第 <i>i</i> 种果蔬每 100g 所提供的能量，kJ
$E_{v,min}$	蔬菜每日提供能量下限，kJ
$E_{v,max}$	蔬菜每日提供能量上限，kJ
$E_{f,min}$	水果每日提供能量下限，kJ
$E_{f,max}$	水果每日提供能量上限，kJ
$F$	每人每日花费在果蔬上的金额，元
$N_{jmin}$	第 <i>j</i> 种营养素摄入量下限，mg

### 4 模型假设

- 1) 假设近年内不会发生严重的经济危机、自然灾害或者其他不可预见却危害极大的事件，政治局势稳定。
- 2) 假设模型中所涉及的数据都是原始有效，不考虑特殊情况的存在。
- 3) 忽略除本文选定的因素外其他的因素对预测的影响。
- 4) 假设中国经济运行平稳，国外经济不出现大的波动。

### 5 数据预处理

#### 5.1数据来源

考虑到本国数据的真实性和完整性，本文数据来源以中华人民共和国农业部种植业管理司为主，国内其他数据及国外数据库为辅。但是，本文研究所需数据依然存在缺失，故需要对数据进行处理。

#### 5.2数据缺失处理

对于数据缺失，本文主要运用了三种校正办法。

一、对于个别数据缺失，例如在农业部种植业管理司查询的菠菜2007年产量缺失，但是由于2006年及2008年的数据都有，故取2006年及2008年菠菜产量的平均值作为2007

年产量的补充；

二、对于大量数据缺失的品种，如草莓的产量，在所选数据空中只能找到1993、1994以及2004年的产量，则运用matlab对可用数据进行曲线拟合，同时根据1993年到1994年的产量增长率，估计1995年的产量，再根据1994年到1995年的产量增长率估计1996年的产量，以此类推，通过两种方法对缺失数据进行补充；

三、对于主数据库中沒有某品种果蔬任何数据的，采用世界粮农组织数据库等辅助数据库的数据进行校正补充，补充前校正。先找到在两个数据库（国内为农业部种植业管理司，国外为界粮农组织数据库）中数据均完整的品类，例如：苹果、梨、香蕉等数据，对比同类果蔬在不同数据库的数据差异，然后将国外数据校正后的结果作为数据补充。通过计算比较可知苹果、梨、香蕉国外数据比国内数据分别多出0.06%、1.56%、4.33%，得出不同数据库的平均差异百分比2.43%。

部分数据处理结果如表1所示。

表1 水果产量数据校正情况

年份	2006	2008	2010
芒果	4091332	3976716	<b><u>4079609</u></b>
苹果	26059300	<b><u>29846610</u></b>	33263290
大枣	3052860	<b><u>3634071</u></b>	4468335
李子	<b><u>5248882</u></b>	5159399	5588546

说明：斜体表示该处数据经过了处理

### 5.3数据异常处理

对于附件 1 中水果和蔬菜营养素成分含量数据存在明显异常，通过查阅文献，考虑数据真实性，对数据进行处理。例如，将茄子维生素 E 含量 1013mg 校正为 1.13mg，如表 2 所示。本文中所有的异常数据都作此处理。

表2 蔬菜营养素含量（单位mg）

品种	大白菜	土豆	西红柿	黄瓜	萝卜	茄子	菠菜	胡萝卜	生菜	南瓜
维生素 C	47	27	19	9	18	5	32	13	13	8
维生素 E	0.92	0.34	0.57	0.46	1	<b><u>1.13</u></b>	1.74	0.41	1.02	0.36
烟酸	0.8	1.1	0.6	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4

说明：斜体表示该处数据经过了处理

## 6 模型的建立与求解

### 6.1问题一



问题一要求建立多种数学模型对蔬菜和水果的消费量进行估计，并研究发展趋势。通过从水果和蔬菜的产量及损耗率、水果和蔬菜的产量和居民营养素摄入现状两个方面入手，建立两种模型。首先对常见的水果和蔬菜的产量数据进行收集、分析、处理，根据营养素的富集程度进行排序；然后收集整理中国居民矿物质、维生素、膳食纤维摄入现状；并收集分析人口数量普查数据。

## 6.1.1 主要水果和蔬菜品种的选择

### 6.1.1.1 主要营养素种类确定

因为不同年龄段的人体所需营养素量不同，根据不同年龄段的人口分布比例，确定出营养素所需含量加权平均数：

$$M = m_{1i} \times 1/78 + m_{2i} \times 11/78 + m_{3i} \times 32/78 + m_{4i} \times 34/78$$

其中，1/78,11/78,32/78,34/78 为比例系数，即不同年龄段的人口占总人口比，不同年龄段人口数量见附件。

式中， $m_{1i}$ ， $m_{2i}$ ， $m_{3i}$ ， $m_{4i}$  分别为为婴儿、儿童、少年和成年、中老年所需第*i*项营养素含量。

求出人体所需每项营养素的加权平均数，并利用 Excel 进行排序，考虑到水果和蔬菜所含的营养素要满足问题二、问题三、问题四的研究需要，筛选人体所需的含量较高的营养素作为主要矿物质元素和维生素种类，如表 3，表 4 所示。

主要矿物质种类：钾、钠、钙、磷、镁、铁、锌。

主要维生素种类：维生素 C、维生素 E、烟酸、泛酸、维生素 B2、维生素 B1、维生素 B6。

表 3 主要矿物质

矿物质	钾量	钠量	钙量	磷量	镁量	铁量	锌量
婴儿	600.0	350.0	350.0	225.0	50.0	5.2	4.8
儿童	1375.0	937.5	783.3	662.5	187.5	12.7	12.8
少年和成年	2125.0	2000.0	962.5	850.0	362.5	21.7	17.0
中老年	2000.0	2200.0	900.0	700.0	350.0	15.0	15.0
加权平均值	1945.2	1916.2	902.1	750.2	328.4	17.3	15.4

表 4 主要维生素

维生素	维生素 C	维生素 E	烟酸	泛酸	维生素 B2	维生素 B1	维生素 B6
婴儿	45.000	3.000	2.500	1.750	0.950	0.250	0.200
儿童	75.000	6.300	8.500	3.500	0.875	0.850	0.675
少年和成年	107.500	14.000	13.850	5.250	1.370	1.380	1.280
中老年	100.000	14.000	13.500	5.000	1.300	1.350	1.200
加权平均值	98.846	12.773	12.797	4.849	1.264	1.278	1.146

6.1.1.2 主要水果和蔬菜种类选取

题目附件中给出常见水果和蔬菜的种类，利用 Excel 根据常见水果和蔬菜所含的每种主要营养素的含量高低进行排序，选择每种主要营养素对应的含量较高的前三种水果和蔬菜，初选出主要水果和蔬菜种类。

在初选出的水果和蔬菜中，剔除产量低以及不常食用的水果蔬菜，增加产量高以及经常食用的水果蔬菜，确定出最终的主要水果和蔬菜品种，并对其进行序号标注。

6.1.1.3 验证主要水果和蔬菜品种选取结果

通过收集的主要水果和蔬菜的产量数据，验证主要水果和蔬菜品种选取结果。验证方法为：①判断主要水果和蔬菜的产量占总产量的比例是否较大；②判断主要水果产量之和是否达到水果总产量的 70%，主要蔬菜产量之和是否达到蔬菜总产量的 70%。表 5 列出主要水果和蔬菜占各自总产量的比例。图 5 和图 6 为主要品种的水果和蔬菜的产量。

虽然我们所选取的主要的水果和蔬菜总计产量没有达到它们总产量的 90%，但是所选取的主要水果和蔬菜的营养素含量和种类基本能够满足研究的需要。

**验证结论：**所选取的主要品种的水果和蔬菜符合要求。

表 5 主要水果和蔬菜占各自总产量的比例（2009 年）

序号	蔬菜	产量（吨）	序号	水果	产量（吨）
1	胡萝卜	15057000	1	芒果	4096031
2	萝卜	40799000	2	香蕉	8833904
3	大白菜	105873000	3	猕猴桃	875125
4	菠菜	17538000	4	苹果	31680790
5	西红柿	45365543	5	大枣	4247773
6	茄子	25885000	6	李子	5315464
7	黄瓜	44204000	7	柚子	2738713
8	土豆	73281890	8	橘子	25211020
9	生菜	12855099	9	梨子	14262980
10	南瓜	6506971	10	草莓	3150000
蔬菜总产量		522679815	水果总产量		122463900
以上品种所占比例		74.11%	以上品种所占比例		81.99%

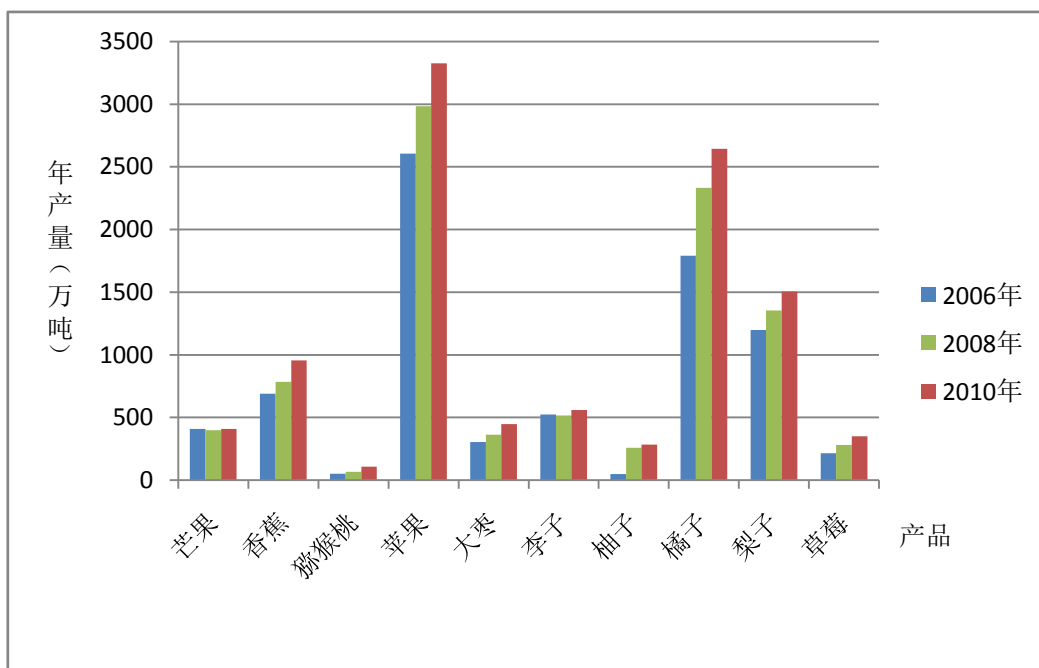


图 5 主要水果产量

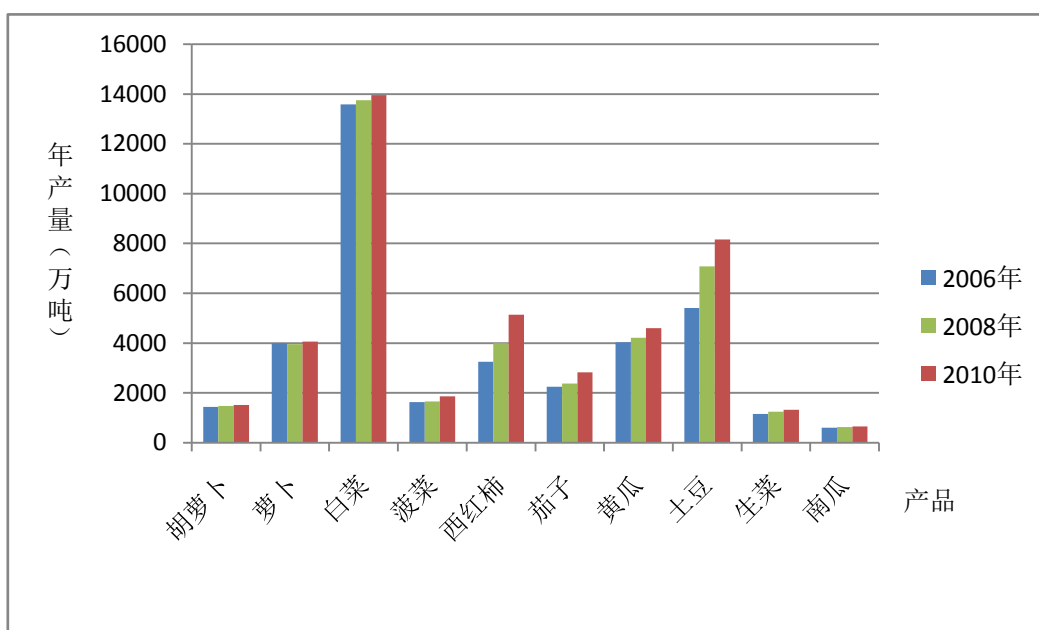


图 6 主要水果产量

## 6.1.2 模型的建立与求解

### 6.1.2.1 模型一

#### 基于损耗率和进出口量的主要果蔬品种消费量估计模型

Step1 水果和蔬菜从田间地头生产出来，需要经过处理、运输、加工，最后被居民消耗，于是基于产量和损耗率的初步估计模型为：

$$S_i = x_i \times (1 - a_{1i}) \times (1 - a_{2i}) \times (1 - a_{3i})$$

$x_i$ : 第*i*种水果或蔬菜的产量;

