

# 深圳市蔬菜安全风险评估与抽样检验方案设计

## 摘 要

近年来,食品安全问题引起社会的广泛关注。本文通过建立合理的数学模型,创新性地引入可追溯性这一指标,评估了深圳市新鲜蔬菜食品安全风险,进而设计出满足不同层面监测需要的抽样检验方案,降低食品安全风险。

针对问题一,本文参考其他地区的蔬菜输入模式,同时结合深圳市1-3月的蔬菜抽检计划,作出深圳市蔬菜输入渠道的关系图,得到各输入渠道的比例。通过统计各季节抽检的各种类蔬菜的抽检总次数,得到深圳市各季节蔬菜消费种类。

针对问题二,在评估各输入渠道的安全风险时,创新性地引入可追溯性这一指标,采用层次分析法建立成对比较矩阵,得到各输入渠道的风险评分,再综合考虑每种渠道的输入比例,可知忽略某些输入渠道的抽样导致的安全风险依次为:农贸市场>商超>流动摊贩>配送中心>网购。

针对问题三,本文首先建立了危害物超标风险评估模型,主要考虑农药残留超标的危害性,并建立了危害物风险系数求解公式,发现深圳市蔬菜的危害物风险系数为3.06,属于高危险性,需尽快进行有效的管理监测。接着综合考虑产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性四个安全影响因素的风险影响程度和风险发生概率,建立综合风险评估模型,分别求四种影响因素的风险重要性等级,结果为:农药残留>产地环境>可追溯性>运输储藏。

针对问题四,在蔬菜的不同种类和蔬菜输入的不同渠道两个层面建立新鲜蔬菜抽样检验方案。对于蔬菜的不同种类层面,通过求解不同种类蔬菜不同批次检测结果的均值、标准差和检出率并进行了参数估计,进而判断应该增加还是减少检验人员。接着考虑蔬菜在不同季节的检出率,判断在哪些季节应该增减检验人员。对于输入的不同渠道,同样求检出均值、标准差和检出率并进行了参数估计,进而进行判断。

最后,综合以上分析,提出了对深圳市政府的几点具体建议。

**关键词:** 层次分析法; 可追溯性; 蔬菜安全风险; 风险矩阵; 危害物风险系数

## 目 录

一. 问题重述 .....	1
1.1 问题背景 .....	1
1.2 问题重述 .....	1
二. 问题分析 .....	2
三. 模型假设 .....	3
四. 符号说明 .....	4
五. 模型的建立和求解 .....	5
5.1 问题一的分析 and 建模 .....	5
5.1.1 模型假设 .....	5
5.1.2 模型建立 .....	5
5.1.2.1 流通渠道模型 .....	5
5.1.2.2 蔬菜种类模型 .....	8
5.2 问题二的分析和建模 .....	9
5.2.1 模型假设 .....	9
5.2.2 层次分析模型 .....	10
5.2.2.1 建立准则层的成对比较矩阵 $A$ .....	11
5.2.2.2 建立方案层的成对比较矩阵 $B$ .....	12
5.2.3 模型的灵敏度分析 .....	16
5.3 问题三的分析 and 建模 .....	17
5.3.1 危害物风险系数模型 .....	17

5.3.1.1 模型假设.....	17
5.3.1.2 模型建立.....	17
5.3.1.3 模型的灵敏度分析.....	19
5.3.2 综合风险模型.....	20
5.3.2.1 模型假设.....	20
5.3.2.2 模型建立.....	20
5.3.2.3 模型的灵敏度分析.....	22
5.4 问题四的分析和建模.....	22
5.4.1 模型假设.....	22
5.4.2 模型建立.....	22
5.4.2.1 蔬菜种类层面模型.....	23
5.4.4.2 输入渠道层面模型.....	27
六. 结论.....	29
6.1 模型的结果.....	29
6.2 模型的优缺点.....	29
6.2.1 模型的优点.....	29
6.2.2 模型的缺点.....	30
6.3 模型的推广和改进.....	30
参考文献.....	31
关于深圳市蔬菜食品安全监管的几点建议——致深圳市政府的一封信.....	32

# 一. 问题重述

## 1.1 问题背景

食品问题是关系民生安全的重要问题，食品安全若出现重大问题不仅会危害人民的生命安全，同时也危及到人民对于政府监督管理部门的信任，不利于社会和谐稳定发展。因此发现现有食品监管体系的问题并设计和完善这一体系显得尤为重要。深圳市是我国一线城市，人口流动大，实际人口已突破 2000 万，新鲜蔬菜基本靠从外地运输来。面对这么庞大的人口的吃饭问题，监管工作产生许多新挑战，例如，随着农业日新月异的发展，同一蔬菜产地差别，生产管理模式差别都会造成蔬菜质量上有很大差异。

安全监管问题之所以解决起来较困难是因为蔬菜从生产环节到运输再到仓储和售卖存在许多物流环节，同时深圳市基本依赖从外地批发市场运输至本地批发市场，环节更多，时间更长，一旦食品安全出现了问题难以追溯源头。因此需要综合考虑各方面因素评估蔬菜食品安全风险和加强监管。

## 1.2 问题重述

为深入研究造成蔬菜安全风险的原因，并提出更优的抽检方案与监管策略，本文通过收集数据，进行分析并建立数学模型研究了如下 4 个问题。

1) 结合历史数据,分析深圳市各季节新鲜蔬菜种类并分析蔬菜的流通渠道,求出不同渠道输入比例。

2) 综合考虑影响蔬菜安全的各因素,运用数学模型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) 结合数理统计知识,在蔬菜种类和渠道两个层面上设计一套深圳市新鲜蔬菜抽样检验方案,提高食品安全防控的效率与质量。

最后,基于本文研究结果给深圳市政府提交一封建议信。

## 二．问题分析

针对问题一，可以由深圳市1-3月的蔬菜抽检计划得到农批市场，农贸市场，商超，配送企业4种输入渠道之间的流通关系及输入比例，再经过调查分析其他省市的蔬菜输入渠道的关系，并补充深圳市存在的其他输入渠道，最终得到深圳市蔬菜输入渠道的关系及占比。根据深圳市食品药品监督管理局网站公布的食用农产品质量安全例行监测报告，可以统计出各月抽检的各种类蔬菜的抽检总次数，抽检次数可以反映此种类的销售量情况，进而统计出各季度的蔬菜消费种类。

针对问题二，根据附件给出的不合格蔬菜及其制品中的不合格项目分类，分析出影响蔬菜安全的因素有：产地环境，农药残留，运输储藏。由于考虑到可追溯性也是影响蔬菜安全的因素之一，因此运用层次分析法，将上述四种因素作为准则层，衡量各蔬菜输入渠道的安全风险（风险评分）。而忽略某一输入渠道导致的食品安全风险由两方面因素决定：第一，该蔬菜输入渠道的风险评分；第二，该蔬菜输入渠道所占的输入比例。其中输入比例可以由问题一的模型确定，因此可以将各渠道的风险评分与输入比例相乘，得到忽略某些渠道导致的安全风险。

针对问题三，首先考虑不合格蔬菜及其制品中农药残留超标导致的危害性，根据超标率与危害物风险系数等指标，建立危害物风险评估模型，确定危害物风险系数并判定风险等级。接着综合考虑产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性四个安全影响因素的风险影响程度和风险发生概率，建立综合风险评估模型，分别求四种影响因素的风险重要性等级。

针对问题四，可以在蔬菜的不同种类和不同输入渠道两个层面建立新鲜蔬菜抽样检验方案。对于蔬菜的不同种类层面，选取不同种类蔬菜不同批次的检出均值、标准差和检出率等指标，并进行参数估计，判断哪些种类蔬菜应重点检查。接着考虑蔬菜在不同季节的检出率，判断在哪些季节应该增加检验人员，提前做出人员调配。对于不同的输入渠道，同样选取检出均值、标准差和检出率等指标并进行了参数估计，进而合理安排监测工作。

### 三. 模型假设

1. 假设仅存在农批市场，农贸市场，流动摊贩，商超，配送企业，网购 6 种蔬菜输入渠道，其他渠道忽略不计。
2. 假设配送企业的蔬菜输入来源有两部分，农户的生产基地和农批市场，各占 50%。
3. 假设各抽样点的蔬菜现有总量等于各抽样点的蔬菜输入量，且各抽样点的蔬菜输入量与各抽样点的抽样数量成正比。
4. 假设检测农药残留时检测国内外主要使用的，正常关注程度的危害物。
5. 假设蔬菜的质量的变化主要由原产地和季节影响。
6. 假设可追溯性带来的风险主要由流动摊贩导致，不可追溯性的风险与流动摊贩的蔬菜售卖量成正比。
7. 检出蔬菜不合格的情况每次仅由产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性 4 个因素之一导致，即四个因素导致的的风险发生的概率之和为 1。

## 四. 符号说明

字母	含义
$C$	抽样点蔬菜输入量
$k$	比例系数
$M$	抽样点的蔬菜抽样数量
$O$	从某渠道输出的蔬菜
$I$	输入某渠道的蔬菜
$A$	准则层矩阵
$B$	方案层矩阵
$w$	权向量
$d$	忽略某渠道的安全风险
$p$	某蔬菜输入渠道的风险评分
$r$	某蔬菜输入渠道所占的输入比例
$R$	危害物风险系数
$E$	危害物的超标率
$F$	危害物的施检频率
$S$	危害物的敏感因子
$a、b$	权重系数
$D$	风险影响程度
$P$	风险发生概率
$K$	风险重要性等级
$\mu$	农药检出次数均值
$\sigma$	农药检出次数标准差
$N$	农药检出率
$Q$	农药检出次数

