



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问题研究

摘 要

本文研究的是人体营养健康角度下的果蔬发展问题，需要完成关于主要水果和蔬菜、中国居民营养素的摄入等四个方面的问题，将其分解为七个小问题进行解决。为了解决这些问题，本文建立了时间预测、模糊综合评价等多个模型。

针对问题一的第一小问，本题要解决主要水果的筛选问题。为解决该问题，本文建立了基于 0-1 规划的果蔬筛选模型。首先，收集相关数据，并对其进行补全处理；然后，对处理后的数据进行聚类处理；最后，运用模型对处理后的数据进行求解，得出主要水果和蔬菜的种类如下表。

	果 蔬 品 种
主要水果	苹果，梨，柑橘类，香蕉，菠萝，荔枝，龙眼，桃，猕猴桃，葡萄，红枣，柿子
主要蔬菜	大白菜、萝卜、黄瓜、茄子、芹菜、菠菜、胡萝卜

针对问题一的第二小问，为预测主要果蔬的消费量，分别建立了基于神经网络和时间序列预测模型；再将收集到数据处理，用两种模型对处理的数据进行果蔬消费量的预测，部分结果见下表；再根据预测结果作出主要果蔬的消费量趋势图，从趋势图中得：随着时间的推移，主要果蔬产品的消费量成增长趋势。

单位：吨	基于 BP 神经网络的预测模型		时间序列预测模型	
	苹果	胡萝卜	苹果	胡萝卜
2014	31622907	13528110	36487743	14440175
2015	31622974	13528127	37829714	14642267

由表中的数据可以看出，两种模型下的 2015 年的苹果和胡萝卜的年消费量都比 2014 年大，可见二者都在递增。

针对问题二的第一小问，该题探索目前中国居民营养素的摄入量是否合理。首先收集相关数据并对其进行归一化处理；其次建立了模糊综合评价模型；接着进行了评价指标及等级的确定，并设置了各个指标的权重；最后运用模型对数

据进行求解，得出各年的评价等级 B 的值，部分结果见下表。

	很低	偏低	合理	偏高	很高
2013	0.618488564	0.538102309	0.444856694	0.376769741	0.265612204
2014	0.617186967	0.537106726	0.444725293	0.37712878	0.266573461

从表中的结果可以看出，最大的 B 值处于“很低”这个标准阶段，可见目前中国居民的营养素摄入不合理。

针对问题二的第二小问，要求对 2020 年居民营养摄入是否有所好转进行预测。首先收集并处理相关的数据；然后建立基于时间序列的预测模型；接着用该模型对 2015-2020 年的主要果蔬消费量进行预测，用 MATLAB 画出其走势图进行定性预测；最后用前面建立的模糊综合模型求解出 B 的值进行定量预测，部分结果如下表。最终得出：至 2020 年，中国居民的营养摄入有所好转。

	很低	偏低	合理	偏高	很高	差值
2019	0.580184211	0.591752701	0.494033114	0.419081618	0.301772071	-0.01156849
2020	0.578722369	0.600631966	0.503867903	0.419460338	0.312820669	-0.021909597

由表看出：2019 和 2020 年处于“偏低”等级，较之前的“很低”有所好转。

针对问题三，该题为当今中国居民提供主要果蔬产品的年度合理人均消费量，使其能够以较低的购买成本满足自身的营养健康。为了解决该问题，首先，建立了单目标规划模型；然后，收集及处理数据，并运用模型对其求解；接着，将求出的结果转化为年消费，并算出其在人均支出中占得比重，部分结果见下表。

春 季			
	北京	四川	湖北
组 合	菠菜、芹菜	梨、萝卜、胡萝卜	大白菜
日花费(元)	6.37	4.44	9.92

由表中看出，春季北京居民日花 6.37 元吃菠菜和芹菜；四川居民日花 4.44 元吃梨、萝卜和胡萝卜；湖北居民日花 9.92 元吃大白菜满足自身基本营养需求。

针对问题四的第一小问，要求在综合考虑多种因素的基础上，为居民提供主要果蔬的年度合理人均消费。首先建立了多目标优化模型；再收集处理相关数据并将其带入模型中求解，得出主要果蔬的年度合理消费量；最后结合 2013 年的果蔬的价格，得到 2013 年居民平均每天需花 12.23 元购买苹果、梨、橘子等果蔬组合，年花费为 4465.72 元。

针对问题四的第二小问，要求对我国的果蔬的生产结构进行调整。首先建立了时间序列预测模型；其次将第一小问得出的消费量带入模型进行预测，得出 2014-2020 年的年度消费；然后将果蔬消费转化为营养物质需求量；最终得出 2014-2020 年应分别加大猕猴桃和白菜、香蕉、橘子和胡萝卜等果蔬的种植力度。

	含量最高的营养素	加大种植的水果	加大种植的蔬菜
2019	维生素 A	香蕉、橘子	胡萝卜
2020	钾、不溶性纤维	香蕉、梨子	胡萝卜、蒜苗

由表可以看出，2019 年应整体加大香蕉、橘子和胡萝卜的种植；2020 年应整体加大香蕉、梨子、胡萝卜和蒜苗的种植面积。

针对问题五，结合本文研究结论，向有关部门提出了果蔬种植要有侧重点、区域化果蔬的种植、合理规划种植面积以及加大科技投入等六条建议。

关键词：0-1 规划；BP 神经网络；时间序列；单目标规划；多目标规划；

1 问题重述

1.1 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。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；膳食纤维对促进良好的消化和排泄固体废物有着举足轻重的作用。

但是，由于中国居民的喜食、饱食、偏食、忽视人体健康所需的营养均衡的传统饮食习惯，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，以至于影响到果蔬的种植和生产。

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。因此，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。

1.2 题目已知信息

附件 1：可参考的营养成分表（常见蔬菜营养成分表.xls；常见水果的营养成分表.xls；各种食物营养成分表.xls；其他食品营养成分表.xls；蔬菜类营养成分表.xls；水果类营养成分表.xls；中国食物成分表 2010 版(修正版).xls）；

附件 2：可以查到的数据（FAOSTAT 中柑橘和蔬菜数据.xls；USDA 中柑橘和蔬菜数据.xls；中国国内提供的数据 <http://www.zzys.moa.gov.cn/JPG>）；

附件 3：主要水果蔬菜损耗率.xls；

附件 4：中国居民膳食营养素参考摄入量.xls；

1.3 要解决的问题

问题 1：运用数学手段从附件表格中筛选出主要的水果和蔬菜品种，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（要求：主要的水果、蔬菜品种不仅总计产量应分别超过它们各自总产量的 90%，而且这部分品种所蕴含营养素无论在成分上还是在含量上都满足研究的需要）；

问题 2：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水平是否合理；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？并给出支持结论的充分依据；

问题 3：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；

问题 4：综合考虑居民人体的营养均衡、居民的购买成本、种植者收益以及

进口贸易、土地面积等因素，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 5：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 模型假设

假设 1：水果和蔬菜市场供需平衡，所有的水果蔬菜生产都能全部销售；

假设 2：所有的水果蔬菜从种植生产到投入使用的损耗都以相同的比例；

假设 3：果蔬的进出口量以及各种水果和蔬菜的相对消费量对其价格没有影响；

假设 4：居民对果蔬的购买行为值考虑该中果蔬所含的营养成分，不考虑偏好；

假设 5：种植战略的调整不考虑科技进步带来的各种果蔬亩产值的变化；

3 符号说明

符号	符 号 说 明
M_i	表示第 i 种水果产量占总水果产量的百分比，其中 $i=1,2,\dots,n_1$ ；
N_j	表示第 j 种水果产量占总水果产量的百分比，其中 $j=1,2,\dots,m_1$ ；
x_{ij}	代表该序列点 i 个水果产量的实际观测值 $i=1,2,\dots,8; j=1,2,\dots,12$ ；
X_i	表示第 i 年各水果的产量序列参数， $i=1,2,\dots,8$ ；
o_i	$o_i=0$ 或 1 ， $o_i=0$ 表示不选择第 i 种水果作为研究对象； $o_i=1$ 表示选择第 i 种水果作为研究对象；
q_j	$q_j=0$ 或 1 ， $q_j=0$ 表示不选择第 j 种水果作为研究对象； $q_j=1$ 表示选择第 j 种水果作为研究对象；
η	表示神经网络自学习时的学习速率， $\eta > 0$ ；
β	表示神经网络自学习时的调节因子， $0 \leq \beta < 1$ ；
MinValue	表示样本的最大值；
MaxValue	表示样本的最小值；
说明：其余符号在文中使用时进行具体指定	

4 问题分析

本题主要是针对人体营养健康角度的中国果蔬发展的战略问题进行研究，需要完成主要水果和蔬菜的相关问题、我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素摄入问题、我国居民的果蔬产品的消费选择问题以及我国的产品生产的调整问题这四个大问题，还要根据这些研究结果，给国家相关部门写一份建议书。本文结合题目背景、题目已知信息，及查阅到的相关资料，对要完成的问题进行以下具体分析。

4.1 主要水果和蔬菜的相关问题分析

该题是针对主要水果和蔬菜设置的,它要求运用数学手段从附件表格中筛选出主要的水果和蔬菜品种,并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。通过分析,可以将其分为两个小问题进行解决,一是主要水果和蔬菜品种的筛选确定问题,二是主要水果和蔬菜的消费量估计问题。

针对第一个小问题——主要水果和蔬菜的筛选问题,题目中给出主要水果和蔬菜的筛选标准有两个:一是总计产量应分别超过它们各自总产量的 90%;二是主要水果和蔬菜所蕴含营养素无论在成分上还是在含量上都满足研究的需要。首先,分析总计产量超过各自总产量的 90%这个标准,结果仔细推敲,可以理解为该标准的意思是主要水果和蔬菜的对象选取来源是产量比较大的水果和蔬菜,产量较小的不进行考虑。接着,就是“无论在成分上还是在含量上都满足研究的需要”的界定问题,这是主要水果和蔬菜的一个主要判定条件,认真斟酌、分析题目背景及目的,可以将其理解为主要水果和蔬菜品种应尽量包含人体所需的矿物质、维生素、膳食纤维三种营养物质,且三种营养物质的含量应尽量和人体所需量均衡。

经过前面的分析可以知道,要想筛选出主要的水果和蔬菜,首先,可以根据附件给出的常见的水果和蔬菜的种类,分别找出其对应的年产量,依据它们的年产量及日常饮食经验,聚类选出某几种水果和蔬菜;然后,再将筛选出的水果和蔬菜的营养成分和人类每日除了摄入主食之外所需的营养成分进行聚类,

针对第二个小问题——主要水果和蔬菜的消费量估计问题。由题目可知,这是一个预测问题,通过查阅文献,发现解决预测问题的方法有很多,例如灰色预测、BP 神经网络以及回归分析等等,可以选择其中的两种或者两种以上的多种方法对它们的消费量进行预测,接着收集数据分别对预测结果进行验证,然后再对每种方法的预测结果进行比较分析。

由于我国蔬菜和水果品种繁多,统计起来比较复杂,各个网站公布数据单位有所差异以及数据缺失等各种原因,会导致有些数据找不到或者数据单位不统一等诸多问题出现。因此,为了避免这些问题,可以以一种数据库为主,其他数据库作为参考进行数据收集、矫正和整理。当某些数据收集困难时,可用相关数据替代,但是一定要阐述替代的合理性。

4.2 我国居民营养素摄入相关问题分析

本题主要是对我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素的摄入相关的问题进行研究,揣摩题意发现,可以将其分为两个小问题进行解决,一是对我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素的摄入现状是否合理进行评价;二是预测至 2020 年,中国居民的人体营养健康情况。前者是一个评价问题,后者是一个问题,下面对这两个问题进行具体分析。

针对第一个小问题——营养素摄入是否合理的评价问题,该问题要求对我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素的摄入现状是否合理进行评价,很明显可以看出,这是一个评价问题,在数学学科中,解决评估问题的方法有很多,综合评价方法就是典型的一种。模糊综合评价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,其特点是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。因此在解决这个问题时,我们可以先设立一定

的评价标准，再根据设定的标准建立模糊综合评价模型对其进行评价，这里的评价标准的选择一定要合理有据。

针对第二个小问题——人体营养健康情况的预测问题，这个问题要求预测至 2020 年，中国居民的人体营养健康状况的趋向，属于预测问题的范畴。有关预测问题的解决方法尤其多，像时间序列、灰色预测、BP 神经网络以及回归分析等等。解决此问题，可以从中选择一种或者多种方法建立模型解决，预测之后还需要给出验证来充分合理的说明预测的准确性。

4.3 果蔬产品的消费选择问题分析

这是一个与消费者选择相关的问题，要求在能够保证人们能够以较低的购买成本满足自身的营养健康需要的基础上，为当今中国居民提供主要的水果和蔬菜产品的按年度合理人均消费量。仔细分析，发现这是一个单目标规划问题，目标函数时较低的购买成本，约束条件就是满足居民的自身营养健康。因此，可以建立一个基于最低购买成本的单目标规划模型来解决这个问题。

模型建立出来之后，可以选择南方和北方的两个具有代表性的城市，分季节画出求出的蔬菜和水果的年度合理人均消费量。由于区域城市之间的人均收入等的差异，单纯的求出这个消费总量，并不能反映出区域之间的差异，因此可以求出水果和蔬菜的人均消费量占人均总消费百分比，这样就能更明确有力的说明不同区域的人们每天在水果和蔬菜上的花费情况。

4.4 我国果蔬产品的生产调整问题分析

该题是关于果蔬产品的生产调整问题，为实现人体营养均衡满足健康需要，国家需要对水果和蔬菜各品种的生产规模做出战略性调整，这是一个宏观调控的问题。题目中显示，在果蔬种植调整的过程中，国家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；另一方面也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，作为国家宏观战略，还要考虑进出口贸易、土地面积等其他因素。

由此可以清晰的看出，这是一个多目标规划的问题，多个目标分别就是调控过程中国家需要考虑的问题，具体目标可以通过查阅资料和收集数据确定，解决此问题可以建立一个多目标优化模型，然后运用 MATLAB 及收集到的数据对模型进行求解，从而得出最终的调整战略。

4.5 政策建议书的书写方法分析

题目中要求，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，所以本题要完成的是政策建议书的书写。

仔细分析整个题目，可以发现其目的是科学地规划与调整我国果蔬的中长期的种植模式，因此，在进行政策建议的书写时，我们可以根据前面研究的主要水果和蔬菜的相关问题、中国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素摄入问题、水果和蔬菜产品的消费选择问题以及水果和蔬菜产品生产的调整问题这四个大问题的研究结论及得出的相应数据，对我国的果蔬的种植模式的宏观调控提出一定的建议。

这里提出的既然是政策建议，就必须要有有一定的依据，而且这里的依据不能只是单纯的理论研究，必须有具体的数据结果对其进行支撑说明，否则提出的政策建议将不具有说服力。

5 问题一 主要水果和蔬菜的相关问题

我国是一个人口大国，土地幅员面积辽阔，种植的蔬菜 and 水果品种也极其繁多，所以无论是中国官方统计公布的数据，还是世界粮农组织（FAO）、美国农业部（USDA）等发布的数据都有可能存在数据不完整，缺失为普遍的情况，而且由于地区差异等，公布的品种、口径也会不一致。因此在进行科学决策时这样的宏观问题时，我们不可能也没必要了解全部的数据，较为恰当的方法就是选取主要的水果和蔬菜品种进行研究。本章节主要是针对主要水果和蔬菜的筛选及其预测估计问题进行研究分析，分别建立了 0-1 规划、BP 神经网络以及时间序列模型解决这些问题。

5.1 数据收集及处理

5.1.1 数据的收集

通过登录查询题目中给出的几个数据库，发现中华人民共和国农业部种植业管理司(<http://www.zzys.moa.gov.cn/>)中的数据相对来说比较齐全，因此本文选取此数据库作为数据的主要来源数据库。

为了便于下面进行主要水果和蔬菜的筛选工作的进行，本文从该网址中收集了 2002-2010 年苹果、梨、柑橘类等这些常见水果的生产量以及水果的总销售量以及 2004-2009 年常见蔬菜的生产量以及水果的总销售量。水果和蔬菜的数据的收集的结果分别见表 1 和表 2 所示。

表 1 收集到的 2002-2010 年的水果产量数据

	2002	2003	2004	2007	...	2008	2009	2010
苹果	19240980	21101780	23675470	27859940	...	29846610	31680790	33263290
梨	9309432	9798424	10642290	12895010	...	13538140	14262980	15057080
柑橘类	11990070	13453710	14958300	20582710	...	23312580	25211020	26452450
香蕉	5557297	5903279	6056148	7796656	...	7834672	8833904	9560522
菠萝	827307	821868	808254	905090	...	933633	1042563	1076042
荔枝	1523165	1123811	1555803	1707697	...	1507266	1695586	1773945
龙眼	944165	910874	1018438	1169740	...	1270585	1259799	1312119
桃	5230436	6148100	7010985	9051774	...	9534351	10040200	10456020
猕猴桃	283366	330220	409456	578469	...	673977	875125	1069794
葡萄	4479453	5175939	5675318	6696814	...	7151484	7940612	8548946
红枣	1573698	1718689	2011217	3030623	...	3634071	4247773	4468335
柿子	1740591	1795110	1998214	2574143	...	2710998	2834165	——
总量	69519800	75515220	83941340	10523200	...	113000000	120000000	129000000

注：表格中“——”代表数据缺失，单位：吨；

表 2 收集到的 2004-2009 年的蔬菜产量数据

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
萝卜	38809000	38328000	39352000	40030000	——	39550000	40799000
胡萝卜	13124000	13299000	13314000	14430000	——	14767000	15057000
大蒜	15556000	15666000	16541000	18320000	——	18282000	17900000
大葱	17628000	18917000	19250000	19560000	——	19337000	20754000
茄子	21192000	——	22634000	22470000	——	23722000	25885000
菜豆	26791000	27525000	28831000	29633000	——	——	——
豇豆	7250000	7569000	8257000	8720000	——	9353000	9592000
黄瓜	35513000	36553000	38171000	40400000	——	42194000	44204000
大白菜	101974000	103463000	103083000	105060000	——	105455000	105873000
莲藕	7342000	7041000	7071000	7219000	——	7116000	7499000
甘蓝	28752000	28458000	29858000	30767000	——	32064500	32809000
芹菜	17955000	19187000	19513000	20680000	——	19760000	20814000
菠菜	15739000	15674000	16179000	16270000	——	16628000	17538000
总量	347625000	353593000	362054000	373559000	——	380051700	391666400