$S_i$ : 第*i*种水果或蔬菜的初步估计消费量;

$a_{1i}$ ,  $a_{2i}$ ,  $a_{3i}$ : 分别为田间地头到大市场, 大市场到零售市场, 零售市场到餐桌的损耗率。

**Step2** 由于国内生产出的主要水果和蔬菜产品部分会出口到国外, 据中国海关统计, 2010 年我国出口蔬菜 836.37 万吨, 出口额 96.91 亿美元, 同时在某些季节也会从国外进口。因此需要对以上初步估计模型进行修正改进。改进的模型为: 基于损耗率和进出口量的主要果蔬品种消费量估计模型。

$$S_i' = S_i + C_{\text{进口}i} - C_{\text{出口}i}$$

$S_i'$ : 第*i*种水果或蔬菜的最终估计消费量;

$C_{\text{进口}i}$ ,  $C_{\text{出口}i}$ : 第*i*种水果或蔬菜的进、出口量。

表 6 所示为利用模型一估计的 2009 年主要品种的水果和蔬菜消费量。

表 6 主要蔬果消费量 (2009 年) (单位: 吨/年)

品种	产量	田间地头到大市场损耗率	大市场到零售市场损耗率	零售市场到餐桌的损耗率	进口量	出口量	消费量
白菜	138682000	0.155	0.105	0.095	391614	311026	94998553
土豆	73281890	0.06	0.03	0.01	22168	383047	65789364
西红柿	45365543	0.1	0.05	0.05	9095	108097	36749160
黄瓜	44204000	0.06	0.02	0.01	6161	49013	40270666
萝卜	40799000	0.05	0.025	0.03	10440.9	131330.4	36535483
苹果	31680790	0.03	0.01	0.01	299663	1219783	29198712
茄子	25885000	0.09	0.03	0.02	2742	20195	22374263
橘子	25211020	0.1	0.04	0.06	256352	235522	20496212
菠菜	17538000	0.16	0.11	0.09	1974	6195	11927161
胡萝卜	15057000	0.04	0.02	0.045	24362.1	306437.6	13246097
梨子	14262980	0.08	0.03	0.03	38596	463977	11921054
生菜	12855099	0.16	0.1	0.1	35064	68762	8712911
香蕉	8833904	0.21	0.09	0.12	575183	43602	6120191
南瓜	6506971	0.03	0.01	0.01	5465	56432	6191623
李子	5315464	0.05	0.02	0.03	41809	29165	4812880
大枣	4247773	0.05	0.01	0.03	11124	520	3885784
芒果	4096031	0.14	0.04	0.1	22542	7454	3058603
草莓	3150000	0.22	0.1	0.12	4922	223	1950643
柚子	2738713	0.04	0.01	0.01	27299	124755	2479388
猕猴桃	875125	0.14	0.06	0.1	68512	6983	698235
合计	520586303						421416982

### Step3 研究发展趋势

在模型一中，由于主要的水果和蔬菜消费量与产量线性相关，故消费量发展趋势与产量发展趋势完全一致。为了研究发展趋势，根据 2006 至 2010 年的产量数据，通过 Excel 进行曲线拟合，得出主要品种的水果和蔬菜的消费量发展趋势，如图 7、图 8 所示。

从图 2 中可以看出胡萝卜、南瓜消费量以很小的幅度减小，生菜、萝卜消费量基本保持不变，白菜、菠菜、茄子、黄瓜、西红柿、土豆消费量都成逐年增加趋势，消费量增幅由大到小为：西红柿、茄子、土豆、黄瓜、菠菜、白菜。

从图 3 中可以看出所以主要水果消费量都呈增长趋势，增幅由大到小排列为：橘子、苹果、香蕉、梨子、猕猴桃、大枣、草莓、柚子、李子、芒果。

通过五年的数据预测发展趋势，对于水果和蔬菜消费量增幅和减幅不大的趋势较为可信，增幅过大的水果和蔬菜，仅仅近几年趋势较为可信，因为影响消费量的因素很多，例如种植面积、进出口贸易、国家政策、气候原因等，不可能一直处于增长状态。

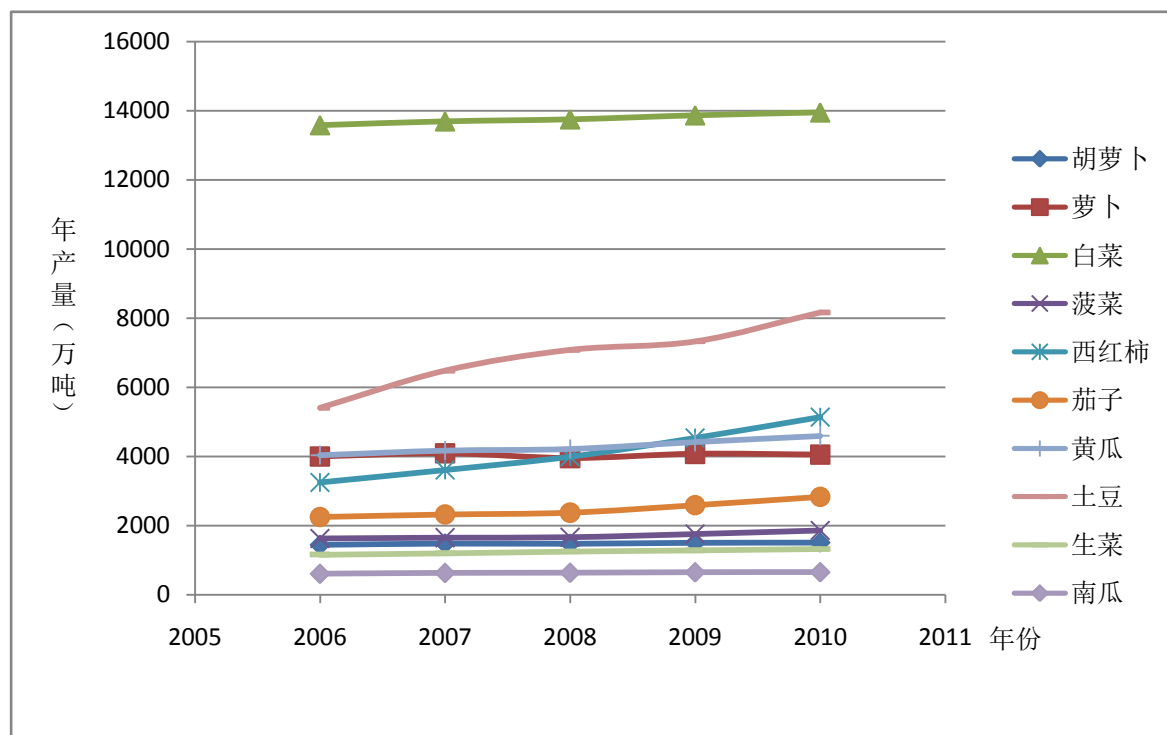


图 7 主要蔬菜消费量趋势

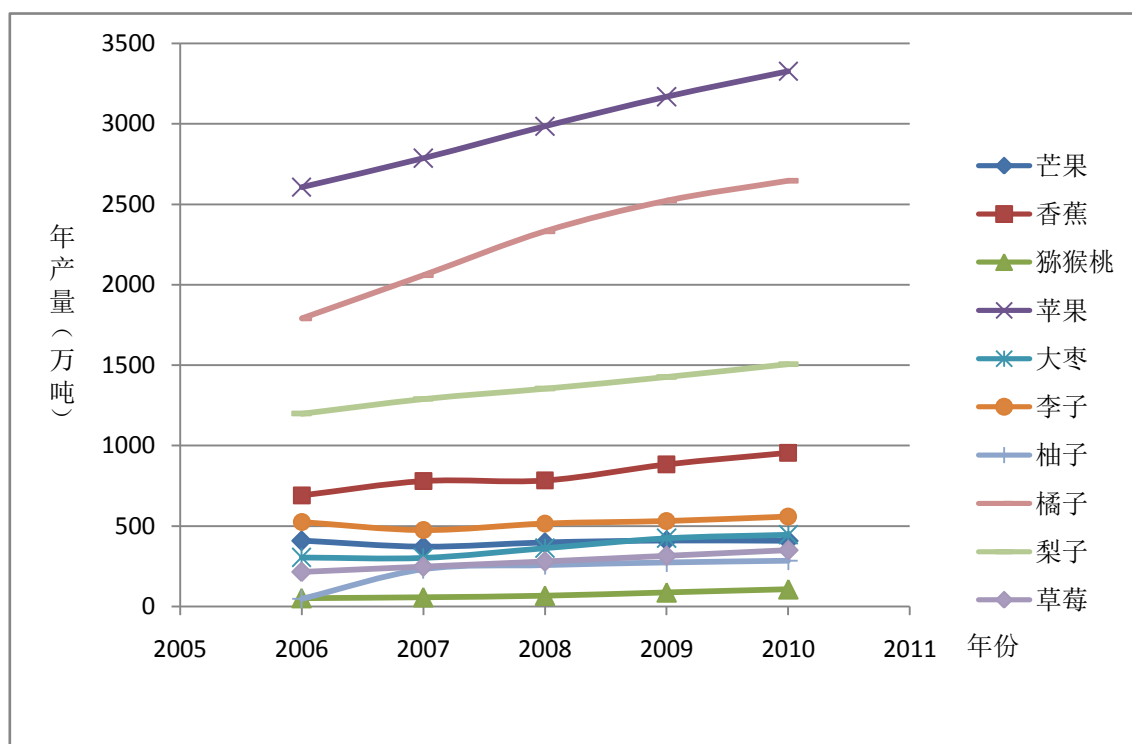


图 8 主要水果消费量趋势

### 6.1.2.2 模型二

#### 基于人体营养素摄入现状的主要果蔬品种消费量估计模型

##### Step1 模型建立

因为人体的营养素摄入量现状可以是查到的，而水果和蔬菜能提供一定比例的营养素，所以我们可以根据人体营养素的摄入量估计主要水果和蔬菜的消费量。因此，同时考虑主要水果和蔬菜产量及人体营养素摄入现状，引入蔬菜水果提供营养素的摄入系数，建立基于人体营养素摄入现状的主要果蔬品种消费量估计模型。

$$W_j \times r_{ij} = \sum_{i=1}^{20} S_i \times U_{ij}$$

式中， $W_j$  我国居民每年摄入第  $j$  种主要营养素的总量； $U_{ij}$  第  $i$  种水果或蔬菜中含有的第  $j$  种主要营养素量； $S_i$  第  $i$  种水果或蔬菜的消费量。 $r_{ij}$  人体从第  $i$  种水果或蔬菜中摄入第  $j$  种主要营养素摄入系数。

特别的， $r_{ij}$  为本模型的关键参数，是人体从第  $i$  种水果或蔬菜中摄入第  $j$  种主要营养素摄入系数。人体摄入的各种营养素成分，从水果和蔬菜中获得的只占一部分，所占比例用  $r_{ij}$  来表示。 $r_{ij}$  值的确定方法为：①根据题目中给出的附件表格——中国食物成分表 2010 版（修正版），确定水果和蔬菜中矿物质、维生素、膳食纤维含量占食物中总含量比例，作为  $r_{ij}$  的初值；②查阅相关文献资料，考虑到人体营养素的实际摄入状况，比较专家分析和文献分析，对  $r_{ij}$  进行修正，给出较为合理的取值，表 7 所示为一种取值方

案<sup>[1]</sup>。

Step2 利用模型二计算主要水果和蔬菜的消费量。

整理数据得出主要水果和蔬菜中主要营养素的含量（数据来自题目附表：常见水果营养成分表，常见蔬菜的营养成分表），以及人体摄入的主要营养素含量现状（数据来源于文献）如表所示，并分阶段计算全国居民一年摄入的营养素总量，如表 8 所示<sup>[2]</sup>。

根据模型二，利用 MATLAB 软件求解出主要水果和蔬菜的消费量，如表 9 所示。

表 7  $r_{ij}$  的取值

	膳食 纤维	维生素 A	维生素 B1	维生素 B2	烟酸	维生素 E	维生素 C	钠	钙	铁
蔬菜 $r_{ij}$	0.3476	0.0182	0.0142	0.0216	0.0156	0.0579	0.0615	0.0002	0.0002	0.0006
水果 $r_{ij}$	0.0001	0.0022	0.0029	0.0031	0.0017	0.0012	0.0147	0.0003	0.0003	0.0002

