

# 深圳蔬菜安全风险评估与抽样检验方案设计

## 摘要

蔬菜食品安全是人民健康的重中之中。本文基于深圳市蔬菜抽检数据，在适当的数学模型上结合实际情况，建立起高效科学的新鲜蔬菜食品安全风险评估模型和设计出深圳市新鲜蔬菜抽样检测的优化方案。

针对问题一，这是关于蔬菜种类和输入渠道相关数据收集整合的统计分析。根据题意和资料，我们将蔬菜种类分为八大类，且将输入渠道分为七类并选取前四类在本问中分析。其后筛选汇总 2016 年 6 月至 2017 年 5 月《食用农产品质量安全报告》相关数据，将其分为春夏秋冬四季，发现叶菜类占比最大，而瓜果类和豆类比例在春冬有所上升；输入渠道中农贸市场占比最大，批发市场占比最小。

针对问题二和问题三，这是对蔬菜食品安全进行风险分析和综合评估。由于蔬菜的输入渠道多样，忽略任何一种都会造成莫大的安全风险，本文基于动态权重法建立输入渠道的评估函数  $f = \sum a_i x_i$ ，对忽略某些输入渠道的抽样导致的食物安全风险进行评估。其后，本文结合蔬菜自身特点，对各种评价方法的适用性进行了全面分析，最终选择了层次分析法进行指标权重的确定，并对数据进行无量纲化处理，定性定量计算出深圳新鲜蔬菜的食品安全风险指数： $A = 3.34$ ，说明深圳市蔬菜风险较低，有强健的保障。

针对问题四，这是对现有的深圳市蔬菜抽样检测方案进行优化。首先，我们将其划分为两个子模型，建立基于多层次划分的样本的抽取模型，将影响蔬菜质量安全的因素分为三个层次：输入渠道、蔬菜种类、行政区域；基于风险矩阵的蔬菜质量监测模型，对子指标进行风险等级评定。在质量监测时，着重监测风险等级高的指标，有效提高了安全监测的效率和质量。

针对问题五，建议信是基于现实和远期的一个最优决策的问题。我们根据模型的适用范围和优缺点，给出了模型的使用建议以及建立长期蔬菜数据库以更好科学评估的谏言。

**关键词：**风险评估 层次分析法 多层次划分 风险矩阵 最优决策

## 一、问题重述

民以食为天。食品安全问题是国家和民族安全问题。任何一次食品安全大事故都给人民带来极大的伤害，同时也伤害了政府的公信度。深圳市目前实际拥有人口已突破了 2000 万，蔬菜的食品安全更是重中之重。

新鲜蔬菜消费属性是输入型的。除了批发市场、农贸市场、超市、配送中心等常规渠道外，还有网络购物、流动摊贩、大单位（企业饭店）的点对点直接配送等输入方式。蔬菜品种繁多，存在较大的质量差异，影响因素包括：产地的差别、不同生产管理模式、反季节生产方式等。这诸多因素都对传统的蔬菜安全监管工作方法构成新的挑战。请认真阅读附件，并完成下列任务：

- （1）收集数据，调查、分析深圳市各季节新鲜蔬菜消费种类及不同输入渠道的比例；
- （2）评估检验中忽略某些输入渠道的抽样导致的食品安全风险；
- （3）基于附件评估深圳新鲜蔬菜食品安全风险；
- （4）根据科学的统计推断原理，设计一套深圳市新鲜蔬菜抽样检验方案，以满足不同层面监测工作的需要，提高食品安全防控的效率与质量；
- （5）基于你的研究结果给深圳市政府写一封建议信。

## 二、问题分析

本题在整体上属于运筹优化类问题，在求解的过程中将会使用到数理统计等知识。

对于问题一，这是一个典型的数据分析的问题，其难点在于收集相关数据和对数据进行挖掘分析。而问题二和问题三则是一个综合评价的问题，难点在于找出合适的指标以及寻找嵌套的模型。而问题三的实质是将问题二的模型更加具体化。典型的综合评价方法有层次分析法、模糊评价法、综合指数法等，我们要结合蔬菜食品安全性的特性从中选择合适的模型，从而确定蔬菜食品安全性的质量

风险和渠道风险。

问题四要求针对蔬菜安全建立合理的抽检模型。我们在这一问的基础上，将这一问的模型具体划分为抽样模型、检测模型这两个子模型。同时要具体分析各个环节以及其内部影响因素，这样可以保证检测的针对性，进而可以在以较少投入的前提下尽可能多的检测出有问题的蔬菜及输入渠道。

对于问题五，基于上述研究结果给深圳政府写一封建议信，显然是一个优化决策的问题。我们需要根据模型的适用范围和优缺点，结合当下管理模式和现实需求，给出最具效益的蔬菜安全风险评估和抽样检测方案。

### 三、模型假设

- 假定蔬菜能且仅能分为八大类，其余未分类蔬菜对食品安全性造成影响可忽略不计。
- 假定蔬菜输入渠道能且仅能分为七类，其余未分类输入渠道对食品安全性造成影响可忽略不计。
- 假定附件数据来源真实可靠，且抽样数据能代替总体趋势，不会对评价标准产生不可逆的影响。