注：表格中“——”代表数据缺失，单位：吨；

观察表 1 和表 2 可以发现，收集到的数据并不全面，有些数据找不到或者是丢失等，因此需要对缺失的这些数据进行处理。

5.1.2 缺失数据的处理

前面收集到的数据中，水果中缺失 2010 年柿子的产量数据，而蔬菜数据的缺失比较多，要想筛选出主要的水果和蔬菜，必须对这些数据进行补充。考虑题目的背景，并通过相关资料的查询，这里采用均值对缺失的数据进行补充。通过均值补充完整后的数据结果见表 3 和表 4 所示。

表 3 通过直线内插法补充后水果的数据

	2002	2003	2004	2007	...	2008	2009	2010
苹果	19240980	21101780	23675470	27859940	...	29846610	31680790	33263290
梨	9309432	9798424	10642290	12895010	...	13538140	14262980	15057080
柑橘类	11990070	13453710	14958300	20582710	...	23312580	25211020	26452450
香蕉	5557297	5903279	6056148	7796656	...	7834672	8833904	9560522
菠萝	827307	821868	808254	905090	...	933633	1042563	1076042
荔枝	1523165	1123811	1555803	1707697	...	1507266	1695586	1773945
龙眼	944165	910874	1018438	1169740	...	1270585	1259799	1312119
桃	5230436	6148100	7010985	9051774	...	9534351	10040200	10456020
猕猴桃	283366	330220	409456	578469	...	673977	875125	1069794
葡萄	4479453	5175939	5675318	6696814	...	7151484	7940612	8548946
红枣	1573698	1718689	2011217	3030623	...	3634071	4247773	4468335
柿子	1740591	1795110	1998214	2574143	...	2710998	2834165	3050534
总量	69519800	75515220	83941340	10523200	...	113000000	120000000	129000000

注：表中红色带线划线的数为补充的数，单位：吨；

表 4 通过直线内插法补充后的蔬菜数据

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
萝卜	38809000	38328000	39352000	40030000	<u>39790000</u>	39550000	40799000
胡萝卜	13124000	13299000	13314000	14430000	<u>14598500</u>	14767000	15057000
大蒜	15556000	15666000	16541000	18320000	<u>18301000</u>	18282000	17900000
大葱	17628000	18917000	19250000	19560000	<u>19448500</u>	19337000	20754000
茄子	21192000	<u>21913000</u>	22634000	22470000	<u>23096000</u>	23722000	25885000
菜豆	26791000	27525000	28831000	29633000	<u>30738000</u>	<u>31823200</u>	<u>32942400</u>
豇豆	7250000	7569000	8257000	8720000	<u>9036500</u>	9353000	9592000
黄瓜	35513000	36553000	38171000	40400000	<u>41297000</u>	42194000	44204000
大白菜	101974000	103463000	103083000	105060000	<u>105257500</u>	105455000	105873000
莲藕	7342000	7041000	7071000	7219000	<u>7167500</u>	7116000	7499000
甘蓝	28752000	28458000	29858000	30767000	<u>31320000</u>	32064500	32809000
芹菜	17955000	19187000	19513000	20680000	<u>20220000</u>	19760000	20814000
菠菜	15739000	15674000	16179000	16270000	<u>16449000</u>	16628000	17538000
总量	347625000	353593000	362054000	373559000	376719500	380051700	391666400

注：表中红色带线划线的数为补充的数，单位：吨；

5.2 主要果蔬的筛选问题的建模、求解及结果分析

5.2.1 基于 0-1 规划的主要果蔬筛选模型的建立

0-1 规划是决策变量仅取值 0 或 1 的一类特殊的整数规划。它主要用于求解互斥的计划问题、约束条件互斥问题、固定费用问题和分派问题等方面^[1]。

根据研究的必要性，应用欧式距离判别法的思想对已知的 162 种水果和 256 种蔬菜进行聚类分析处理，并筛选出研究所需要的主要水果和蔬菜的种类。

最终建立的基于 0-1 规划的主要果蔬的筛选模型为

$$\begin{cases}
 o_i = \begin{cases} 0 & \text{不选择第 } i \text{ 种水果作为研究对象} \\ 1 & \text{选择第 } i \text{ 种水果作为研究对象} \end{cases} \\
 q_j = \begin{cases} 0 & \text{不选择第 } j \text{ 种蔬菜作为研究对象} \\ 1 & \text{选择第 } j \text{ 种蔬菜作为研究对象} \end{cases} \\
 s.t. \begin{cases} \sum o_i \cdot M_i \geq 80\% & i=1,2,\dots,n_1 \\ \sum q_j \cdot N_j \geq 80\% & j=1,2,\dots,n_2 \\ \text{Min} \sum |o_i X_i - o_j X_j| & i,j=1,2,\dots,n_1 \\ \text{Min} \sum |q_i Y_i - q_j Y_j| & i,j=1,2,\dots,n_2 \\ \text{Max} \sum \sum o_i x_{ij} & i=1,2,\dots,n_1; j=1,2,\dots,m_1 \\ \text{Max} \sum \sum q_j y_{ij} & i=1,2,\dots,n_2; j=1,2,\dots,m_2 \end{cases}
 \end{cases} \quad (1)$$

其中， M_i 表示第 i 种水果产量占总水果产量的百分比； N_j 表示第 j 种蔬菜的产量占总蔬菜产量的百分比；

$\sum o_i \cdot m_i \geq 80\%$ 、 $\sum q_j \cdot n_j \geq 80\%$ 表示被用于研究的水果和蔬菜的百分比达到总产量的 80%;

$\text{Min} \sum |o_i X_i - o_j X_j|$ 、 $\text{Min} \sum |q_i Y_i - q_j Y_j|$ 表示所于研究的水果和蔬菜在成分上面具有相似性;

$\text{Max} \sum \sum o_i x_{ij}$ 、 $\text{Max} \sum \sum q_j y_{ij}$ 表示所用于研究的水果和蔬菜所含有的营养种类尽可能多。

这里选择各种果蔬里面的膳食纤维、各种维生素以及各种矿物质含量为研究对象; 第 i 种水果用 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}), i = 1, 2, \dots, n_1; j = 1, 2, \dots, m_1$ 表示; 第 j 种蔬菜用 $Y_j = (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{ij}), j = 1, 2, \dots, n_2; i = 1, 2, \dots, m_2$ 表示; n, m 分别代表研究水果的种类数目以及研究的营养类型数目。

5.2.2 利用聚类算法对主要果蔬的进行筛选求解

1) 主要水果的筛选求解过程

根据常识及对收集到的水果产量进行观察分析, 发现附件中给出的 36 种常见水果的产量相对于其他水果来讲比较大, 因此, 我们选取这 36 中常见的水果为研究对象, 例如苹果、梨、桃子、香蕉等。

首先, 运用聚类方法^[2]对它们进行处理, 将营养成分相似的水果分成一组。通过聚类, 发现这些水果可以分成 6 类, 具体的分类结果见表 5 所示。

表 5 常见水果聚类后的结果

第 1 类	草莓, 桑葚, 山楂, 樱桃
第 2 类	香蕉, 柚子, 大枣, 龙眼, 榴莲
第 3 类	榴莲
第 4 类	猕猴桃
第 5 类	椰子, 火龙果
第 6 类	余下的 24 种水果

接着, 对表 5 中的数据进行分析。以 2002 年的数据为例, 为确保主要的水果、蔬菜的总计产量超过他们各自总产量的 90%, 采用 0-1 规划模型对数据进行处理, 处理后的结果如表 6 所示。

表 6 聚类后的水果经过 0-1 规划处理后的结果

	水果种类
第 1 类	香蕉, 大枣
第 2 类	猕猴桃
第 3 类	苹果、梨、柑橘、菠萝、荔枝、龙眼、桃子、葡萄、柿子

最后, 对比分析表 5 和表 6 可以发现, 无论是整体上还是同组之间, 表 6 中的得到的水果种类都比表 5 中的种类少了很多, 这是将常见水果经过聚类和 0-1 规划之后的最终结果, 将其最终整合后作为筛选出的主要水果为 12 种, 具体结果见表 7 所呈现。

表 7 筛选出的主要水果品种

香蕉、大枣、猕猴桃、苹果、梨、柑橘、菠萝、荔枝、龙眼、桃子、葡萄、柿子

为了能够更加直观、形象的看出主要水果的产量情况，运用 MATLAB 对其进行绘图，绘制结果如图 1 所示。

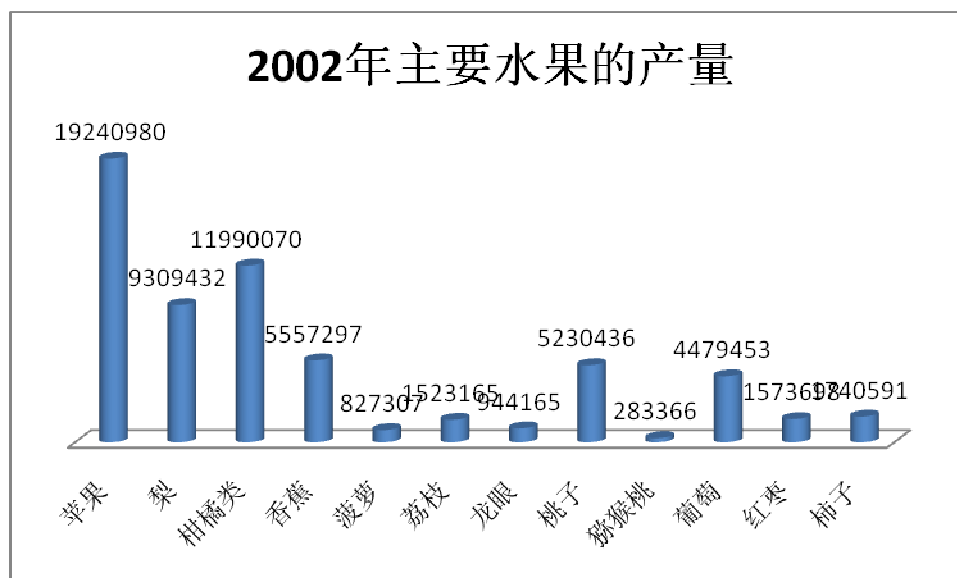


图 1 2002 年主要水果的产量

由图 1 中可以明确看出，主要水果的产量从高到低的排序依次为：苹果、柑橘类、梨、香蕉、桃子、葡萄、柿子、红枣、荔枝、龙眼、菠萝、猕猴桃。

为了证明我们得出的主要水果的具有一定的代表性及可信度，本文收集了 2003—2007 年这些主要水果的销售量对其进行检验，统计计算这几年主要水果的产量占水果总量的百分比，详细的结果见图 2 所示。

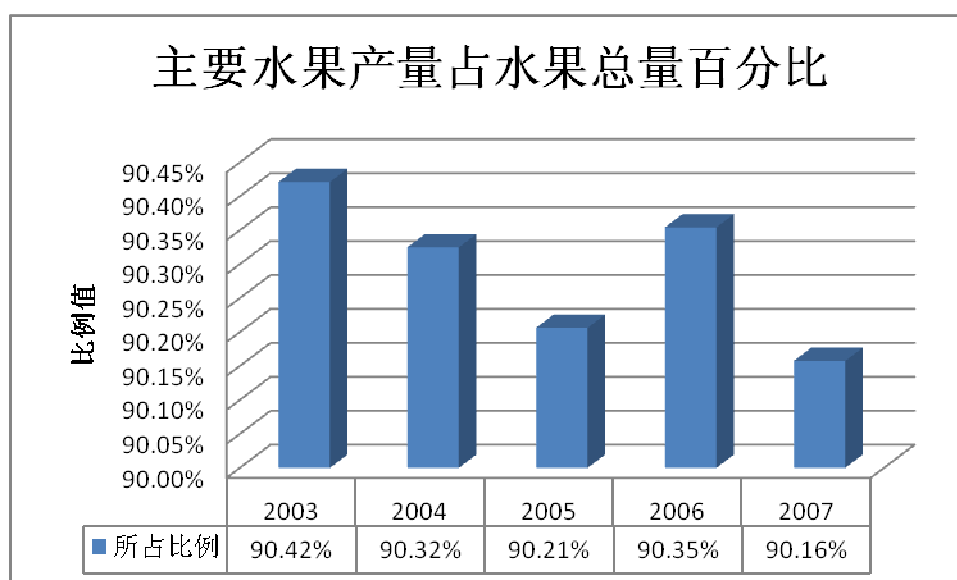


图 2 2003-2007 年主要水果产量占水果总量的百分比

由图 2 可知，苹果、梨、香蕉、葡萄等这些主要水果在 2003-2007 年的总计销售量占水果总体销售量的 90% 以上。可见，本文筛选出的 13 种主要水果品种是符合筛选标准的。

2) 主要蔬菜的筛选求解过程

同理，通过聚类方法，将营养成分相似的蔬菜分成一组，可以分成 12 类，分类结果如表 8 所示。

表 8 常见蔬菜聚类后的结果

第 1 类	蒜苗
第 2 类	土豆
第 3 类	萝卜、韭菜、生菜、冬瓜、西红柿、黄瓜、南瓜、丝瓜
第 4 类	菠菜、小白菜
第 5 类	大白菜、菜花、油菜、圆白菜、青椒、苦瓜
第 6 类	竹笋、芹菜
第 7 类	胡萝卜
第 8 类	茄子
第 9 类	蘑菇
第 10 类	香菇
第 11 类	榨菜
第 12 类	木耳

然后，以 2002 年的数据为例，采用 0-1 规划模型对数据进行处理，处理后的结果如表 9 所示。

表 9 聚类后的蔬菜经过 0-1 规划处理后的结果

第 1 类	萝卜、黄瓜
第 2 类	菠菜
第 3 类	大白菜
第 4 类	芹菜
第 5 类	胡萝卜
第 6 类	茄子

表 9 中的结果就是本文通过聚类和 0-1 规划筛选出的主要蔬菜的最终结果，由表 9 可以看出，本文最终确定的主要蔬菜为萝卜、黄瓜、菠菜、大白菜、胡萝卜和茄子这七种。

为了能够更加直观、形象的看出主要水果的产量情况，运用 MATLAB 对其进行绘图，绘制结果如图 3 所示。

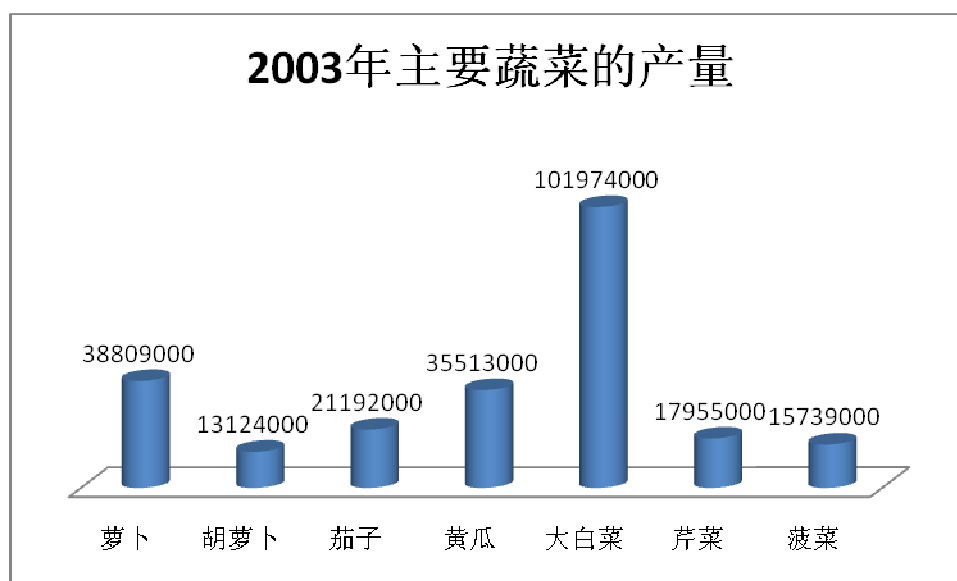


图 3 2002 年主要蔬菜的产量

由图 3 中可以看出，每种水果的产量从高到低的顺序依次为：大白菜、萝卜、黄瓜、茄子、芹菜、菠菜、胡萝卜。

5.2.3 主要果蔬的筛选结果呈现

综上所述，本文运用聚类和 0-1 规划这两种数学手段从附件表格中筛选出主要的水果和蔬菜品种的具体结果如表 10 所示。

表 10 主要果蔬品种的筛选结果

果 蔬 品 种	
主要水果	苹果，梨，柑橘类，香蕉，菠萝，荔枝，龙眼，桃，猕猴桃，葡萄，红枣，柿子
主要蔬菜	大白菜、萝卜、黄瓜、茄子、芹菜、菠菜、胡萝卜

5.2.4 主要果蔬的筛选结果分析

本题在进行主要果蔬的筛选时，首先根据营养成分的相似性这的基点，运用了聚类方法分别对附件中给出的常见的水果和蔬菜进行处理，然后收集 2002 年各种水果和蔬菜产量，运用 0-1 规划的数学手段对聚类后的结果进行再次处理，经过剔除等等，最后得出主要的水果为苹果，梨，柑橘类，香蕉，菠萝，荔枝，龙眼，桃，猕猴桃，葡萄，红枣，柿子 12 种，主要的蔬菜为大白菜、萝卜、黄瓜、茄子、芹菜、菠菜、胡萝卜 7 种。

5.3 主要果蔬的消费量估计问题的建模、求解及结果分析

在数学中，用于预测的方法有很多种，通过分析题目的背景，本文分别建立了 BP 神经网络预测模型和时间序列预测模型，分别用两种模型预测果蔬的消费量以及未来的发展趋势。

5.3.1 基于 BP 神经网络的预测模型建立

BP (Back Propagation)神经网络，是一个误差反传误差反向传播算法的学习过程，它由信息的正向传播和误差的反向传播两个过程组成。主要包括作用函数模型、输入输出模型、自学习模型和误差计算模型^[3]。其中，自学习模型可以进行事物的发展状况的预测。