表 10 全国居民一年摄入的营养素总量（单位：mg）

	儿童	少年和成年	中老年	平均值	每年摄入量 $W_j$
钾量	1186	1832	1699	1572.3333	780919476
钠量	5200	6100	5597	5632.333	2.80E+09
钙量	280	405	418	367.6666667	182606356.1
镁量	211.4	338	308	285.8	141946228.2
铁量	15.5	25	23.1	21.2	10529251.36
锌量	7.7	12.4	11.1	10.4	5165293
维生素 C	70	84.15	80	78.05	38764532
维生素 E	22	36	35.5	31.166667	15479324
烟酸	7	12	12	10.333333	5132182
维生素 B2	0.52	0.83	0.82	0.7233333	359252.8
维生素 B1	0.7	1.14	1	0.9466667	470174.1
维生素 A	0.535	0.668	0.623	0.6086667	302302.1
膳食纤维/g	7.9	12.7	11.6	10.73333	5330847

表 9 由模型二求得的主要水果和蔬菜的消费量（单位：吨）

主要蔬菜 品种	大白菜	土豆	西红柿	黄瓜	萝卜	茄子	菠菜	胡萝卜	生菜
消费量	7762645 0	4101911 5	2539310 1	2474293 4	2283700 5	1448897 9	9816794. 3	8428068. 9	7195567. 5
主要水果 品种	苹果	橘子	梨子	香蕉	李子	大枣	芒果	柚子	猕猴桃
消费量	2989195 0	2378749 3	1345762 8	8335102. 1	5015328. 6	4007924. 7	3864750. 6	2584073. 2	825711.5 1

### Step3 基于人口发展趋势的主要水果和蔬菜消费量发展趋势研究

假设每一年人均主要水果和蔬菜消费情况一致，那么考虑到主要水果和蔬菜的消费量与人口发展趋势成正相关，故可以根据人口增长趋势估计主要水果和蔬菜的发展趋势。从中国统计局中收集过去 10 年来的人口数据，利用 MATLAB 软件拟合出趋势曲线代表主要水果和蔬菜消费量的发展趋势，如图 9、10 所示。并且，比较主要水果和蔬菜消费总量的一次拟合曲线和二次拟合曲线，得出消费总量的二次拟合曲线能更好地拟合出发展趋势<sup>[3]</sup>。

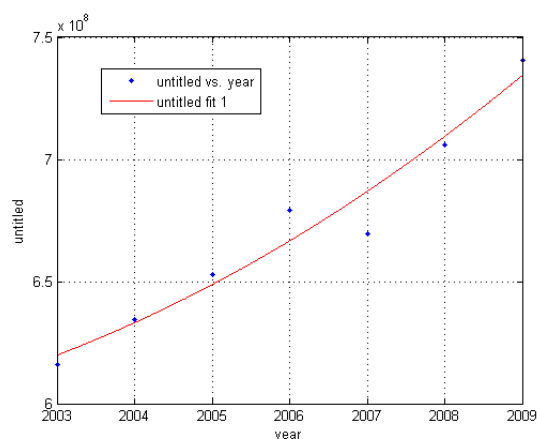
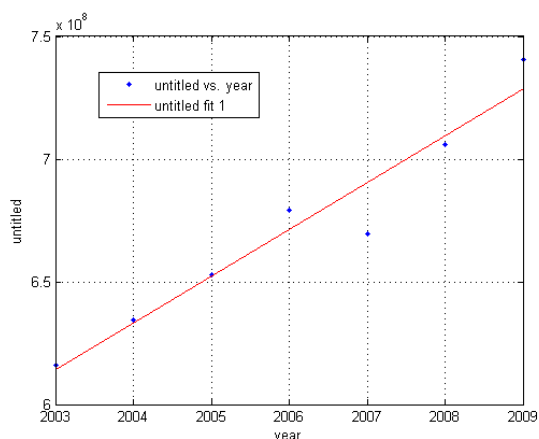


图 9 消费量增长曲线（一次）图 10 消费量增长曲线（二次）

模型一基于产量预测出了每种主要水果和蔬菜消费量的发展趋势，模型二基于人口增长率预测出了主要水果和蔬菜消费总量的发展趋势，综合分析得出主要水果和蔬菜主要消费量成增长的趋势。

## 6.2 问题二

在问题一的基础上，需要对数据进行分析处理，比较营养素摄入现状和人体健康应该摄入的营养素，对我国居民摄入水平进行评价；在此基础上，选取应该考虑的营养素，考虑城乡两个方面，计算主要蔬菜和水果提供该样营养素的含量并进行预测，需要对预测曲线与摄入现状进行比对，得出 2020 年中国的健康状况趋势。



6.2.1 评价目前我国居民营养素摄入水平合理性

因为不同年龄段所需营养素摄入量不同，所以我们分别评价儿童、少年和成年、中老年三个年龄段我国居民营养素的摄入水平合理性。

求解问题一时已经给出我国居民矿物质、维生素、膳食纤维摄入现状（每人/每天），（见表）。另外，从附件 4 和参考文献中整理出人体健康所需要的各种营养成分范围，求得加权平均值，权重确定方法和问题一中相同，结果如表 10 所示。比较我国居民营养素日摄入量现状和营养素参考日摄入量，可以评价目前我国居民营养素摄入水平合理性<sup>[4]</sup>。

评价模型

$$K=\frac{\text{摄入现状的量}-\text{合理摄入量}}{\text{合理摄入量}}$$

- 当  $K \leq -0.5$  时，表示目前摄入量极低，用 SL 表示；
  - 当  $-0.5 < K \leq -0.2$  时，表示目前摄入量偏低，用 L 表示；
  - 当  $-0.2 < K \leq 0.2$  时，表示目前摄入量正常，用 N 表示；
  - 当  $0.2 < K \leq 0.5$  时，表示目前摄入量偏高，用 H 表示；
  - 当  $0.5 < K$  时，表示目前摄入量极高，用 SH 表示；
- 评价结果如表 11 所示。

表 10 不同年龄段营养素参考日摄入量（单位：g）

		儿童	少年和成年	中老年	平均值
矿物质	钾量	1375	2125	2000	2053.13
	钠量	937.5	2000	2200	2086.72
	钙量	783.3	962.5	900	929.01
	镁量	187.5	362.5	350	354.06
	铁量	12.7	21.7	15	18.24
	锌量	12.8	17	15	15.95
维生素	维生素 C	75	107.5	100	103.34
	维生素 E	6.3	14	14	13.90
	烟酸	8.5	13.85	13.5	13.61
	维生素 B2	0.875	1.37	1.3	1.33
	维生素 B1	0.85	1.38	1.35	1.36
	维生素 A	0.8-1.1			
膳食纤维/g		30-40			

表 11 评价我国居民营养素的年摄入水平结果

	钾	钠	钙	镁	铁	锌	维生素	维生素	烟	维生素	维生素	维生素	膳食纤维
--	---	---	---	---	---	---	-----	-----	---	-----	-----	-----	------

	量	量	量	量	量	量	C	E	酸	B2	B1	A	维
儿童	N	SH	SL	N	H	L	N	SH	N	L	N	SL	SL
少年和 成年	N	SH	SL	N	N	L	N	SH	N	L	N		
中老年	N	SH	SL	N	H	L	N	SH	N	L	L		
平均值	N	SH	SL	N	H	L	N	SH	N	L	N		

从评价结果可以看出，钙、锌、维生素 B2、膳食纤维等微量元素摄入不足是我们当前膳食的主要缺陷，同时，处于正常摄入范围的营养素种类太少，因此目前居民营养健康状况不是很好，因此我们建议食物消费量时应当重点改善。

### 6.2.2 基于评价结果的健康状况趋势预测<sup>[5][6]</sup>

基于上表中的评价结果，我们选出摄入量极高和极低、偏高和偏低营养素作为应该重点考虑的营养素：钠、钙、锌、维生素 E、维生素 B2、维生素 A、膳食纤维。根据重点考虑的营养素的变化趋势预测，可以分析出人体营养健康状况趋于好转还是恶化。营养素摄入量的趋势用居民主要种类的水果和蔬菜的消费量趋势表征。

#### 时间序列预测法

本文中用到的预测方法为时间序列预测方法，时间序列预测法是一种历史资料延伸预测，也称历史引伸预测法。是以时间数列所能反映的社会经济现象的发展过程和规律性，进行引伸外推，预测其发展趋势的方法。

利用时间序列资料求出长期趋势、季节变动和不规则变动的数学模型后，就可以利用它来预测未来的长期趋势值  $T$  和季节变动值  $s$ ，在可能的情况下预测不规则变动值  $I$ 。然后用以下模式计算出未来的时间序列的预测值  $Y$ ：

加法模式  $T + S + I = Y$

乘法模式  $T \times S \times I = Y$

图 11 所示为预测结果。

由图可以看出，营养素的摄入量都在逐年上升，对于目前摄入量偏低的几种营养素，到 2020 年人体摄入量可能趋于正常；对于目前摄入量偏高和极高的几种营养素，到 2020 年人体摄入量可能更高，因此健康状况趋于恶化。

至 2020 年，锌、维生素 E、维生素 B2、维生素 A、膳食纤维相对于钠和钙的摄入量，增幅不明显；从钠的摄入量来看，趋于不健康；从钙的摄入量来看，趋于健康；从锌的摄入量看，趋于健康；从维生素 E 的摄入量来看，趋于不健康；从维生素 B2 摄入量来看，趋于健康；从维生素 A 和膳食纤维来看，趋于健康，不过增幅过小。

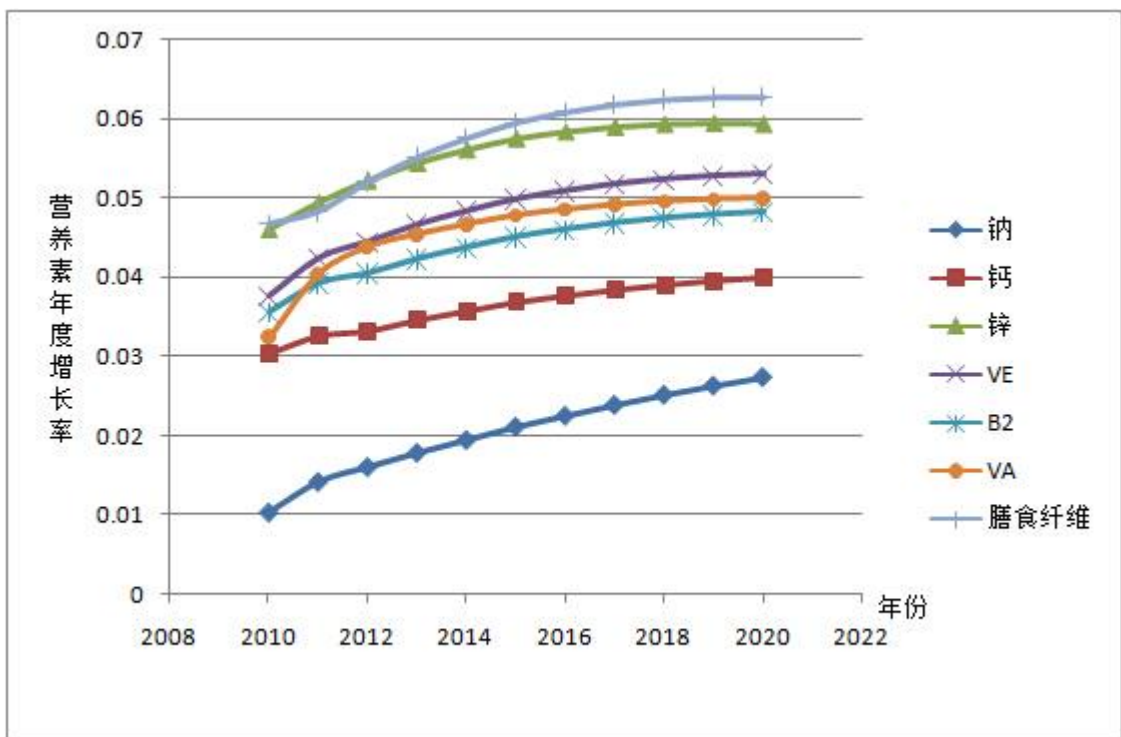


图 11 几种营养素摄入量预测

另一方面，由于全国城乡居民的食物摄入量结构存在明显差异，因此针对城市居民和农村居民分别讨论健康状况的好转或恶化情况。图 12 所示为城乡居民水果和蔬菜食用占总食物比例的预测情况。