### 四、符号说明

| 符号               | 意义         |
|------------------|------------|
| $D$              | 判断矩阵       |
| $W$              | 权重向量       |
| $\lambda_{\max}$ | 判断矩阵的最大特征根 |
| $CI$             | 一致性指标      |
| $CR$             | 一致性比率      |
| $R$              | 风险矩阵法的风险函数 |

## 五、模型的建立与求解

### 5.1 问题一的建立与求解

根据附件和相关文献，我们将新鲜蔬菜消费种类划分为八大类：瓜类、根茎类、鳞茎类、水生类、茄果类、豆类、芸苔属类和叶菜类；将输入渠道分为：批发市场、农贸市场、超市、生产基地、网络购物、流动摊贩、点对点配送等，由于网络购物、流动摊贩等渠道的数据难于收集且所占比重很小，在本问中不作探讨，仅选取前四种输入渠道作分析。

在深圳市市场和质量监督管理委员会官网上，筛选汇总 2016 年 6 月至 2017 年 5 月《食用农产品质量安全报告》中与题意相关的数据，以 2016 年 6 月-8 月作为夏季（每个季节周期为 3 个月），以此类推，得到一年度深圳蔬菜消费种类和输入渠道表。

#### 5.1.1 各季节新鲜蔬菜消费种类比例分析

据深圳市食用农产品质量安全监测抽检方案，抽样时重点抽查的是当月的主销产品和时令产品。对每个月的抽样数据进行数据处理和统计分析，可以得出各季节新鲜蔬菜消费种类的比例，如下表：

表 1 2016-2017 年度深圳市各季节蔬菜消费种类分布表

|      | 春季     | 夏季     | 秋季     | 冬季     |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 瓜类   | 17.06% | 16.01% | 17.82% | 15.13% |
| 根茎类  | 6.07%  | 3.56%  | 4.05%  | 7.09%  |
| 鳞茎类  | 2.45%  | 1.66%  | 0.35%  | 1.30%  |
| 水生类  | 1.17%  | 0.24%  | 0.12%  | 1.06%  |
| 茄果类  | 9.58%  | 9.37%  | 9.61%  | 7.92%  |
| 豆类   | 10.28% | 5.46%  | 5.67%  | 6.97%  |
| 芸苔属类 | 13.55% | 17.56% | 14.35% | 15.37% |
| 叶菜类  | 39.84% | 46.14% | 48.03% | 45.15% |

图解可以让我们更直观地观察其比例变化，做出其分布柱形图：

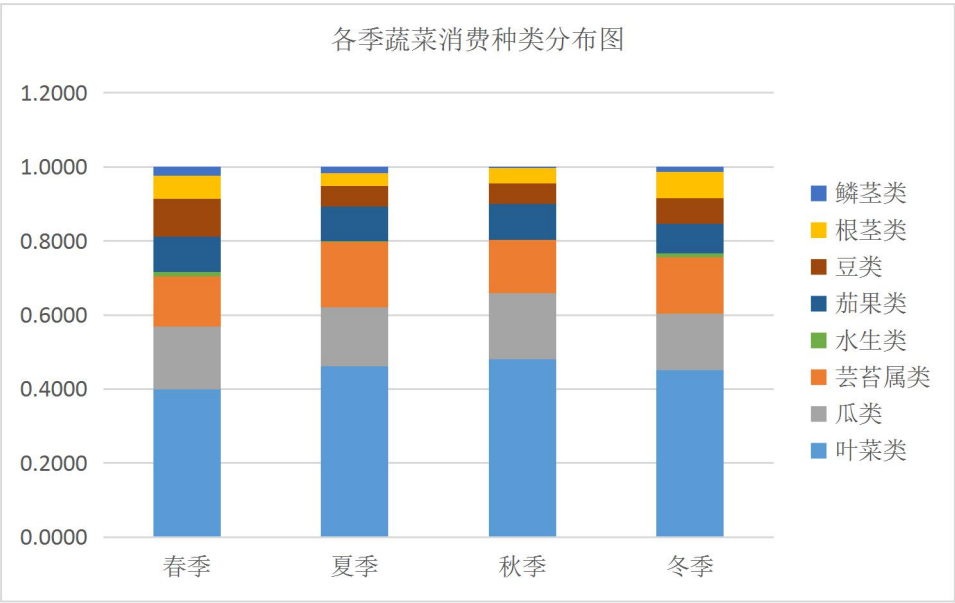


图 1 各季蔬菜消费种类分布图

由图 1 容易观察到，各个季节中不同种类的蔬菜的占比不完全相同，但有相近的分布状况。叶菜类、瓜类和芸苔属类的蔬菜是居民消费最多的三种蔬菜。明显的变化在春冬两季，可以发现叶菜类的消费比例低于夏季和秋季，瓜果和豆类的比例有所上升，这是因为植物的生长周期和瓜果豆类更能长时间储存的特性所决定的。

5.1.2 各季节新鲜蔬菜输入渠道比例分析

同上问，根据附件和收集得来的资料，得到如下深圳市各季节新鲜蔬菜输入渠道的比例表：

| 表 2 2016-2017 年度深圳市各季节蔬菜输入渠道比例表 |        |        |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                                 | 春季     | 夏季     | 秋季     | 冬季     |
| 生产基地                            | 2.08%  | 2.08%  | 2.08%  | 2.08%  |
| 农贸市场                            | 43.54% | 39.86% | 35.42% | 40.35% |
| 商场超市                            | 25.49% | 29.38% | 32.78% | 29.17% |
| 批发市场                            | 28.89% | 28.68% | 29.72% | 28.40% |