1) 数据归一化处理

在工程应用领域中，应用 BP 网络好坏的关键是输入特征选择和训练样本集的准备，若样本集代表性差、矛盾样本多、数据归一化存在问题，建立起来的模型预测效果就比较差。由于采集的数据的单位不一致，因而需要对数据进行归一化处理，归一化的目的是为了加快训练网络的收敛性，以及减少单位不统一带来的影响。归一化的具体做法如下：

a) 把数变为(0,1)之间的小数

这主要是为了数据处理方便才提出来的，把数据映射到 0-1 范围之内处理，能够更加便捷快速进行数据处理。

b) 把有量纲表达式变为无量纲的表达式

由于收集数据的单位不统一，因此需要将有量纲的表达式经过数据变换，化为无量纲的表达式，让数据成为纯量。

无量纲转化的表达式为

$$y = (x - \text{MinValue}) / (\text{MaxValue} - \text{MinValue}) \quad (2)$$

其中， x, y 分别为转换前、后的值， $\text{MinValue}, \text{MaxValue}$ 分别为样本的最大值和最小值。

2) BP 神经网络预测模型的建立

鉴于 BP 神经网络初始权值和阈值是随机选择的，所以我们采用遗传算法通过全局寻优来确定 BP 神经网络初始权值和阈值以提高其精度。

由此，最终建立的 BP 神经网络预测模型为

$$L = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^N \sum_{k=1}^m (y_k^p - o_k^p)^2 \quad (3)$$

其中： o_k^p 为输出节点 k 在样本 p 作用时的输出； y_k^p 为样本 p 作用时输出节点 k 的目标值， m 为输出变量的维数，本题中 $m=1$ ； N 为学习样本个数。

5.3.2 时间序列预测模型的建立

时间序列预测法就是通过编制和分析时间序列，根据时间序列所反映出来的发展过程、方向和趋势，进行类推或延伸，借以预测下一段时间或以后若干年内可能达到的水平^[4]。

本文建立的时间序列预测模型为

$$x_{it} = \beta_1 x_{i(t-1)} + \cdots + \beta_n x_{i(t-n)} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \cdots - \theta_m \alpha_{t-m} \quad (4)$$

式中 $x_{i(t-1)}, x_{i(t-2)}, \dots, x_{i(t-n)}$ 为历史观测值； β_n, θ_m 为模型参数； α_t 为系统随机误差。

具体建模的步骤和思路如下：

首先，分别采用 2002-2009 年的水果产量和 2003-2009 年的蔬菜产量为时间序列样本。用 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}), i = 1, 2, \dots, 8; j = 1, 2, \dots, 12$ 表示第 i 年各水果的产量序列参数，其中 x_{ij} 代表该序列点 j 个水果产量的实际观测值； $Y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}), i = 1, 2, \dots, 7; j = 1, 2, \dots, 13$ 表示第 i 年各蔬菜的产量的序列参数， y_j 表示该时间序列点上蔬菜产量的实际观测值；

然后，对 $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}$ 的时间序列样本其平均值 $E(x_{ij}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}$ ；

接着，对数据做平稳性检验。本文采用相对成熟且较为简单的游程检验法。具体做法如下：

将所有的观测值与平均值作对比，大于平均值记“+”，小于平均值记“-”，并统计出“+”与“-”各自出现的次数 N_1, N_2 ，有 $N = N_1 + N_2, N < 15$ 。这样相应于元序列就得到了一个符号序列。并且记符号序列中的每一段相同的记号序列为一个游程，游程总数服从 r 分布：

$$\begin{aligned} E(r) &= \frac{2N_1N_2}{N} + 1 \\ D(r) &= \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N)}{N^2(N-1)} \end{aligned} \quad (5)$$

对所检验序列我们求出统计量 r ，在给定的显著性水平 $\alpha=0.05$ 下，若 $r_L < r < r_U$ ，我们认为序列是平稳的，经验证 $r_L < r < r_U$ 。于是，得出最终建立的平稳序列下的时间序列预测模型为公式 4 所示。

5.3.3 两种模型的求解及验证

前面分别建立了 BP 神经网络预测模型和事件序列预测模型，接下来分别以收集到的 2002-2009 年的主要水果的产量以及 2003-2009 年主要蔬菜的产量，运用 MATLAB 分别对两种模型进行求解，具体的求解结果如下。

1) 求解前的准备

我们收集到的数据是水果和蔬菜的产量，而本题需要计算的是主要水果和蔬菜的消费量，因此在求解之前需要对数据进行一定的处理，具体的处理方式如下所示：

主要水果的消费量=该种水果产量×消费比例；
主要蔬菜的消费量=该种蔬菜产量×消费比例；
经过上面的处理之后，得出的各种主要水果和蔬菜的消费量为

2) BP 神经网络预测模型求解过程及结果

BP 神经网络的学习过程包括以下步骤：

Step1: 网络初始化

本题针对水果消费量的预测对模型做出具体的描述,所以确定输入层的初始输入节点 $n=9$; 隐含层节点数 l ; 输出节点数 $m=1$, 隐含层与输出层神经元之间的连接权值 $\omega_{ij}, \omega'_{jk}$, 隐含层阈值 $\alpha=(a_1, a_2, \dots, a_l)$, 输出层阈值 $b=(b_1, b_2, \dots, b_m)$ 。

Step2: 隐含层输出 h_j 的计算

$$h_j = f\left(\sum_{i=1}^n \omega_{ij} x_i - a_j\right), j=1, 2, \dots, l \quad (6)$$

其中, $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ 为激活函数, x_i 为第 i 个输入节点变量。

Step3: 输出层输入 o_k 计算

$$o_k = \sum_{j=1}^l h_j \omega'_{jk} - b_k, k=1, 2, \dots, m \quad (7)$$

Step4: 权值更新

$$\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) + \eta[(1-\beta)D(t) + \beta D(t-1)], i=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$\omega'_{jk} = \omega'_{jk}(t) + \eta[(1-\beta)D'(t) + \beta D'(t-1)], k=1, 2, \dots, m \quad (9)$$

其中, η 是学习速率, $\eta > 0$, $D(t) = -\frac{\partial L}{\partial \omega_{ij}(t)}$, $D'(t) = -\frac{\partial L}{\partial \omega'_{jk}(t)}$; β 为调节因子, $0 \leq \beta < 1$ 。

Step5: 阈值更新

可以根据网络输出 o_k 和期望输出 y_k 之间的误差更新 a_j, b_k 。

$$a_j(t+1) = a_j(t) + \eta h_j (1-h_j) \sum_{k=1}^m \omega'_{jk} (y_k - o_k) \quad (10)$$

$$b_k(t+1) = b_k(t) + (y_k - o_k) \quad (11)$$

Step6: 在 MATLAB 中调用相关函数对模型进行求解直至迭代结束, 未结束则重复步骤 2。

基于以上步骤, 以及建立的神经网络模型, 运用 MATLAB 分别对各种主要的水果和蔬菜品种的消费量进行预测。神经网络预测模型得出的 2002-2015 年的主要水果的消费量及 2003-2015 年的主要蔬菜的消费量分别见表 11 和表 12 所示。由于水果的主要水果的品种比较多, 所以预测出来的数据也比较多, 由于纸张的大小有限, 这里指列出了部分结果, 详细的结果见附录。

表 11 神经网络模型预测的 2002-2015 年的部分主要水果的消费量预测结果

	苹果	梨	橘子	桃子	...	猕猴桃	葡萄	大枣	柿子
2002	18282009	8041291	9743034	4536766	...	203072.2	2797236	1434680	1352340
2003	20110716	8543466	10960136	5366658	...	243717.1	3264631	1584267	1400220
2004	22415396	9145252	11987471	6025908	...	286969.2	3502810	1844503	1550981
2005	22996274	9794912	13073822	6597514	...	331236.8	3670821	2297724	1687769
2006	24596467	10458939	14540982	7178668	...	375201.9	3904177	2785715	1825100
2007	26710938	11106382	16611381	7764647	...	420476.8	4187105	2784322	1985120
2008	28244557	11714887	18947197	8277680	...	484550.4	4478210	3307099	2112996
2009	30191106	12373357	20604047	8712902	...	633943	4968712	3915238	2203864
2010	31527158	12982296	21267630	8998611	...	771355.1	5330698	4027738	2369937
2011	31620027	13033531	21435838	9048802	...	778274.2	5347853	4043129	2372072
2012	31622541	13033797	21471078	9050816	...	778330.4	5348124	4045188	2372074
2013	31622811	13033811	21478981	9050941	...	778333.7	5348141	4045102	2372075
2014	31622907	13033815	21481147	9050965	...	778334.4	5348139	4045007	2372081
2015	31622974	13033817	21481860	9050975	...	778334.7	5348134	4045333	2372089

消费量的单位：吨；

表 12 神经网络模型预测的 2003-2015 年的主要蔬菜的消费量预测结果

	萝卜	胡萝卜	茄子	黄瓜	大白菜	芹菜	菠菜
2003	34871703	11787143	18328166	32372749	69424313	13816877	10730627
2004	34446536	11942778	18947314	33208112	70438907	14742879	10680466
2005	35360964	11960444	19572952	34909180	70192233	15002756	11003109
2006	35962634	12965017	19440983	36774099	71531221	15891657	11070951
2007	35751689	13124954	19981298	37693114	71667341	15536132	11184226
2008	35532768	13280352	20516383	38499420	71804159	15201817	11307790
2009	36642558	13511889	22383995	40253112	72049499	16010106	11927401
2010	36655667	13527054	22391692	40312762	72080132	16012573	11931202
2011	36654967	13527874	22391693	40312949	72082220	16012597	11931209
2012	36653099	13528026	22391692	40312660	72082538	16012561	11931208
2013	36649737	13528082	22391691	40312119	72082618	16012511	11931206
2014	36644632	13528110	22391690	40311258	72082634	16012446	11931204
2015	36637791	13528127	22391689	40310178	72082623	16012367	11931202

消费量的单位：吨；

表 11 和表 12 是利用建立的神经网络模型，分别对 2002-2015 年的主要的水果和 2003-2015 年的主要的蔬菜品种进行预测的结果。这样单一的预测结果，并不能证明本文所做的预测就是合理的，因此，为了使文章更具有说服力，需要对该结果进行验证。

3) BP 神经网络预测结果准确性检验

为了验证 BP 神经网络预测结果的合理性，本文分别从主要水果和主要蔬菜品种中随机选取苹果、橘子、萝卜、黄瓜和白菜这几种果蔬，运用 MATLAB 对 2002-2015 年的苹果和橘子预测结果和 2003-2015 年的萝卜、黄瓜和白菜做走势

图，然后画出 2002-2010 年的苹果和橘子的真实消费量及 2003-2009 年的萝卜、黄瓜和白菜的散点图，最终做出的具体图 4 和图 5 所示。

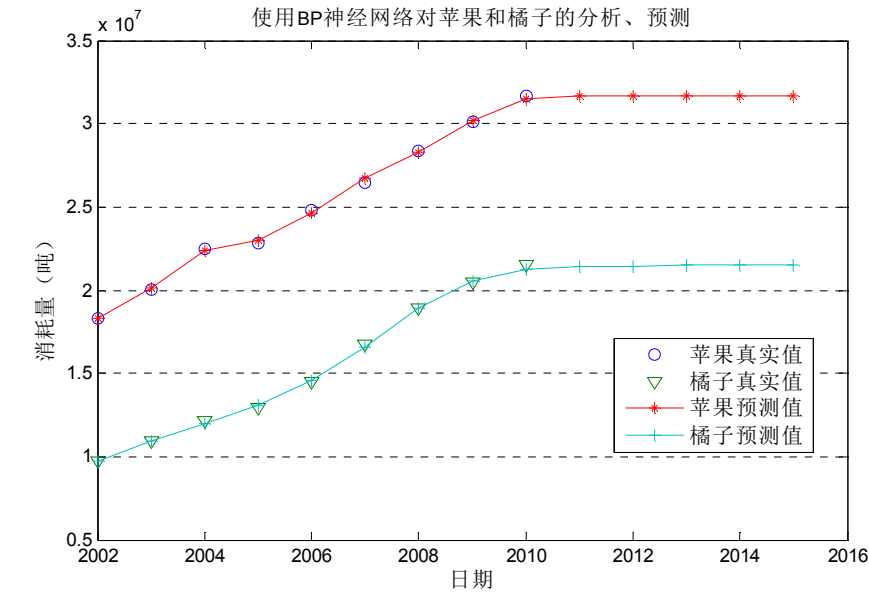


图 4 使用 BP 神经网络模型对苹果和橘子的预测结果准确性检验

图 4 和图 5 分别是使用建立的神经网络模型对随机挑选出来的主要果蔬，也就是我们选择的苹果、橘子、萝卜、黄瓜和白菜的预测结果准确性结果图，其目的是为了验证我们根据所建立的神经网络预测模型得出的预测结果的合理性。

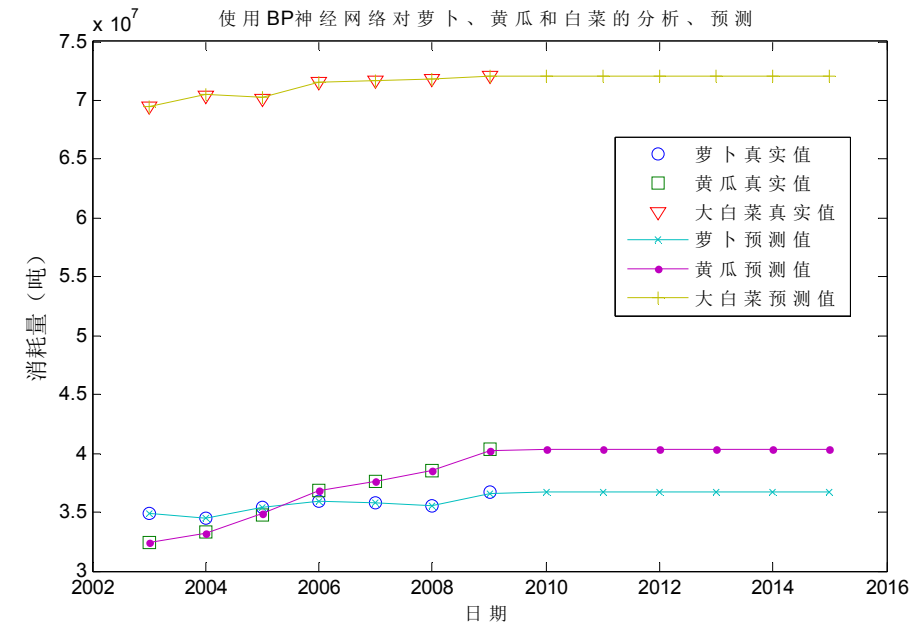


图 5 使用 BP 神经网络模型对萝卜、黄瓜和白菜的预测结果准确性检验

通过观察图 4 和图 5，可以明确的发现，果蔬的真实消费量均匀的分布在由这些果蔬的预测值连接起来的曲线上或者其两侧，由此可见，由所建立的神经网络预测模型得出的预测结果是合理的，可以根据该预测结果预测各种主要果蔬的趋势。

4) 时间序列预测模型求解结果

同理可得，运用时间序列模型对主要果蔬的消费量进行预测求解，求得的结果见表 13 和表 14 所示。

表 13 时间预测模型预测的 2002-2015 年的部分主要水果的消费量预测结果

	苹果	梨	橘子	桃子	…	猕猴桃	葡萄	大枣	柿子
2002	18292342	8058505	9737855	4527612	…	206165.8	2802346	1435661	1353484
2003	19353776	8312476	10451081	5004225	…	226619.2	3063779	1515025	1378920
2004	21405645	8890445	11576536	5714525	…	272458	3395014	1718796	1487670
2005	22701728	9556423	12647707	6412959	…	317893.5	3616014	2090339	1634076
2006	24516449	10248973	14162334	7078690	…	370425.1	3903912	2597496	1774794
2007	26456004	11071786	16246247	7842551	…	421217.3	4206623	2850713	1964813
2008	28542351	11817135	18639938	8466845	…	487766.9	4524078	3297367	2125089
2009	30595857	12549989	20764373	9016247	…	608417.9	4971329	3853765	2259558
2010	32461829	13303205	22384281	9472156	…	755062.8	5418494	4249056	2421382
2011	32461829	13303205	22384281	9472156	…	755062.8	5418494	4249056	2421382
2012	33803800	13809661	23637372	9910330	…	815047.8	5673445	4530806	2525813
2013	35145772	14316118	24890463	10348503	…	875032.8	5928395	4812556	2630243
2014	36487743	14822575	26143554	10786676	…	935017.7	6183346	5094306	2734674
2015	37829714	15329031	27396645	11224849	…	995002.7	6438296	5376056	2839105

单位：吨；

表 14 时间预测模型预测的 2003-2015 年的主要蔬菜的消费量预测结果

	萝卜	胡萝卜	茄子	黄瓜	大白菜	芹菜	菠菜
2003	34868431	11791442	18332055	32387430	69428998	13814667	10707494
2004	34609135	11885780	18706274	32956510	70037269	14383411	10680961
2005	35018537	11945753	19286313	34154863	70216585	14846716	10872504
2006	35615037	12578226	19511794	36020845	71109146	15627474	11015595
2007	35809481	13013768	19940512	37500120	71665068	15823234	11163559
2008	35770011	13327240	20478969	38730400	72018106	15682873	11311553
2009	36402755	13631807	21869218	40410596	72342135	16057519	11755590
2010	36402755	13631807	21869218	40410596	72342135	16057519	11755590
2011	36583454	13833899	22283965	41283402	72632746	16263088	11883513
2012	36764154	14035991	22698713	42156208	72923357	16468657	12011437
2013	36944854	14238083	23113461	43029015	73213968	16674226	12139361
2014	37125553	14440175	23528209	43901821	73504579	16879795	12267285
2015	37306253	14642267	23942957	44774627	73795190	17085365	12395209

单位：吨

表 13 和表 14 是利用建立的时间序列预测模型，分别对 2002-2015 年的主要的水果和 2003-2015 年的主要的蔬菜品种进行预测的结果。同理，单一的预测结果不能证明本文所做的预测就是合理的，为了使文章更具有说服力，因此需要对结果进行验证。

