

层次分析法在食品安全监督抽检工作计划样本量分配中的应用

余 超^{1*}, 李文学¹, 李迎月¹, 袁筱怡², 何洁仪^{1,2}

(1. 广州市疾病预防控制中心, 广州 510440; 2. 广东省食品安全学会, 广州 510199)

摘 要: 层次分析法是一种将与决策有关的各种元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性与定量分析的决策方法。本文以食品安全监督抽检工作计划制定过程中不同食品品种样本量的分配方法为例, 引入层次分析法的基本原理, 将影响食品安全的各类定性及半定量因素转化为定量指标, 简要展示了食品安全监督抽检工作计划制定过程中样本量分配的一种新方法, 为政府部门食品安全监督抽检工作计划的制定提供新思路。

关键词: 层次分析法; 食品安全监督抽检; 计划

Application of analytic hierarchy process in sample size allocation in drawing-up the sampling work plan for food safety supervision and inspection

YU Chao^{1*}, LI Wen-Xue¹, LI Ying-Yue¹, YUAN Xiao-Yi², HE Jie-Yi^{1,2}

(1. Guangzhou Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou 510440, China; 2. Guangdong Food Safety Society, Guangzhou 510199, China)

ABSTRACT: Analytic hierarchy process is a decision-making method that decomposes various elements related to decision-making into levels of objectives, criteria and schemes, on which qualitative and quantitative analysis are carried out. This paper took the method of distributing the sample size of different food varieties in the process of food safety supervision sampling work plan as an example, introduced the basic principle of AHP, and converted various qualitative and semi-quantitative factors affecting food safety into quantitative indicators, briefly presented a new method for sample size allocation during the development of a food safety supervision sampling plan, so as to provide new ideas for the formulation of food safety supervision and sampling inspection work plan of government departments.

KEY WORDS: analytic hierarchy process; food safety supervision and inspection; plan

1 引 言

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是美国运筹学家 Saaty 教授在 20 世纪 70 年代中期提出的一种将定

性分析与定量计算相结合的决策方法^[1]。其基本思路是在深入分析复杂问题的基础上, 将与问题相关的各个因素分解成若干层次, 低层次的进行两两比较得出各自权重, 再对上一层的因素排序得出权值, 最后进行层次总排序, 确

基金项目: 广州市医学重点学科建设项目(2017-2019-07)

Fund: Supported by Guangzhou Medical Leading Academic Discipline Project (2017-2019-07)

*通讯作者: 余超, 副主任医师, 主要研究方向为食品安全标准与风险监测。E-mail: 375839262@qq.com

*Corresponding author: YU Chao, Associate Chief Physician, Guangzhou Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou 510440, China. E-mail: 375839262@qq.com

定优选序列, 作为决策依据。国内外文献报道显示, 层次分析法已被广泛应用于自然科学、环境保护、农业发展、医药卫生、食品安全及风险评估等领域^[2-7]。食品安全监督抽检制度是保障我国食品安全、防范食源性疾病发生的重要措施, 仅广东省每年抽检的食品样本就有将近 3 万份, 耗资上亿元^[8]。当前政府公布的食品安全监督抽检结果合格率很高, 公众对食品安全及政府监管结果存在一定的不信任, 其中一个主要原因是抽检计划的科学性与代表性不足。

层次分析法在国内食品领域应用广泛, 包括食品安全监管考评、食品安全监督抽检数据分析、食品安全风险管理、食品安全风险评价、食品卫生监督检查、食品安全变化趋势分析、食品卫生质量评价、食品物流安全风险、食物中毒调查等。伍永祥等通过分层抽样模型, 在定性分析食品安全影响因素基础上, 建立了食品安全抽检方案层次分析模型^[9]。刘丽洁等对黑龙江省餐饮食品抽检数据进行整理和安全评估, 运用层次分析法构建了黑龙江省餐饮环节食品微生物安全综合评价指标体系^[10]。2011 年, 国务院食品安全委员会办公室对地方政府食品安全监管考核评价工作方案确定过程中应用层次分析法, 由各级地方政府不同部门的食品安全监管人员和技术专家对考核指标评分^[11]。我国食品安全风险来源管理对策分析运用了层次分析法, 成功得出在处理食品安全风险来源主要措施先后顺序及重要程度^[12]。魏建华等对出口水产品中呋喃残留进行风险评价, 运用层次分析法探寻存在呋喃药物残留风险的主要出口水产品品种, 为相关部门制定出口水产品风险管理措施提供参考依据, 使监管成本-效益相适应^[13]。周宏亮等应用层次分析法对食品抽检数据进行分析, 获得了深圳市食品安全情况变化情况和趋势^[14,15]。此外, 层次分析法还用于对肉制品食品添加剂添加过程的控制, 对添加过程的异常发出预警, 进

而指导整个生产过程^[16]; 对供应链中各个环节影响因素和加工工艺影响食品质量安全的综合评价^[17,18], 对食品物流安全风险的评价等方面^[19]。王翼宁等^[20]采用层次分析法, 掌握食品供应链的生产、物流及销售环节监管的相对重要程度, 对各环节的监管力度进行了排序, 以此为监管提供指导。张勤等^[21]采用层次分析法对生鲜食品供应链风险的影响程度进行排序, 为规避当前我国生鲜食品供应链中存在的风险提供参考。许小艳等^[22]采用层次分析法分析食品安全问题诱因, 建立食品安全模型, 得出影响食品安全的主要因素, 为食品安全管理提供了科学依据。