同理，我们做出其比例折线图帮助更容易判断分析输入渠道比例的变化量：

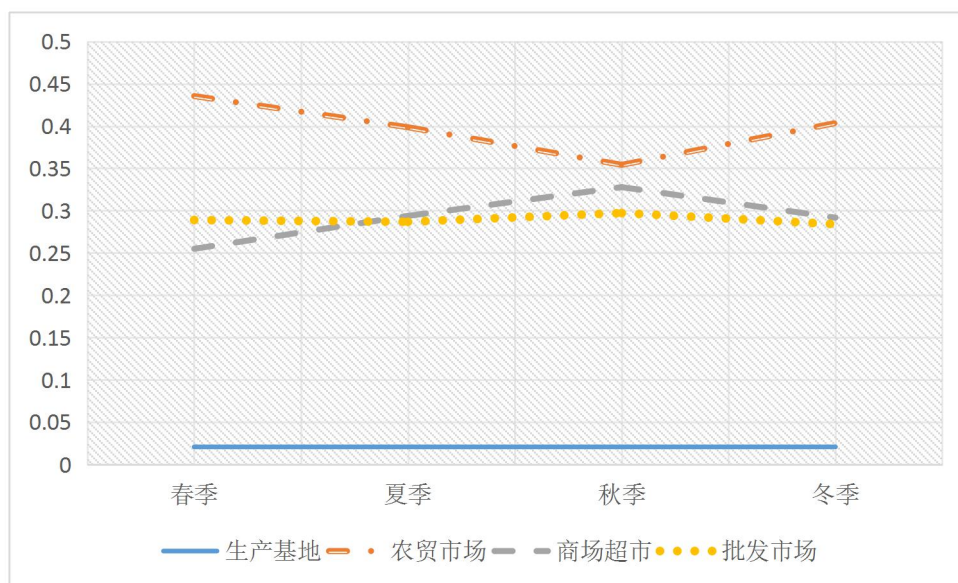


图2 各季节蔬菜输入渠道比例图

由图2可知，农贸市场是深圳市各季节蔬菜的主要输入渠道，生产基地和批发市场其次，生产基地的比重最少。生产基地和批发市场的比重保持稳定，商场超市和农贸市场的占比浮动相对较大。可以发现，农贸市场和商场超市的占比呈负相关，当农贸市场的比例增加时，商场超市的比例减少；反之亦成立。

## 5.2 问题二的建立与求解

蔬菜输入渠道主要包括：生产基地、商场超市、批发市场、农贸市场、网络购物、流动摊贩和大单位配送。不同的输入渠道对蔬菜质量安全的影响程度不同，本题给出的附件中，只考虑了生产基地、商场超市、批发市场和农贸市场这四个输入渠道。根据这些指标得到的深圳市蔬菜食品安全风险的评估是不准确的。因此需要对忽略某些输入渠道导致的食物安全风险进行评估。

### 5.2.1 蔬菜输入渠道风险评估的权重的确定

为了扩大该输入渠道对食品安全风险的评估模型的适用范围，采用了改进的动态赋权方法来确定各输入渠道权重，其过程如下：

- 1) 专家对每一个输入渠道赋权重。
- 2) 程序计算每个输入渠道权重的平均值和均方差。
- 3) 排除偏离较远的数据。
- 4) 对剩余数据重新计算平均值  $u$ 。 $u$  即为该输入渠道的计算权重。

### 5.2.2 基于动态权重的蔬菜输入渠道风险评估模型

在输入渠道这一维度，蔬菜食品安全与这 7 个输入渠道息息相关。因此，风险可用函数表示为

$$f = \sum a_i x_i \quad (\text{式 5-1})$$

式中， $f$  为蔬菜食品安全风险， $a_i$  为第  $i$  种输入渠道的权重， $x_i$  为第  $i$  种输入渠道的风险指数。此处以不合格率替代风险指数，风险指数越高，越不安全。

网络购物：假设仓库中的不合格率为  $a$ ，运输过程中对不合格率产生的影响为  $b$ ，则网路购物的不合格率为  $1-(1-a)(1-b)$ 。

流动摊贩：假设菜农手中的蔬菜不合格率为  $c$ ，贩卖过程中污染等因素产生的影响为  $d$ ，则流动摊贩的不合格率为  $1-(1-c)(1-d)$ 。

因此，被忽略的输入渠道产生的食品安全风险  $f$  为：

$$f = a_p x_p + a_q x_q \quad (\text{式 5-2})$$

其中， $x_p = 1-(1-a)(1-b)$ ， $x_q = 1-(1-c)(1-d)$ 。

## 5.3 问题三的建立与求解

目前，学术界关于风险评价的方法很多，如德尔菲法、相邻指标比较法、层次分析法、动态加权法等，本文在结合蔬菜食品安全风险评价自身特点的基础上，对各种评价方法的适用性进行了全面分析，最终选择了层次分析法进行指标权重的确定，并对数据进行了无量纲化处理。

### 5.2.1 风险分析和层次分析法介绍

风险分析（Risk Analysis）是保证农产品安全的一种模式，同时也是一门正在发展中的新兴学科。风险分析包括三个部分：风险评估、风险管理与风险交流，三者相互联系、互为前提，如图所示。其中风险评估是整个风险分析体系的核心和基础。有时在进行一项风险评估时，并不需要将这三个部分全部包含进来。