5) 时间序列预测模型预测结果准确性检验

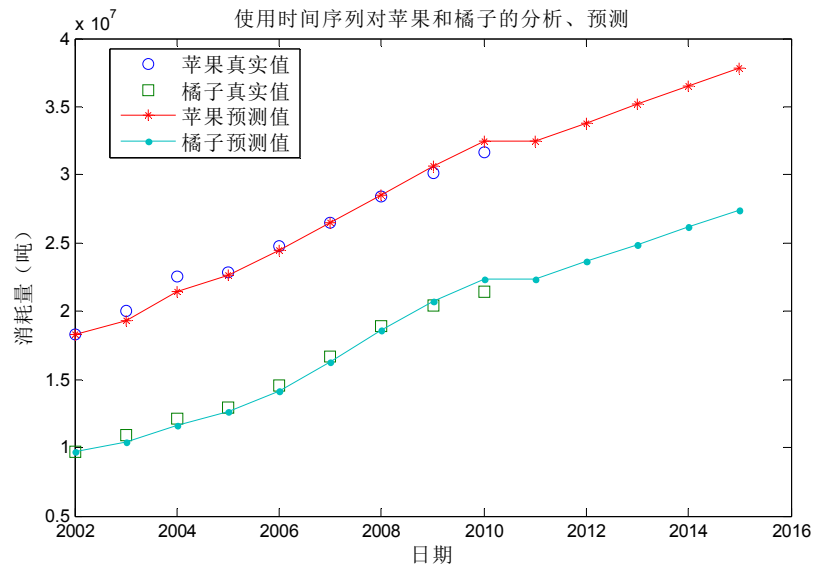


图 6 时间序列模型预测结果的准确率验证结果

同理，为了验证时间序列预测模型预测结果的合理性，同样分别从主要水果和主要蔬菜品种中选取苹果、橘子、萝卜、黄瓜和白菜这几种果蔬，运用 MATLAB 分别绘制它们的真实值散点图和预测值构成的曲线图，绘制结果见图 6 和图 7。

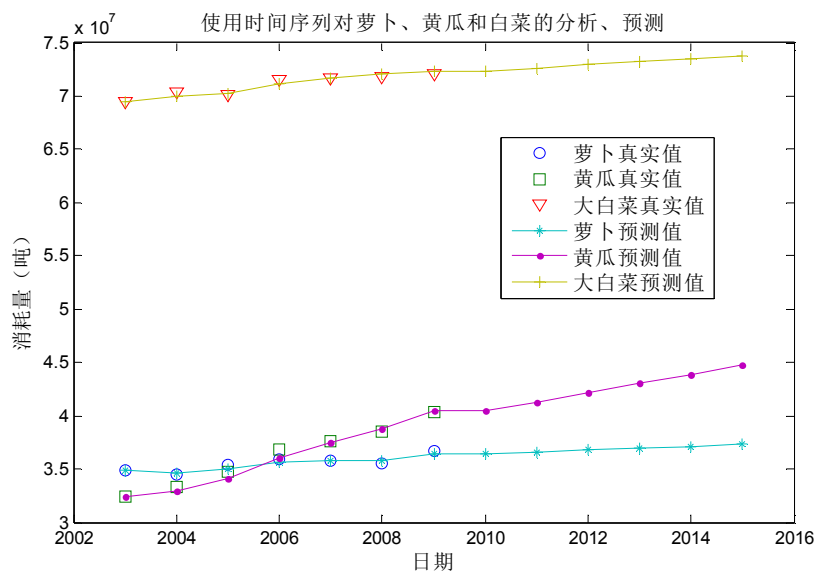


图 7 时间序列模型预测结果的准确率验证结果

分别观察图 4 和图 5 发现，果蔬的真实消费量均匀的分布在由这些果蔬的预测值连接起来的曲线上或者其两侧。由此可见，由所建立的时间序列预测模型得出的预测结果是合理的，因此可以根据该预测结果预测各种主要果蔬的趋势。

5.3.4 两种模型对主要果蔬的趋势预测

1) BP 神经网络模型下的主要果蔬的趋势预测

前面我们验证了建立的神经网络预测模型的合理性，因此接下来可以利用该模型对主要果蔬的趋势进行预测。BP 神经网络模型下的主要水果和蔬菜的预测

趋势分别见图 8 和图 9 所示。

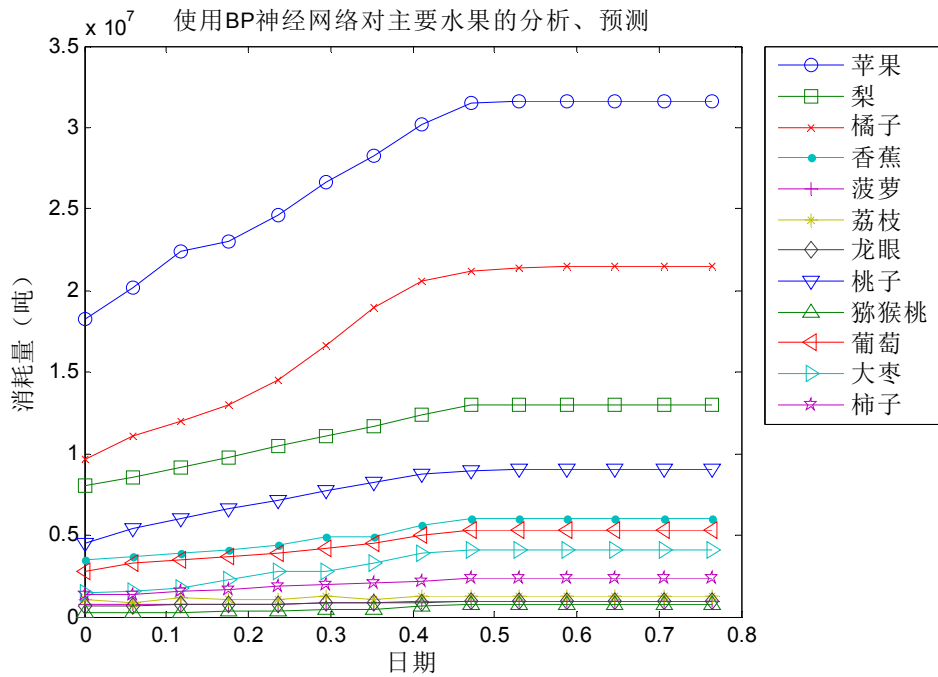


图 8 BP 神经网络模型下的主要水果消费量趋势

观察图 8 可以发现，筛选出的苹果、橘子、梨、香蕉、菠萝、荔枝、龙眼、桃子、猕猴桃、普通、大枣、以及柿子这 12 种主要的水果的消费量都呈增长趋势，但是随着时间的推移，增长的幅度会逐渐降低。

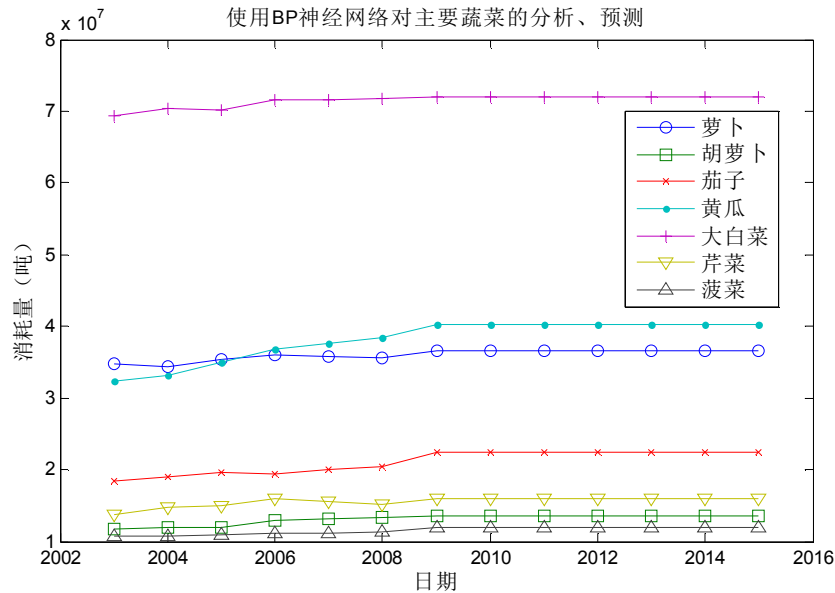


图 9 BP 神经网络模型下的主要蔬菜消费量趋势

分析观察图 9 呈现的结果可以发现，我们筛选出的萝卜、胡萝卜、大白菜、茄子、黄瓜芹菜以及菠菜这 7 种主要蔬菜的消费量整体上都呈增长的趋势，但是随着时间的推移，增长的幅度在逐渐的降低。

2) 时间序列模型下的主要果蔬的趋势预测

前面已经验证了建立的神经网络预测模型的合理性, 接下来可以利用该模型对主要果蔬的趋势进行预测。基于时间序列预测模型的主要水果和蔬菜的预测趋势分别见图 10 和图 11 所示。

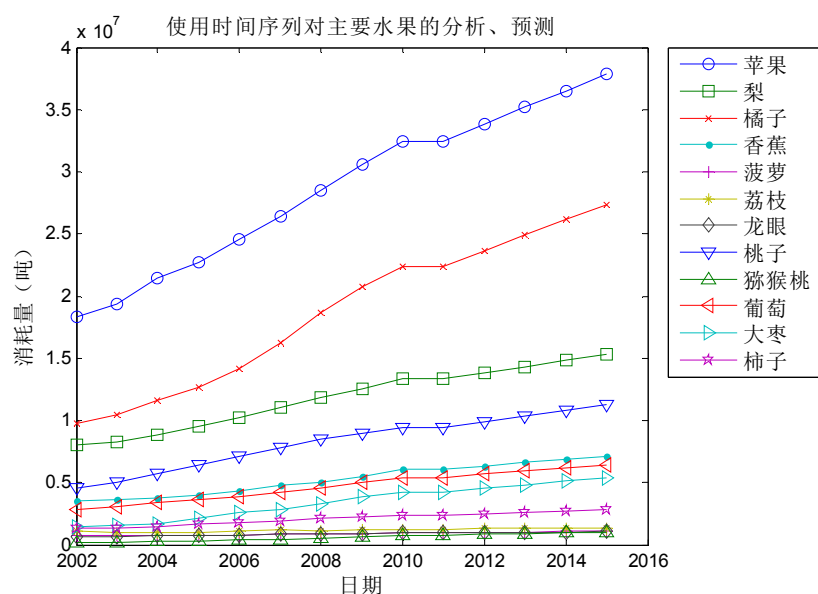


图 10 时间序列模型下的主要水果消费量趋势

分析观察图 10 可以发现, 筛选出的苹果、橘子、梨、香蕉、菠萝、荔枝、龙眼、桃子、猕猴桃、普通、大枣、以及柿子这 12 种主要的水果的消耗量都呈线性增长的趋势, 随着时间的推移, 增长的幅度并没有逐渐降低。

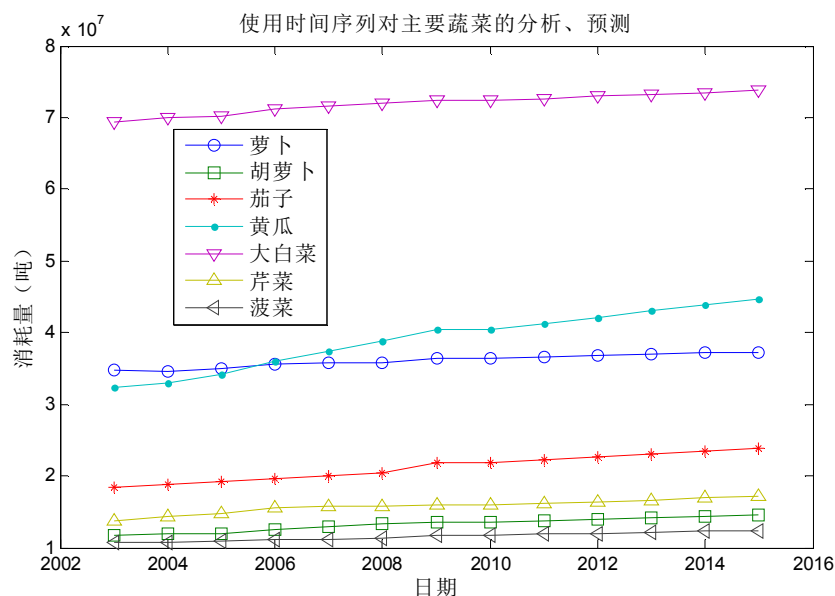


图 11 时间序列模型下的主要水果消费量趋势

由图 11 呈现的结果可以发现, 筛选出的萝卜、胡萝卜、大白菜、茄子、黄

瓜芹菜以及菠菜这 7 种主要蔬菜的消费量整体上都呈递增的趋势，随着时间的推移，增长的幅度没有发生明显的变化。

5.3.5 两种模型的比较分析

前面我们已经分别运用两种模型对主要水果和蔬菜的消费量趋势进行了预测，预测结果分别如图 8、9、10、11 所示。对比图 8 和图 10，可以明显的发现，虽然两种模型下的主要水果的消费量都呈增长趋势，但是，图 8 中后期的增长幅度非常小，而图 10 的增长幅度几乎保持不变。

同理，观察图 9 和图 11，也可以明显的发现，虽然基于模型预测的主要蔬菜的消费量整体上都呈增长趋势，但是，图 9 中后期的增长幅度非常小，而图 11 的增长幅度几乎保持不变。

根据查阅的资料可知，中国果蔬市场趋势整体上保持递增的趋势。因此认为，基于时间序列预测模型得出的预测结果和趋势更符合现实的市场情况及国家的宏观政策。

6 问题二 我国居民营养素摄入相关问题

多数中国居民有着喜食、饱食、偏食、忽视人体健康所需的营养均衡这一系列的传统饮食习惯，这在一定程度上违背了居民身体健康所需均衡营养的意义，也在一定程度上影响了我国的果蔬生产。为了能够更科学、更合理的规划与调整我国果蔬的中长期的种植模式，我们必须摸清我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素摄入现状，从而更准确的预测我国果蔬的消费与生产趋势，为宏观调控我国的果蔬种植战略做充分的准备。本章节主要是对我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素摄入的现状进行评价以及其未来的情况进行预测，分别建立模糊综合评价模型、时间序列预测模型解决这些问题。

6.1 我国居民目前营养素摄入是否合理的研究

6.1.1 建模前的准备

1) 数据的处理

根据题目中给出的附件 1 中的水果营养成分报表、蔬菜营养成分报表以及前面计算得出的 2010-2014 年的人均果蔬消费量，将人均果蔬消费量转化为居民对应矿物质、维生素、膳食纤维等营养物质的日摄入量，转化结果见表 15 所示。

观察表 15 可以发现，其中的蛋白质、脂肪、碳水化合物等营养物质的单位不统一，有的是 g，有的是 mg，有的是 ug；这样会导致计算结果有误，因此需要先对其进行标准化处理。

表 15 人均果蔬消费量对应的营养物质含量

		2010	2011	2012	2013	2014
其他(g)	蛋白质	6.441061066	6.459351273	6.532115136	6.604280659	6.709436353
	脂肪	1.027678627	1.03059384	1.051814512	1.072842638	1.099182908
	碳水复合物	47.05913681	47.0171494	48.30880076	49.58839988	51.11198054
	不溶性纤维	6.712311638	6.721591077	6.843002377	6.963329503	7.118216921
维生素	总维生素 A	431.4842256	433.7714259	440.3369967	446.8454254	455.5777573
	胡萝卜素(ug)	2593.377147	2607.104553	2646.602808	2685.757245	2738.278237
	硫胺素(mg)	3.024861372	3.040875979	3.086939804	3.13260267	3.193855994
	核黄素(mg)	0.22659198	0.226569807	0.231418192	0.236222396	0.242195368
	尼克酸(mg)	0.275794938	0.276433639	0.280497904	0.284526963	0.289972666
	维生素 C(mg)	2.661644025	2.665245981	2.705840816	2.746081988	2.799988894
矿物质(mg)	钙	134.6977912	134.6662017	137.3164467	139.9427706	143.2626054
	磷	0.140886684	0.140875327	0.143621143	0.146342205	0.149788618
	钾	197.8848386	198.4243658	200.3460548	202.2525304	205.1708453
	钠	160.5204265	160.9882362	163.0113003	165.0173353	167.8466519
	镁	947.0276588	948.8050389	964.8826946	980.8180226	1001.62645
	铁	192.4381507	192.7791986	193.3025159	193.8246254	195.323001
	锌	86.59076503	86.86519068	88.15101537	89.42568964	91.14556685
	硒	4.158797328	4.169362237	4.226788887	4.283723674	4.362005679
	铜	1.978492407	1.981491168	2.011078963	2.04040981	2.079897527
	锰	3.673272001	3.686242326	3.735412707	3.784164402	3.85178164

另外，由于维生素、矿物质等营养物质含有的种类比较多，且有的营养元素在果蔬中并不含有，因此，我们挑选出人体需要的、且果蔬中都含有的营养物质作为评价指标，将分开的维生素和矿物质等进行求和处理。经过归一化化和综合处理后的评价指标对应的人均日摄入量见表 16 所示。

表 16 综合和归一化之后人均果蔬消费量对应的营养物质

	2010	2011	2012	2013	2014
蛋白质	0.010514363	0.010550185	0.01039742	0.010253677	0.010118178
脂肪	0.001677579	0.001683289	0.001674214	0.001665674	0.001657625
碳水复合物	0.864215435	0.863932846	0.865068577	0.866137238	0.8671446
不溶性纤维	0.12326795	0.123508196	0.122538052	0.121625199	0.120764707
维生素	3.16226E-05	3.1638E-05	3.14335E-05	3.12411E-05	3.10597E-05
矿物质	0.000293051	0.000293846	0.000290304	0.000286972	0.00028383

2) 评价指标及其权重的确定

由营养学知识及生物常识可知，碳水化合物、脂肪、蛋白质、维生素、矿物质和膳食纤维这六种物质是人体必须的主要营养物质^[5]。这些物质大部分是通过食物的摄取来获得的，因此本文在进行模糊综合评价模型的建立时，将这 6 种物质作为模糊标准。