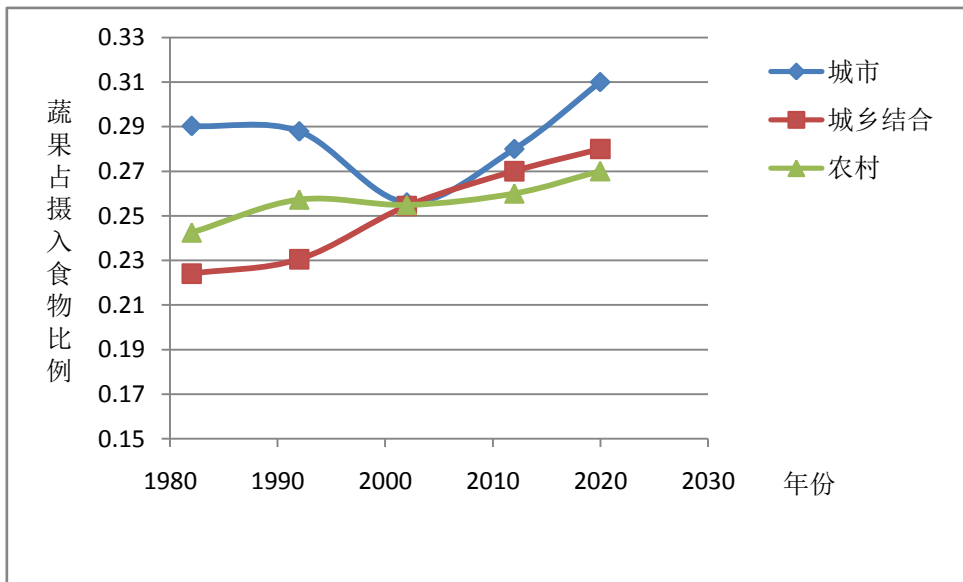


图 12 城乡蔬果占摄入食物比例变化趋势

由图 12 分析可知：①由于农村生活条件的改善，城乡差异逐年减小；②城市居民的水果和蔬菜消费在前几年呈下降趋势，但随着营养结构合理性的认知程度增加，会越来越注重摄入更多的水果和蔬菜，减少其他食物食用比例，因此，预测的城市居民的健康状况应该是先区域恶化，再趋于好转；③农村居民的水果和蔬菜摄入量一直呈现上升趋势，但受到食物结构的制约，不会一直上升，最后应该区域平缓，因此预测的农村居

民的健康状况应该是有所好转的<sup>[7][8][9][10]</sup>。

### 6.3问题三<sup>[11][12]</sup>

#### 6.3.1 问题分析

问题三要求考虑水果和蔬菜的价格差异，提出在保证营养均衡的需求条件下，以最低的成本获得更合理的水果和蔬菜消费情况。该问题是一个以购买成本为目标函数的多约束优化问题。首先分析相似性，水果和水果、蔬菜与蔬菜、水果和蔬菜之间作相关性分析和聚类分析；收集水果价格区间和区域产量，保障人体营养健康，考虑以较低的购买成本为目标函数，进行优化。在此基础上，得出主要水果和蔬菜产品的年度合理人均消费量。

#### 6.3.2 论证水果和蔬菜相似性

利用 SAS 对水果和水果、蔬菜与蔬菜、水果和蔬菜作相关性分析。论证水果与水果之间、蔬菜与蔬菜之间、水果与蔬菜之间从营养学角度的相似性和可替代性

相关性分析是指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析，从而衡量两个变量因素的相关密切程度。相关性的元素之间需要存在一定的联系或者概率才可以进行相关性分析。本题中，不同品种的水果和蔬菜含有的各类营养素之间存在着一定的联系，因而可以根据不同品种蔬菜和水果的主要营养素含量进行相关性分析。

其中，使用著名统计学家卡尔·皮尔逊设计的统计指标——相关系数(Correlation coefficient)来反映变量之间相关关系密切程度的统计指标。相关系数是按积差方法计算，以两变量与各自平均值的离差为基础，通过两个离差相乘来反映两变量之间相关程度。

本题中，分别用 SAS 软件编程，求取水果和水果之间，蔬菜和蔬菜之间，以及水果和蔬菜综合之间的相关系数。表 12 列出了水果与水果之间的相关系数。

表 12 主要品种水果和水果之间的相关系数

Pearson 相关系数, N=10										
当 H0:Rho=0 时, Prob>   r										
	芒果	香蕉	猕猴桃	苹果	大枣	李子	柚子	橘子	梨子	草莓
芒果	1.0000	0.5411	0.8464	0.9091	0.8485	0.8255	0.8747	0.9588	0.9558	0.9740
香蕉	0.5411	1.0000	0.0223	0.8344	0.0240	0.8171	0.0756	0.7500	0.5667	0.3626
猕猴桃	0.8464	0.0223	1.0000	0.5581	0.9998	0.4363	0.9981	0.6773	0.7752	0.9240
苹果	0.9091	0.8344	0.5581	1.0000	0.5598	0.9299	0.6042	0.9829	0.9151	0.8035
大枣	0.8485	0.0240	0.9998	0.5598	1.0000	0.4442	0.9982	0.6788	0.7764	0.9273
李子	0.8255	0.8171	0.4363	0.9299	0.4442	1.0000	0.4862	0.8946	0.8289	0.7448
柚子	0.8747	0.0756	0.9981	0.6042	0.9982	0.4862	1.0000	0.7153	0.8113	0.9429
橘子	0.9588	0.7500	0.6773	0.9829	0.6788	0.8946	0.7153	1.0000	0.9280	0.8795
梨子	0.9558	0.5667	0.7752	0.9151	0.7764	0.8289	0.8113	0.9280	1.0000	0.9206
草莓	0.9740	0.3626	0.9240	0.8035	0.9273	0.7448	0.9429	0.8795	0.9206	1.0000

由相关系数可以看出，水果和水果之间，蔬菜和蔬菜之间，以及水果和蔬菜之间都

**论证结果：**根据相关系数可以看出，水果与水果之间、蔬菜与蔬菜之间、水果与蔬菜之间确实存在着较大的相似性，在一定程度上可以相互替代、相互补充。

虽然明确了水果与水果之间、蔬菜与蔬菜之间、水果与蔬菜之间的相似性和可替代性，但如何具体替换，要通过 SAS 软件对水果和水果、蔬菜与蔬菜、水果和蔬菜进行聚类分析。

将物理或抽象对象的集合分成由类似的对象组成的多个类的过程被称为聚类。由聚类所生成的簇是一组数据对象的集合，这些对象与同一个簇中的对象彼此相似，与其他簇中的对象相异。聚类分析又称群分析，它是研究（样品或指标）分类问题的一种统计分析方法。聚类分析内容丰富，有系统聚类法、有序样品聚类法、动态聚类法、模糊聚类法、图论聚类法、聚类预报法等。

在本问题，借助于 SAS 软件，运用相关性分析聚类方法分别对水果、蔬菜、水果和蔬菜综合进行聚类，其中水果和蔬菜综合聚类结果如图 13 所示。

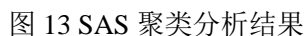


表 13 根据各品种果蔬主要营养素含量的聚类分析结果

21

C1	芒果、香蕉、茄子、西红柿、南瓜、黄瓜、土豆、苹果、李子、梨子		
C2	猕猴桃、大枣、橘子、柚子		
C3	胡萝卜、生菜、萝卜、白菜、菠菜		
水果分类		蔬菜分类	
C1	芒果、苹果、梨子、李子	C1	茄子、西红柿、黄瓜
C2	香蕉、橘子、猕猴桃	C2	土豆、南瓜
C3	大枣、草莓、柚子	C3	菠菜、白菜、萝卜、生菜、胡萝卜

### 6.3.4 模型一

#### 基于分类的 0-1 互换模型

为了在之后的优化模型中考虑水果和水果、蔬菜和蔬菜之间的可替代性，在此根据分类结果建立子模型，以便于纳入优化模型。

模型建立遵循以下原则：

水果和蔬菜分开处理，因此不考虑水果和蔬菜之间的互换性；

不同类别的水果和水果、蔬菜和蔬菜之间不能互换，同一类别的水果和水果、蔬菜和蔬菜可以互换，通过变量  $\alpha_{ij}$  来表示。

模型形式

$$\begin{cases} \Delta C_{ij} = \|C_i - C_j\| \\ \alpha_{ij} = \begin{cases} 0, & \Delta C_{ij} = 0 \\ 1, & \Delta C_{ij} > 0 \end{cases} \\ \alpha_{ij} = \alpha_{ji} \end{cases}$$

$i, j$ ：水果或蔬菜编号，水果取值范围1~10，蔬菜取值范围11~20；

$C_i, C_j$ ： $i$ 品种或 $j$ 品种水果或蔬菜的类别值，取值范围1, 2, 3，表14列出水果的 $C$ 值；

$\Delta C_{ij}$ ： $i$ 品种和 $j$ 品种水果或蔬菜类别值之差的绝对值；

$\alpha_{ij}$ ： $i$ 品种和 $j$ 品种水果或蔬菜之间的互换能力，可以互换时取1，不能互换时取0。

表 14 主要水果和蔬菜对应的  $C$  值

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C$	1	2	2	1	3	1	3	2	1	3
$i$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$C$	3	3	3	3	1	1	1	2	3	2

应用膳食宝塔可把营养与美味结合起来，按照同类互换、多种多样的原则调配每日水果和蔬菜的消费量。多种多样就是选用品种、形态、颜色、口感多样的水果和蔬菜。

同类互换是以同一类别中的水果和水果互换、蔬菜和蔬菜互换。中国居民膳食指南提出了建议的互换表，部分内容如表所示。

表 15 互换表

蔬菜类食物互换表（市品相当于 100g 可食部重量）
108g 茄子=103g 西红柿=109g 黄瓜
106g 土豆=118g 南瓜
112g 菠菜=109g 白菜=106g 萝卜=10g 生菜=104g
水果类食物互换表（市品相当于 100g 可食部重量）
167g 芒果=132g 苹果=122g 梨子=110g 李子
169g 香蕉=135g 橘子=120g 猕猴桃
114g 大枣=103g 草莓=145g 柚子

**思考：**观察依据聚类结果得出的分类表发现，某些分在一类的蔬菜，以我们的生活经验来看明显是不合理的，例如生菜和胡萝卜，生菜的口感和胡萝卜的大相径庭，而且胡萝卜中含有更多的胡萝卜素等营养素。考虑到，在本问题中，只依据了前面筛选出来的主要营养成分作为基础数据来进行聚类，忽略了主要营养成分以外的矿物质、维生素、膳食纤维成分，因此这样的分类结果是可以接受<sup>[13]</sup>。

### 6.3.5 数据收集

调查主要的水果和蔬菜的价格范围和高产省份。

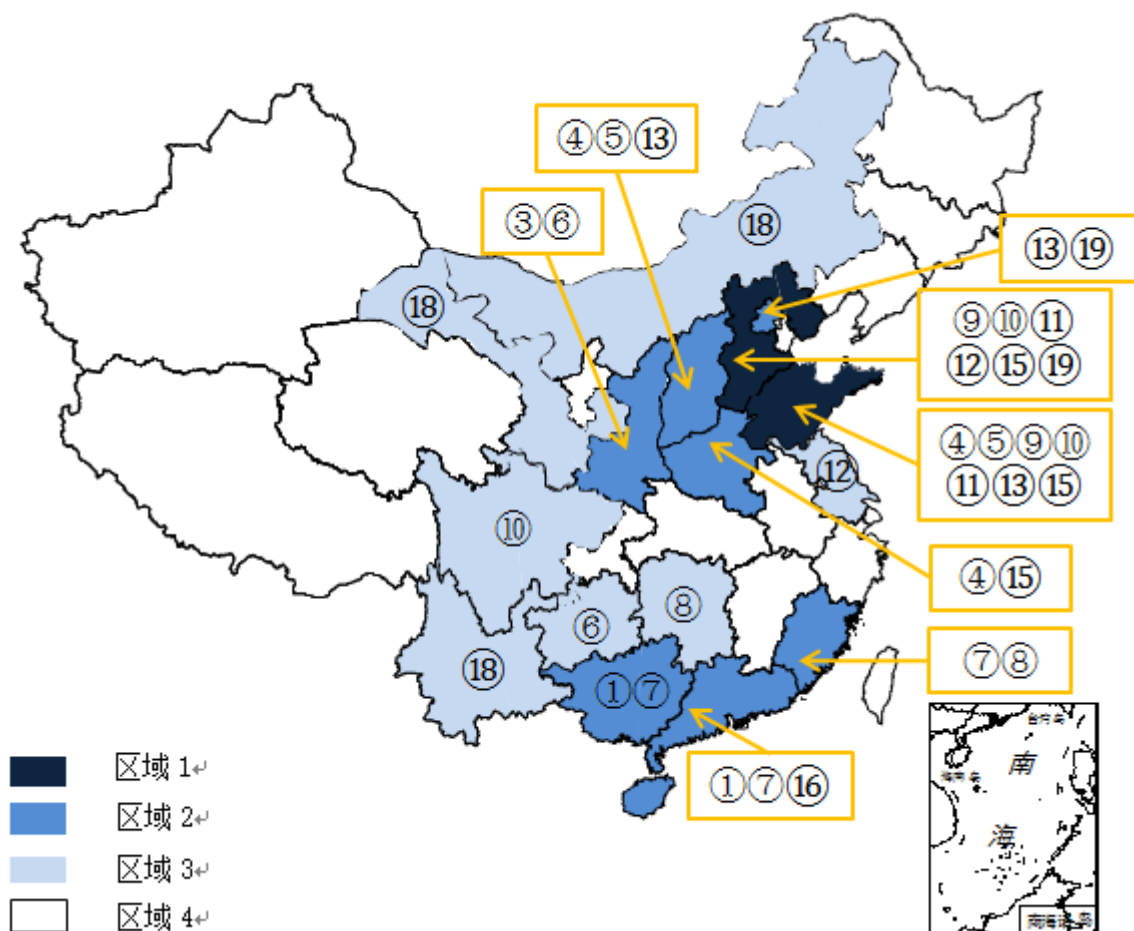
居民在选择水果和蔬菜的摄入量时，不可避免地会考虑每种水果和蔬菜的销售价格，为了能够很好地给居民提供主要的水果和蔬菜产品年度合理人均消费量，首先需要摸清各种主要的水果和蔬菜的价格。并且，考虑到水果和蔬菜的价格随着季节和地域存在着较大的变化，确定出一个价格区间比较合理，结果见表 16。