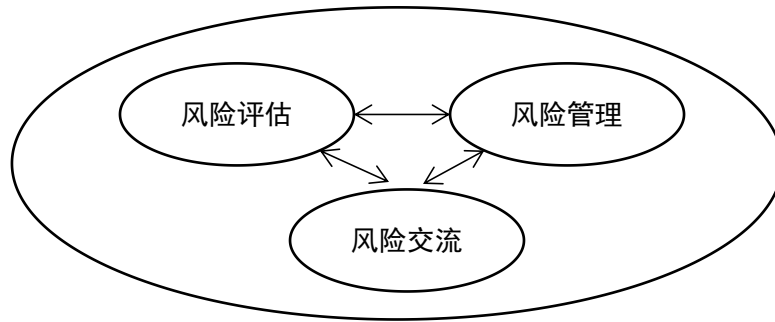


图 3 风险分析模式图

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。

层次分析法是将决策问题按总目标、各层子目标、评价准则直至具体的备投方案的顺序分解为不同的层次结构，然后得用求解判断矩阵特征向量的办法，求得每一层次的各元素对上一层次某元素的优先权重，最后再加权和方法递阶归并各备择方案对总目标的最终权重，此最终权重最大者即为最优方案。这里所谓“优先权重”是一种相对的量度，它表明各备择方案在某一特点的评价准则或子目标，标下优越程度的相对量度，以及各子目标对上一层目标而言重要程度的相对量度。层次分析法比较适合于具有分层交错评价指标的目标系统，而且目标值又难于定量描述的决策问题。其用法是构造判断矩阵，求出其最大特征值。及其所对应的特征向量  $W$ ，归一化后，即为某一层指标对于上一层某相关指标的相对重要性权值

### 5.3.2 基于 AHP 的新鲜蔬菜食品安全风险的评估模型

当前国内外对指标体系的评价通常采用权重加权法，即按照不同指标所占的权重进行加权，最后得到评判的综合指数。由于蔬菜的质量涉及社会发展风险、蔬菜投入品污染风险、蔬菜产地环境风险、质量检测风险等综合指标，且它们之间没有非常明确的定量关系，加之蔬菜的影响因素又具有明显的层次性，因此本文应用的基本思路是根据相关附件和文献获取指标要素两两比较的相对重要性的原始数据，确定各个指标相互间的重要性关系，然后采用层次分析法确定指标的权重，对各指标数据进行无量纲化处理，最后计算出新鲜蔬菜的食品安全风险



的评价指数。该模型建立的具体步骤如下：

1) 明确问题和建立递阶层次结构

蔬菜产品从农田到消费者手中需要经过生产、加工、运输、销售等很多环节。蔬菜的产地环境会对蔬菜的食品安全造成影响，包括大气污染、土地污染、水污染等。在生产过程中会受到农业投入品的污染，主要是指农药、化肥等化学药品。运输过程中的温度、人工等因素都会对蔬菜质量产生影响。综合分析，蔬菜安全风险指数与农业投入品污染指数、产地环境风险指数、输入渠道风险指数、质量检测风险指数息息相关。

根据题意和以上两问的解答，本文主要考虑后两个风险指数，即输入渠道风险指数和质量检测风险指数。之后将蔬菜质量风险指标体系分为三个层次，即总体层、中间层、指标层，这是一个合理的划分。基于以上分析建立了一个由目标层、中间层和指标层所组成的递阶层次结构。

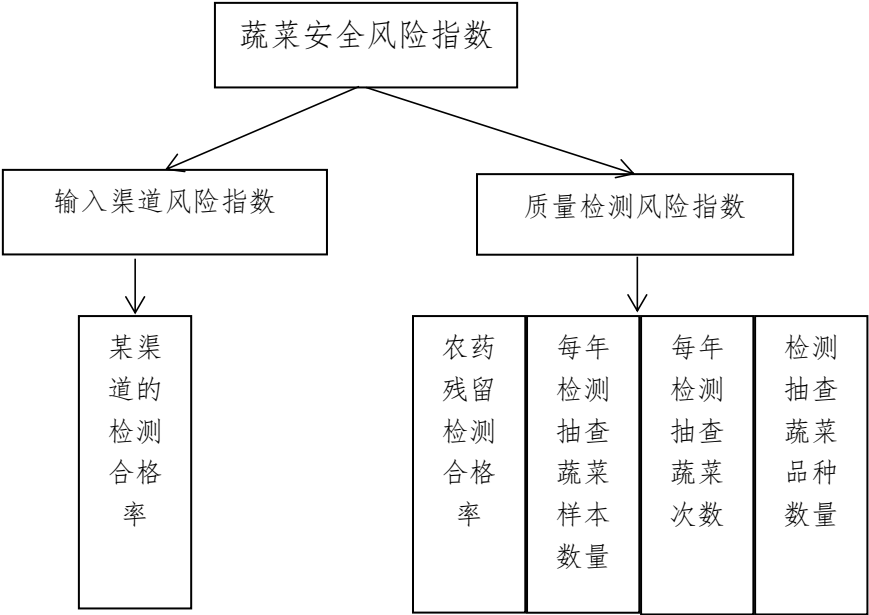


图 4 蔬菜安全递阶层次结构图

2) 构造判断矩阵和计算权重向量

在尽量保证评价指标科学性、实用性、协调性、全面性和重要性原则的基础上，设置了如下的蔬菜食品安全风险评价指标体系：

表 3 蔬菜食品安全风险指标评价体系

| 总体层 (A)         | 中间层 (B)     | 指标层 (C)        |
|-----------------|-------------|----------------|
| 蔬菜质量安全风险指数<br>A | 输入渠道风险指数 B1 | 某渠道的监测合格率 C1   |
|                 | 质量检测风险指数 B2 | 农药残留检测合格率 C2   |
|                 |             | 每年检测抽查食品样本数 C3 |
|                 |             | 每年检测抽查食品次数 C4  |
|                 |             | 监测抽查食品品种数 C5   |