根据《中国居民膳食指南》中的资料显示，本文将评价标准分为很低、偏低、合理、偏高和很高五个等级，并据此对各种评价指标在每个标准下的对应的评价

系数，如表 17 所示。

表 17 各营养物质评价等级对应评价等级的系数

	很低	偏低	合理	偏高	很高
蛋白质	0.1	0.09	0.04	0.03	0.03
脂肪	0.095	0.08	0.04	0.01	0
碳水复合物	0.7	0.6	0.45	0.35	0.2
不溶性纤维	0.1	0.15	0.45	0.6	0.75
维生素	0.005	0.005	0.0055	0.006	0.012
矿物质	0	0.0075	0.0045	0.004	0.008

由于各个评价指标对要评价的事物的影响程度有所差异，因此需要对其权重进行定义，本文将各评价指标在合理情况下对应的评价系数作为其权重，如表 18 所示

表 18 评价指标对应的权重

评价指标	权重
蛋白质	0.04
脂肪	0.04
碳水复合物	0.45
不溶性纤维	0.45
维生素	0.0055
矿物质	0.0045

6.1.2 模糊综合评价模型的建立

本文建立的模糊综合评价模型为

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_m) = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (12)$$

下面具体分析建立该模型的思路 and 具体步骤：

模糊综合评价是通过构造等级模糊子集把反映被评事物的模糊指标进行量化（即确定隶属度），然后利用模糊变化原理对各指标综合^[6]。主要有三个环节：权重的确定、模糊关系矩阵的确定、算子的选择。

如果设 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 为评价对象因素集，它代表的是评价模型的因素集合，针对此题，则 $u_n (n=1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 分别代表碳水化合物、脂肪、蛋白质、维生素、矿物质和膳食纤维这几个标准。

再设 $v = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 为评判集，代表决策目标构成的集合。本题设定 v_m 分别代表的是人们对果蔬的摄入合理程度，将其设为：很低、偏低、合理、略高、过高这五个等级，即对应的 $m = 5$ 。

由于因素集中的各模糊因素对被评判事物的影响是不相同的，各个影响因素对评判目标都存在一个影响力分配，即权重分配。记 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 代表权重

分配集合，其中 a_i 表示 u 中第 i 个因素的影响程度，但是这种相对权重的量属于一个模糊的概念，它是属于 u 上的一个模糊向量，有 $A \in F(u)$ ；

同理，在模糊的环境下 m 个评判也并不是绝对的肯定或否定。所以模糊综合评价模型的结果可以看成 v 上的模糊集，记作： $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\} \in F(v)$ 。其中 b_j 表示在评判目标总体 v 中第 j 中评判的地位。构建 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 矩阵来反应从 u 到 v 的关系，利用其得到一个模糊变换 T_R 。

根据上述叙述，本文构建的模糊综合评价模型的结构为：

1. 因素集 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ($n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)；
2. 评判集 $v = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ ($m = 1, 2, 3, 4, 5$)；
3. 模糊变化过程： $T_R : F(u) \rightarrow F(v)$ ，其中 R 是从 u 到 v 的模糊关系矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。

综上所述，本文建立的由 (u, v, R) 三元体构成的模糊综合评价数学模型为式子 12 所示。

6.1.3 模型的求解及分析

依据建立的模糊综合评价模型，运用 MATLAB 对其进行求解，最终得出的评价结果见表 19 所示。

表 19 2010-2014 年对应的 B 值

	很低	偏低	合理	偏高	很高
2010	0.619642349	0.538984516	0.444971333	0.376448755	0.264756627
2011	0.619000758	0.538493893	0.444907327	0.376626847	0.265231876
2012	0.618318901	0.537972479	0.444839304	0.376816117	0.265736952
2013	0.618488564	0.538102309	0.444856694	0.376769741	0.265612204
2014	0.617186967	0.537106726	0.444725293	0.37712878	0.266573461

比较表 19 中 2010-2014 年每年各个等级标准对应的 B 的值可以发现，2010-2014 年中，各年中“很低”这个标准对应的 B 的值都大于其他标准对应的 B 值，由此可见，目前我国居民的营养摄入情况不合理。

6.2 我国居民未来的营养素摄入情况分析

前面在对主要果蔬的消费量进行预测的时候，分别建立了神经网络预测模型和时间序列预测模型。通过分析对比得出的结果，发现时间序列模型预测的结果更符合实际情况，因此这里我们在对居民至 2020 年的营养状况的趋势进行分析时，同样可以建立时间序列预测模型，然后利用该模型估算出至 2020 年的果蔬消费量。再查询并预测出 2002-2020 年的年人口总量，将预测出的果蔬消费量年人均化，画出其趋势走向图，根据消费趋势对中国居民的人体营养情况进行判断。

6.2.1 数据的收集

由于第一问中我们已经预测出了 2002-2015 年的果蔬的消费量, 因此可以用同样地方法、收集到的同样的数据预测出 2016-2020 年的果蔬的消费量。

由于本文是根据居民果蔬的年人均消费量的趋势来判断人体的营养情况的, 因此需要收集到人口的数据, 人口数据的收集来自题目中给出的中华人民共和国国家统计局(<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>), 收集到的 2001-2013 年的人口总数数据结果见表 20 所示。

表 20 2001-2013 年的年人口量

年 份	年末总人口(万人)
2013 年	136,072
2012 年	135,404
2011 年	134,735
2010 年	134,091
2009 年	133,450
2008 年	132,802
2007 年	132,129
2006 年	131,448
2005 年	130,756
2004 年	129,988
2003 年	129,227
2002 年	128,453
2001 年	127,627

6.2.2 基于时间序列的预测模型的建立

这里的基于时间序列的预测模型的建立方和和步骤与问题一中时间序列模型建立的步骤和方法一样。

据此, 最终建立的时间序列预测模型为

$$x_{it} = \beta_1 x_{i(t-1)} + \cdots + \beta_n x_{i(t-n)} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \cdots - \theta_m \alpha_m \quad (13)$$

式中 $x_{i(t-1)}, x_{i(t-2)}, \cdots, x_{i(t-n)}$ 为历史观测值; β_n, θ_m 为模型参数; α_t 为系统随机误差。

6.2.3 模型的求解

首先, 根据收集处理后的人口数据, 运用上面建立的基于时间序列的预测模型, 预测出人口的数量, 见表 21 所示。

再运用 MATLAB 画出预测的人口总数的趋势图, 并对人口真实值做散点图, 结果见图 12 所示。观察图 12 可以发现, 真实值均匀的分布在预测曲线上或者其两侧, 可见预测结果是准确的, 文中可以运用该结果。

表 21 用时间序列预测出的 2001-2020 年的人口总数

时 间	年末人口预测值(万人)
2001 年	127627
2002 年	128122.6
2003 年	128859.6
2004 年	129710.4
2005 年	130613
2006 年	131483.4
2007 年	132315.3
2008 年	133110
2009 年	133860.4
2010 年	134575.8
2011 年	135269.1
2012 年	135962.2
2013 年	136652.3
2014 年	136652.3
2015 年	137286.5
2016 年	137920.6
2017 年	138554.8
2018 年	139188.9
2019 年	139823.1
2020 年	140457.2

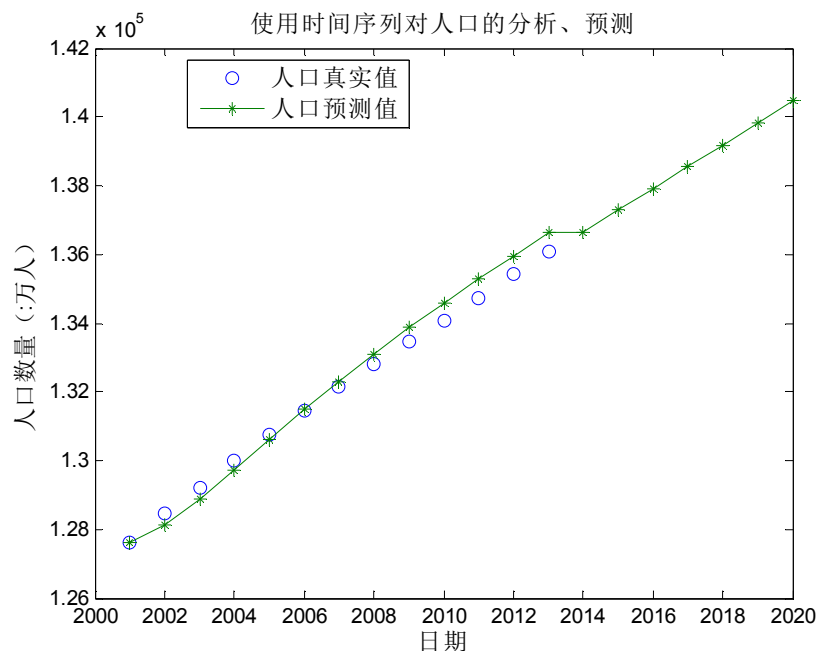


图 12 时间序列预测的准确性分析图

其次，再用同种方式预测出 2016-2020 年的主要果蔬的消费量，将此与第一问中预测出来的 2002-2015 年的主要果蔬消费量综合到一个表中，得到的最终的 2002-2020 年的主要水果和蔬菜的消费量分别见表 22 和表 23 所示。

表 22 时间序列模型预测出 2002-2020 年的部分主要水果的消费量

	苹果	梨	橘子	桃子	...	猕猴桃	葡萄	大枣	柿子
2002	18292342	8058505	9737855	4527612	...	206165.8	2802346	1435661	1353484
2003	19353776	8312476	10451081	5004225	...	226619.2	3063779	1515025	1378920
2004	21405645	8890445	11576536	5714525	...	272458	3395014	1718796	1487670
2005	22701728	9556423	12647707	6412959	...	317893.5	3616014	2090339	1634076
2006	24516449	10248973	14162334	7078690	...	370425.1	3903912	2597496	1774794
2007	26456004	11071786	16246247	7842551	...	421217.3	4206623	2850713	1964813
2008	28542351	11817135	18639938	8466845	...	487766.9	4524078	3297367	2125089
2009	30595857	12549989	20764373	9016247	...	608417.9	4971329	3853765	2259558
2010	32461829	13303205	22384281	9472156	...	755062.8	5418494	4249056	2421382
2011	32461829	13303205	22384281	9472156	...	755062.8	5418494	4249056	2421382
2012	33803800	13809661	23637372	9910330	...	815047.8	5673445	4530806	2525813
2013	35145772	14316118	24890463	10348503	...	875032.8	5928395	4812556	2630243
2014	36487743	14822575	26143554	10786676	...	935017.7	6183346	5094306	2734674
2015	37829714	15329031	27396645	11224849	...	995002.7	6438296	5376056	2839105
2016	39171685	15835488	28649736	11663023	...	1054988	6693247	5657806	2943535
2017	40513656	16341945	29902827	12101196	...	1114973	6948197	5939556	3047966
2018	41855628	16848401	31155918	12539369	...	1174958	7203148	6221305	3152396
2019	43197599	17354858	32409009	12977542	...	1234943	7458098	6503055	3256827
2020	44539570	17861314	33662100	13415715	...	1294928	7713049	6784805	3361257

单位：吨

表 23 时间序列模型预测出 2003-2020 年的主要蔬菜的消费量

	萝卜	胡萝卜	茄子	黄瓜	大白菜	芹菜	菠菜
2003	34868431	11791442	18332055	32387430	69428998	13814667	10707494
2004	34609135	11885780	18706274	32956510	70037269	14383411	10680961
2005	35018537	11945753	19286313	34154863	70216585	14846716	10872504
2006	35615037	12578226	19511794	36020845	71109146	15627474	11015595
2007	35809481	13013768	19940512	37500120	71665068	15823234	11163559
2008	35770011	13327240	20478969	38730400	72018106	15682873	11311553
2009	36402755	13631807	21869218	40410596	72342135	16057519	11755590
2010	36402755	13631807	21869218	40410596	72342135	16057519	11755590
2011	36583454	13833899	22283965	41283402	72632746	16263088	11883513
2012	36764154	14035991	22698713	42156208	72923357	16468657	12011437
2013	36944854	14238083	23113461	43029015	73213968	16674226	12139361
2014	37125553	14440175	23528209	43901821	73504579	16879795	12267285
2015	37306253	14642267	23942957	44774627	73795190	17085365	12395209
2016	37486953	14844359	24357705	45647433	74085801	17290934	12523132
2017	37667652	15046451	24772453	46520239	74376412	17496503	12651056
2018	37848352	15248543	25187201	47393046	74667023	17702072	12778980
2019	38029052	15450635	25601949	48265852	74957633	17907641	12906904
2020	38209751	15652727	26016697	49138658	75248244	18113211	13034828

单位：吨

然后，根据得到的主要果蔬年消费量和人口数量这两个数据表，将其对应相除，算出年人均消费量。下面根据得出的结果对从现在直到 2020 年为止，中国居民的营养状况是否趋向好转进行判断。

1) 定性判断

运用 MATLAB 将求出的年人均消费量绘制成连线图，得出各种主要水果和蔬菜以及所有主要果蔬的年人均主要果蔬消费量的趋势图，如图 13、14 和 15 所示。

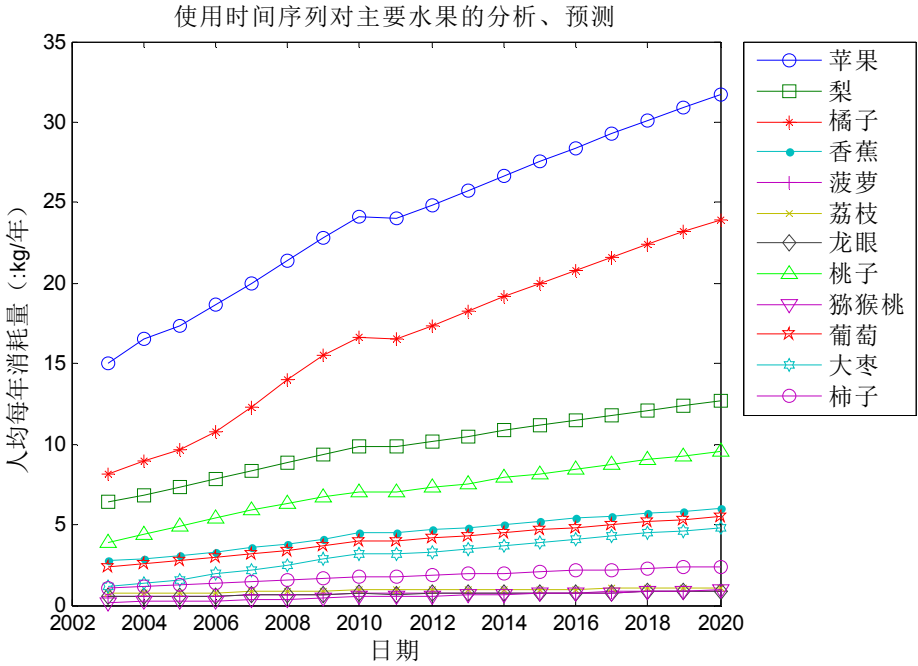


图 13 时间序列对 12 种主要水果消费量的预测

从图 13 中可以观察出，从 2002 年到 2020 年，12 种主要水果的人均年消费量都呈逐渐递增的趋势，且递增幅度比较明显。

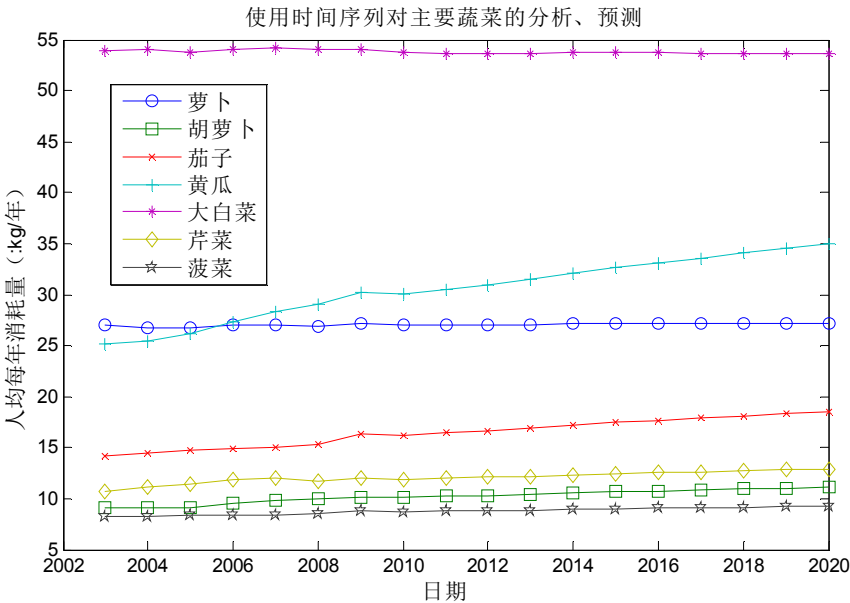


图 14 时间序列对 7 种主要水果消费量的预测

观察图 14 可以发现，2002-2020 年期间，7 种主要蔬菜的人均年消费量也呈逐渐出整体递增的状态，并且递增幅度比较明显。

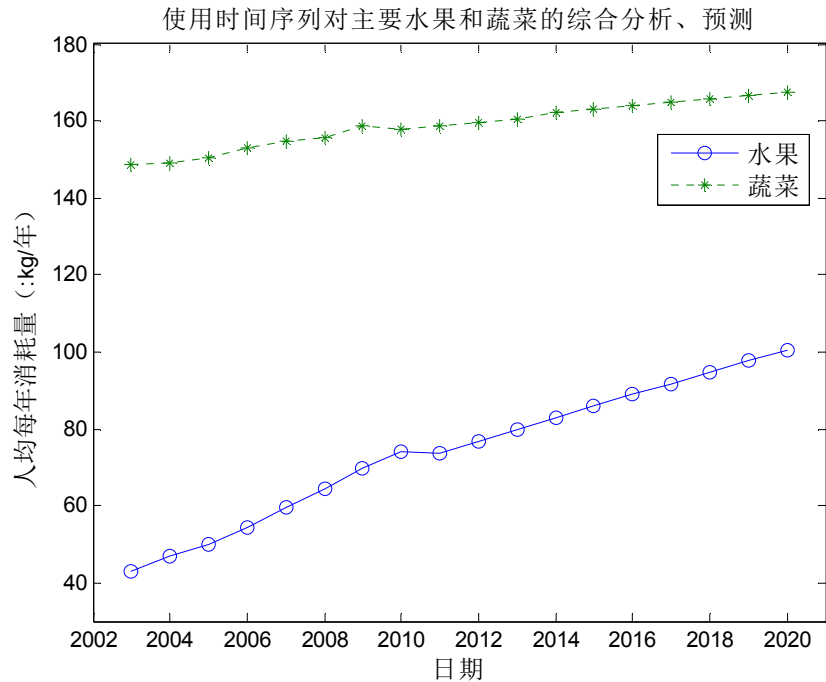


图 15 时间序列对主要果蔬的消费量的预测

由图 15 可以明确看出，居民的人均的主要水果和蔬菜年消费总和也是在呈逐渐递增的趋势发展。有资料^[7]显示，其原因可能是随着人们的生活水平的不断提高，居民的对提高身体健康和保持营养摄入均衡的意识越来越强，不断的在发现水果和蔬菜的营养价值，所以每年主要水果和蔬菜的人均消费量也在不断的增长。