另一方面，我国各类水果和蔬菜的主要产地不尽相同，考虑运输成本和储存费用，可以说本地果蔬产品在本地市场存在着一定的价格优势，在新鲜程度和口感相近的情况下，本地水果和蔬菜必然销售价格要低于从其他省份运输过来的，忽略其他次要客观因素和主观因素，可以合理的认为居民更倾向于购买本地产品。为此，有必要统计出每种主要水果和蔬菜的高产出省份，调查统计结果见表 16。

表 16 主要水果和蔬菜的价格范围和高产地

序号	品种	价格区间 (元/Kg)	主要产地	序号	品种	价格区间 (元/Kg)	主要产地
1	芒果	5-17	广东、广西、海南	11	胡萝卜	0.9-4	山东、河北
2	香蕉	2.5-12	海南	12	萝卜	0.7-2	江苏、河北
3	猕猴桃	4-12	陕西	13	大白菜	0.2-1	山东、北京、山西
4	苹果	4-13	山东、山西、河南	14	菠菜	1.5-5	大棚种植
5	大枣	1.5-6	山东、河北、山西	15	西红柿	1-6	山东、河南、河北
6	李子	4-20	陕西、贵州	16	茄子	2-10	广东

7	柚子	3-5	福建、广东、广西	17	黄瓜	3-6	大棚种植
8	橘子	3-6	浙江、福建、湖南	18	土豆	0.5-2	内蒙、甘肃、云南
9	梨子	2-10	河北、山东	19	生菜	3-10	河北、北京
10	草莓	4-8	河北、山东、四川	20	南瓜	0.7-2	东北



注\*图中数字对应表 16 中的序号，代表不同的水果和蔬菜

图 14 我国水果和蔬菜分区域优势产品分布图

为了更加直观地表现主要的水果和蔬菜的高产出省份，做出如图 14 所示的地域分布图，并将全国 34 个省级行政区按照以下标准划分为四个区域。

**分区域标准：**由统计的每种主要品种果蔬的主要产地来划分我国果蔬种植富集区域，设某省份高产主要水果和蔬菜的种类为  $N$ ，当  $N \geq 6$  时，化为区域 1；当  $6 > N \geq 3$  时，化为区域 2；当  $3 > N \geq 1$  时，化为区域 3，剩下的区域归为区域 4；。

划分结果：

区域 1 为种植果蔬种类富集区域，包括河北、山东；

区域 2 为种植果蔬种类较多区域，包括广东、山西、广西、海南、陕西、河南、福建、北京；

区域 3 为种植果蔬种类较少区域，包括贵州、四川、湖南、江苏、内蒙古、甘肃、云南；



区域 4 为种植果蔬种类偏少区域，包括新疆、西藏、黑龙江、吉林等地区。

考虑到，通常在某种果蔬产量较高的区域，该种果蔬在本区域的销售价格相对于其他地区会较低，因为在本区域内购买本地果蔬可以忽略交通运输成本所带来的果蔬售价的提高，例如四川地区盛产柑橘，在柑橘成熟季节，本地橘子最低售价仅为 1.5 元/kg 左右。对每个省份的水果和蔬菜生产量的比较，可以得到当地产量最高的水果和蔬菜，视为本土优势产品。图 14 用序号表示了各省份高产水果和蔬菜的种类，排在前面的为本地区的本土优势产品<sup>[14]</sup>。

### 6.3.6 优化模型的建立

由题目要求可知目标函数为购买成本最低，决策变量为每种水果的购买量，约束条件考虑五个方面，首先根据题意应满足营养需求，即，所购买果蔬种含有的每种营养素应在建议摄入范围内，然后根据膳食宝塔建议：每人每日从蔬菜中获取的能量 300~500kJ 范围内，每人每日从水果中获取的能量在 200~500kJ 范围内，以及中国居民膳食指南建立摄入量约束条件，最后考虑每种果蔬总消费量应小于等于每种果蔬的总产量以及购买量一定为正值建立模型如下。

$$\text{目标函数: } \min F = \sum_{i=1}^{20} (\alpha y_i) P_i$$

$$\text{决策变量: } y_i$$

约束条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_j N_{j\min} \leq \sum_{i=1}^{20} x_{ij} (\beta y_j) \leq \omega_j N_{j\max}, \quad 1 \leq j \leq 11 \\ E_{v,\min} \leq \sum_{i=1}^{10} E_i (\beta y_i) \leq E_{v,\max}, \quad 1 \leq j \leq 11 \\ E_{f,\min} \leq \sum_{i=11}^{20} E_i (\beta y_i) \leq E_{f,\max}, \quad 1 \leq j \leq 11 \\ 365Q(\beta y_i)/1000 \leq C_i \\ 200 \leq \sum_{i=1}^{10} (\beta y_i) \leq 400 \\ 300 \leq \sum_{i=11}^{20} (\beta y_i) \leq 500 \\ y_i \geq 0 \end{array} \right.$$

$\beta$ : 0-1 变量;

$F$ : 每人每日花费在果蔬上的金额，元;

$y_i$ : 每日第  $i$  种果蔬的购买量，kg;

$P_i$ : 第  $i$  种果蔬的价格，元/kg;

$x_{ij}$ :第*i*种果蔬中所含第*j*种营养素的含量, mg/100g;

$N_{j\min}$ : 第*j*种营养素摄入量下限, mg;

$N_{j\max}$ : 第*j*种营养素摄入量上限, mg;

$\omega_j$ : 人体从果蔬中获取的第*j*种营养素占总的第*j*种营养素的比例, 已通过问题一确定;

$E_i$ : 第*i*种果蔬每 100g 所提供的能量, kJ;

$E_{v,\min}$ : 蔬菜每日提供能量下限, kJ;

$E_{v,\max}$ : 蔬菜每日提供能量上限, kJ;

$E_{f,\min}$ : 水果每日提供能量下限, kJ;

$E_{f,\max}$ : 水果每日提供能量上限, kJ;

$C_i$ : 当年第*i*种果蔬总产量, t。

### 6.3.7 基于罚函数法的优化模型求解

本模型是单目标的多约束优化问题, 即在自变量满足约束条件的情况下使得目标函数最小化的问题, 约束条件包含等式约束和不等式约束。求解约束优化问题的算法很多, 大都从无约束优化问题的算法直接衍生出来的, 只是判断每一步迭代得到的解是否在可行域内。

罚函数法是一种约束优化问题特殊的求解方法。罚函数的基本思想是将约束优化问题变为无约束优化问题求解。罚函数是由目标函数和约束函数的某种组合得到的函数,

对于等式约束的优化问题  $\begin{cases} \min f(x) \\ h_i(x)=0, i=1,2,\dots,k \end{cases}$ , 可以定义如下的罚函数:

$$F(x)=f(x)+C\sum_{i=1}^k h_i^2(x)$$

将约束优化转化为无约束优化问题, 对于不等式约束优化问题

$\begin{cases} \min f(x) \\ g_j(x)\geq 0, j=1,2,\dots,m \end{cases}$  可以定义如下的罚函数:

$$F(x)=f(x)+C\sum_{j=1}^m \frac{1}{g_j(x)}$$

对于同时存在等式约束和不等式约束的优化问题, 可以取上两个罚函数的组合。当然罚函数还有其他的取法, 但是构造罚函数的思想是一样的, 即使得在可行点罚函数值等于原来的目标函数值, 在不可行点罚函数值等于一个很大的数。

#### 6.3.7.1 算法原理

外点罚函数是通过一系列罚因子  $\{c_i\}$  求罚函数的极小值点来逼近原约束问题的最优解，之所以称为外点罚函数法，是因为它是从可行域外部向约束边界逐步靠拢的，如图 15 所示。

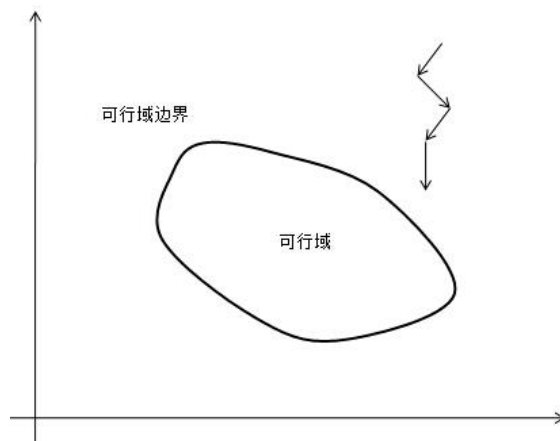


图 15 外点罚函数法示意图

### 6.3.7.2 算法步骤

用外点罚函数法求解线性约束优化问题  $\begin{cases} \min f(x) \\ Ax = b \end{cases}$  的算法过程如下。

- (1) 给定初始点  $x_0$  罚参数列  $\{c_i\}$  及精度  $\varepsilon > 0$ ，置  $k = 1$ 。
- (2) 构造罚函数  $F(x) = f(x) + c\|Ax - b\|^2$ 。
- (3) 用某种约束非线性规划，以  $x^{k-1}$  为初始点求解  $\min F(x)$ 。
- (4) 设最优解为  $x^k$ ，若  $x^k$  满足某种终止条件，则停止迭代输出  $x^k$ ，否则令  $k = k + 1$ ，转到步骤 (2)。

罚函数列  $\{c_i\}$  的选法：通常先选定一个初始常数  $c_1$  和一个比例系数  $\rho \geq 2$ ，则其余的可表示为  $c_i = c_1 \rho^{i-1}$ 。终止条件可采用  $S(x) \leq \varepsilon$ ，其中  $S(x) = c\|Ax - b\|^2$ 。

本题中通过 MATLAB 软件，运用罚函数法求解上述模型。

**说明：**在求解模型时，需要用到确定的每种水果和蔬菜的价格，但是前面只给出了每种水果和蔬菜的价格区间，因此，求解模型之前首先要确定所用的每种水果和蔬菜的价格值。在本模型求解中，通过查询不同地区水果和蔬菜的价格趋势，考虑到地域的实际情况，确定出前面划分出的 4 个区域的每种主要水果和蔬菜的价格平均值。

### 6.3.8 优化模型求解结果及分析

根据前面的水果和蔬菜分类，相同类的水果和蔬菜之间可以相互替代，相互补充，对模型求解结果进行处理，从而获得有实际意义价值的水果蔬菜人均合理消费量。

表 17 由模型求解出的合理人均果蔬日消费量（单位 g）

序号	品种	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4
1	芒果	4	0	80	0
2	香蕉	0	15	0	10
3	猕猴桃	10	0	0	10
4	苹果	0	0	16	26
5	大枣	90	34	0	0
6	李子	18	173	42	25
7	柚子	20	90	20	54
8	橘子	200	20	75	20
9	梨子	0	0	0	26
10	草莓	44	11	27	11
11	胡萝卜	80	20	29	60
12	萝卜	30	60	11	11
13	大白菜	0	79	16	0
14	菠菜	80	15	35	30
15	西红柿	89	0	55	46
16	茄子	0	140	0	0
17	黄瓜	0	108	28	0
18	土豆	59	20	80	67
19	生菜	50	0	40	23
20	南瓜	0	0	200	45

以上结果显然不能提供给居民，因此需要在此基础上进行调整，调整过程如下：

#### Step 1

处理过程中遵循的原则为：

①着重考虑高含膳食纤维、维生素 A 和维生素 E 的产品，因为根据问题二中的中国居民目前矿物质、维生素、膳食纤维等营养素摄入水平合理性分析结果，这三种营养素是目前居民摄入量偏低的；

②同类水果和蔬菜中，优先选择价格较低的；

③同类水果中，更多地考虑本地水果和蔬菜，或者临近省份高产的水果和蔬菜，这样能够保证新鲜程度；

④依据膳食的合理性和全面性，应该尽可能的涉及到所有的主要水果和蔬菜品种。

⑤考虑到购物方便性，居民倾向于购买更多市场上常见的、季节性不明显的水果和蔬菜。

**举例说明：**区域 3 中，C1 类水果芒果、苹果、梨子、李子由模型计算出的合理摄入量分别为 80g/d、16 g/d、0、42 g/d。如果考虑四川地区，苹果、梨子、芒果、李子的维生素 E 含量相近（1.46mg、1.46mg、1.21mg、0.74mg），根据原则①分配的四种水果食用量相近；另外，该省富产李子，且李子价格相对较低，因此可以建议居民在一类水果中将李子做为首选。同时考虑到市场上销售苹果的商铺较多，便于居民购买，因此苹果的消费量也相对较高。根据以上分析，确定出区域 3，C1 类水果的参考消费量分别为芒果 16.1±2.1g，苹果 80.6±9.4g，李子 25.8±2.0g，梨子 16.1±2.5g。