将每个层次各个元素对上一层次诸元素的重要性做出判断，用数值表，就构成了判断矩阵

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mm} \end{pmatrix}$$

也可以用数学式子表示为：

$$D = (d_{ij})_{m \times m} \quad (\text{式 5-3})$$

由于上下层元素的隶属关系已经确定，接下来就是要确定各层次元素的权重。AHP 法利用决策者给出的判断矩阵的方法导出权重。下面介绍导出权重的方法。

首先我们要了解层次单排序的概念。所谓层次单排序就是把本层所有元素对上一层排出评比顺序，这就要计算判断矩阵的最大特征向量。权重向量的计算也就可以归结为计算判断矩阵的特征根和特征向量的问题。判断矩阵的权数可以通过  $WD = \lambda_{\max} W$  求出正规化特征向量而得到，式中  $\lambda_{\max}$  为  $D$  的最大特征根， $W$  为对应于  $\lambda_{\max}$  的正规化特征向量， $W$  的分向量  $W_i$  就是对应元素单排序的权=

值。最常用的计算最大特征根和特征向量的方法是和积法和方根法，本文采用方根法：

(1) 计算判断矩阵  $D$  每一行的元素的乘积  $m_i$

$$m_i = \prod_{j=1}^m d_{ij}$$

(2) 计算  $m_i$  的  $m$  次根

$$\overline{W}_i = \sqrt[m]{m_i}$$

(3) 对向量  $\overline{W} = [\overline{W}_1, \overline{W}_2, \dots, \overline{W}_n]^T$  进行归一化处理，即：

$$W_j = \frac{\overline{W}_j}{\sum_{j=1}^n \overline{W}_j}$$

如果下一步的检验通过，则  $\overline{W} = [\overline{W}_1, \overline{W}_2, \dots, \overline{W}_n]$  为下级指标对上一级某一指标的向量。

根据上述方法，可写出相关矩阵和解出其权重向量，得：

表 4 蔬菜食品安全风险的判断矩阵及其计算结果

| A  | B1   | B2   | $W_i$  |
|----|------|------|--------|
| B1 | 1.00 | 0.87 | 0.4652 |
| B2 | 1.15 | 1    | 0.5348 |

表 5 质量检测风险的判断矩阵及其计算结果

| B2 | C2   | C3   | C4   | C5   | $W_i$  |
|----|------|------|------|------|--------|
| C2 | 1    | 1.49 | 1.25 | 1.86 | 0.4203 |
| C3 | 0.67 | 1    | 1    | 1.56 | 0.2309 |
| C4 | 0.8  | 1    | 1    | 1.34 | 0.2338 |
| C5 | 0.54 | 0.64 | 0.75 | 1    | 0.1150 |

### 3) 一致性检验

由于构造判断矩阵时要受到专家系统、文献资料的不完全性和评价系统复杂性的影响，不可能做到每一个判断都准确无误，完全符合客观实际，计算出的权重不一定具有完全的一致性。因此，为了保证所计算的权重的可信性，需要对矩阵进行一致性检验。

首先，计算一致性指标

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (\text{式 5-4})$$

式中， $m$  是判断矩阵元素个数； $\lambda_{\max}$  是判断矩阵的特征根。

特征根  $\lambda_{\max}$  的计算公式为：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^m \frac{(WD)_i}{mW_i} \quad (\text{式 5-5})$$

然后，计算随机一致性比率

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{式 5-6})$$

其中， $RI$  为平均随机一致性指标，其值可由表查得：

表 6 随机一致性系数数值表

| 矩阵阶数 | 1 | 2 | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|------|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|
| $RI$ | 0 | 0 | 0.58 | 0.9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

只有当  $CR < 0.1$  时所计算的权重才认为是满意合理的，否则需要调整判断矩阵元素的值，重新计算权重，直到  $CR < 0.1$  为止。

#### 4) 评价指标的无量纲处理

无量纲化，也叫数据标准化、规格化，它是通过数据的简单变化来消除各自量纲影响的方法。在蔬菜生产的各个阶段，评价指标的意义彼此不同，其表现形式也不一样，有的是绝对指标，有的是相对指标，还有的是平均数指标；对生鲜蔬菜质量风险的左右的趋向性也不一致，有的是正指标，有的是适度指标，有的是逆指标。正指标要求数值越大越好，适度指标要求适中才好，逆指标要求数值越小越好，因此各指标不具有可比性，如果不进行无量纲处理，就无法进行综合评价。目前我国研究者采用的无量纲化的方法主要有：直线型无量纲化方法、曲线型无量纲化方法以及折线型无量纲化方法。本文采用直线型无量纲化方法。