综上所述，根据居民对主要水果和蔬菜的年人均消费量的发展趋势，本文可以定性的判断，从现在到 2020 年为止，中国居民的人体营养状况在不断的好转。

2) 定量判断

同理，运用问题二中建立的模糊综合评价模型以及前面预测出的 2010-2020 年的人均果蔬消费量，求出 2010-2020 年的各年对应的评价结果 B 的值，结果见表 24 所示。

表 24 2015-2020 年对应的 B 值

	很低	偏低	合理	偏高	很高	差值
2020	0.578722369	0.600631966	0.503867903	0.419460338	0.312820669	-0.021909597
2019	0.580184211	0.591752701	0.494033114	0.419081618	0.301772071	-0.01156849
2018	0.591329119	0.582630931	0.484165796	0.408789561	0.29095656	0.008698188
2017	0.602749220	0.573717177	0.474309493	0.398398196	0.289908206	0.029032043
2016	0.610349388	0.564939489	0.464460041	0.397941377	0.278706928	0.045409899
2015	0.615945555	0.556157945	0.454604864	0.387478206	0.277499157	0.05978761

观察表 24 可以发现，从 2015 年到 2020 年，随着时间的推移，“很低”这个标准对应的 B 值在较小，“偏低”这个标准对应的 B 值在增加，且每应的 B 值最大值由“很低”这个标准向“偏低”这个标准移动。2012-2018 年，B 值的最大

大值一直处在“很低”的标准，但是它与“较低”的标准对应的 B 值的差值在逐渐减小，而 2019 年和 2020 年两年的最大的 B 值出现在了“偏低”标准中。由此可见，从 2015 年至 2020 年这段时间，随着时间的推移，中国居民的人体营养状况在不断的好转。

综上所述，由定性和定量分析的结果可以明确的看出，从现在至 2020 为止，随着时间的推移，中国居民的人体营养状况在不断的好转。

6.2.4 结果分析

该题是分析中国具名人体营养状况，本文首先建立的是基于时间序列的预测模型，利用该模型和收集到的数据，分别预测求出了 2002-2020 年的每年的人口总量和主要果蔬品种的消费量。

然后，再用得到的这两个量求出主要果蔬的人均年消费量，用其做出连线趋势图，根据做出的趋势走向图对中国居民的人体营养状况进行定性的预测。

再利用前面建立的模糊综合评价模型，求出 2015-2020 年对应的 B 值，通过分析每年最大 B 值所处的标准等级来判断每年的居民的人体营养状况。

通过定性和定量的分析和判断，本文最终得出：随着时间的不断推移，至 2020 年为止，中国居民的人体营养状况在不断的趋向好转。

7 问题三 果蔬产品的消费选择问题

尽管不同的蔬菜、水果种类含有的各种营养素的含量各不相同，但是它们的营养素的种类确实大致相近的，因此在食用功能方面它们存在着的相似性。由此可见，从营养学角度来讲，在一定程度上，水果与水果之间、蔬菜与蔬菜之间以及水果与蔬菜之间可以相互替代、相互补充。尽管如此，由于每种蔬菜、水果的价格有所差异，所以在保证营养均衡满足健康需要条件下，如何选择消费产品成为了一个较为普遍的问题。

本章节研究的就是这个问题，通过分析及查阅资料，本文建立了基于最低成本的单目标优化模型，并运用该模型求解，最终为当今中国居民提供了能够以较低的购买成本满足自身的营养健康需要的主要的水果和蔬菜产品的按年度合理人均消费量。

7.1 建模前的准备

7.1.1 区域的划分

我国的土地面积非常辽阔，不同地区的人口、经济、文化、气候以及风俗习惯等有着较为显著的差异，因此地区的粮食消费具有明显的地域性特征。因此，个人的消费水平也存在一定的差异，所以在研究居民果蔬消费选择的问题时，需要分区域进行研究。

通过观察中国地图以及相关资料的分析^[8]，本文按经济发达程度分为东、中、西三大区域。具体的区域分布如表 25 所示。

表 25 区域划分表

中部	黑龙江、吉林、山西、安徽、湖北、湖南、江西、河南
东部	北京、天津、河北、辽宁、上海、苏州、浙江、福建、广东、海南、山东
西部	内蒙、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏等

由于各个区域的城市较多，数据统计量非常大，因此，本文从每个区域中分别选取一个城市为研究对象进行研究。经过对中国地理及区域文化的分析和了解，选取三个区域中具有代表性的北京、湖北和四川三个省市研究对象。

7.1.2 数据收集及处理

1) 数据收集

从全国农产品批发市场价格信息网 (<http://pfscnew.agri.gov.cn/>) 收集 2013.9.1-2014.9.1 期间北京、湖北和四川三个省市每月对应的果蔬的价格数据，再经过求均值处理，得出各省市对应的各季度的果蔬价格，结果见表 26 和 27。

表 26 北京、湖北和四川每个季度的主要水果的价格

	北京				湖北				四川			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
苹果	4.51	4.8	4.6	4.52	8.05	9.21	7.38	7.61	4	4.03	4.55	4.22
梨	5.17	5.37	2.68	4.89	10.24	10.43	8.24	8.18	2.06	1.8	2.2	1.2
柑橘类	5.8	6.49	5.09	4.55	2.8	2.8	4.5	4.5	4.2	4.31	4.52	4.17
香蕉	6.25	6.94	4.74	4.96	4.26	5.26	4.59	4.32	5.5	6.16	4.32	4.68
菠萝	4.64	4.74	5.25	4.31	4.5	4.4	6	6.06	——	——	——	——
荔枝	24.33	7.81	——	——	12	9.58	——	——	——	10.18	11.09	——
龙眼	10	10.63	12.31	11.48	24	——	——	22.53	——	——	——	——
桃子	15	6.19	5.67	8.5	3.5	2.5	4.75	4	7.78	3.32	3.97	6.25
猕猴桃	10.11	11.35	11.98	10.53	4.4	4.4	4.85	4.5	8.92	8.5	9.55	5.93
葡萄	19.3	16.78	12.78	13.76	17	9.24	6.2	17	16.83	8.22	7.82	15.69
红枣	11	11	7.05	8	14.6	14	15	14.98	——	——	——	——
柿子	1.93	2.2	2.52	2.72	——	——	3.9	4.5	——	——	——	——

注：“——”代表没有找到相关数据，单位：元；

表 27 北京、湖北和四川每个季度的主要蔬菜的价格

	北京				湖北				四川			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
萝卜	1.17	0.98	1.47	1.2	1.87	2.24	2	1.6	0.87	1.31	1.62	0.92
胡萝卜	2.46	1.68	1.47	2.01	2.88	2.54	2.36	2.59	3.25	3.16	2.79	2.78
茄子	4.2	1.34	2.65	4.08	4.93	2.27	3.14	5.19	4.71	2.65	3.9	5.59
黄瓜	3.47	2.24	4.32	4.14	3.38	1.78	3.54	4.09	4.01	2.34	3.65	4.34
大白菜	1.11	1.04	1.07	0.96	1.13	1.52	1.68	0.67	1.33	1.56	1.73	1.05
芹菜	1.27	1.34	2.76	1.98	2.85	3.35	5.38	3.35	3.4	3.77	4.57	3.04
菠菜	1.44	3.27	3.85	2.92	3.37	5.81	4.04	3.32	3.17	3.9	4.85	3

单位：元

2) 数据处理

由于区域的地理位置和气候等因素的影响，在某一地区的某一季节，有些水果和蔬菜并不种植，也就是说不是当季的水果，可能就没有统计其价格数据，所以表 26 中会有很多价格数据缺失。

对于缺失的价格数据，可以认为其不是该地区某季节的当季的果蔬，需要大棚种植或者从其他地区运输，所以价格将比当季水果高。因此，本文在进行具体计算时，用一个极大值对其进行填充。

7.2 单目标规划模型的建立

本文建立的基于最低成本的单目标的规划模型为

$$Z = \text{Min } C_i, i=1,2,3 \quad (14)$$

具体的建模步骤和思路为：

首先，定义

$$o_{ij} = \begin{cases} 0 & i \text{ 地区的人未选择第 } j \text{ 种果蔬} \\ 1 & i \text{ 地区的人选择第 } j \text{ 种果蔬} \end{cases} \quad (15)$$

购买成本为

$$C_i = \sum_{j=1}^{n+m} o_{ij} \cdot p_j \cdot Q_j \quad (16)$$

其中：

$C_i, i=1,2,3$ 分别表示三个代表区域的年度人均果蔬购买成本。

$p_j, j=1,2,\dots,n+m$ 表示各果蔬的物价水平；

$Q_j, j=1,2,\dots,n+m$ 为各种果蔬的购买量。

另外，在保证满足自身营养健康的前提的条件，用公式表示为

$$\sum_{j=1}^{n+m} o_{ij} \cdot q_j x_{jk} \geq \bar{X}_k \quad (17)$$

x_{jk} 表示第 j 种果蔬所含的第 k 种营养元素； \bar{X}_k 表示人体日均摄入的第 k 种营养元素的量。

综上所述，在保证自身营养的条件下，使居民购买成本最低，建立单目标的规划模型如式子 14 所示。

7.3 模型的求解

本文建立的单目标规划模型就是 q_j 的解得过程。下面运用 MATLAB 对收集到的数据进行求解。

首先，从附件 4《中国居民膳食营养素参考日摄入量》中得到人体每天需要

摄入的营养成分的量。由于这些营养并不是都是来自果蔬，查阅资料，本文界定这些营养中的 30%是需要从果蔬中获得的^[9]。然后结合人口数据得出人均需求量的值 \bar{X}_k ，结果如表 28 所示。因为人体提供了膳食性纤维、维生素和矿物质等，而蛋白质、脂肪和碳水化各物主要由谷物和肉类等提供，为了突出水果和蔬菜，本文选用膳食性纤维、维生素和矿物质作为评价。

其次，在保证 $\sum_{j=1}^{n+m} o_{ij} \cdot q_j \cdot x_{jk} \geq \bar{X}_k$ 成立，并且满足购买成本 C_i 最低的情况下，运用 MATLAB 分别求出北京、湖北以及四川三个省市分季度的各种果蔬的合理人均消费量，结果分别见表 29、30 和 31 所示。

接着，将三个省市对应的四个季度的果蔬消费量线性求和，即得出年度合理的人均果蔬消费量。

最后，将得出的各个省市的果蔬的季节合理消费量和年度合理消费量带入模型中，得出各个省市的居民在满足自身基本营养需求的情况下，对应的果蔬季度最低成本以及年最低成本，结果见表 32、33、34 所示。

表 28 营养物质的人均日需求量

	日人均需求量	单位
不溶性纤维	234	g
总维生素 A	753.3	ug
维生素 C	90	mg
钙	875	mg
磷	730	mg
钾	1714.286	mg
钠	1110	mg
镁	278.57	mg
铁	17.25	mg
锌	14.72	mg
硒	43.59	ug
铜	1.47	mg
锰	3.5	mg

分析表 29 中的数据可以发现：在北京地区，春季芹菜和菠菜的人均合理消费量的值分别为 5.00E+01 和 0.11418967，较其他果蔬的人均合理消费量大很多，由此可知，春季在满足北京居民自身基本营养需求的情况下，要想成本最低，应该尽量多购买芹菜和菠菜。同理，夏季应该多买芹菜，秋季应该购买梨和大白菜，冬季应该购买萝卜和大白菜。

表 29 北京地区四个季度对应的果蔬合理人均消费量

	春季	夏季	秋季	冬季
苹果	6.74E-13	2.16E-15	1.16E-13	3.22E-16
梨	9.84E-13	3.28E-15	2.14E+01	8.56E-16
柑橘类	4.21E-13	1.25E-15	7.47E-14	2.46E-16
香蕉	4.46E-13	1.36E-15	1.01E-13	2.85E-16
菠萝	6.66E-13	2.25E-15	1.01E-13	3.61E-16
荔枝	9.65E-14	1.04E-15	4.18E-15	1.01E-17
龙眼	2.39E-13	7.28E-16	3.47E-14	9.21E-17
桃子	1.67E-13	1.59E-15	9.17E-14	1.43E-16
猕猴桃	2.97E-13	9.26E-16	4.26E-14	1.31E-16
葡萄	1.22E-13	4.59E-16	3.34E-14	7.57E-17
红枣	2.48E-13	8.35E-16	6.80E-14	1.75E-16
柿子	3.48E-12	9.17E-15	2.09E-13	9.62E-16
萝卜	8.67E-12	1.10E-12	5.73E-12	6.60E+01
胡萝卜	1.63E-12	1.90E-14	4.11E-11	1.51E-18
茄子	7.63E-13	9.29E-14	2.42E-13	3.95E-16
黄瓜	7.63E-13	4.47E-15	1.05E-13	2.83E-16
大白菜	5.91E-12	2.90E-14	5.01149686	5.30857169
芹菜	5.00E+01	5.01E+01	4.28E-13	3.34E-15
菠菜	0.11418967	4.92E-15	6.05E-17	1.13E-15

注：黄色标注的是较大的数据，单位：百克；

表 30 湖北地区四个季度对应的果蔬合理人均消费量

	春季	夏季	秋季	冬季
苹果	1.48E-15	4.41E-13	2.38E-15	5.39E-16
梨	1.84E-15	6.04E-13	4.88E-15	9.21E-16
柑橘类	3.97E-15	1.51E-12	3.26E-15	1.03E-15
香蕉	3.66E-15	9.96E-13	5.16E-15	1.13E-15
菠萝	3.89E-15	1.44E-12	3.41E-15	7.07E-16
荔枝	8.11E-16	3.63E-13	1.24E-16	3.60E-17
龙眼	3.97E-16	3.19E-14	1.24E-16	1.58E-16
桃子	6.34E-15	1.10E-11	5.22E-15	1.02E-15
猕猴桃	3.16E-14	25.8668157	4.19E-13	2.21E-15
葡萄	5.58E-16	3.71E-13	2.25E-15	2.16E-16
红枣	7.72E-16	2.95E-13	1.07E-15	2.72E-16
柿子	8.78E-17	3.25E-14	9.32E-15	9.29E-16
萝卜	2.09E-14	9.25E-12	1.21E-13	7.51E-15
胡萝卜	1.09E-14	2.01E+00	5.40E+01	2.28E-15
茄子	3.14E-15	1.46E-10	1.67E-14	7.68E-16
黄瓜	3.43E-15	3.53E-12	4.69E-15	1.00E-15
大白菜	8.77E+01	4.15E-01	6.77E-14	87.75
芹菜	1.27E-14	4.28E-12	4.39E-15	1.41E-15
菠菜	9.88E-15	1.23E-12	1.32E-14	3.71E-15

注：黄色标注的是较大的数据，单位：百克；

表 31 四川地区四个季度对应的果蔬合理人均消费量

	春季	夏季	秋季	冬季
苹果	2.71E-12	7.72E-15	4.42E-12	6.47E-13
梨	21.1013703	21.1013703	21.10137	21.1013703
柑橘类	2.64E-12	7.08E-15	4.71E-12	6.80E-13
香蕉	1.87E-12	4.70E-15	4.83E-12	5.80E-13
菠萝	8.73E-14	2.57E-16	1.64E-13	2.44E-14
荔枝	8.68E-14	2.60E-15	1.52E-12	2.43E-14
龙眼	8.67E-14	2.55E-16	1.63E-13	2.43E-14
桃子	1.25E-12	1.02E-14	5.48E-12	4.25E-13
猕猴桃	1.23E-12	3.74E-15	2.18E-12	5.06E-13
葡萄	5.23E-13	3.23E-15	2.18E-12	1.56E-13
红枣	8.78E-14	2.57E-16	1.65E-13	2.45E-14
柿子	8.74E-14	2.57E-16	1.65E-13	2.44E-14
萝卜	4.61931354	4.62E+00	4.62E+00	4.62E+00
胡萝卜	1.28E-01	1.28E-01	1.28E-01	1.28E-01
茄子	2.28E-12	1.40E-14	5.65E-12	4.82E-13
黄瓜	2.41E-12	1.31E-14	5.17E-12	5.97E-13
大白菜	1.69E-11	6.86E-14	5.06E-11	1.23E-11
芹菜	3.92E-12	1.23E-14	6.54E-12	1.30E-12
菠菜	1.55E-11	1.60E-14	2.67E-11	1.36E-12

注：黄色标注的是较大的数据，单位：百克；

同理，分析观察表 30 和 31 可以得出：在满足居民自身营养需求的条件下，要想成本购买最低，湖北居民春季应该尽量多购买大白菜；夏季应该多买猕猴桃、胡萝卜和大白菜；秋季应该购买胡萝卜；冬季购买大白菜。四川居民一年四季都应该以购买梨、萝卜和胡萝卜为主。

表 32 北京地区最低成本结果

	北 京			
	春季	夏季	秋季	冬季
组 合	菠菜、芹菜	芹菜	梨、大白菜	萝卜、大白菜
日花费(元)	6.37	6.72	6.26	8.42
年消费(元)	2533.89			