## 五. 模型的建立和求解

### 5.1 问题一的分析 and 建模

#### 5.1.1 模型假设

- 1) 假设各抽样点的蔬菜现有总量等于各抽样点的蔬菜输入量，且各抽样点的蔬菜输入量与各抽样点的抽样数量成正比；
- 2) 假设配送企业的蔬菜输入来源有两部分，农户的生产基地和农批市场，各占 50%；
- 3) 假设配送企业蔬菜输入量的一半都输出给了商超。

#### 5.1.2 模型建立

##### 5.1.2.1 流通渠道模型

根据附件 2 可知深圳市现有的蔬菜流通模式主要有农批市场，农贸市场，商超与配送企业。同时，流动商贩和网购也存在于蔬菜输入渠道体系。结合参考文献[1,2]可知，正常情况下从农户的生产基地运来的蔬菜分为三部分，分别运送给农批市场，配送企业和网店商家，即：

$$O_{\text{生产基地}} = I_{\text{农批市场}} + I_{\text{生产基地-配送企业}} + I_{\text{网购}}$$

其中， $O_{\text{生产基地}}$  表示生产基地输出量

$I_{\text{农批市场}}$  表示农批市场输入量

$I_{\text{生产基地-配送企业}}$  表示从生产基地到配送企业的输入量

$I_{\text{网购}}$  表示网购输入量

图 5.1 表示了深圳市蔬菜的各个输入渠道间的关系。



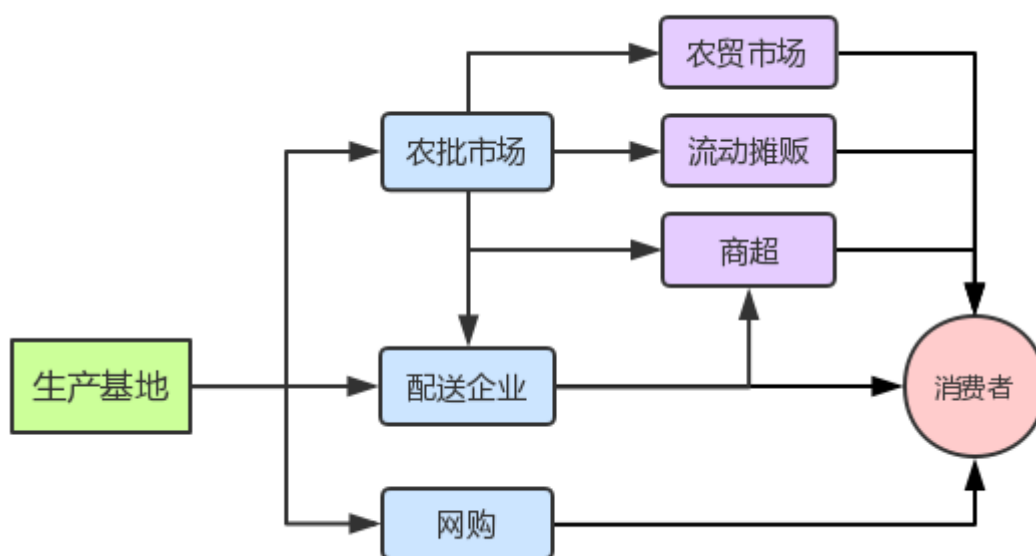


图 5.1 深圳市蔬菜输入渠道示意图

配送企业的蔬菜来源分两部分，一部分是生产基地，一部分是农批市场，根据假设 2)和假设 3)，这两部分各占配送企业输入量的一半；而配送企业在经简单的加工包装等后将部分蔬菜运送至商超，自己留下剩下的部分直接销售，假设送至商超的蔬菜占配送企业输入量的一半，配送企业直接销售的蔬菜占其输入量剩下一半，可以简化理解为配送企业来源于农批市场的那一半输入量直接送到了商超，在此配送企业仅起中转作用。因此，从农批市场输入至配送企业的输入量等于从生产基地输入至配送企业的输入量，同时还等于从配送企业输入至商超的输入量，公式表示为：

$$I_{\text{农批市场-配送企业}} = I_{\text{生产基地-配送企业}} = I_{\text{配送企业-商超}}$$

其中， $I_{\text{农批市场-配送企业}}$  表示从农批市场渠道输入至配送企业的蔬菜量，

$I_{\text{配送企业-商超}}$  表示从配送企业渠道输入至商超的蔬菜量。

而商超的输入量有两种渠道来源，分别是配送企业与农批市场：

$$I_{\text{商超}} = I_{\text{配送企业-商超}} + I_{\text{农批市场-商超}}$$

其中， $I_{\text{商超}}$  表示商超的输入量， $I_{\text{农批市场-商超}}$  表示从农批市场渠道输入至商超的蔬菜量，但由于配送企业在此仅起中转作用，因此商超的实际进货渠道仍然仅为农批市场，同时，农贸市场与流动商贩的蔬菜来源全部是农批市场，因此，农批市场的输入量通过三种渠道进行输出：

$$I_{\text{农批市场}} = I_{\text{农贸市场}} + I_{\text{商超}} + I_{\text{流动摊贩}}$$

为分析深圳市新鲜蔬菜的各输入渠道的比例，将附件 2 中 1-3 月的深圳 10 个区各抽样点的蔬菜样本数量进行了统计，引入了抽样点蔬菜现有总量这一指标，根据假设 1)，可知抽样点蔬菜输入量与该抽样点的蔬菜抽样数量存在正比例关系：

$$M = kC$$

其中， $C$  表示某抽样点蔬菜现有总量，

$M$  表示该抽样点的蔬菜抽样数量，

$k$  为比例系数。

表 5.1 为 1-3 月深圳各区新鲜蔬菜抽样数量统计。

表 5.1 1-3 月深圳各区新鲜蔬菜抽样数量统计表

		宝安 区	罗湖 区	大鹏 区	福田 区	盐田 区	光明 新区	龙华 新区	南山 区	坪山 区	龙岗 区	总 计
一 月	农批市场	115	12	0	70	0	0	20	9	13	81	320
	农贸市场	18	13	6	12	11	15	32	6	5	54	172
	商超	7	34	6	12	13	11	15	7	10	15	130
	配送企业	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	40
二 月	农批市场	122	12	0	70	0	0	20	6	13	91	334
	农贸市场	19	9	9	12	12	14	35	11	5	51	177
	商超	7	23	8	12	14	11	12	3	10	18	118
	配送企业	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	40
三 月	农批市场	115	12	0	75	0	0	20	6	13	91	332
	农贸市场	15	9	8	12	14	12	35	6	5	51	167
	商超	7	33	18	12	9	11	12	15	10	18	145

将 1-3 月主要蔬菜各输入渠道的抽样数量进行平均可以得到表 5.2：

表 5.2 1-3 月深圳市各蔬菜输入渠道平均抽样数量

农批市场	农贸市场	商超	配送企业
328.7	172	131	38.7

根据假设 1)，抽样点蔬菜输入量与该抽样点的蔬菜抽样数量的正比例关系，可以计算出各输入渠道的输入比例。根据参考文献[3]，网购蔬菜的输入量约占深圳市蔬菜输入量的 3%。由于配送企业的输入量一半来源于生产基地，因此生产基地输入至配送企业的比例为：

$$\frac{I_{\text{生产基地-配送企业}}}{O_{\text{生产基地}}} = (1 - 3\%) \times \frac{38.7/2}{(38.7/2) + 328.7} \times 100\% = 5.39\%$$

生产基地输入至农批市场的比例为：

$$\frac{I_{\text{农批市场}}}{O_{\text{生产基地}}} = (1 - 3\%) \times \frac{328.7}{(38.7/2) + 328.7} \times 100\% = 91.61\%$$

农贸市场，商超和流动摊贩的实际来源均是农批市场，因此从农批市场输入至农贸市场的比例为：

$$\frac{I_{\text{农贸市场}}}{I_{\text{农批市场}}} = \frac{172.0}{328.7} \times 100\% = 52.33\%$$

从农批市场输入至商超的比例为：

$$\frac{I_{\text{商超}}}{I_{\text{农批市场}}} = \frac{131.0}{328.7} \times 100\% = 39.85\%$$

剩下为农批市场输入至流动摊贩的比例：

$$\frac{I_{\text{流动摊贩}}}{I_{\text{农批市场}}} = 1 - 39.85\% - 52.33\% = 7.82\%$$

图 5.2 为深圳市各渠道蔬菜输入比例：

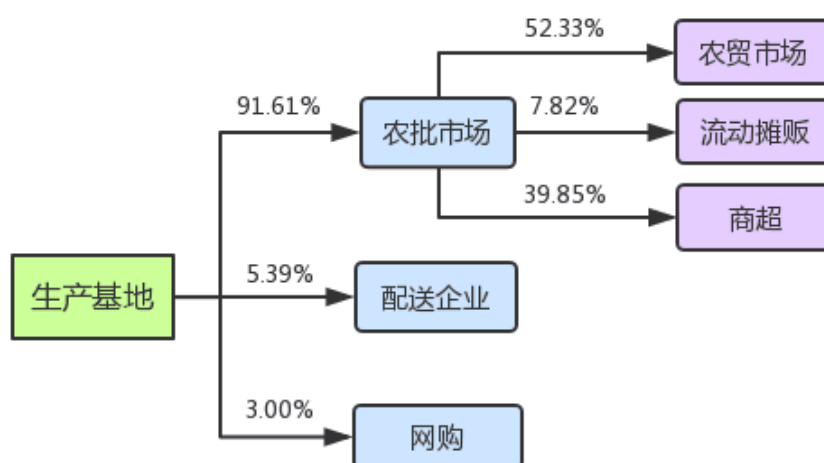


图 5.2 深圳市各渠道蔬菜输入比例

### 5.1.2.2 蔬菜种类模型

问题一还要求统计深圳市每个季节新鲜蔬菜消费种类，由于蔬菜抽样重点是当月主销蔬菜与应季蔬菜，可以认为抽样数为相对销量，与实际销量成正比例。

因此根据深圳市市场和质量监督管理委员会给出的每周深圳市农产品质量安全猪肉和蔬菜例行监测结果可以基本了解深圳市当季主销蔬菜与其大概销量，调取每月第一周的检测结果得到了每个季度的销量前 10 名的蔬菜种类汇总，如表 5.3—表 5.6 所示。