Step2

以上消费参考值并没有考虑季节的影响，主要原因是①现在大棚种植水果和蔬菜的技术越来越成熟，也越来越常见；②保鲜储存技术的提高。尽管每种水果和蔬菜的成熟时间段是不一样的，见表 18，但是居民也能在在一年四季的任何时间段内以合理的价格购买得到，因此认为大部分水果和蔬菜都没有季节性，特别地，蔬菜的季节性比水果的季节性更弱一些，以苹果和西红柿为例进行说明。

文献“山东省苹果冷藏业发展现状与对策”指出，虽然苹果的成熟月份在 8，9，10 月，但是苹果本身可以储存较长时间，加之一定的储存技术，如放入大型冷库储存，所以人们可以看到在任何季节都可以购买到新鲜的苹果。而西红柿的成熟月份仅在 10 月份，但人们也可以在任何季节从市场上购买到西红柿，其重要原因是目前西红柿大多通过大棚种植获得，因而也不存在季节性差异。

另一方面，也有少数水果和蔬菜的销售存在着较大的季节性变化，如草莓，芒果。以草莓为例进行分析，调查显示，草莓主要通过大棚种植来生产，但是一旦草莓成熟就需要马上投入市场销售，最重要的原因是草莓极难储存，在运输过程中容易损坏。

根据以上分析，考虑季节因素，针对特殊的几种水果和蔬菜，提出以下消费建议：在草莓和芒果成熟季节，可以偏重考虑这两种水果，在其他季节时，替换为同类其他水果，草莓可以替换为柚子，芒果替换为苹果、梨子。

表 18 主要水果和蔬菜的成熟月份

	成熟月份		成熟月份
芒果	7 月、8 月、9 月	胡萝卜	1 月、11 月、12 月
香蕉	7 月、8 月、9 月、10 月	萝卜	5 月、6 月
猕猴桃	8 月、9 月、10 月	白菜	9 月、10 月、11 月
苹果	8 月、9 月、10 月	菠菜	全年均有
大枣	9 月、10 月	西红柿	6 月、7 月、8 月
李子	7 月、8 月	茄子	7 月、8 月、9 月、10 月
柚子	9 月、10 月、11 月、12 月	黄瓜	6 月、7 月、8 月
橘子	10 月、11 月、12 月	土豆	5 月、6 月、7 月、8 月
梨子	8 月、9 月、10 月	生菜	1 月、2 月、12 月

草莓	6 月、7 月	南瓜	6 月、7 月、8 月
----	---------	----	-------------

由以上方法可以提供出主要的水果和蔬菜产品的日合理人均消费量参考值（年度合理消费量=日消费量\*365），如表 19 所示。

表 19 主要果蔬产品日合理人均消费量参考值（单位 g）

序号	品种	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4
1	芒果	6.4±2.1	55.4±5.6	16.1±2.1	8.4±2.9
2	香蕉	2.1±0.3	11.5±2.1	24.2±2.9	10.5±2.1
3	猕猴桃	180.2±13	9.2±1.7	12.9±2.1	7.9±1.1
4	苹果	5.5±1.4	11.5±2.4	80.6±9.4	11.8±1.8
5	大枣	102.6±14	92.3±10.8	21.5±2.1	26.2±2.9
6	李子	4.6±2.1	27.7±2.5	25.8±2.0	7.9±1.6
7	柚子	50.7±9.8	34.6±1.8	16.1±2.7	63.0±7.9
8	橘子	18.2±2.1	15.4±2.6	26.9±2.9	21.0±2.1
9	梨子	5.5±1.5	80.8±8.0	16.1±2.5	31.5±2.8
10	草莓	24.2±3.1	11.5±1.2	9.7±2.1	11.8±2.1
11	胡萝卜	51.8±4.5	61.2±4.6	163.2±20.1	60.6±6.8
12	萝卜	28.2±2.4	25.0±2.5	11.1±2.1	11.0±2.1
13	大白菜	28.2±2.0	25.0±2.9	14.8±1.9	16.5±2.0
14	菠菜	80.0±4.6	35.5±3.6	31.5±3.7	31.2±2.1
15	西红柿	23.5±2.7	83.5±9.8	46.4±4.1	55.1±6.3
16	茄子	61.2±5.8	36.2±4.1	19.3±1.6	17.9±2.1
17	黄瓜	23.5±2.9	13.9±0.9	12.4±2.2	13.8±2.1
18	土豆	32.9±4.1	83.5±5.7	74.2±6.2	38.6±6.1
19	生菜	32.9±3.5	19.5±1.8	20.8±2.7	11.0±2.1
20	南瓜	37.6±3.5	66.8±7.9	59.4±6.7	44.1±9.4

**思考：**以上提供的主要水果和蔬菜产品的合理人均消费量多有不足之处，主要体现在：确定方法不便于量化；在同一区域内，不同省份之间也存在着差异，而表 19 不能详细体现出各省份之间的差异；没有考虑到不同年龄段的人体需求；没有考虑不同性别的需求差异。尽管如此，以上消费量的数值还是有一定参考价值的，并有待进一步优化完善<sup>[15]</sup>。

## 6.4问题四

6.4.1 问题分析

国家为了实现人体营养均衡满足健康要求，应该对水果和蔬菜各品种的生成规模作出战略性调整。从国家层面来看，作为决策者，应该考虑较多的因素，其中包含营养摄入量、居民购买成本、种植者利益、进出口贸易、土地面积。如果考虑单因素的影响，可以快速便捷地作出战略调整，但是作为宏观调控者，必须考虑诸多因素。因而，如果综合各个方面条件，同时达到居民购买成本低，种植者获益最大，是本题需要解决的关键性问题。

6.4.2 数据收集

本题中需要收集的数据为历年主要水果和蔬菜的进出口量及价格，我国种植水果和蔬菜的土地面积，收集结果见附表 1。图 16-19 所示为根据收集结果做的发展趋势预测，预测方法同问题二。