由表 32 可以看出：北京居民春季购买菠菜和芹菜既能满足自身基本的营养需求，又能保证消费成本最低，每天在菠菜和芹菜上的消费成本为 6.37 元；同理，夏季购买芹菜，每天在芹菜上的消费成本为 6.72 元；秋季购买梨和大白菜，每天在菠菜和芹菜上的消费成本为 6.26 元；冬季购买菠菜和芹菜，每天花在萝卜和大白菜上的成本为 8.42 元。一年只需花费 2533.89 元在果蔬的消费上，就能满足北京居民自身基本的营养需求。

表 33 四川地区最低成本结果

	四 川			
	春季	夏季	秋季	冬季
组 合	梨、萝卜、 胡萝卜	梨、萝卜、胡萝卜	梨、萝卜、 胡萝卜	梨、萝卜、胡萝卜
日花费(元)	4.79	4.44	5.43	2.99
年消费(元)	1610.86			

由表 33 可以看出：四川居民一年四季购买梨、萝卜和胡萝卜就能满足其自身基本的营养需求，还能保证成本最低。春季每日的在其上面的花费为 4.79 元，夏季每日消费 4.44 元，秋季每日花费 5.43 元，冬季每日的成本为 2.99 元。一年只需花费 1610.86 元在果蔬上就可以满足四川居民自身基本的营养需求。

表 34 湖北地区最低成本结果

	湖 北			
	春季	夏季	秋季	冬季
组 合	大白菜	猕猴桃、胡萝卜、大白菜	胡萝卜	大白菜
日花费(元)	9.92	11.96	12.74	5.88
年消费(元)	3695.1			

观察分析表 34 可以看出：湖北居民春季购买大白菜，夏季购买猕猴桃、胡萝卜、大白菜，秋季购买胡萝卜，冬季购买大白菜就不仅能满足自身基本的营养需求，而且能够保证成本最低。春季每天的成本为 9.92 元，夏季为 11.96 元，秋季为 12.74 元，冬季为 5.88 元，一年的总花费为 3695.1 元。

由于每个地区的经济有所差异，为了判断我们得出的结果是否是“最低成本”，本文收集了年人均可支配收入的值，然后计算果蔬年消费量在其中占的比重。

表 35 三个地区的果蔬年消费占人均可支配收入的比例

	年消费(元)	人均可支配收入(元)	年消费/人均可支配收入×100%
北京	2533.89	36468.75	6.95%
湖北	3695.1	20839.59	17.73%
四川	1610.86	20306.99	7.93%

由表 35 可以明确看出：北京居民在保证自身基本营养需求条件下的果蔬年最低成本占人均可支配收入的比例是 6.95%，湖北和四川的这个比例分别为 17.73%和 7.93%。由此可见，居民满足自身基本营养需求条件下的果蔬花费成本是比较低的，这样就验证了本文得出的结果是合理的。

7.4 结果分析

本题建立的是单目标规划模型，首先，用得到人体需要从果蔬中得到的营养成分，结合人口数据得出人均需求量的值；然后，在保证居民满足自身营养需求和购买成本最低的情况下，运用 MATLAB 分别求出北京、湖北以及四川三个省市分季度的各种果蔬的合理人均消费量；接着，将三个省市对应的四个季度的果蔬消费量线性求和，得出年度合理的人均果蔬消费量；最后，将得出的数据带入模型中，得出各个省市的居民在满足自身基本营养需求的情况下，对应的果蔬季

度最低成本以及年最低成本。

通过运算得出：要想既能满足自身基本的营养需求，又能保证消费成本最低，春季，北京居民需每天消费 6.37 元买菠菜和芹菜；湖北居民需每天消费 9.92 元购买大白菜。夏季，北京居民需要每天花 6.72 元购买芹菜；湖北居民要日消费 11.96 元购买猕猴桃、胡萝卜、大白菜。秋季，北京居民要花 8.42 元购买梨和大白菜；湖北居民要花 12.74 元购买胡萝卜。冬季，北京要花 8.42 元购买菠菜和芹菜；湖北居民需消费 5.88 元购买大白菜。北京居民只需花为 2533.89 元，湖北居民需花为 3695.1 元。而四川居民一年四季都只需购买梨、萝卜和胡萝卜就可以，且春季日花费为 4.79 元，夏季日消费 4.44 元，秋季日花费 5.43 元，冬季日成本为 2.99 元，一年只需花费 1610.86 元在果蔬上就可以满足其自身基本的营养需求。

再通过比例计算，得出三者的年花费占人均可支配收入的比例分别为 6.95%、17.73%和 7.93%，由此可见成本很低。

8 问题四 我国果蔬产品的生产调整问题

本章节在解决该问题时，综合考虑了居民人体的营养均衡、出口贸易、种植面积、以及土地面积购买成本等因素，建立了多目标规划模型来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，并建立时间序列模型预测了至 2020 年我国水果和蔬菜产品的年度合理人均消费量，再将其与第二问的预测进行比较，从而得出果蔬的生产调整战略。

8.1 数据收集及处理

8.1.1 数据的收集

本题是针对果蔬产品的生产调整进行研究的，在建模和求解之前，需要对相关的数据进行收集。仔细推敲分析题目的背景和要求，发现需要收集水果和蔬菜的价格以及其种植面积等数据。

首先，从全国农产品批发市场价格信息网(<http://pfscnew.agri.gov.cn/>), 收集到 2013 年主要水果和蔬菜的价格如表 36 所示。

然后，从中华人民共和国农业部种植业管理司(<http://www.zzys.moa.gov.cn/>) 网站中收集 2002-2010 年的主要水果以及 2003-2009 年的主要蔬菜额种植面积和亩产量的数据，收集到的结果如表 37、38、39 和 40 所示。

表 36 2013 年主要水果和蔬菜的价格

水果	苹果	梨	橘子	香蕉	菠萝	荔枝	桃子	猕猴桃
价格(元/kg)	5.48	5.68	6.21	5.38	4.6	16.64	10	9.16
蔬菜	葡萄	萝卜	胡萝卜	茄子	黄瓜	大白菜	芹菜	菠菜
价格(元/kg)	10.08	1.19	2.21	3.06	3.17	1.16	2.44	3.64

表 37 2002-2010 年的主要水果的种植面积

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
苹果	1938.3	1900.5	1876.7	1890.3	1898.8	1961.8	1992.2	2049.1	2139.9
梨	1042.4	1061.5	1078.7	1112.2	1087.4	1071.3	1074.5	1074.3	1063.1
柑橘类	1404.6	1505.7	1627.3	1717.3	1814.5	1941.4	2030.8	2160.3	2211
香蕉	247.9	255.5	264.5	276.3	285.7	306.6	317.8	338.8	357.3
菠萝	56.2	52.6	51	51.5	53.2	54.5	53.5	53.9	52.4
荔枝	554.6	559.1	586.1	580.8	570.4	558.5	563.2	557.2	552.6
龙眼	——	——	——	——	——	——	——	——	——
桃	547.1	607.2	662.9	677.1	669.5	697	695.1	703.3	719.4
猕猴桃	50.2	52.3	52.6	55.3	59.1	71.9	74.9	89.51	106.8
葡萄	392.4	421	413.5	408.1	418.7	438.4	451.2	493.4	552
红枣	——	——	——	——	——	——	——	——	——
柿子	——	——	——	——	——	——	——	——	——

说明：表中“——”代表没有收集到相关数据。单位：千公顷；

表 38 2002-2010 年的主要水果的亩产量

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
苹果	19240980	21101780	23675470	24011080	26059300	27859940	29846610	31680790	33263290
梨	9309432	9798424	10642290	11323510	11986080	12895010	13538140	14262980	15057080
橘子	11990070	13453710	14958300	15919150	17898330	20582710	23312580	25211020	26452450
香蕉	5557297	5903279	6056148	6518128	6901249	7796656	7834672	8833904	9560522
菠萝	827307	821868	808254	848902	890701	905090	933633	1042563	1076042
荔枝	1523165	1123811	1555803	1440589	1507978	1707697	1507266	1695586	1773945
龙眼	944165	910874	1018438	1091485	1107707	1169740	1270585	1259799	1312119
桃子	5230436	6148100	7010985	7624207	8214700	9051774	9534351	10040200	10456020
猕猴桃	283366	330220	409456	456839	523190	578469	673977	875125	1069794
葡萄	4479453	5175939	5675318	5794411	6270756	6696814	7151484	7940612	8548946
大枣	1573698	1718689	2011217	2488506	3052860	3030623	3634071	4247773	4468335
柿子	1740591	1795110	1998214	2185041	2320346	2574143	2710998	2834165	3050534

说明：表中“——”代表没有收集到相关数据。单位：吨；

表 39 2003-2009 年的主要蔬菜的种植面积

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
萝卜	18283500	17563500	17719500	18300000	——	18006000	18019500
胡萝卜	6133500	5989500	6036000	6510000	——	6466500	6498000
茄子	10584000	——	10539000	10545000	——	10509000	11058000
黄瓜	14040000	13951500	14448000	14775000	——	15085500	15520500
大白菜	40489500	39334500	39139500	39360000	——	37993500	38181000
芹菜	8140500	8154000	8319000	8610000	——	8343000	8433000
菠菜	9627000	9306000	9465000	9465000	——	9310500	9505500

说明：表中“——”代表没有收集到相关数据。单位：亩；

表 40 2003-2009 年的主要蔬菜的亩产量

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
萝卜	2122.62	2182.25	2220.83	2187.43	——	2196.49	2264.16
胡萝卜	2139.72	2220.39	2205.77	2216.59	——	2283.62	2317.18
茄子	2002.27	——	2147.64	2130.87	——	2257.3	2340.84
黄瓜	2529.42	2620.01	2641.96	2734.35	——	2796.99	2848.1
大白菜	2518.53	2630.34	2633.73	2669.21	——	2775.61	2772.92
芹菜	2205.64	2353.08	2345.59	2401.86	——	2368.45	2468.16
菠菜	1634.88	1684.29	1709.35	1718.97	——	1785.94	1845.04

说明：表中“——”代表没有收集到相关数据。单位：公斤；

由表 37、39 和 40 可以看出，表中有些数据是缺失的，且表 37 和表 39、表 38 和表 40 的单位不统一，这些会导致运算结果有误，因此需要对它们进行处理。

8.1.2 数据的处理

1) 统一单位

由于表中统计的水果和蔬菜的种植面积与亩产量的单位不统一，会导致模型的运算时出现问题，因此需要事先将其单位统一化。本文进行单位统一的方法是将面积的单位统一转化为亩，亩产的单位统一换算成公斤。

换算方式如下：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千公顷} &= 1000 \text{ 公顷} \\ 1 \text{ 公顷} &= 15 \text{ 亩} \\ 1 \text{ 吨} &= 1000 \text{ 千克(公斤)} \end{aligned}$$

2) 缺失数据的处理

由于我国的水果和蔬菜的种类繁多，统计起来比较麻烦，以及有些地方的网络不发达，统计数据没有导入网站中等诸多客观原因，导致 2002-2010 年龙眼、红枣和柿子的种植面积和亩产的数据完全查询不到，因此本文不对这三种水果进行分析。

另外，主要蔬菜中有个别数据是查询不到的，例如 2007 年的主要水果的种植面积，2004 年茄子的种植面积等，本文采用直线内插法的方法对其进行补充。

直线内插法是一种使用线性多项式进行曲线拟合的方法。其运算的具体操作方式如下：

已知两点为 $(x_0, y_0), (x_1, y_1)$ ，那么

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (18)$$

解方程 18 可得

$$y = y_0 + (x - x_0) * (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0) \quad (19)$$

再经过扩展，就可以计算 n 个已知点的情况。

运用上述的直线内插法，对查询到的主要蔬菜的种植面积和亩产量中缺失的数据进行补充。

经过补充以及单位换算之后的2003-2009年的主要蔬菜的种植面积和亩产的完整结果如表41和42所示。

表41 通过直线内插法补充后的2003-2009年的主要蔬菜的种植面积

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
萝卜	18283500	17563500	17719500	18300000	18153000	18006000	18019500
胡萝卜	6133500	5989500	6036000	6510000	6488250	6466500	6498000
茄子	10584000	10561500	10539000	10545000	10527000	10509000	11058000
黄瓜	14040000	13951500	14448000	14775000	14930250	15085500	15520500
大白菜	40489500	39334500	39139500	39360000	38676750	37993500	38181000
芹菜	8140500	8154000	8319000	8610000	8476500	8343000	8433000
菠菜	9627000	9306000	9465000	9465000	9387750	9310500	9505500

说明：表中的红色数字为补充的数据。单位：亩；

表42 通过直线内插法补充后的2003-2009年的主要蔬菜的亩产量

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
萝卜	2122.62	2182.25	2220.83	2187.43	2191.96	2196.49	2264.16
胡萝卜	2139.72	2220.39	2205.77	2216.59	2250.105	2283.62	2317.18
茄子	2002.27	2066.57	2147.64	2130.87	2194.085	2257.3	2340.84
黄瓜	2529.42	2620.01	2641.96	2734.35	2765.67	2796.99	2848.1
大白菜	2518.53	2630.34	2633.73	2669.21	2722.41	2775.61	2772.92
芹菜	2205.64	2353.08	2345.59	2401.86	2385.155	2368.45	2468.16
菠菜	1634.88	1684.29	1709.35	1718.97	1752.455	1785.94	1845.04

说明：表中的红色数字为补充的数据。单位：公斤

8.2 中国居民主要果蔬的年度合理人均消费量问题

题目中给出，为了实现人体营养均衡满足适应人体健康的需要，国家需要对各个品种的水果和蔬菜的生产规模做出一定的战略性调整。在进行宏观调整的时候，国家一方面要考虑到居民人体的营养均衡，使营养摄入量尽量在合理范围内；另一方面也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，作为国家宏观战略，还要尽可能的考虑进出口贸易、土地面积等其他因素。本题依据以上因素建立了多目标规划模型来计算中国居民的年度合理人均消费量。

8.2.1 多目标规划模型的建立

本文建立的多目标规划模型为

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max} \sum_{i=1}^{n+m} o_i O_i \quad i=1,2,\dots,n+m \\ \text{Min} \sum_{i=1}^{n+m} S_i \quad i=1,2,\dots,n+m \\ \text{Min} \sum_{i=1}^{n+m} C_i \quad i=1,2,\dots,n+m \\ \text{s.t. } O_i = P_i - N \cdot q_i + d_1^- - d_1^+, i=1,2,\dots,n+m \\ \sum_{j=1}^{n+m} o_i \cdot q_i x_{ij} \geq \bar{X}_j, i=1,2,\dots,n+m \\ C = \sum_{i=1}^{n+m} o_i \cdot p_i \cdot q_i, i=1,2,\dots,n+m \\ S_i = \frac{P_i}{A_i} + d_2^- - d_2^+, i=1,2,\dots,n+m \end{array} \right. \quad (20)$$

下面具体阐述分析本题建立多目标规划模型的具体步骤，并对模型中的符号意义进行具体说明。

第二问和第三问的研究结果显示，实际人均营养的摄入量达不到需要摄入量的标准。因此本文在第三问建立的单目标规划模型的基础之上，考虑国家对耕地使用率的控制比例，以及果蔬进出口等参数，建立了多目标规划模型。

首先，做出如下定义

$$o_i = \begin{cases} 0 & \text{第} i \text{种果蔬不会被人们购买} \\ 1 & \text{第} i \text{种果蔬会被人们购买} \end{cases} \quad (21)$$

由以上定义则可以得出购买成本为

$$C = \sum_{j=1}^{n+m} o_{ij} \cdot p_j \cdot q_j \quad (22)$$

其中 C 为年度人均果蔬购买成本； $p_i, i=1,2,\dots,n+m$ 表示各果蔬的物价水平； $q_i, i=1,2,\dots,n+m$ 为各种果蔬的购买量； $n+m$ 表示果蔬的种类数。

其次，在该题的处理中要保证满足自身营养健康的前提，转化为公式就是

$$\sum_{j=1}^{n+m} o_i \cdot q_i x_{ij} \geq \bar{X}_j \quad (23)$$

其中 x_{ij} 表示第 i 种果蔬所含的第 j 种营养元素； \bar{X}_j 表示人体日均摄入的第 k 种营养元素的量。

接着，设调整后的各类型果蔬产量为 P_i ，人口总数用 N 表示；分析题目以及查阅资料，发现这里的果蔬消费量不仅要满足以上所叙述的条件，还要满足下面的条件：

a) 把农户利润当做定性化指标，即农户所种植的果蔬都能被消费或出口出去。那么就要求在做战略调整的时候使得果蔬供需平衡；

b) 出口总量的最大化 $Max \sum_{i=1}^{n+m} o_i O_i$ ，其中第 i 种果蔬的出口量为

$$O_i = P_i - N \cdot q_i + d_1^- - d_1^+ \quad (24)$$

这里的 d_1^- 表示未被购买也未被出口的粮食部分； d_1^+ 表示出口量过高占用国内消耗部分。之所以把进出口贸易纳入考量范围，原因是进出口贸易会对果蔬市场价格产生影响，这种影响主要从两方面来说明：其一是粮食的出口会导致国内供给减少，果蔬价格的上升，会使消费者果蔬消费成本增加；其二是对国外低价果蔬的进口，国内生产剩余、果蔬价格下降，影响种植者的收益^[10]。由于以上两种情形的出现需要国家对果蔬进出口量进行宏观调控，这里仅考虑水果、蔬菜两个大类的调控情况；

c) 使购买成本最低，据此建立单目标规划模型，目标函数： $Z = \min C$ ；

d) 根据往年对果蔬每亩种植产量的统计分析^[11]，确定各种果蔬的每亩产值 A_i ，则调整种植策略后的各果蔬种植面积为

$$S_i = \frac{P_i}{A_i} + d_2^- - d_2^+ \quad (25)$$

由于耕地面积的逐年递减以及其稀缺性特点，本文整体要求在达到上述 a、b 两个目标的前提下，要求用于果蔬种植的耕地面积尽可能的少，即

$$\min \sum_{i=1}^{n+m} S_i \quad (26)$$

综上所述，本文最终建立的基于居民购买成本、种植面积、出口量以及耕地面积等条件的多目标优化模型为式子 20 所示。

8.2.2 模型的求解

首先，使用线性加权和法，给目标函数赋予不同的权重，将多个目标进行加权求和，将多目标规划转化成单目标规划。将原先的多目标规划问题，就转化成以下形式：

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \alpha \sum_{i=1}^{n+m} o_i O_i + \beta \sum_{i=1}^{n+m} S_i + \gamma \sum_{i=1}^{n+m} C_i \quad i=1,2,\dots,n+m \\ s.t. \quad O_i = P_i - N \cdot q_i + d_1^- - d_1^+, i=1,2,\dots,n+m \\ \sum_{j=1}^{n+m} o_i \cdot q_i x_{ij} \geq \bar{X}_j, i=1,2,\dots,n+m \\ C = \sum_{i=1}^{n+m} o_i \cdot p_i \cdot q_i, i=1,2,\dots,n+m \\ S_i = \frac{P_i}{A_i} + d_2^- - d_2^+, i=1,2,\dots,n+m \\ \alpha + \beta + \gamma = 1 \end{array} \right. \quad (27)$$