表 5.3 深圳市冬季销量前 10 名的蔬菜种类

品种	菜心	生菜	青瓜	小白菜	大白菜	上海青	西红柿	油麦菜	豇豆	麦菜
相对销量	21	18	18	14	14	13	13	11	11	9

表 5.4 深圳市春季销量前 10 名的蔬菜种类

品种	菜心	上海青	青瓜	西红柿	苦瓜	生菜	油麦菜	芹菜	莲藕	芥蓝
相对销量	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2

表 5.5 深圳市夏季销量前 10 名的蔬菜种类

品种	大白菜	豇豆	生菜	青瓜	奶白菜	苦瓜	菜心	芥蓝	番茄	小白菜
相对销量	10	12	13	13	10	11	16	9	9	8

表 5.6 深圳市秋季销量前 10 名的蔬菜种类

品种	菜心	上海青	生菜	青瓜	苦瓜	奶白菜	春菜	豇豆	麦菜	西红柿
相对销量	21	17	16	19	10	9	9	9	9	8

## 5.2 问题二的分析和建模

### 5.2.1 模型假设

由于农批市场的蔬菜不直接输入到消费者，因此将农贸市场、网购、流动摊贩、配送中心和商超为蔬菜的 5 个直接输入消费者的主要输入渠道，其他渠道可忽略不计。

### 5.2.2 层次分析模型

采用层次分析法（AHP），建立判断蔬菜输入渠道安全性的层次分析模型。目标层为蔬菜安全性，是基于本模型所要评估的食品安全风险所建立。准则层由产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性四个因素构成，每个因素都将影响目标层的蔬菜安全性。产地环境具体是指蔬菜产地是否存在重金属含量超标，微生物含量超标等由产地环境引起的安全问题。农药残留指是否添加了国家禁止使用的农药以及农药含量超标等引起的安全问题。运输储藏指在蔬菜的物流环节及包装出现的蔬菜腐坏变质等引起的安全问题。根据参考文献[4]，可追溯性是指顾客能否查询到蔬菜的经销商、生产商，一旦出现问题是否可以确定责任范围。这一指标在传统的安全监督管理体系中并未体现，但却在很大程度上影响着食品安全风险及消费者的购买意愿，本模型创新性地引入可追溯性这一指标，旨在帮助监管人员在监测出安全问题后更及时地追查责任人，以防不合格产品继续流入市场造成更大的安全隐患，同时消费者也可以更多关注如产地，厂址等产品信息，再做出购买决策。可追溯性越高，食品安全监督管理越便利，一旦发现问题能及时处理，杜绝二次风险。同时可追溯性也影响顾客的购买意愿，这也能解释为什么有的顾客宁可去超市购买相对昂贵的蔬菜也不买流动摊贩的廉价菜，流动摊贩不仅流动性大，经营没有执照许可证等，无法人证据，出了问题较难追踪责任者，而且它所售蔬菜没有正规包装，无从追溯产地。

方案层为由模型一得到的直接流入消费者的 5 个输入渠道：农贸市场，网购，流动摊贩，配送中心和商超，基于本模型需要考察评估各输入渠道的安全性而建立。

判断蔬菜输入渠道安全性的层次结构如图 5.3 所示。

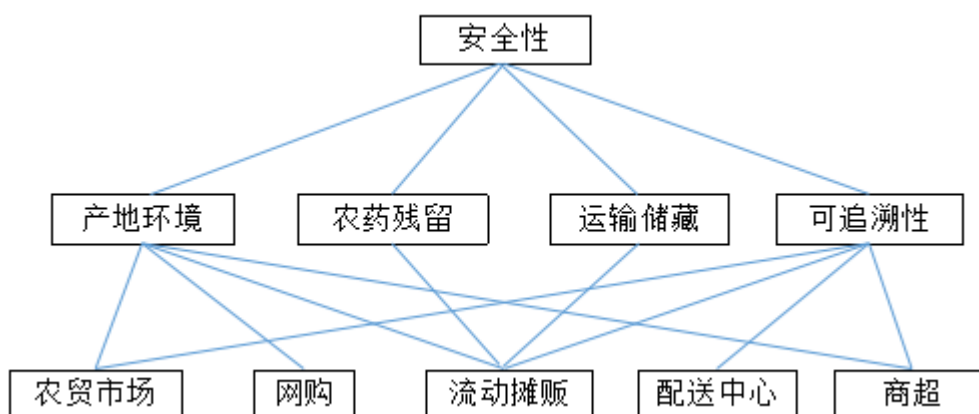


图 5.3 判断蔬菜输入渠道安全性的层次结构

要比较准则层的四个安全性影响因素对目标层的影响程度，确定四个因素对蔬菜安全性影响所占比重，就需要建立准则层的成对比较矩阵  $A$ ；要比较方案层五种蔬菜输入渠道分别在产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性四个方面的安全性优劣，需要建立方案层的成对比较矩阵  $B_1, B_2, B_3, B_4$ 。上述比较是每一层两两因素进行比较，比较尺度取 1~9，如表 5.7 所示。

表 5.7 不同尺度的  $a_{ij}$  的含义

尺度 $a_{ij}$	含义
1	两个元素相比，影响相同
3	两个元素相比，一个元素比另一个元素影响稍强
5	两个元素相比，一个元素比另一个元素影响强
7	两个元素相比，一个元素比另一个元素明显的强
9	两个元素相比，一个元素比另一个元素影响绝对的强
2,4,6,8	两个元素的影响之比在上述两个相邻等级之间

### 5.2.2.1 建立准则层的成对比较矩阵 $A$

该矩阵建立的目的是将准则层的产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性四个因素进行两两重要性比较，得出四个因素对于蔬菜安全性的影响大小。

由附件 3 得到，重金属污染物与农药残留导致蔬菜出现不合格的频率最高，因此可知产地环境和农药残留对安全性的影响最大。就运输储藏因素而言，附件 3 抽检的样品中仅出现两次由于运输储藏因素导致的食品检验不合格，原因是在保存过程中生姜出现亚硝酸盐含量超标及长时间不当储藏导致的霉菌超标，因此运输储藏因素影响最小。同时运输储藏不当大多导致蔬菜脱水，品相不好，营养成分降低，较少引起重大食品安全事故。可追溯性对安全的影响也小于产地环境和农药残留，虽然可追溯性在传统的评价体系中还未体现，但考虑到它能给监管带来更大便利，杜绝不合格产品继续投入市场的深远影响，可追溯性对蔬菜安全的影响仅次于产地环境与农药残留。综上，可以确定出成对比较矩阵  $A$ 。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 6 & 2 \\ 1 & 1 & 6 & 2 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

利用 Matlab 求矩阵  $A$  的最大特征根对应的特征向量，有权向量  $w_1 = [0.3789, 0.3789, 0.0703]$ ，矩阵  $A$  的一致性指标为  $CI=0.0069$ ，

$RI=0.9000$ 。  $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0076 < 0.1$ ，表明  $A$  通过了一致性检验。

### 5.2.2.2 建立方案层的成对比较矩阵 $B$

$B_I$ ：考虑 5 个渠道在产地环境方面的安全性优劣：

网购产品的产品信息较全面，信息公开透明，可以在购买前先看到买家评价，有参考价值，一旦出现重金属含量超标等问题可以通过各种渠道进行反映举报，容易监管，同时大多网店的产品来源是自营生产基地，综合考虑得出，网购在产地环境方面的安全性最高。

农批市场的蔬菜产品来源较复杂，深圳市的蔬菜输入多来自外地农批市场，导致一些不法商贩将重金属含量超标地区的蔬菜输入农批市场进行销售，供应商组成也较复杂，因此，在产地环境方面，考虑到产地的多样复杂性等诸多因素，农批市场在产地环境方面的安全性最低。而商超，农贸市场和流动摊贩的蔬菜输入渠道均是直接或间接来自农批市场。

配送中心的蔬菜来源有自营的生产基地和农批市场两部分，因此安全性介于网购和农批市场之间。由此确定成对比较矩阵  $B_I$ ：

$$B_I = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & 1 \\ 5 & 1 & 5 & 3 & 5 \\ 1 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & 1 \\ 3 & \frac{1}{3} & 3 & 1 & 3 \\ 1 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

利用 Matlab 求矩阵  $B_I$  的最大特征根对应的特征向量，得到权向量



$w_{21} = [0.0876, 0.5007, 0.0876, 0.2364, 0.0876]$ , 矩阵  $B_1$  的一致性指标为  $CI=0.0105$ ,

$RI=1.1200$ 。  $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0094 < 0.1$ , 表明  $B_1$  通过了一致性检验。

**$B_2$ :** 考虑 5 个渠道在农药残留方面的安全性优劣:

统计深圳市 2016 年 7-11 月 5 个月间的各渠道的蔬菜农药残留检验情况, 可以得到各来源渠道的抽样蔬菜中, 来自农批市场的 18 个抽检样品不合格, 来自农贸市场的 23 个抽检样品不合格, 来自商超的 10 个抽检样品不合格, 来自生产基地的抽检样品均合格。又因为流动摊贩从农批市场进货, 可认为流动摊贩与农批市场在农药残留方面的安全性情况相同, 网购蔬菜多来源于自营绿色生产基地, 且可追溯性好易监管, 存在一旦出现农残超标问题被举报难以获得好的销量等客观原因, 评价其安全性最好。配送中心从绿色生产基地和农批市场进货, 安全性也较高。