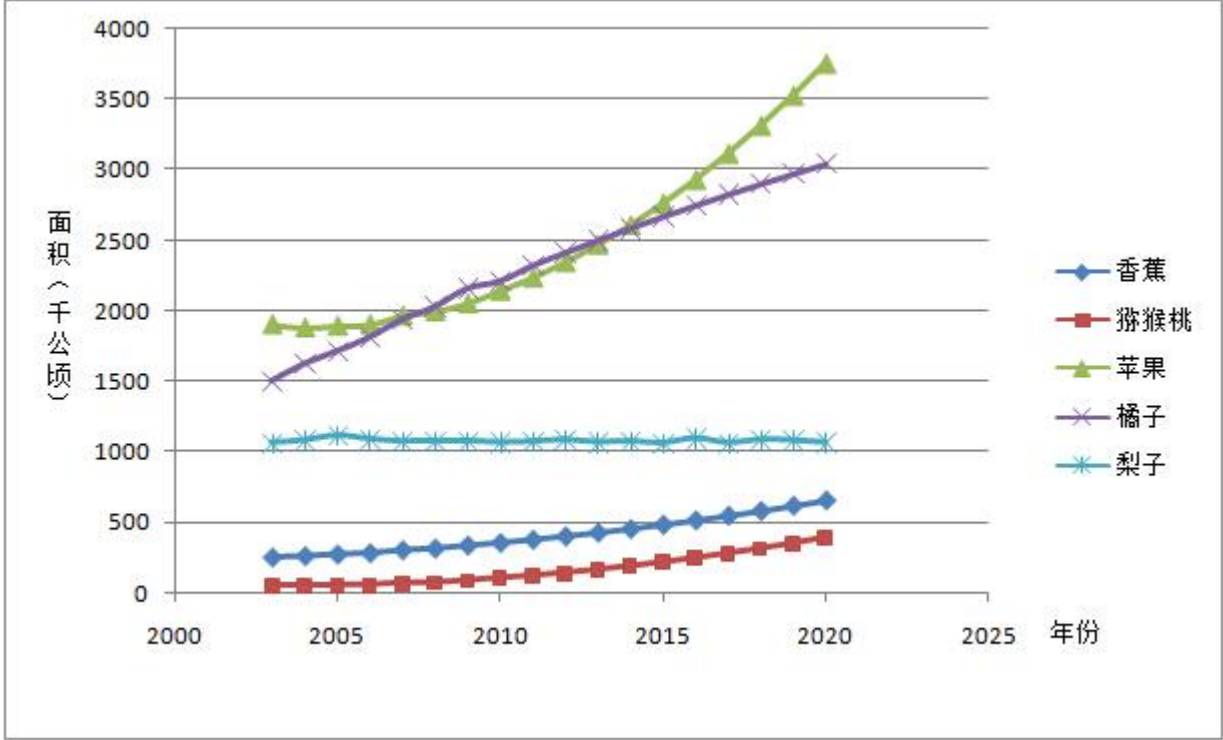


图 16 水果土地面积预测

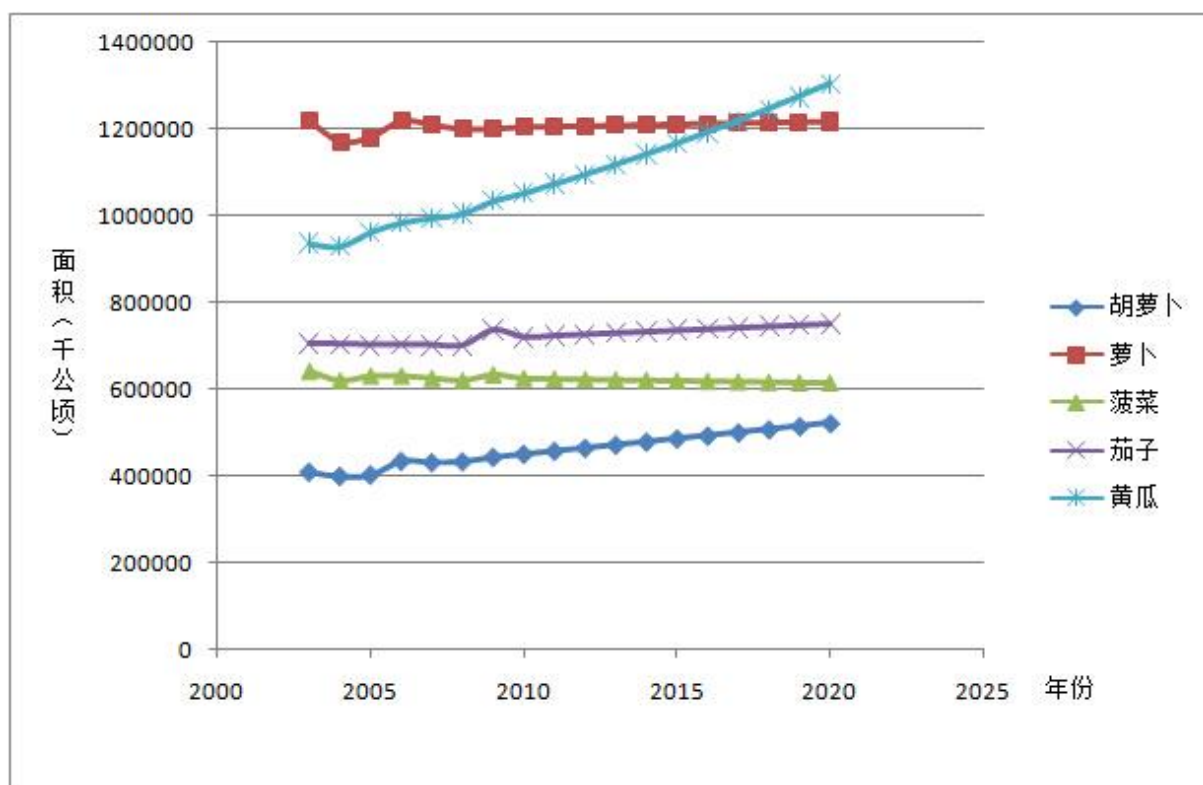


图 17 蔬菜土地面积预测

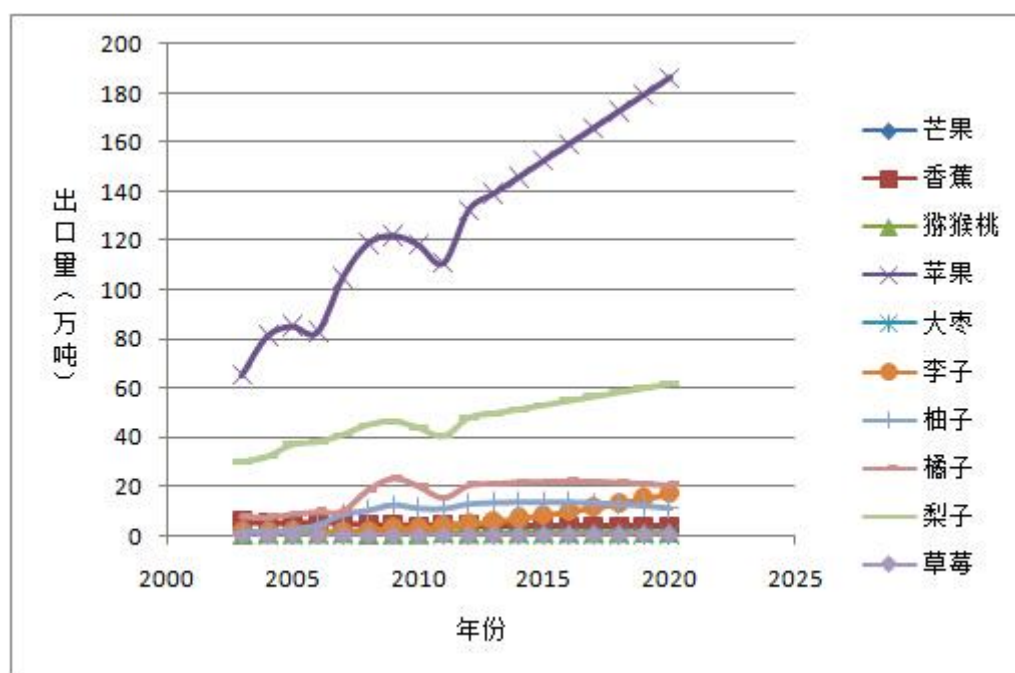


图 18 水果出口量预测



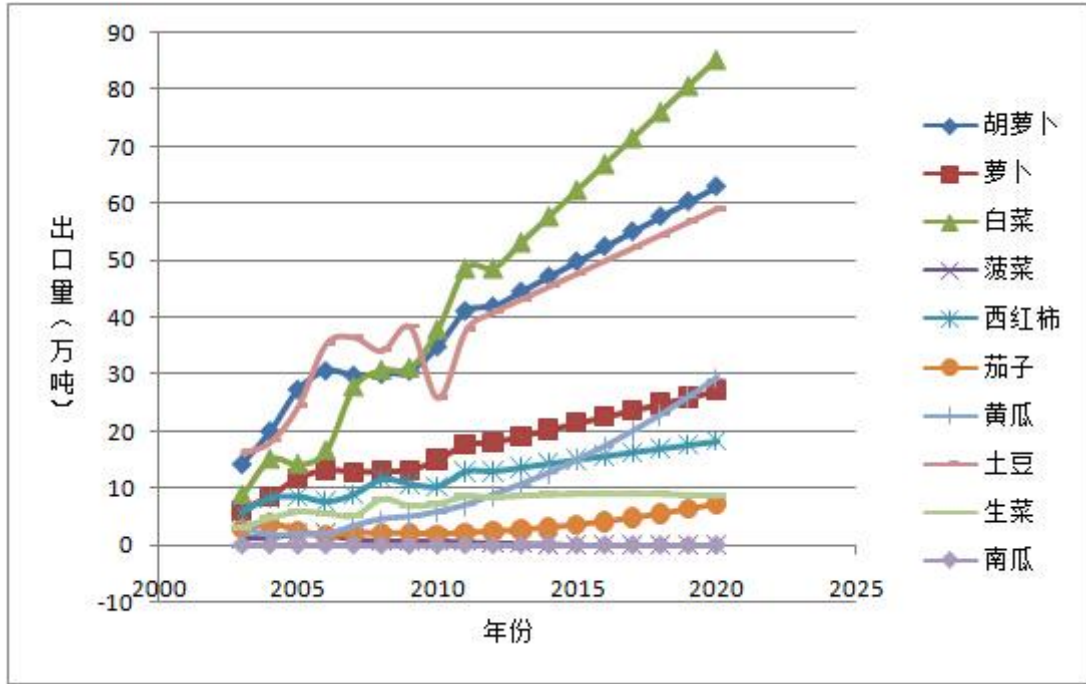


图 19 蔬菜出口量预测

### 6.4.3 模型建立

由问题分析，建立模型形式如下。

**决策变量**

$x_i$ : 中国居民对第  $i$  种主要水果和蔬菜的年度人均消费量, Kg/年。

**目标函数**

$$\min \sum_{i=1}^{20} (\lambda_i p_{i1} x_i + (1 - \lambda_i) p_{i2} x_i)$$

$$\max \sum_{i=1}^{20} (F_{\text{收入}} - F_{\text{成本}})$$

$$\text{其中, } F_{\text{收入}} = f_{\text{国内}} + f_{\text{出口}} = Q \frac{\lambda_i x_i}{\theta_i} q_{i1} + q_{i2} C_{\text{出口}i}$$

$$F_{\text{成本}} = B_i$$

式中,

$p_{i1}$ ,  $p_{i2}$ : 居民购买第  $i$  种水果或蔬菜的单价, 角标 1 代表购买国内品种, 角标 2 代表购买进口品种, 元/kg;

$q_{i1}$ ,  $q_{i2}$ : 种植者出售第  $i$  种水果或蔬菜的单价, 角标 1 代表国内销售单价, 角标 2 代表出口单价, 元/kg;

$x_i$ : 第  $i$  种水果或蔬菜的年平均消费量, kg;

$\lambda_i$ : 居民消费的第  $i$  种水果或蔬菜中来自国内生产的比例;

$Q$ : 全国人口总数;

$\theta_i$ : 从种植者售出到居民购买过程中第  $i$  种水果或蔬菜的损耗率;

$C_{\text{出口}i}$ : 第  $i$  种水果或蔬菜的出口产量, kg;

$B_i$ : 种植者生产第  $i$  种水果或蔬菜的成本, 元。

上式分别表示决策者的目标之一是居民用于购买水果和蔬菜的金额尽可能少; 决策者的另一目标是种植者获得尽可能大的收益。

### 约束条件

#### ① 人体营养素摄入量约束

居民从水果和蔬菜中摄入的营养素量应该处于人体合理营养素摄入范围之内。

$$\omega_j N_{j\min} \leq \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{11} \mu_{ij} x_i \leq \omega_j N_{j\max}$$

$\omega_j$ : 居民从蔬菜和水果中获取的第  $j$  种营养素占第  $j$  种营养素摄入总量的比例,  
 $0 < \omega_j < 1$ ;

$\mu_{ij}$ : 第  $i$  种水果或蔬菜中含有的第  $j$  种营养素的量, mg/kg;

$N_{j\min}$ : 第  $j$  种营养素摄入量下限, mg;

$N_{j\max}$ : 第  $j$  种营养素摄入量上限, mg。

#### ② 土地面积约束

用于种植水果和蔬菜的土地面积不应该大于全国能够种植水果和蔬菜的土地面积。

$$\sum_{i=1}^{20} d_i \times \left( \frac{Qx_i}{\theta_i} + C_{\text{出口}i} \right) \leq A$$

$d_i$ : 生产单位重量的第  $i$  种水果或蔬菜所需的土地面积;

$A$ : 全国能够种植水果和蔬菜的总土地面积。

#### ③ 非负约束: $x_i \geq 0$ 。

## 6.4.4 模型求解

### 6.4.4.1 模型求解方法

由已建立的实际模型可知, 该问题是一个多目标多约束条件的的规划问题。

多目标规划是指研究多于一个的目标函数在给定区域上的最优化, 又称为多目标最优化, 通常记为 MOP (multi-objective programming)。1896 年法国经济学家 V.帕雷托最早研究不可比较目标的优化问题, 之后, J.冯.诺伊曼、H.W.库恩、A.W.塔克、A.M.日夫里翁等数学家做了深入的探讨, 但是尚未有一个完全令人满意的定义。

求解多目标规划的方法大体上有: 化多为少的方法、分层序列法、修正单纯形法以及层次分析法等。其中, 层次分析法是一种定性定量相结合的多目标决策与分析方法,

对于目标结构复杂且缺乏必要的数据的情况更为实用。因此求解本问题的方法选用层次分析法更为合适。并且，常用的层次分析方法存在以下不足①特征值和特征向量的精确求法比较复杂；②指标过多时数据统计量大，且权重难以确定；③不能为决策提供新方案。本文利用改进的层次分析法求解模型，以期简化求解过程，得到更合理的结果。

所谓层次分析法 (Analytic Hierarchy Process 简称 AHP)，是指将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统，将目标分解为多个目标或准则，进而分解为多指标（或准则、约束）的若干层次，通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序（权数）和总排序，以作为目标（多指标）、多方案优化决策的系统方法。该方法是美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂于 20 世纪 70 年代初，在为美国国防部研究“根据各个工业部门对国家福利的贡献大小而进行电力分配”课题时，应用网络系统理论和多目标综合评价方法，提出的一种层次权重决策分析方法。

层次分析法的特点是在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上，利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化，从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法。尤其适合于对决策结果难于直接准确计量的场合。

### 改进的层次分析法 (Improved-AHP)

AHP 改进算法的步骤如下：

(1) 构造初始判断矩阵  $A$ ，设  $A = [a_{ij}]$ ，其中  $a_{ij} = 1/a_{ji}$

(2) 求解对应  $A$  的反对称矩阵  $B$

$$B = \lg A (b_{ij} = \lg a_{ij})$$

(3) 求解对应  $B$  的最优传递矩阵  $C$ ，

$$c_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk})$$

它满足使  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij} - b_{ij})^2$  最小。

(4) 导出  $A$  的拟优一致矩阵  $V$

$$v_{ij}^* = 10^{c_{ij}}$$

它满足使  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\lg v_{ij}^* - a_{ij})^2$  最小，最大限度的保证了初始判断矩阵  $A$  的信息。

(5) 求解  $V$  的特征向量，得到在给定初始矩阵下各影响因素的权重值。

$$W_i = \frac{\overline{W}_i}{\sum_{i=1}^n \overline{W}_i}$$

则  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$  为所求权向量。

图 20 为改进后的 AHP 流程，可以发现改进后的 AHP 算法省去了一致性检验和修

改判断矩阵两个步骤，使得求解特征向量一步到位。

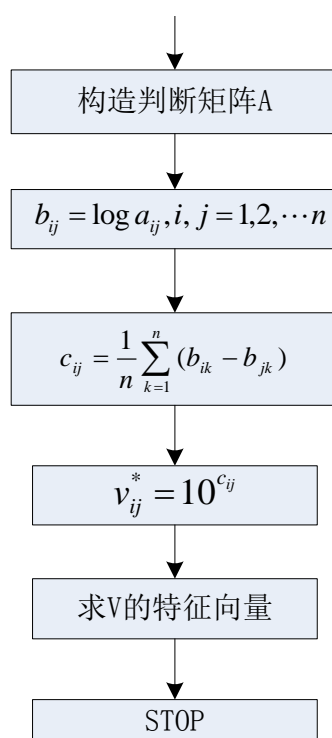


图20改进后的AHP基本一致性检验流程

#### 6.4.4.2 模型求解过程

①建立系统的递阶层次模型，如图 21 所示

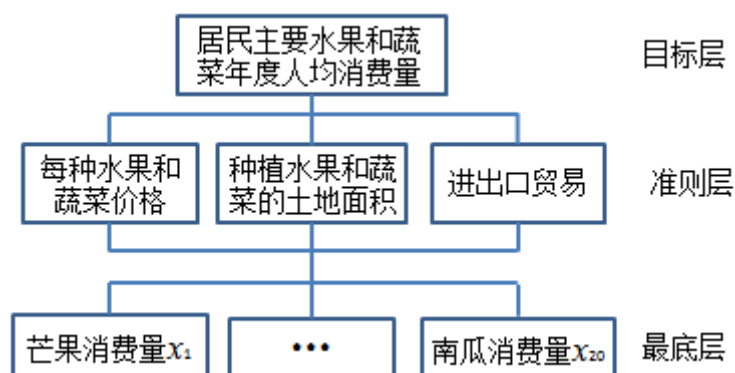


图 21 系统的递阶层次结构

②构造出各层次中所有的价格与土地面积、出口贸易之间相互的两两比较判断矩阵  $A$ ;

③层次单排序及一致性检验;