然后，使用转化后的单目标规划模型对问题进行求解。通过求解得到的人均每天每种水果和蔬菜的消费量如表 43 所示。

表 43 2013 年果蔬的年消费量

种 类	名 称	消费量(kg/年)
水 果	苹果	14.4175
	梨	9.2345
	橘子	7.0445
	香蕉	33.8355
	菠萝	18.761
	荔枝	17.228
	桃子	13.7605
	猕猴桃	11.826
	葡萄	10.147
蔬 菜	萝卜	4.453
	胡萝卜	13.432
	茄子	19.5275
	黄瓜	3.723
	大白菜	5.986
	芹菜	182.865
	菠菜	3.796

由表 43 可以看出，人体每年需要消费 14.4175kg 苹果，9.2345kg 梨，7.0445kg 橘子等多种水果和蔬菜能达到人体对各种营养的需求。由此可见，居民每天在进行水果和蔬菜的摄入时，需要均衡搭配，不能只吃水果或蔬菜，或者只吃其中的任何一种，这样不符合营养均衡搭配的要求，也不利于人体的健康发展。

最后，结合 2013 年各种水果和蔬菜的价格，得到 2013 年平均每天花费 12.23 元购买苹果、梨、橘子等水果和蔬菜的组合，每年需要花费的是 4465.72 元。

8.2.3 结果分析

本题根据题目中综合给出的因素，建立了多目标规划模型。首先通过先行加权将多目标转化为多个单目标规划模型；然后，再采用求解单目标规划的方法运用 MATLAB 求解得出人均每年对每种水果的消费量。

最终得出：居民在进行水果和蔬菜的摄入时，需要水果蔬菜种类均衡搭配，不能只吃水果或蔬菜，或者只吃其中的任何一种，这样既不符合营养均衡搭配的要求，也不利于人体的健康的长期发展。结合 2013 年各种水果和蔬菜的价格，得到 2013 年平均每天花费 12.23 元购买苹果、梨、橘子等水果和蔬菜的组合，每年需要花费的是 4465.72 元。

8.3 我国果蔬产品的生产调整问题

国家对水果和蔬菜各品种的生产规模的战略性调整，是实现人体营养均衡满足健康需要。本文首先建立时间序列预测模型，然后用其对前面求解多目标规划

模型得出的消费量进行求解，预测出 2002-2020 年的年度合理人均消费量，将其与第二问预测出来的结果进行对比，最后根据这个对比结果对果蔬产品生产种植进行调整。

8.3.1 时间序列预测模型的建立

本题的时间序列的预测模型的建立方和和步骤与问题一中时间序列模型建立的步骤和方法一样。

据此，最终建立的时间序列预测模型为

$$x_{it} = \beta_1 x_{i(t-1)} + \cdots + \beta_n x_{i(t-n)} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \cdots - \theta_m \alpha_m \quad (28)$$

式中 $x_{i(t-1)}, x_{i(t-2)}, \cdots, x_{i(t-n)}$ 为历史观测值； β_n, θ_m 为模型参数； α_t 为系统随机误差。

8.3.2 模型的求解

首先，根据第一小问得出的 2013 年的各种水果和蔬菜的年度消费量，用建立的时间序列模型对 2014-2020 年的各种水果和蔬菜的年度消费量进行预测，预测结果见表 44 所示。

然后，运用第二问建立的模糊综合评价模型对预测的 2014-2020 年的水果和蔬菜的消费量进行求解，求解结果见表 45 所示。

表 44 2014-2020 年的各种水果和蔬菜的年度消费量预测值

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
水果	苹果	1.06E-12	1.81E-15	3.53E-09	2.65E-11	3.47E-15	3.78E-10	1.13E-10
	梨	1.03E-11	2.91E-14	20.87211904	20.8721203	20.87212031	20.8721203	20.8721203
	橘子	5.11E-13	8.60E-16	1.68E-09	1.26E-11	1.65E-15	1.79E-10	5.32E-11
	香蕉	2.42E-12	3.92E-15	7.69E-09	5.52E-11	6.92E-15	7.23E-10	2.08E-10
	菠萝	1.35E-12	2.20E-15	4.37E-09	3.22E-11	4.13E-15	4.41E-10	1.30E-10
	荔枝	1.24E-13	2.19E-16	4.01E-10	3.02E-12	3.96E-16	4.33E-11	1.30E-11
	桃子	1.02E-12	1.75E-15	3.45E-09	2.61E-11	3.44E-15	3.78E-10	1.14E-10
	猕猴桃	8.83E-13	1.31E-15	3.06E-09	2.30E-11	3.02E-15	3.29E-10	9.85E-11
	葡萄	7.30E-13	1.23E-15	2.35E-09	1.76E-11	2.30E-15	2.50E-10	7.44E-11
蔬菜	萝卜	3.07E-12	4.85E-15	9.18E-09	6.74E-11	8.62E-15	9.18E-10	2.69E-10
	胡萝卜	9.41E-12	1.33E-14	3.75E-07	5.33E-10	5.46E-14	1.11E-08	5.97E-09
	茄子	1.51E-11	2.73E-14	5.68E-08	3.43E-10	3.80E-14	3.59E-09	9.54E-10
	黄瓜	2.63E-12	4.26E-15	8.29E-09	6.05E-11	7.71E-15	8.19E-10	2.38E-10
	大白菜	4.26E-12	6.65E-15	1.34E-08	1.01E-10	1.33E-14	1.45E-09	4.32E-10
	芹菜	50.14285714	50.14285714	3.768764394	3.768761436	3.768761434	3.768761446	3.76876144
	菠菜	1.39E-11	1.49E-14	0.129506	0.129506496	0.129506497	0.129506486	0.12950649

单位：公斤

表 45 2014-2020 年对应的 B 值

	很 低	偏 低	合 理	偏 高	很 高
2014	0.578722369	0.500641966	0.490386912	0.318320338	0.291304804
2015	0.550184511	0.511732711	0.504033124	0.319071618	0.283041042
2016	0.532379119	0.522630001	0.514166795	0.308789561	0.270234056
2017	0.512709020	0.534586147	0.527618207	0.294356813	0.269023206
2018	0.490849388	0.493781255	0.537817504	0.293486241	0.258026028
2019	0.473861448	0.484157945	0.557218934	0.281320427	0.240345157
2020	0.438218617	0.464281871	0.576389410	0.270123040	0.23076900

分析表 45 可以发现，2014-2016 年的最大 B 值处于“很低”标准，2017 年的最大 B 值处于“偏低标准”，2018-2020 年的最大 B 值处于“合理标准”。由此可见，本题建立的多目标规划模型求得的结果能够使居民的营养状况摄入逐渐好转，所以可以根据其进行战略的调整。

8.3.3 果蔬产品的生产调整战略

根据预测得出的 2014-2020 年的各种营养物质的年度消费量的预测值，以及每种水果和蔬菜对应的各种营养物质的含量，计算出 2014-2020 年每年对应的各种营养物质的年需求量系数，结果见表 46 所示。

表 46 2014-2020 年各种营养物质的需求系数表

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
不溶性纤维	0.03042	0.030938	0.031452	1.031961	0.032465	0.032964	0.03346
总维生素 A	0.604776	0.613521	0.622186	0.630771	0.639278	0.647708	0.656061
维生素 C	1.591807	0.521171	0.450264	0.679092	1.707657	0.535962	0.464012
钙	0.234481	0.236718	0.838934	0.24113	0.243305	0.245462	0.247598
磷	0.229927	0.232723	0.235493	0.238238	0.240957	0.243652	0.246323
钾	0.584282	0.593665	0.602962	0.612174	0.621302	0.630347	0.639311
钠	0.175967	0.176497	0.177023	0.177545	0.178061	0.178573	0.17908
镁	0.327191	0.331825	0.336416	0.340966	0.345474	0.349941	0.354368
铁	0.25287	0.256219	0.259537	0.262825	0.266083	0.269311	0.272511
锌	0.141297	0.143315	0.145314	0.147295	0.149257	0.151202	0.153129
硒	0.088364	0.0895	0.090625	0.09174	0.092845	0.09394	0.095025
铜	0.408889	0.418065	0.427156	0.436164	0.44509	0.453935	0.4627
锰	0.277145	0.281498	0.285811	0.290085	0.29432	0.298517	0.302675

观察表 46 可以发现，2014 年维生素的需求系数最大，值为 1.591807；2015 年维生素 A 和钾的需求系数最大，分别为 0.61352 和 0.593665；2016-2020 年的需求系数最大的营养素分别是钙、不溶性纤维、维生素 C、维生素 A 和钾、不溶性纤维。

根据每年含量最高的营养元素，对照水果和蔬菜的营养成分含量表，分别找出其对应的含量较高的水果和蔬菜，从而加大对其的种植面积，最终的得出的每年应加大种植的水果和蔬菜结果见表 47 所示。

表 47 2014-2020 年应加大种植的水果和蔬菜表

	含量最高的营养素	加大种植的水果	加大种植的蔬菜
2014	维生素 C	猕猴桃	大白菜
2015	维生素 A、钾	香蕉、橘子	胡萝卜
2016	钙	橘子、香蕉	大白菜
2017	不溶性纤维	梨子、大枣	胡萝卜、蒜苗
2018	维生素 C	猕猴桃	大白菜
2019	维生素 A	香蕉、橘子	胡萝卜
2020	钾、不溶性纤维	香蕉、梨子	胡萝卜、蒜苗

由表 47 看出，2014 年应加大猕猴桃和白菜的种植，适当减少其他果蔬的种植；2015 年应加大香蕉、橘子和胡萝卜的种植，适当减少其他果蔬的种植；2016 年应加大橘子香蕉以及大白菜的种植；同理，2020 年应加大香蕉、梨子、萝卜和胡萝卜的种植，相应的减少其他果蔬的种植。

9 写给相关部门的政策建议书

维持人体健康机能状态的维生素、矿物质无机盐以及膳食纤维这三种营养物质的主要来源是人们日常食用的水果蔬菜。但是，从目前的研究中发现：虽然居民对水果和蔬菜的消费量在逐年增长，但是增长速度缓慢，并且低于人体对营养物质的需求水平；进一步分析后发现国家对各种果蔬的种植缺乏统一的规划，大部分市场只是根据往期种植收益凭经验制定种植计划，最终导致的结果就是果蔬市场混乱，居民营养摄入量失衡。

本文针对人体营养健康角度的中国果蔬发展问题进行了研究，根据本文的研究结果，我们建议国家及有关部门采取以下措施来解决在当前人民果蔬消费量方面存在的问题。

第一，水果和蔬菜的种植要有侧重点。在第一问中，本文根据居民日常所摄入的营养量等求出苹果、梨、橘子等 12 种水果为主要水果。大白菜、胡萝卜和萝卜等 7 中蔬菜为主要蔬菜，并统计了这些主要水果和蔬菜的总产量占果蔬总产量的 80%以上，由此可见，这些果蔬的营养物质更接近人体所需，它们的需求量更大，因此，在进行果蔬的种植时，应尽量侧重这些。

第二，在大力发展经济型产业的同时，宣传果蔬的摄入对人体健康的多方面功效，提高果蔬消费在人均可支配收入中的比重。本文在第三问中对北京、湖北以及四川三个省市的研究对比中发现当前居民用于购买水果的蔬菜的费用年均分别为：2533.89、3695.1、1610.86。而这三个地方当前的人均可支配收入分别为：36468.75、20839.59、20306.99，计算得出这三个经济发展程度不同地区居民用于购买水果和蔬菜的费用分别占其可支配收入的 6.95%、17.73%、7.93%，北京和四川两地均没有达到 10%。可见居民对于果蔬的消费意识相对比较淡泊，所以要在持续促进经济发展的同时提高居民对于果蔬消费的关注度。

第三，区域化水果和蔬菜的种植。第三问中对北京、四川和湖北三个区域最低水果和蔬菜消费组合进行了研究，得出北京居民春季每天吃 6.37 元的菠菜和芹菜组合，夏季每天吃 6.72 元的芹菜就能满足自身基本需求；而湖北居民在春季则要每天吃 9.92 元的大白菜，夏季吃 11.96 元猕猴桃、胡萝卜、大白菜组合能满足基本需求。在同一季节，不同区域吃的水果和消费不同，这是由于区域和季

节对果蔬的种植条件产生了限制，因此在进行果蔬种植时，要有区域划分。

第五，合理规划种植面积。由第四问的结果可以发现，当前的水果种植分配苹果的种植面积为 2139.9 千公顷，这根本无法满足居民对于营养元素的需求。考虑居民膳食满足所需的条件下支出费用最低的要求时，在所有果蔬的重新规划中苹果的种植量需要增加，并与其他品种的果蔬一起重新分配种植比重，但是为了保证粮食的供给，不与其争耕地，要保证所有果蔬的增加范围不能超过 5%。然而这种调控不是微观上面的市场能够自己解决的，所以要有国家层面进行宏观的配置。

第六，加大科技投入，提高果蔬种植的亩产值。文中收集到：2009 年全国耕地面积为 13538.46 万公顷，2012 年则变为 13515.85 万公顷。可见全国净减少耕地面积一直在减少。而其中，果园的种植面积只有 1214 千公顷，非常少。所以，要想在果园可种植面积如此少的情况下，果蔬的产量仍能够满足人们的需求，最有效的解决方式就是采用新技术新方法在相同的耕地利用上达到更高的产量。

10 模型的评价、改进及推广

10.1 模型的评价

10.1.1 模型的优点

优点 1：时间序列是将某一指标在不同的时间上的不同产值，按时间先后的顺序排列而成的数列。这个序列就包含了产生该序列的系统的历史行为的全部信息，通过 ARMA 模型实现了尽可能多的利用历史信息预测未来发展趋势，在本题中对于果蔬为来消费量的预测具有较高的准确度；

优点 2：对于对某指标影响因素为确定的混沌状态，BP 神经网络通过具有简单处理能力的神经元的复合作用使得网络具有复杂的非线性映射能力；

优点 3：对于感性非线性的评价活动，我们无法采用量化的方法进行直观的评价，模糊综合评价模型的建立，可以将反应人体果蔬摄入量的合理性标准量化，从而实现了评价指标从定性到定量的转变，很好的解决了这个非确定性问题；

优点 4：建立以满足自身营养成分条件下最低购买成本的单目标规划模型，并通过分经济发展状况不同的区域对中国居民水果和蔬菜的年度合理消费量进行求解，对比个地区的人均可支配收入，能更加直观的反应中国居民的营养膳食观念；

优点 5：将国家政策、种植者收益以及果蔬进出口状况纳入中国居民果蔬消费量的影响中，构建涵盖多因素的多目标规划模型，能更加全面系统的对我国果蔬种植战略调整提供支撑依据。

10.1.2 模型的缺点

缺点 1：评价其实更多的是一种感性的活动，通常情况下它具有非线性的特质。在某些情况下指标的突出影响单靠增大权重根本无法比较，所以对于人体膳食合理程度的评价采用模糊综合评价模型得出的结论无法进行可靠性检验；

缺点 2：多目标规划模型的建立，没有将各个因素之间的相关影响考虑进来，比如：国家宏观战略的调整对果蔬价格的影响；进出口对国内果蔬供给的冲击等；

忽略了在调整过程中的价格变化；

缺点 3：模型的建立没有将人的因素纳入考虑。从经济学的角度，果蔬之间存在着消费者偏好的问题，人们对于商品的选择不是单一的靠消费成本最低决定的，所以我们预测的果蔬消费趋势会与实际情况产生很大差距。

10.2 模型的改进

改进 1：聚类分析通常需要有完全的数据集，所以在数据处理方面，不靠单纯的直线插入法处理缺失数据，可以通过迭代算法为缺失的数据确定一个合理的替补值，构造完全数据集，提高聚类精度；

改进 2：在果蔬消费量的预测中把人的因素加入考虑，并勾画对那些营养元素含量相近的果蔬的消费者偏好模型以及无差异曲线，使得在对果蔬研究对象选择上更加贴近实际的情况；

改进 3：在目标规划在宏观调控方面应更加多的从经济学的角度考虑问题，不单纯的将每种影响因素分离考虑，特别需要关注的是价格以及价格指数。他们反应的是在资源配置的过程中供需双方的博弈关系。

10.3 模型的推广

全文建立的模型的建立都可以看做是从不同的层面对主要果蔬消费量以及供给量的分析，最终以得出的结论对国家宏观调控提出指导性意见。这种一系列模型的构架特别适用在经济领域对供需双方的分析的实际问题中。

参 考 文 献

- [1] 李艳艳. 0-1 规划问题的连续化方法研究及应用[D].大连理工大学,2009.
- [2] 公茂果,王爽,马萌,曹宇,焦李成,马文萍. 复杂分布数据的二阶段聚类算法[J]. 软件学报,2011,11:2760-2772.
- [3] 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.
- [4] 刘金培,林盛,郭涛,陈华友. 一种非线性时间序列预测模型及对原油价格的预测[J]. 管理科学,2011,06:104-112.
- [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] 许雪燕. 模糊综合评价模型的研究及应用[D].西南石油大学,2011.
- [7] 许世卫. 中国 2020 年食物与营养发展目标战略分析[J]. 中国食物与营养,2011,09:5-13.
- [8] 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.
- [9] 贾晋,周迪. 中国城乡居民粮食消费预测与结构优化——基于均衡营养目标的视角[J]. 农业经济与管理,2013,01:55-64.
- [10] 王禹. 基于营养需求的粮食生产目标研究[D].中国农业科学院,2013.
- [11] 孙秀锋. 中国粮食产销平衡区的粮食安全与耕地保护研究[D].西南大学,2013.