因此综合以上考虑, 农药残留方面的安全程度依次为网购、商超、配送中心、农贸市场和流动摊贩。由此得到成对比较矩阵  $B_2$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 5 & 1 & 3 & 2 & 2 \\ 1 & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 3 & \frac{1}{2} & 2 & 1 & 1 \\ 3 & \frac{1}{2} & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

利用 Matlab 求矩阵  $B_2$  的最大特征根对应的特征向量, 得到权向量  $w_{22} = [0.0805, 0.3889, 0.1049, 0.2129, 0.2129]$ , 矩阵  $B_2$  的一致性指标为  $CI=0.0083$ ,  $RI=1.1200$ 。  $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0074 < 0.1$ , 表明  $B_2$  通过了一致性检验。

**$B_3$ :** 考虑 5 个渠道在运输储藏方面的安全性优劣:

网购和配送中心由于运输环节最少, 蔬菜多直接从生产基地运输到消费者, 且大多是冷链配送, 蔬菜最新鲜, 同时点对点的配送方式使得运输距离与时间最短, 因此评价二者的安全性均最好。

商超由于一半的蔬菜来源是配送中心, 冷链配送, 且许多商超存在自己的点对点式供应商, 同时在蔬菜的储存上也采用冰柜或喷雾保鲜, 但考虑到商超的部



分蔬菜来源于农批市场，因此在运输储藏方面的安全性稍次于前两者。

而农贸市场与流动摊贩则直接来源于农批市场，蔬菜多露天保存，且运输时间及距离长，因此蔬菜较易腐烂，其安全性受季节影响变化明显，流动摊贩由于蔬菜难以当天及时售罄，且蔬菜来源可能很多是农批市场的次品，因此最不新鲜。

综上分析各渠道运输储藏方面的安全性，网购和配送中心最好，商超较好，农贸市场一般，流动摊贩最差。

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 3 & \frac{1}{3} & 1 \\ 3 & 1 & 7 & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 & 7 & 1 & 2 \\ 1 & \frac{1}{2} & 3 & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

利用 Matlab 求矩阵  $B_3$  的最大特征根对应的特征向量，得到权向量  $w_{23} = [0.1285, 0.3367, 0.0471, 0.3367, 0.1509]$ ，矩阵  $B_3$  的一致性指标为  $CI=0.0050$ ， $RI=1.1200$ 。 $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0045 < 0.1$ ，表明  $B_3$  通过了一致性检验。

**B4:** 考虑 5 个渠道在可追溯性方面的安全性优劣：

网购和配送中心由于注明了厂址及许可证等，产品信息较全面，信息公开透明，一旦出现问题可以通过各种渠道进行反映举报，监管起来更容易，因此可追溯性最好。

商超蔬菜来源稍复杂，且供应商繁多，但由于每批蔬菜均有记录作证，因此可追溯性次之。

农贸市场蔬菜多来源于外地农批市场，经多层物流环节，中间商较多，可追溯性一般。

流动摊贩没有正规的营业执照，流动性也很强，且多出现于城乡结合部等人员流动大环境较复杂的地带，一旦出现问题很难溯源找到责任人，同时每批进购的蔬菜多来自于不同渠道，没有确定的进货地点，因此可追溯性最差。

$$B_4 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 5 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 3 & 1 & 7 & 2 & 2 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 2 & \frac{1}{2} & 3 & 1 & 1 \\ 2 & \frac{1}{2} & 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

利用 Matlab 求矩阵  $B_4$  的最大特征根对应的特征向量，得到权向量  $w_{24} = [0.1594, 0.3353, 0.0618, 0.2217, 0.2217]$ ，矩阵  $B_4$  的一致性指标为  $CI=0.0074$ ， $RI=1.1200$ 。 $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0066 < 0.1$ ，表明  $B_4$  通过了一致性检验。

计算组合权向量，有

$$w_1 = [0.1001, 0.4184, 0.0869, 0.1626]$$

在应用层次分析法作重大决策时，除了对每个成对比较阵进行一致性检验外，还需进行组合一致性检验，以确定组合权向量是否能作为最终的决策依据。

在本模型中，方案层  $B_1$ ， $B_2$ ， $B_3$ ， $B_4$  矩阵对应的一致性指标为  $CI_1=0.0105$ ， $CI_2=0.0083$ ， $CI_3=0.0045$ ， $CI_4=0.0074$ 。 $RI_1=RI_2=RI_3=RI_4=1.12$ 。准则层的权向量  $w_1 = [0.3789, 0.3789, 0.0703, 0.1720]$ 。

则  $CI = [CI_1, CI_2, CI_3, CI_4] \times w_1$ ， $RI = [RI_1, RI_2, RI_3, RI_4] \times w_1$ 。有  $CI=0.0087$ ， $RI=1.12$ 。 $CR^{(3)} = \frac{CI}{RI} = 0.0078 < 0.1$ 。则方案层通过组合一致性检验。

$$CR^* = CR^{(2)} + CR^{(3)} = 0.0076 + 0.0078 = 0.0154。$$

表明整个层次的比较判断通过了组合一致性检验。

对组合权向量取倒数，得到各蔬菜输入渠道的风险评分（分值越大，风险越高），见表 5.8。

表 5.8 各蔬菜输入渠道的风险评分

渠道	农贸市场	网购	流动摊贩	商超	配送中心
风险评分	10.0	2.39	11.51	4.31	6.15

忽略某一输入渠道导致的食物安全风险由两方面因素决定：第一，该蔬菜输入渠道的风险评分；第二，该蔬菜输入渠道所占的输入比例。各蔬菜输入渠道所占的输入比例由问题一的模型即可确定，因此，忽略某一输入渠道导致的食物安

全风险可表示为：

$$d = p \cdot r$$

其中： $d$  为忽略某渠道的安全风险，  
 $p$  为某蔬菜输入渠道的风险评分，  
 $r$  为某蔬菜输入渠道所占的输入比例。

表 5.9 忽略某蔬菜输入渠道的安全风险

渠道	农贸市场	网购	流动摊贩	商超	配送中心
安全风险	4.79	0.07	0.82	1.57	0.33

因此忽略某些蔬菜输入渠道的安全风险如表 5.9 所示，安全风险值越高说明忽略该渠道产生的安全风险越大。由表 5.9 可知忽略某一渠道的抽样导致的安全风险，如忽略农贸市场的抽样产生的安全风险约为忽略商超的 3 倍；忽略农贸市场这一渠道所产生的安全风险最高，商超其次；忽略网购所产生的安全风险最小。

因此，忽略某些蔬菜输入渠道的抽样产生的安全风险：

农贸市场 > 商超 > 流动摊贩 > 配送中心 > 网购

### 5.2.3 模型的灵敏度分析

改变准则层的成对比较矩阵  $A$  的取值，取

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & 1 & 4 & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

有权向量  $w_1 = [0.3636, 0.3636, 0.0909, 0.1818]$ 。此矩阵为一致阵，不需要进行一致性检验。计算组合权向量，有

$$w = [0.1018, 0.4150, 0.0855, 0.2343, 0.1633]$$

将上面的结果取倒数，得到各蔬菜输入渠道的风险评分，见表 5.10。

表 5.10 各蔬菜输入渠道的风险评分

渠道	农贸市场	网购	流动摊贩	商超	配送中心
风险评分	9.82	2.41	11.70	4.27	6.12

综合各渠道输入比例，得到忽略某蔬菜输入渠道的安全风险，如表 5.11 所示。

表 5.11 忽略某蔬菜输入渠道的安全风险

渠道	农贸市场	网购	流动摊贩	商超	配送中心
安全风险	4.71	0.07	0.84	1.56	0.33

得到忽略某蔬菜输入渠道的安全风险性，农贸市场 > 商超 > 流动摊贩 > 配送中心 > 网购，与之前相同。将表 5.11 风险评分与表 5.9 进行比较，得到相差的百分比如表 5.12 所示。

表 5.12 忽略某蔬菜输入渠道的安全风险对比

渠道	农贸市场	网购	流动摊贩	商超	配送中心
相差百分比	1.7%	0.0%	2.4%	0.1%	0.0%

由表 5.12 可知，改变参数前后，忽略某蔬菜输入渠道的安全风险对比相差的百分比很小，均在 3% 以下，模型结论不变。说明模型对于此参数的灵敏度低，模型较好。

## 5.3 问题三的分析和建模

### 5.3.1 危害物风险系数模型

#### 5.3.1.1 模型假设

- 1) 危害物的种类和对蔬菜的影响在长期和中期相同。
- 2) 施检时检测国内外主要使用的，正常关注程度的危害物。
- 3) 每种农药对人体的危害相当。

#### 5.3.1.2 模型建立

附件“不合格蔬菜及其制品”中的数据主要为深圳市蔬菜农药残留抽检结果，农药残留作为危害较大、出现频次高的一种最普遍常见的蔬菜安全风险，可用其超标严重程度作为深圳市新鲜蔬菜食品安全风险的度量，以点代面。

根据参考文献[5,6]，引入危害物风险系数  $R$  对深圳市的蔬菜安全风险进行评

估：

$$R = aE + \frac{b}{F} + S$$

其中， $E$  为该种危害物的超标率(此处为阳性检出率)， $F$  为危害物的施检频率， $S$  为危害物的敏感因子。 $a$  和  $b$  分别为相应的权重系数。 $E$ 、 $F$ 、 $S$  随考察的时间区段而动态变化，可根据具体情况采用长期风险系数(如 1 年、2 年)、中期风险系数(如半年、3 个月)和短期风险系数(如 1 个月、1 周)等。为了使风险系数  $R$  能准确和均衡地反映  $E$  和  $F$  的影响，权重因子  $a$  的取值在 100 左右，而  $b$  在 0.1 左右比较合适。