直线型无量纲化方法在将指标实际值转换为不受量纲影响的指标评价值时，假定两者之间成线性关系，常用的方法有 2 种：

第一种是先确定各项指标的最低值和最高值，在两者之间进行插值计算，换算为[0, 1]区间值。

当指标与评价目标呈正相关时，计算公式为：

$$E_i = \frac{X_i - X_{i\_min}}{X_{i\_max} - X_{i\_min}} \quad (\text{式 5-7})$$

当指标与评价目标呈负相关时，计算公式为：

$$E_i = 1 - \frac{X_i - X_{i\_min}}{X_{i\_max} - X_{i\_min}} \quad (\text{式 5-8})$$

其中，式中  $E_i$  为第  $i$  项指标指数； $X_i$  为第  $i$  项指标的观测值； $X_{i\_min}$  为所有对象中第  $i$  项指标的最小值； $X_{i\_max}$  为所有对象中第  $i$  项指标的最大值。

第二种方法是 **Z-Score** 转换公式常应用于因子分析、聚类分析和关联分析。这种方法适用于指标数值呈正态分布的情况，它是以指标实际值的标准差为标准，对各评价指标的实际值与平均值的偏差进行对比测度的方法，能够避免由于变量均值不一样导致数据扭曲，其计算公式为：

$$E_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (\text{式 5-9})$$

$$\text{其中，均值 } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \text{ 标准差 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}。$$

本文主要应用了第一种方法进行无量纲化处理，人们比较习惯传统的百分制，所以在本文规定将各个指标的无量纲化处理至乘以 100 作为标准量化值。

## 5) AHP 总排序

各判断矩阵的一致性都比较好。通过对判断矩阵的结果进行分析、处理，可以得到如下蔬菜质量风险评价指标体系的权重：

表 7 蔬菜质量风险评价指标体系

| 总体层 (A)   | 中间层 (B)     | 权重     | 指标层 (C)        | 权重     |
|---|-------------|--------|----------------|--------|
| 蔬<br>菜<br>质<br>量<br>安<br>全<br>风<br>险<br>指<br>数<br>A | 输入渠道风险指数 B1 | 0.4652 | 某渠道的监测合格率 C1   | 1      |
|   | 质量检测风险指数 B2 | 0.5348 | 农药残留检测合格率 C2   | 0.4203 |
|   |             |        | 每年检测抽查食品样本数 C3 | 0.2309 |
|   |             |        | 每年检测抽查食品次数 C4  | 0.2338 |
|   |             |        | 监测抽查食品品种数 C5   | 0.1150 |
|   |             |        |                |        |

本文通过对各指标数据进行无量纲化处理，依据层次分析法所确定的指标权重，基于附件中深圳市蔬菜的相关数据，计算出深圳市蔬菜食品安全风险指数，采用百分制。

表 8 各指标得分表

| 指标 | C1  | C2 | C3 | C4 | C5 |
|----|-----|----|----|----|----|
| 分数 | 4.7 | 2  | 5  | 6  | 8  |

所以，中间层的得分为：

$$\begin{cases} B1 = 0.4652 \times 4.7 = 2.19 \\ B2 = 0.4203 \times 2 + 0.2309 \times 5 + 0.2338 \times 6 + 0.1150 \times 8 = 4.34 \end{cases}$$

故，我们可以算得深圳市蔬菜食品安全风险得分为：

$$A = 2.19 \times 0.4652 + 0.5348 \times 4.34 = 3.34$$

说明，该得分越高说明城市新鲜蔬菜食品安全风险越高（满分为 100）。所以根据该计算结果，我们可以判断深圳市蔬菜食品安全风险十分之低，说明蔬菜安全性有强健的保障。

5.4 问题四的建立与求解

产品质量控制与产品质量检测成本是影响产品检测抽样数量的直接因素。一般来讲，产品质量检测成本与抽样数量呈负相关，抽样越多，质量检测成本越高。而产品质量控制与抽样数量呈正相关，产品质量控制效果越好，抽取的样品数量越多。因此，在进行质量安全监测时，降低成本和提高效率至关重要。

5.4.1 基于多层次划分的样本的抽取模型

本题中，我们发现深圳市不同地区、不同输入渠道和不同种类的蔬菜的安全监测结果存在差异，对抽样对象进行划分可以有效提高监测效率和质量。为此，建立基于多层次划分的样本的抽取模型。该模型根据不同的因素对抽样对象进行划分。

在本题中，第一层的划分依据为蔬菜的输入渠道；第二层的划分依据为蔬菜的种类；第三层的划分依据为深圳市的行政区域。通过这样对抽样对象的多层次划分，可以有针对性地重点抽查容易发生质量检测不合格的对象。