④层次总排序及一致性检验。

#### 6.4.5 模型求解结果

求解模型时，考虑区域和季节差异，分别取不同的参数值，得到如下区域与季节交叉的中国居民主要的水果和蔬菜产品年度合理人均消费量。

表 20 国居民主要的水果和蔬菜产品年度合理人均消费量（单位：kg/年）

区域	区域 1				区域 2				区域 3				区域 4			
季节	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
芒果	0.9	4.9	1.2	0.1	7.3	48.1	12.1	0.8	1.9	20.2	5.0	0.2	1.9	10.8	3.1	0.1
香蕉	0.6	0.7	0.6	0.6	3.4	4.3	3.8	3.4	6.4	13.0	11.1	7.1	5.2	5.8	3.5	3.3
猕猴桃	14.1	138.2	32.9	13.8	0.7	8.0	2.0	0.7	0.9	16.2	3.9	1.0	0.9	10.1	1.7	0.6
苹果	2.6	0.9	2.0	1.3	5.0	2.1	5.0	2.5	31.8	21.7	49.4	17.7	8.6	3.3	5.2	2.8
大枣	8.0	11.3	74.9	7.9	6.7	11.5	80.9	6.7	1.4	3.8	26.4	1.6	3.2	4.8	23.4	2.1
李子	0.7	3.5	0.4	0.7	4.0	24.1	3.0	4.0	3.4	32.3	3.9	3.8	1.9	10.1	0.9	1.2
柚子	4.0	5.6	30.1	15.5	2.5	4.3	24.6	10.1	1.0	2.9	16.1	4.7	7.7	11.5	45.6	19.8
橘子	2.9	4.0	8.3	5.6	2.2	3.8	8.4	4.5	3.5	9.6	20.6	7.8	5.2	7.7	11.7	6.6
梨子	0.9	1.2	3.0	0.8	11.8	20.1	53.1	11.8	2.1	5.8	14.8	2.4	7.7	11.5	21.0	4.9
草莓	0.4	23.9	1.1	1.5	0.2	12.9	0.6	0.7	0.1	15.6	0.8	0.6	0.3	19.4	0.7	0.7
胡萝卜	16.3	17.0	9.5	23.8	17.9	22.8	13.4	26.8	42.9	87.6	50.0	71.5	29.7	33.2	13.5	28.6
萝卜	4.4	21.6	2.6	4.3	3.6	21.8	2.7	3.6	1.5	13.9	1.7	1.6	2.7	14.1	1.2	1.7
大白菜	2.7	1.9	10.3	20.8	2.2	1.9	11.0	17.6	1.2	1.6	9.1	10.4	2.4	1.8	7.4	12.5
菠菜	25.1	26.3	21.9	24.5	10.4	13.2	11.6	10.4	8.3	16.9	14.5	9.2	15.3	17.1	10.4	9.8
西红柿	11.1	5.2	6.5	7.2	36.6	20.7	27.4	24.4	18.3	16.6	21.3	13.5	40.5	20.1	18.4	17.3
茄子	38.4	13.4	11.2	18.8	21.1	9.0	7.9	10.6	10.2	6.9	5.9	5.6	17.6	6.6	4.0	5.6
黄瓜	5.5	12.9	3.2	7.2	3.0	8.6	2.3	4.1	2.4	11.1	2.9	3.6	5.0	12.6	2.3	4.3
土豆	10.3	9.0	7.5	15.2	24.4	25.9	22.9	36.6	19.5	33.2	28.4	32.5	18.9	17.6	10.7	18.2
生菜	15.5	3.6	3.0	25.2	8.5	2.4	2.1	14.2	8.2	3.7	3.2	15.2	8.1	2.0	1.2	8.6
南瓜	11.8	10.3	5.2	23.1	19.5	20.7	11.0	39.0	15.6	26.6	13.7	34.7	21.6	20.1	7.4	27.7

#### 6.4.6 2020 年调整战略建议<sup>[16][17]</sup>

由前分析结果可知，对于果蔬种植偏少的地区，由于路途遥远，果蔬价格波动大，导致当地人民如为满足果蔬品种多样性和营养需求将付出较高成本。

对 2020 年我国水果和蔬菜产品生产的调整战略，主要考虑以下四点：

①对于种植环境适宜的地区，加大种植面积，作为果蔬基地，以供输往全国各地并控制价格波动；

②在输送地选择时，不仅要保证周边地区，更应注重东西、南北地区的果蔬种类互补；

④由于我国地域面积广、不同地区同一种果蔬的上市时间会有所差异，考虑利用时间的差异对其他地区进行果蔬品种的补充；

⑤对于较偏远的地区，果蔬运送不仅成本高，且路途损耗也大，可考虑对果蔬产品进行深加工。

### **中国蔬菜生产分布状况（地域分区）**

①山东为：北方出口蔬果、设施栽培蔬果、苹果、大枣、胡萝卜等基地

②华南地区（广东、广西、福建和海南等）为：南方出口蔬果、冬季特色蔬果和芒果等制种基地

③浙江、江苏地区为：特色出口橘子、萝卜基地

④西北和内蒙等地区为：夏秋淡季蔬菜、马铃薯和设施蔬菜基地

⑤新疆、甘肃、宁夏和内蒙西部为：番茄酱、胡萝卜浆等加工蔬菜、设施蔬菜和甜瓜等基地

⑥长江中上游地区为：早春和晚秋特色蔬菜基地

⑦云南等西南地区为：冬季和早春特色出口蔬菜基地

⑧东北和华北地区为：设施栽培蔬菜基地

### **中国商品蔬菜生产基地分布（功能分区）**

①南菜北运生产基地：福建、广东、广西、云南、海南

②早春菜生产基地：江苏、浙江、海南、山东

③夏秋淡季菜生产基地：河北、陕西、内蒙古

④西菜东运秋菜生产基地：甘肃、河西走廊

⑤大白菜生产基地：山东、山西、北京

⑥冬春季设施蔬菜生产基地：山东、河北、河南

最终达到**价格低廉、品种多元，买得放心，卖得开心**的终极目标！

## **6.5问题五**

第一，关于损耗、流通方面：

由第一题中对于产量损耗的数据分析可知，我国果蔬在流通中的损耗率很高，损耗量大。

建议以高新技术优选水果和蔬菜；开发冷冻保鲜贮运技术，比如果蔬新型安全保鲜剂及防腐保鲜新技术开发；合理的生产，防止供大于求；水果和蔬菜的流通情况将趋于更好。

相关部门应重点支持批发市场、零售网点、冷链物流、信息监测体系设施建设，提高组织化程度，促进产销衔接，保障蔬菜流通顺畅，大幅度降低水果和蔬菜的腐损率。

在现有基础上，统筹考虑城市人口、蔬菜基地规模、交通区位、物流走向，加快完善以大型销地批发市场为中心，产地蔬菜批发市场为依托的农产品批发市场体系。

大中城市根据本地消费需求，主动与优势产区加强协作，建立果蔬供应保障基地。

重点加强分级、包装、预冷等设施建设，提高优势产区蔬菜预冷等商品化处理能力；发展保温、冷藏运输，稳定商品质量、减少损耗；完善主销区果蔬冷链配送设施建设，发展具有集中采购、跨区域配送能力的现代化果蔬配送中心。

## 第二、关于区域生产与调配：

由第二、三问的分析和结果可知我国生产布局不尽合理。

相关部门应针对蔬菜生产季节性强，易受环境条件的影响，而蔬菜产品新鲜易腐，贮运困难，存在生产的季节性和需求的均衡的矛盾。针对蔬菜生产这一特点，以调剂全国市场供应、扩大出口贸易为基本目标，根据气候、区位优势以及产业基础，将全国蔬菜产区划分为不同特色区域，由针对性，由目的性的部署生产和调配，可参考第四问后的战略调整。

相关部门应该合理布局大城市蔬菜生产基地，稳定提高自给能力和应急供应能力。按照提高蔬菜特别是叶类菜自给率（自产蔬菜占本市常住人口蔬菜消费总量的比例）的要求，规划确定常年菜地最低保有量。规划优势区域生产。

对于某些果蔬自给能力较弱的区域，为保障人体健康，可选取相似性高的果蔬进行食用。合理分配优势区域种植的果蔬，不要导致某些区域供大于求而某些区域供不应求。

## 第三、关于生产技术创新：

在第四问的数据采集和分析过程中可以发现，我国出口果蔬价格相对于其他国家来说十分低廉，其中一个重要的原因就是生产技术落后。

而发展蔬菜生产是保障市场稳定供应的基础。进一步加大蔬菜品种选育力度，促进现代生物技术和常规技术有机结合，加强种质资源创新，改进育种方法，培育一批优质、抗病、高产、抗逆性强的蔬菜优良品种，以提升国内优势品种，替代部分进口品种。按照统一规划、合理布局、集中连片的原则，改造升级原有生产基地，适当规划新建一批高标准高起点的生产基地，保障市场稳定供应。

## 第四、关于果蔬质量：

果蔬质量安全事关人民群众身体健康和生命安全，事关产业稳定发展和农民持续增收。完善和健全标准体系，加快标准制修订和推广应用，重点制定农药残留、重金属等污染物限量安全标准及其检测方法，完善产地环境、投入品、生产过程及产品分等分级、包装贮运等标准，尤其要尽快制定先进、实用、操作性强的蔬菜生产技术规程，引导和规范农民生产行为，实现科学安全用药。

## 7 模型评价与推广

### 模型的优点

①收集的数据较为真实。建立模型前，在数据的收集上做了大量工作。一方面，我们的数据大都是从官方网站（如：中华人民共和国农业部种植业管理司）上整理得到的，这在最大程度上保证了数据的真实可靠性；另一方面，我们搜集的多是近年的最新数据，这更加提高了数据的可靠性。

②所选数据较为详尽，能充分满足建模中对数据的需求。并且对数据进行了细致的预处理，去粗取精，去伪存真，有利于在建模中很好地利用这些数据。

③建模过程思路清晰，过渡自然。从最简单的想法出发，层层递进，环环相扣，建立解决具体问题的最适合模型。

④引入果蔬营养素的摄入系数，并且进行了修正。

### 模型的缺点

①虽然从网上搜到了大量数据，但并不能保证所有数据都真实可靠，这显然会给模型求解带来一定误差。

②营养素种类繁多，但是我们选取了部分营养素：膳食纤维、维生素 A、维生素 B1、维生素 B2、烟酸、维生素 E、维生素 C、钠、钙、铁、锌，所以有误差存在。

③没有考虑由于突发事件所造成的影响，例如气候、战争对蔬果产量的影响，但这并不意味着没有突发事件的影响。故模型应对特殊事件的能力还有待提高。

### 模型的改进

①模型中预测方法可以尝试可靠度更高的方法。

②问题二中的预测健康状况是否好转，可以考虑根据营养素摄入比例进行判断。

## 参考文献

- [1]杨月欣，王光亚，潘兴昌. 中国食物成分表 2002[M]. 北京;北京大学医学出版社,2002.
- [2]“中国健康与营养调查”项目组.1989—2009 年中国九省区居民膳食营养素摄入状况及变化趋势（一）健康与营养调查项目总体方案[J]. 营养学报, 33:234-236.
- [3]王志福，管杰，苏再兴. 基于 logistics 模型的中国人口增长预测[J]. 渤海大学学报：自然科学版, 2010, (4):326-330.
- [4]范轶欧. 中国居民营养素日常摄入量的研究[D]. 山东大学, 2010. DOI:10.7666/d.y1839263.
- [5]翟凤英，何宇娜，王志宏等. 中国城乡居民膳食营养素摄入状况及变化趋势[J]. 营养学报, 2005, (3).
- [6]金瑛，李艳平，胡小琪等. 我国成人膳食多样化与营养素摄入充足状态的关系[J]. 营养学报, 2009, (1).
- [7]Bernstein M, Tucker KL, Ryan ND,et al. Higher dietary variety is associated with better nutritional status in frail elderly people[J]. J Am Diet Assoc, 2002, 102: 1096-1104.



- [8]胡小松, 廖小军, 陈芳等. 中国果蔬加工产业现状与发展态势[J]. 食品与机械, 2005, (3):4-9.
- [9]张平, 陈绍慧. 我国果蔬低温贮藏保鲜发展状况与展望[J]. 制冷与空调, 2008, 8(1).
- [10]单杨. 中国果蔬加工产业现状及发展战略思考[J]. 中国食品学报, 2010, (1):1-9.
- [11]Catherine J. Morrison Paul, Donald S. Siegel. Scale Economies and Industry Agglomeration Externalities: A Dynamic Cost Function Approach[J]. American Economic Review, 1999, 89(1):272-289.
- [12]Friedland, W.H.. Commodity systems analysis: an approach to the sociology of Agriculture[J]. Research in Rural Sociology and Agriculture, 1984(1):221-236.
- [13]Takeshi Sakurai, Jun Fruya, Koichi Futakuchi. Rice Miller Cluster in Ghana and Its Effects on Efficiency and Quality Improvement[C]. International Association of Agricultural Economists Conference, Gold Coast, Australia, August 12-18,2006.
- [14]Simeon Ehui, Marinos Tsigas. The Role of Agriculture in Nigeria's Economic Growth: A General Equilibrium Analysis[C]. The 27th Conference of the International Association of Agricultural Economists, 16-22 August 2009, Beijing, China.
- [15]曹曦, 王玉斌, 谭向勇. 我国农业生产区域专业化程度分析[J]. 经济与管理研究, 2005, (1):69-72.
- [16]赵达薇. 我国各区域农业生产资源配置效率分析[J]. 中国流通经济, 2006, (3).
- [17]Alwyn Young, The Razor's Edge: Distortions and Incremental Reform in the People's Republic of China(A), NBER Working Paper No.7828 2000

## 附件 1