根据参考文献[7]，对敏感因子  $S$ ，初步可分为 3 种情况：对于新开检的、在国内外备受关注的危害物， $S = 2$ ；对于正常施检,该类食品中主要可能存在的危害物， $S = 1$ ；对于那些国内外已较少使用的农兽药、关注度日益下降的危害物， $S = 0.5$ 。由于深圳市蔬菜抽检为正常施检，被检的危害物均采用国家标准，即模型假设 2)，因此此处取  $S=1$ 。

对于  $F$ ，由于对每个抽检样品会检测所有要求检测的危害物，因此  $F=1$ 。

因此，危害物风险系数  $R$  可表示为：

$$R = 100E + \frac{0.1}{1} + 1 = 100E + 1.1$$

对深圳市 2016 年 7-11 月的检测数据进行统计，共检出 45 批次农药残留，并计算出每批次农药的危险系数，见表 5.13。

表 5.13 农药残留危险系数

序号	农药名称	超标率 $E$	危险系数 $R$	序号	农药名称	超标率 $P$	危险系数 $R$
1	克百威1.3	0.013	2.35	16	氧乐果0.23	0.045	5.65
2	甲胺磷0.14	0.013	2.35	17	毒死蜱2.23	0.013	2.35
3	乙酰甲胺磷 5.08	0.013	2.35	18	氧乐果0.074	0.013	2.35
4	氧乐果0.22	0.016	2.71	19	毒死蜱3.19	0.048	5.86
5	甲基异柳磷 0.52	0.016	2.71	20	毒死蜱4.85	0.032	4.33
6	毒死蜱3.15	0.014	2.45	21	氟虫腈1.12	0.011	2.18
7	甲拌磷0.12	0.014	2.45	22	啶虫脒2.44	0.011	2.18
8	啶虫脒2.12	0.015	2.57	23	多菌灵0.50	0.010	2.08
9	克百威0.13	0.028	3.88	24	啶虫脒2.49	0.029	4.04
10	氧乐果0.83	0.014	2.49	25	氟虫腈0.17	0.029	4.04
11	多菌灵0.090	0.014	2.49	26	氧乐果2.16	0.025	3.57
12	氧乐果0.10	0.026	3.70	27	氟虫腈0.19	0.025	3.57
13	克百威0.34	0.013	2.40	28	克百威0.21	0.012	2.33
14	阿维菌素0.12	0.013	2.40	29	毒死蜱1.59	0.012	2.33
15	克百威0.14	0.013	2.40	30	氟虫腈0.070	0.010	2.09

序号	农药名称	超标率P	危险系数R
32	毒死蜱 2.25	0.010	2.09
33	多菌灵 0.10	0.010	2.09
34	克百威	0.020	3.14
35	克百威	0.016	2.66
36	氧乐果 0.16	0.016	2.66
37	甲基异柳磷 0.051	0.010	2.08
38	克百威	0.020	3.06
39	毒死蜱 0.18	0.020	3.06
40	氧乐果 0.37	0.010	2.08
41	啉虫脒 2.69	0.020	3.06
42	氧乐果 0.17	0.016	2.71
43	氟虫脒 0.12	0.016	2.71
44	毒死蜱 1.29	0.063	7.35
45	氧乐果 0.50	0.063	7.35

计算平均值  $\bar{R}$ ，求出深圳市的蔬菜风险系数  $R_{\text{总}}$ 。

$$R_{\text{总}} = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{45} R_i}{45} = 3.06$$

根据参考文献[8]，危害物风险系数标准如下：

1)  $R < 1.5$  时，称为危害物低度风险。当危害物无超标或阳性检出( $E=0$ )，且每次必检( $F=1$ )时， $R=1.1$ ，此时的风险程度最低。

2)  $1.5 < R < 2.5$  时，称为危害物中度风险。作为两种特殊的情况，我们有必要作一下说明。当危害物无超标或阳性检出( $E=0$ )时，施检频率  $F$  将介于 0.067 到 0.2 之间；当危害物每次必检( $F=1$ )时，其超标率或阳性检出率  $E$  将介于 0.4% 到 1.4% 之间。

3)  $R > 2.5$  时，称为危害物高度风险。即使当危害物无超标或阳性检出( $E=0$ )，而施检频率  $F$  小于 0.067，仍可以认为危害物处于高度风险中。作为一种特殊的情况，当  $F=0$ ，即该危害物从未进行过监测，此时的  $R=\infty$ ，危害物的风险为无穷大。

通过以上判断可知， $R_{\text{总}}=3.06 > 2.5$ ，深圳市新鲜蔬菜农药残留为高度风险，农药残留超标严重，必须加强监管和监测农药残留问题，由于以农药残留为代表说明深圳市新鲜蔬菜食品安全风险，因此可知，深圳市新鲜蔬菜食品安全存在高度风险，有关部门应加强监管，并从源头进行治理。

### 5.3.1.3 模型的灵敏度分析

改变权重因子  $a$  和  $b$  的取值。重新求  $R_{\text{总}}$  的取值，如表 5.14 所示。

表 5.14 权重因子的灵敏度分析

$a$	$b$	$R_{\text{总}}$
90	0.1	2.87
110	0.1	3.26
100	0.08	3.04
100	0.12	3.08
90	0.08	2.85
110	0.12	3.24

由表 5.14 可知，改变  $a$  和  $b$  的大小后， $R_{\text{总}}$  仍然大于 2.5，说明深圳市新鲜蔬菜食品安全为高度风险，与之前结果相同。 $a$  与  $b$  相比， $R_{\text{总}}$  对  $a$  的变化较敏感，对  $b$  的变化表现迟缓。

### 5.3.2 综合风险模型

#### 5.3.2.1 模型假设

- 1) 可追溯性带来的风险主要由流动摊贩导致。
- 2) 可追溯性的风险与流动摊贩的蔬菜售卖量成正比。
- 3) 检出蔬菜不合格的情况每次仅由产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性 4 个因素之一导致，即四个因素导致的风险发生的概率之和为 1。

#### 5.3.2.2 模型建立

综合考虑产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性 4 个因素来评估深圳市的新鲜蔬菜食品安全风险，可建立综合风险模型。

综合风险模型将风险后果与产生一定水平的风险可能性相结合。根据[9,10]，引入风险影响程度  $D$ 、风险发生概率  $P$  与风险重要性等级  $K$ 。之间的关系可以用函数记为

$$K = F(D, P)$$

根据方差理论，可得出  $K$  与  $D$ 、 $P$  之间关系的函数表达式为：

$$K = \sqrt{mD^2 + nP^2}$$

上式中  $m$ 、 $n$  为概率系数，可以反映出风险影响程度  $D$  和风险发生概率  $P$  分别对风险重要性等级  $K$  的贡献。一般情况下可以各取 0.5。



即

$$K = \sqrt{\frac{D^2 + P^2}{2}}$$

对于本问题，首先考虑产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性 4 个因素的风险影响程度  $D$ ，分别设为  $D_1, D_2, D_3, D_4$ 。由模型二的准则层结果，有  $D_1=0.3789, D_2=0.3789, D_3=0.0703, D_4=0.1720$ 。

考虑产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性 4 个因素的风险发生概率  $P$  分别设为  $P_1, P_2, P_3, P_4$ 。查阅相关资料可知，汞、铅等污染物主要来自于产地环境；辛硫磷、克百威等农药残留来资源农药残留；霉菌、亚硝酸盐等物质产生于运输储藏过程中。由附件 3 的蔬菜及其制品抽检不合格情况，从中选取新鲜蔬菜的抽样不合格情况进行研究。

统计结果如表 5.15 所示：

表 5.15 新鲜蔬菜抽检不合格情况

检出项目	产生原因	数量	占比
农药残留等	农药残留	264	86.8%
重金属等	产地环境	38	12.5%
霉菌等	运输储藏	2	0.7%

对于可追溯性，由模型假设 1)和假设 2)可知，流动摊贩是产生不可追溯的主要原因，认为不可追溯性的风险概率与流动摊贩的售卖量有关，根据模型一，流动摊贩的蔬菜输入量占比为 7.2%，则  $P_4=7.2\%$ 。由表 15，运输储藏的风险发生概率较小，可认为在 5% 以下，即  $P_3=5\%$ 。同时由模型假设 3)可知，四种影响因素发生概率之和为 1。则

$$P_1 + P_2 = 1 - P_3 - P_4 = 1 - 5\% - 7.2\% = 87.8\%。$$

$$\text{又 } \frac{P_1}{P_2} = \frac{86.8\%}{12.5\%} = 6.9, \text{ 则 } P_1=76.7\%, P_2=11.1\%。$$

因此影响蔬菜食品安全的 4 个因素的风险发生概率  $P$  如表 5.16 所示。

表 5.16 安全影响因素的风险发生概率

产生原因	风险发生概率 $P$
农药残留	76.7%
产地环境	11.1%
运输储藏	5%
可追溯性	7.2%



由  $K = \sqrt{\frac{D^2 + P^2}{2}}$ ，有农药残留、产地环境、运输储藏和可追溯性 4 个因素

风险重要性等级分别为： $K_1=0.605$ ， $K_2=0.279$ ， $K_3=0.061$ ， $K_4=0.132$ 。

所以，深圳市蔬菜安全的各影响因素风险程度从高到低为：农药残留>产地环境>可追溯性>运输储藏。

### 5.3.2.3 模型的灵敏度分析

改变概率系数  $m$ ， $n$  的大小，重新求解风险重要性等级  $K$ ，如表 5.17 所示。

表 5.17 概率系数的灵敏度分析

$m$	$n$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
0.3	0.7	0.677	0.227	0.057	0.112
0.4	0.6	0.641	0.255	0.059	0.122
0.6	0.4	0.567	0.302	0.063	0.141
0.7	0.3	0.526	0.323	0.065	0.149