5.4.2 基于风险矩阵的蔬菜质量安全监测模型

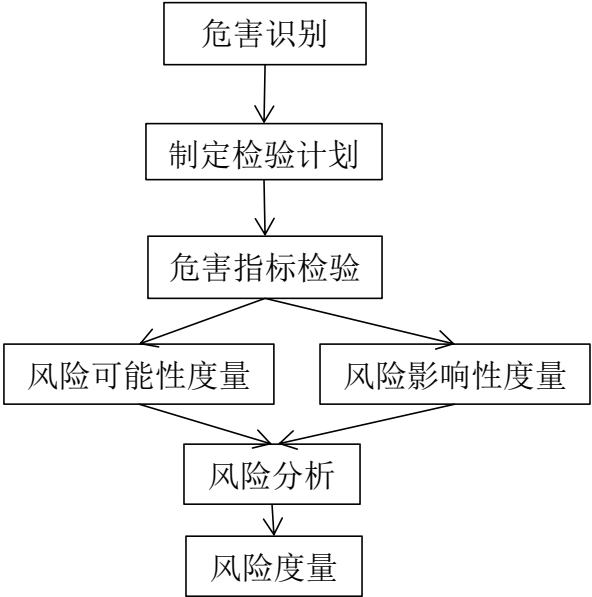


图 5 风险分析模式图

衡量蔬菜质量安全风险的两个主要指标就是风险发生的概率和风险的影响程度。

风险矩阵是一种有效的风险管理工具。它首先识别出项目风险，评估风险的

影响和发生的概率，计算风险等级，然后根据风险等级实施差异化管理，或采取相应的预防措施以降低风险。为了对风险危害程度进行定性衡量，在风险分析模块中，将风险一共划分为三个等级，一级风险表示该风险因素基本安全，但不排除其存在一定的安全隐患。二级表示该风险因素较为不安全，有可能造成不良后果，应采取一定措施。三级不安全，应立刻采取措施控制，并非常有可能发生食品安全事件。

风险是风险因素发生的可能性与影响程度的二元函数。用数学表达式可以表示为：

$$R = f(P, S) \quad (\text{式 5-10})$$

式中：\$R\$ 代表风险分析值；\$P\$ 代表风险因素发生的可能性；\$S\$ 代表风险因素影响程度。

函数 \$f\$ 可以用以 \$P\$ 和 \$S\$ 的取值构建的矩阵形式表示，行列交叉处的 \$R\$ 值即为计算结果。根据方差理论，可以得出：\$R\$ 与 \$P\$、\$S\$ 之间关系的函数表达式为：

$$R = (m \times P^2 + n \times S^2)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{式 5-11})$$

式中：\$m\$、\$n\$ 为概率系数，分别反映 \$P\$、\$S\$ 对 \$R\$ 的贡献。一般情况下可以各取 0.5。

### 1) 蔬菜质量安全风险发生的概率

不妨设第 \$m\$ 类食品中的第 \$n\$ 种食品的第 \$i\$ 个危险指标产生风险的可能性为 \$P\_{mn}^{(i)}\$，其计算公式可以表示为：

$$P_{mn}^{(i)} = H_{mn}^{(i)} \times F_{mn} \times (1 + 4E_{mn}) \quad (\text{式 5-12})$$

式中，\$H\_{mn}^{(i)}\$ 称为检验数据的超限率，其取值范围为\$[0,1]\$；\$F\_{mn}\$ 为食品摄入系数，不同种类的食品每日摄入量，因此发生危险的可能性的权重也不一样。\$E\_{mn}\$ 称为环境气候因子，食品在不同环境其发生风险的可能会随之变化。在本文中，为简化计算，\$P\_{mn}^{(i)}\$ 可由某种蔬菜种类的抽检合格率为 100 的差值的绝对值来近似替代。

### 2) 蔬菜质量安全风险的危害程度

风险的危害程度是由风险因素的污染程度与其造成的危害程度所决定，并受



社会影响因子所影响。同理，在本文中可由附件相关数据蔬菜的抽检数据的比例所替代。

### 3) 蔬菜质量安全的风险等级评定

由上述定义和描述，我们做出蔬菜质量安全的风险等级评定表：

表 9 输入渠道的风险等级评定

|      | $P$ | $S$ | 风险等级 |
|------|-----|-----|------|
| 农贸市场 | 2   | 3   | 1.58 |
| 商场超市 | 3   | 2   | 1.58 |
| 批发市场 | 2   | 2   | 1.41 |
| 生产基地 | 1   | 1   | 1.00 |

容易观察到，在蔬菜的输入渠道中，农贸市场的风险等级最高，最不安全，商场超市和批发市场其次，生产基地的风险等级最低，最安全。

表 10 蔬菜种类的风险等级评定

|      | $P$ | $S$ | 风险等级 |
|------|-----|-----|------|
| 瓜类   | 3   | 3   | 1.73 |
| 叶菜类  | 2   | 3   | 1.58 |
| 豆类   | 3   | 3   | 1.58 |
| 芸苔属类 | 1   | 3   | 1.41 |
| 茄果类  | 2   | 2   | 1.41 |
| 根茎类  | 1   | 2   | 1.22 |
| 鳞茎类  | 1   | 1   | 1.00 |
| 水生类  | 1   | 1   | 1.00 |

根据上表，在蔬菜的八大种类中，瓜类、叶菜类、豆类的风险等级最高，最不安全，鳞茎类和水生类的风险等级最低，最安全。

表 11 深圳市各行政区的风险等级评定

|      | $P$ | $S$ | 风险等级 |
|------|-----|-----|------|
| 龙岗区  | 2   | 3   | 1.58 |
| 福田区  | 3   | 2   | 1.58 |
| 宝安区  | 1   | 3   | 1.41 |
| 坪山区  | 2   | 1   | 1.22 |
| 龙华区  | 1   | 2   | 1.22 |
| 盐田区  | 2   | 1   | 1.22 |
| 罗湖区  | 1   | 2   | 1.22 |
| 南山区  | 1   | 2   | 1.22 |
| 大明新区 | 1   | 1   | 1.00 |
| 大鹏新区 | 1   | 1   | 1.00 |