由上表可知，影响深圳市蔬菜安全的各因素的风险程度从高到低为：农药残留>产地环境>可追溯性>运输储藏，与之前相同。

## 5.4 问题四的分析和建模

本模型为建立满足不同层面监测工作需要的蔬菜抽样检验方案，考虑蔬菜种类和蔬菜渠道两个方面。

### 5.4.1 模型假设

- 1) 监测时的抽样为随机抽样。
- 2) 抽检结果真实可信。
- 3) 蔬菜的质量的变化主要由原产地和季节影响。

### 5.4.2 模型建立

为了满足提高食品安全防控效率和质量，满足不同层面监测工作的需要，应考虑两个层面。

- 1) 对不同种类的蔬菜进行抽检的层面

2) 对不同输入渠道的蔬菜进行抽检的层面。

### 5.4.2.1 蔬菜种类层面模型

在蔬菜种类层面，考虑对不同蔬菜种类采取不同的监测力度。研究2016年1-12月《深圳市食用农产品质量安全报告》，根据统计推断原理，求出豆类、根茎类、瓜类等8类蔬菜的样本不合格检出次数均值 $\bar{x}$ ，样本检出次数标准差 $S$ 和样本检出率 $N$ 。

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^{12} Q_{ij}}{12}, \quad \bar{x}_i \text{ 为第 } i \text{ 类蔬菜的检出次数均值, } Q_{ij} \text{ 为第 } i \text{ 类蔬菜第 } j \text{ 个月的检}$$

出次数。

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{12} (Q_{ij} - \bar{x}_i)^2}{12}}, \quad S_i \text{ 为第 } i \text{ 类蔬菜的检出次数标准差（无偏估计量）}。$$

$$N_i = \frac{\sum_{j=1}^{12} Q_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} T_{ij}}, \quad N_i \text{ 为第 } i \text{ 类蔬菜的农药检出率, } T_{ij} \text{ 为第 } i \text{ 类蔬菜第 } j \text{ 个月的检测}$$

次数。

得到表5.18所示的8类蔬菜的抽样监测统计结果。

表5.18 8类蔬菜的抽样监测统计结果

蔬菜种类	豆类	根茎类	瓜类	鳞茎类	茄果类	水生类	叶菜类	芸薹属类
检出均值	1.83	0.08	0.58	0.30	0.08	0.00	6.17	1.25
标准差	2.03	0.30	0.94	0.50	0.30	0.00	3.67	1.90
检出率	9.80%	0.70%	1.50%	4.69%	0.37%	0.00%	4.47%	2.34%

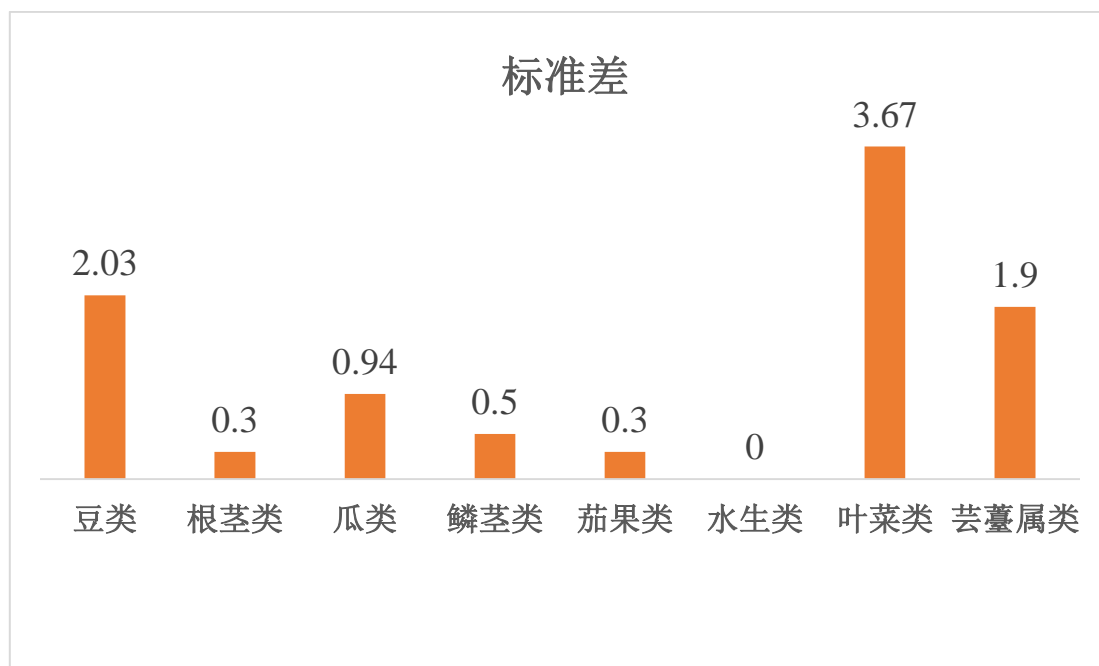


图5.4 1-12月每种蔬菜检出不合格次数的标准差

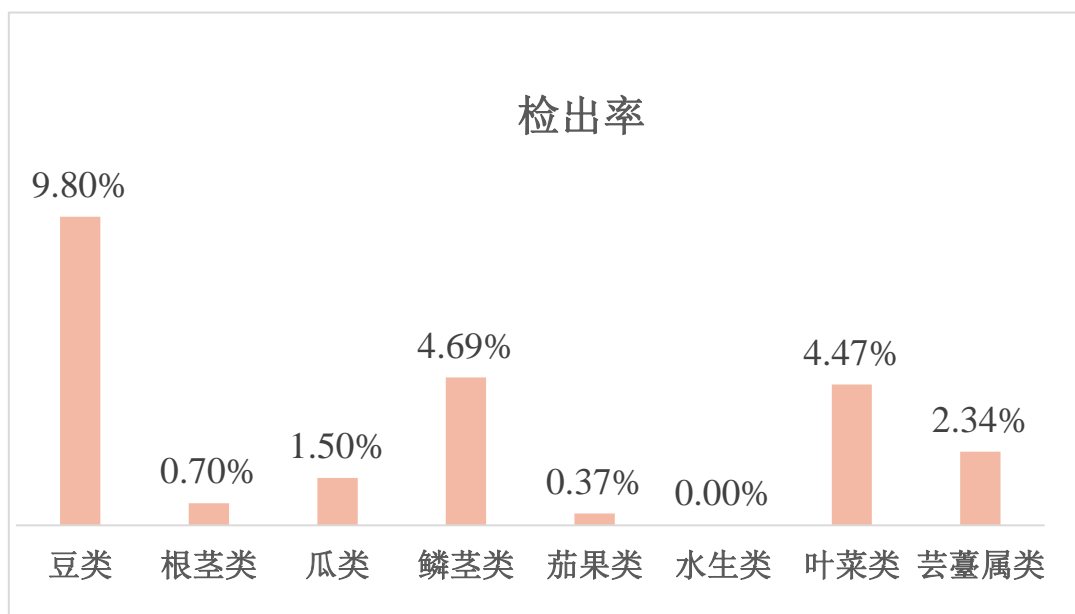


图5.5 八种蔬菜不合格检出率

求标准差的置信区间，样本方差 $S^2$ 是 $\sigma^2$ 的无偏估计，则随机变量

$$\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2_{n-1}$$

本模型中 $n=12$ 。即 $\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$ 服从自由度为11的卡方分布。

取 $\alpha=5\%$ ，则置信度 $1-\alpha=0.95$ ， $\sigma$ 的置信度为0.95的置信区间为

$$\left( \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{n-1}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}}, \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{n-1}\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)}} \right)$$

求解上式，则8种蔬菜的标准差的置信度为0.95的置信区间如表5.19所示。

表5.19 8种蔬菜的标准差的置信度为0.95的置信区间

蔬菜种类	豆类	根茎类	瓜类	鳞茎类	茄果类	水生类	叶菜类	芸薹属类
标准差置信区间	(1.43, 3.45)	(0.21, 0.51)	(0.67, 1.60)	(0.35, 0.85)	(0.21, 0.51)	(0, 0)	(2.60, 6.23)	(1.35, 3.23)

综合表5.18和表5.19，得到样本检出标准差及其置信区间，如图5.6所示。

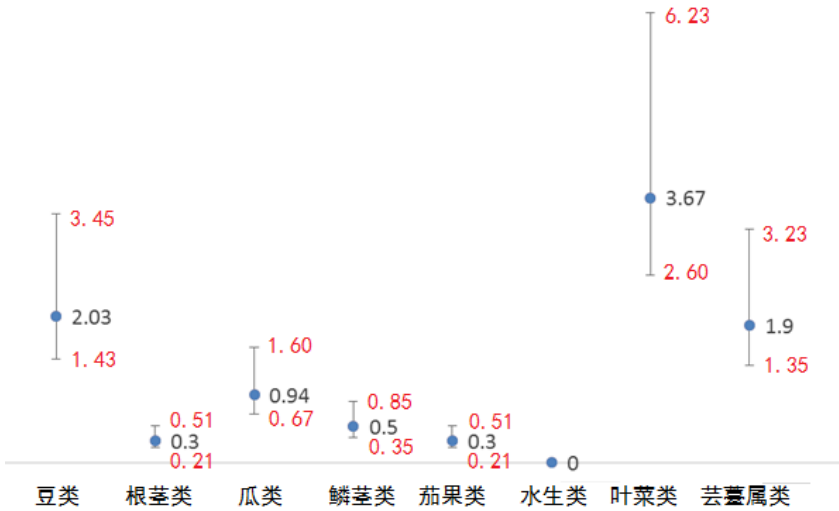


图5.6 样本检出标准差及其置信区间（种类层面）

由表5.18可知豆类的不合格检出率最高，说明需要加强监测，同时及时溯源。由图5.6可知，叶菜类的标准差最高，说明其一年当中蔬菜质量变化浮动较大，一方面应查清是否为原产地发生了变化，对于不好的原产地或供应商及时更换；另一方面，当标准差减小后，可适当减少叶菜的抽检工作人数，提高检测效率。

再一方面，可以考察不同季节蔬菜的不合格检出率。以豆类、叶菜类和芸薹类三种蔬菜为例，如图5.7—图5.9所示。

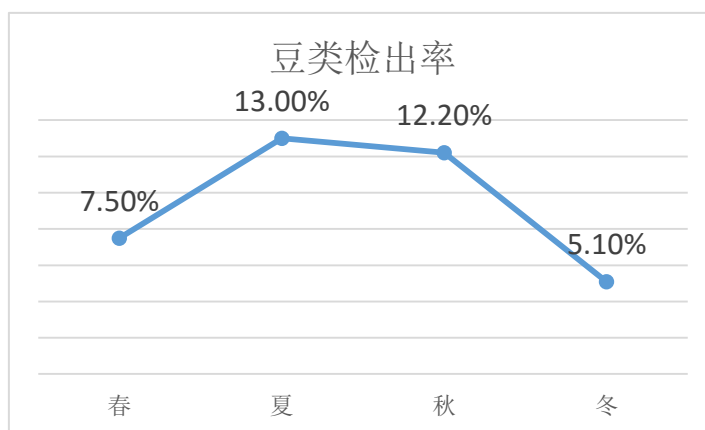


图5.7 豆类四季不合格检出率

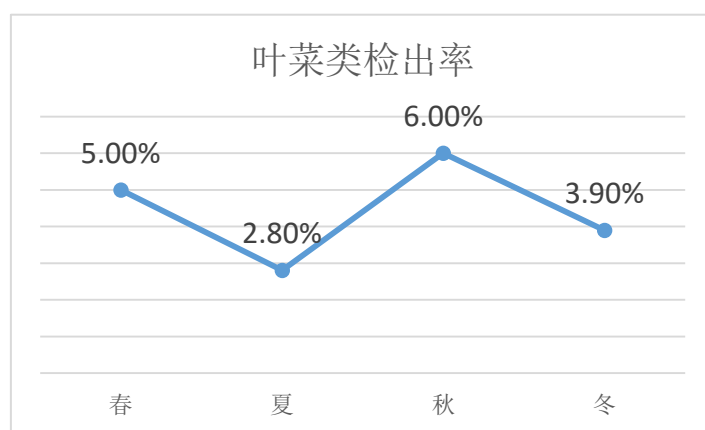


图5.8 叶菜类四季不合格检出率

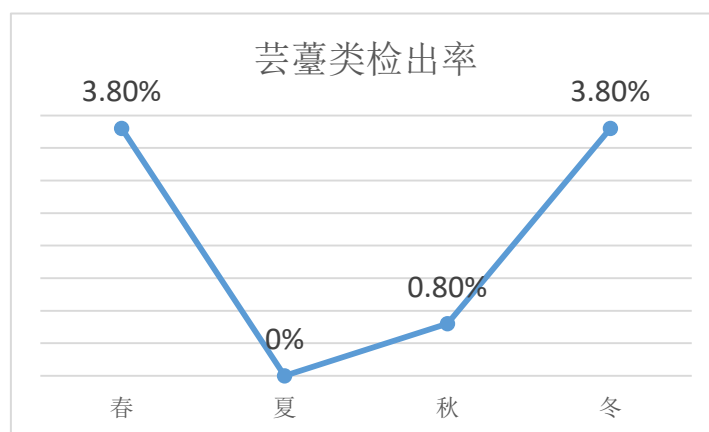


图5.9 芸薹类四季不合格检出率

由图5.7-图5.9可知豆类蔬菜夏秋两季不合格检出率高，此两季需加强监测，增加监察的工作人数及检察时间、范围；叶菜类蔬菜不同季节检出率相差较大，应查清是否为原产地出现变化导致；芸薹类蔬菜应加强春冬两季监测。

5.4.4.2 输入渠道层面模型

在此层面上，应考虑对农贸市场、农批市场、商超、和生产基地等几种渠道采取不同的监测力度。研究2016年1-12月《深圳市食用农产品质量安全报告》，根据统计推断原理，求出样本不合格检出次数均值 $\bar{x}$ ，样本不合格检出次数标准差 $S$ 和样本检出率 $N$ 。算法类比蔬菜种类层面模型，得到表5.20。

表5.20 4种渠道的抽样监测统计结果

渠道	农批市场	农贸市场	商超	生产基地
检出均值	3.92	6.75	3.17	0.17
标准差	3.16	3.65	1.88	0.61
检出率	2.60%	3.92%	2.16%	1.67%

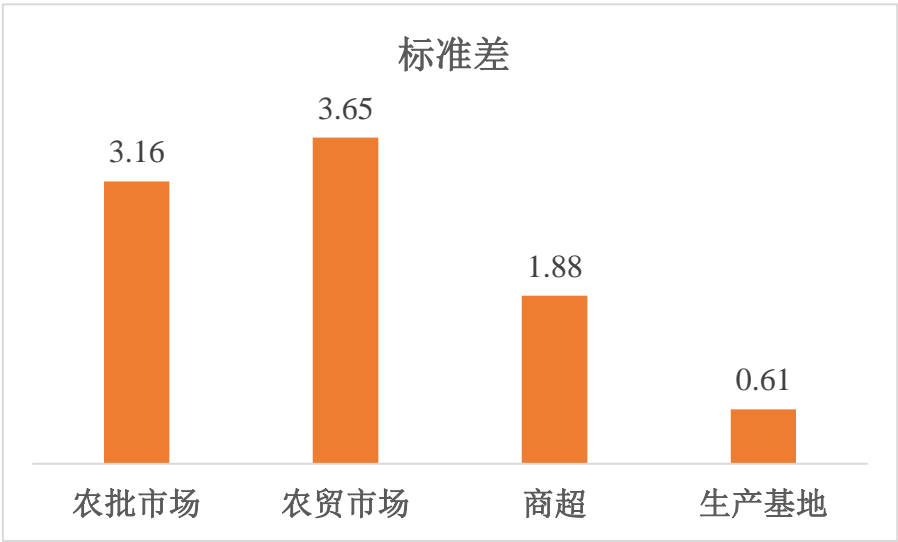


图5.10 1-12月各输入渠道检出不合格次数的标准差

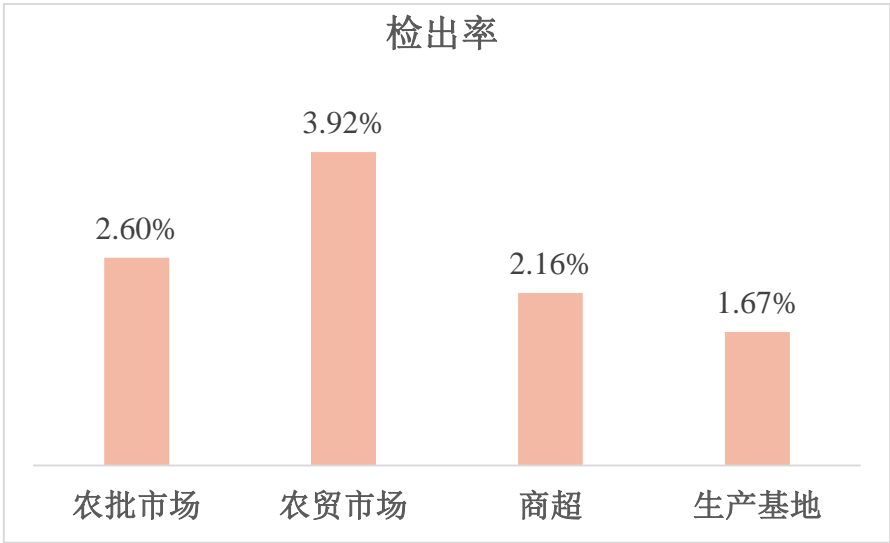


图5.11 1-12月各输入渠道不合格检出率

求标准差的置信区间，样本方差 $S^2$ 是 $\sigma^2$ 的无偏估计，则随机变量

$$\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2_{n-1}$$

本模型中 $n=12$ 。即 $\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$ 服从自由度为11的卡方分布。

取 $\alpha=5\%$ ，则置信度 $1-\alpha=0.95$ ， $\sigma$ 的置信度为0.95的置信区间为

$$\left( \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{n-1}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}}, \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{n-1}\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)}} \right)$$

求解上式，则8种蔬菜的标准差的置信度为0.95的置信区间如表5.19所示。

表5.21 4种渠道的标准差的置信度为0.95的置信区间

渠道	农批市场	农贸市场	商超	生产基地
标准差置信区间	(2.24, 5.37)	(2.59, 6.20)	(1.33, 3.19)	(0.43, 1.04)