根据上表，在深圳市的十个行政划分区域中，龙岗区、福田区的风险等级最高，均超过了 1.5，光明新区和大鹏新区的风险等级最低，最安全。

### 5.4.3 深圳市新鲜蔬菜抽样检验方案的设计

#### 一、抽样数量和品种

##### （一）抽样数量

抽样容量为全年 31200 批次，分 12 月完成，每月 2600 批次，各辖区局每月具体任务数量如下：龙岗区 600 批次、福田 500 批次、宝安区 300 批次、坪山区 300 批次、龙华新区 300 批次、盐田区 270 批次、罗湖区 100 批次、南山区 100 批次、光明新区 65 批次、大鹏新区 65 批次。

##### （二）抽样品种

蔬菜以鳞茎类、叶菜类、芸薹属类、瓜类、茄果类、豆类、根茎类、水生类八大类蔬菜为主，其它类蔬菜为辅。重点抽查瓜类、叶菜类、豆类产品。

#### 二、抽样场所和时间安排

抽样需覆盖深圳市各区所有食用农产品经营场所（批发市场、农贸市场、超市及零售门店）共 1563 家。本年度监测按月开展，1 月开始至 12 月结束，共开展 12 次。

#### 三、抽样注意事项

若某种输入渠道的合格率明显低于总体平均值，需立即增加抽样次数和抽样种类和数量；若某种类蔬菜合格率明显低于总体均值，需要立即在全区各输出渠道增加抽样次数和抽样数量。

### 5.5 问题五的建立与求解

#### 致深圳市政府的一封建议信

尊敬的深圳市政府：

您好，我是国内某高校在校学生。蔬菜安全是城市安全工作中的重中之重。为确保人民的身心健康不受损害，我们根据深圳市相关食品监测数据及条例建立了以上关于深圳蔬菜安全风险评估与抽样检验方案的模型，通过讨论和分析模型建立过程中所出现或反映出来的问题，再结合深圳市的一些具体情况，提出了以

下几点建议：

#### 一、关于深圳新鲜蔬菜食品安全风险问题

我们在评估检验深圳新鲜蔬菜在忽略某些输入渠道的抽样时发现，如果在抽样的过程中忽略一些权重占的较大的输入渠道，比如：批发市场、农贸市场等会导致食品安全风险的系数增加。但也不能忽略小的输入渠道，比如电商、流动摊贩等，这些输入渠道造成的风险也不容小觑。因此需要我们规定调查人员在抽查不同输入渠道的样本是要做到滴水不漏。同时抽查样本的时候应按照相关比例合理抽取。若某输入渠道在抽检中合格率较其余渠道低，应增加其抽检次数和抽检种类数量，以履行切实的监督作用。

#### 二、对于深圳市新鲜蔬菜抽样检验方案的谏言

建立起相对应的数据库，将深圳市蔬菜食品安全的相关数据和综合调查文献汇集在一起。可以包括产地、运输方式、产地信息等，同时还有历次检测合格率和不合格的超标要素记录。数据库将根据长期以来的数据进行计算并不断更新拟合函数，从而我们可以根据具有自我更新性的拟合函数进行更加科学的管理。

## 六、模型的评价与推广

### 6.1 模型的优点

1) 对蔬菜食品安全评估下的各变量指标进行了综合详细分析，选用 AHP 建立起定性定量的综合评估系统，可以更精确地对深圳市蔬菜安全风险进行评价。

2) 建立起基于多层次划分的抽取模型和基于风险矩阵的监测模型，让深圳市蔬菜抽检方案设计得更加科学合理，有效地降低了成本和提高了效率。

3) 所建立的模型与实际紧紧联系，由一些简单的模型就可以达到很好的效果，具有很好的通用性和推广性。

### 6.2 模型的缺点

1) 收集到的数据量少且过于笼统，不能更好地把握数据趋势，得到更精准地分析。

2) 对一些指标的探究过于简单理想化，缺乏科学性。

3) 采用 AHP 和风险矩阵模型，其中的权重设置需要丰厚的经验和阅读大量文献，过于主观，不符合定量计算的原则。

### 6.3 模型的推广

本题程序中所使用的数学模型是正确、合理的。计算数值真实可靠，结论可信。并且计算方式简捷，模型直观易懂。并且对于蔬菜安全的各项影响因子情况都有考虑在内，并且还参考大量文献和深圳市质量抽检报告，对于各个定义有充沛的把握，模型可用性强，值得推广。但是在一些细节成本与政策上需要完善，可完善后再行推广。

## 七、参考文献

- [1] 赵锡海. 蔬菜质量安全风险评价及监督研究[D]. 北京：中国农业科学院，2008.
- [2] 孙元媛. 基于多维灰聚类的食品安全风险评估模型建立及应用研究[D]. 山西：山西大学，2016.
- [3] 刘宇姗. 食品安全风险评估与预警方法研究[D]. 天津：天津科技大学，2016.
- [4] 刘清珺，陈婷，张经华，王覃. 基于风险矩阵的食品安全风险监测模型. 食品科学，2010，5：86-90.