综合表5.20和表5.21，得到样本检出标准差及其置信区间，如图5.12所示。

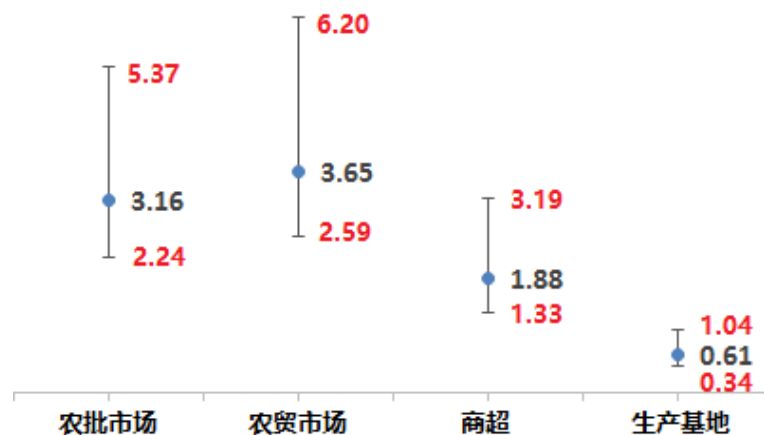


图5.12 样本检出标准差及其置信区间（渠道层面）

由表5.20可知农贸市场的检出率最高，说明需要加强监测，增派工作人员，加大检查时间与范围，同时对不合格产品及时溯源。由图12可知，农贸市场和农批市场检出标准差高，说明其一年当中蔬菜质量变化较大，一方面应查清是否为原产地发生了变化，对于不好的原产地或供应商及时更换。另一方面，当标准差减小后，可减少其检测人数，提高检测效率。

## 六.结论

### 6.1 模型的结果

本文通过建立合理的假设与简化，分析整合数据，得到新鲜蔬菜各输入渠道的输入量所占百分比：农批市场、配送企业和网购分别占比为91.61%，5.39%，3.00%。其中农批市场的蔬菜又输入农贸市场、流动摊贩和商超，分别占比为52.33%，7.82%，39.85%。通过分析历史数据得到深圳市各季新鲜蔬菜消费种类。

本文对农贸市场、网购、流动摊贩、配送中心和商超5个输入渠道，利用层次分析法建立成对比较矩阵，综合考虑各输入渠道的比例，得到这5种渠道安全风险分别为4.79，0.07，0.82，0.33，1.57。所以，忽略某些输入渠道的抽样导致的安全风险依次为：农贸市场>商超>流动摊贩>配送中心>网购。

本文建立了危害物风险系数模型，主要考虑农药残留的危害性，建立危害物风险系数求解公式，发现深圳市的危害物风险系数为3.06，属于高危险性，需尽快加强管理监测。接着建立了综合风险模型，综合考虑风险影响程度和风险发生概率，建立风险重要性等级的求解公式。产地环境、农药残留、运输储藏和可追溯性是4种影响蔬菜安全性的最主要因素，分别求其风险重要性等级，结果为农药残留>产地环境>可追溯性>运输储藏。

本文在蔬菜的不同种类（并考虑季节）和不同输入渠道两个层面建立新鲜蔬菜抽样检验方案。对于蔬菜的不同种类层面，通过求解不同种类蔬菜不同批次检测结果的均值、标准差和检出率，判断应该增加还是减少检验人员。接着考虑蔬菜在不同季节的检出率，判断在哪些季节应该增减检验人员。对于输入的不同渠道，同样求解均值、标准差和检出率，进而作出检验的具体决策。

### 6.2 模型的优缺点

#### 6.2.1 模型的优点

针对问题一，通过对各输入渠道间关系的简化假设，清晰地利用公式及关系图对各输入渠道的关系作出说明，为此后的建模打下了基础。针对问题二，应用层次分析法，以四个关键的安全影响因素对五种蔬菜输入渠道进行安全风险评级，能够充分说明忽略某渠道导致的安全风险；同时在影响蔬菜安全性的因素中创新地引入可追溯性这一因素，进一步完善了现有的监测体系。针对问



题三，分别建立了危害物风险系数模型与综合风险模型，前者是在宏观上对深圳市蔬菜安全风险的总体评级，说明为高度风险；后者在较微观的层面对影响蔬菜安全的四个因素作出风险程度评级。结合两个模型，能够更全面地对深圳市蔬菜食品安全风险进行评估。针对问题四，在蔬菜输入渠道层面与蔬菜种类层面做出了方案设计，创新性地考虑了季节性这一主要影响蔬菜质量的因素，在抽检不合格率较高的蔬菜种类，季节或渠道层面进行加强监测，有助于提高监测效率。最后，对所建立的模型进行灵敏度分析后发现，灵敏度较低，说明当存在人为因素导致抽检结果的各指标微小浮动时，模型仍能得出同样的结果，证明模型较好。

### 6.2.2 模型的缺点

在建立综合风险模型时，判断各因素的风险发生概率，由于无法获得有关深圳市的各因素的风险发生概率的信息，因此引用了全国的数据，如果采用深圳市的数据会更有针对性。采用层次分析法时，从建立层次结构模型到给出成对比较矩阵，人主观因素对整个过程会造成一定影响。

## 6.3 模型的推广和改进

1. 分析安全风险时，危害物风险系数模型仅考虑了农药残留这一主要因素，下一步可以考虑将其他因素加入。
2. 对于可追溯性这一对于蔬菜食品安全的重要影响因素，可进一步将其量化。
3. 运用层次分析法建立成对比较矩阵时，可以请多位专家综合评价，减小主观因素的影响。

## 参考文献

- [1] 贾卫丽.蔬菜物流发展现状与问题研究——以山东寿光蔬菜批发市场蔬菜物流为例[J].惠州学院学报,2006,26(5):71-75.
- [2] 孟军齐.深圳蔬菜流通模式研究[J].中国市场,2007(Z2):76-77.
- [3] 廖鲁兴,王进喜.风险矩阵方法在进出口食品安全风险评估中的应用[J].检验检疫学刊,2013(6):62-67.
- [4] 张国政,刘呈辉,陈维煌.消费者认知对可追溯农产品购买意愿影响研究[J].产业与科技论坛,2014,13(2):99-100.
- [5] 秦燕,李辉,李聪.危害物的风险系数及其在食品检测中的应用[J].检验检疫学刊,2003,13(5):13-14.
- [6] 曹秀梅,林艳青,闫玉杰等.对进入秦皇岛市的水产品 7 种药物残留风险分析[J].河北渔业,2013(11):15-17.
- [7] 陈秋玉,孙建成,张磊等.危害物风险系数在猪肉及其制品抽检评价中的应用[J].上海预防医学,2008,20(6):308-310.
- [8] 金彬,吴丹亚,陈宇博等.散户蔬菜农药残留风险评估和监管建议[J].农产品质量与安全,2015(5):63-66.
- [9] 廖鲁兴,王进喜.风险矩阵方法在进出口食品安全风险评估中的应用[J].检验检疫学刊,2013(6):62-67.
- [10] 孙垦,蔡洪涛,杨崇豪.风险定量分析中风险矩阵的构建方法[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2011,32(5):158-160.

## 关于深圳市蔬菜食品安全监管的几点建议

### ——致深圳市政府的一封建议信

尊敬的市领导：

您好！我是天津大学的一名学生，在经过对深圳市蔬菜食品安全监管的仔细调研和分析后，总结了一下我的发现：深圳市目前人口众多，已突破 2000 万，而目前深圳市的蔬菜来源 90% 都是从外地蔬菜批发市场输入进本地，这一过程的物流环节较多，蔬菜产地构成相对复杂，因此食品安全显得尤为重要。

经分析，深圳市蔬菜输入量约有 91% 经过农批市场的渠道进行输入，虽然深圳已建立了布吉和福田两个农批市场，销量在全国领先，缓解了深圳人民的吃饭问题，但是由于蔬菜产地构成较复杂，多来自外地，运输环节较多，一旦出现食品安全问题很难追踪其源头，经数学分析也可知农批市场的蔬菜可追溯性仅高于流动摊贩，因此，我建议每一批输入深圳市农批市场的蔬菜均应采用印有产地和生产商的包装，以供监管人员彻查源头，避免有毒食品继续进入市场危害人民健康安全。

在分析了深圳各区蔬菜抽检结果合格率后，我发现合格率较高的区多分布于深圳中心城区，如福田区和罗湖区等，这些中心城区监管力度较高，执法较严，市民大多有固定的蔬菜购买地点，如超市，农贸市场等。而在宝安区，龙华区和光明新区等地理位置较偏的地区情况则较差，这些地区属于城乡结合部，人员流动大，超市，农贸市场等基础设施不完善，流动摊贩较多，监管难度大，市民多采取就近的流动摊贩进行蔬菜购买，一旦发生食品安全问题很难追踪到责任者。因此，我诚挚地建议在宝安区，龙华区和光明新区等地理位置较偏的地区开设更多便民蔬菜超市以及正规农贸市场，同时在街道设置监控探头，一旦发现有流动摊贩沿街售卖，立马出动执法监管人员劝阻说教，若其屡教不改则施以罚款，降低流动摊贩出现频率。

流动摊贩的农残超标率，蔬菜产地来源与可追溯性均是几种蔬菜输入渠道中最差的，而且一些超市、集贸市场检测超标的蔬菜未及时销毁，被不法商家倒卖，很有可能流入小摊贩中。部分市民为图便宜而牺牲对蔬菜安全性的关注，为流动摊贩提供了市场。因此，深圳市政府，一些官方的或民间的宣传组织应在社区，公园等地安排食品安全讲座或展板宣传，提高深圳市民的食品安全意识，引起他们的警觉与关注，多去农贸市场或超市等有正规营业执照的商家进行购买，对于为图便宜与便利去小摊贩购买的想法应逐渐打消，市民与政府应加强信任，携手打造和谐健康的食品环境。