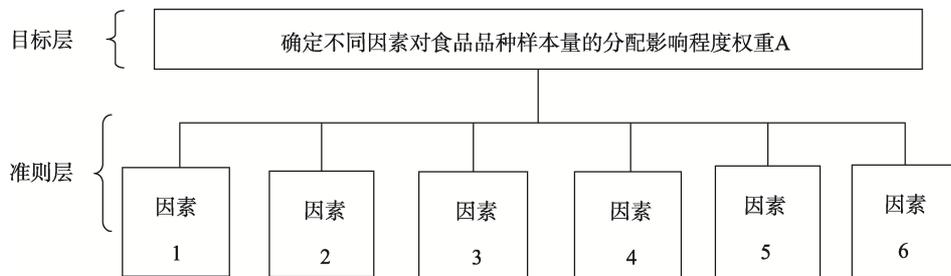
本文拟在食品安全监督抽检工作计划制定过程中, 引入层次分析法的方法学原理, 将影响食品安全各类定性及半定量因素转化为定量指标, 形成系统性的监督抽检方案设计理论, 从而让工作计划的制定更具科学性、有效性, 提高抽检结果的权威性和可信度, 为日常监管工作提供参考。

2 层次分析法应用模型构建

层次分析法是一种适用于多准则、多目标以及无结构特征的复杂问题的决策分析方法, 基本原理是: 首先把复杂问题分解为称之为元素的各组成部分, 把这些元素按属性不同分为若干组, 以形成不同层次。其次, 按一定的准则比较两个元素之间的重要性, 对重要程度使用 1~9 比例尺度赋予一定分值, 得到两两比较判断矩阵, 采用方根法计算特征向量, 最后得出特征向量, 计算最大特征值, 最后经一次性检验后确定各项目权重分数^[8]。

2.1 建立递阶层次结构模型

首先, 把复杂问题分解为称之为元素的各组成部分, 把这些元素按属性不同分为若干组, 以形成不同层次。



2.2 构造比较判断矩阵

按一定的准则, 比较 2 个元素 A_i 和 A_j 哪一个更重要, 对重要多少赋予一定数值, 这里使用 1~9 比例尺度, 它们的意义见表 1。对于 N 个元素来说, 得到两两比较判断矩阵 A , 参与评分的专家应为熟悉食品安全监督抽检领域省级专家, 建议由 7 名或者 9 名专家组成。

$$A=(a_{ij})n \times n \quad a_{ij}=A_i/A_j$$

判断矩阵应具有如下性质: ① $a_{ij}>0$; ② $a_{ij}=1/a_{ji}$; ③ $a_{ii}=1$ 。

2.3 计算特征根和特征向量

由于判断矩阵的特殊性, 计算特征向量采用方根法。首先, 计算矩阵各行元素的积得:

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}$$

然后, 计算 M_i 的 n 次方根 B_i 并得出新的向量 B :

$$B_i = \sqrt[n]{M_i}$$

$$B = (B_1, B_2, \dots, B_n)^T$$

对各 B_i 进行归一化得:

$$g_i = B_i / \sum_{k=1}^n B_k$$

最后得特征向量为

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_n)^T$$

计算最大特征值 λ_{\max} 。

表 1 判断矩阵的标度
Table 1 Scale of judgment matrix

标度 a_{ij}	含义
1	i 因素与 j 因素相同重要
3	i 因素比 j 因素略重要
5	i 因素比 j 因素较重要
7	i 因素比 j 因素非常重要
9	i 因素比 j 因素绝对重要
2,4,6,8	为以上两判断之间的中间状态对应的标度值
倒数	若 j 因素与 i 因素比较, 得到判断值为 $a_{ji}=1/a_{ij}$, $a_{ii}=1$

首先, 计算判别矩阵 A 和特征向量 G 和乘积:

$$A \times G = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_n \end{bmatrix}$$

然后计算最大特征值 λ_{\max} :

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AG)_i}{nW_i}$$

2.4 进行一致性检验

一致性检验的指标为一致性比例 $C \cdot R$, 其定义为:

$$C \cdot R = (C \cdot I) / (R \cdot I)$$

式中, $C \cdot I$ 为一致性指标。

$$C \cdot I = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

$R \cdot I$ 为平均随机一致性指标, 此值与矩阵阶数有关, 按表 2 所列值计算。

检验的标准是, $C \cdot R < 0.1$ 时可以认为判断矩阵式可以接受的。

表 2 $R \cdot I$ 值查询表
Table 2 $R \cdot I$ query table

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R \cdot I$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

2.5 确定各项目权重分数

3 层次分析法在监督抽检工作计划样本量分配中应用

食品安全监督抽检方案的设计首先要确定 7 个方面的内容: 样本量、监测区域、食品品种、检验项目、监测环节、监测时间以及样品量分配。而上述内容在确定过程中受到多种定性、半定量及定量因素的影响, 如样本量的确定需要考虑既往食品污染状况、监测区域范围的大小, 监测区域覆盖的人口数量多少、统计学允许误差值等; 监测区域的确定需要考虑市、县、区、街道和乡镇的覆盖, 对食品生产聚集区、食品及食用农产品集中交易市场、食品问题多发区、大型集体餐饮场所, 以及农村、城乡结合部、中小校园及周边等重点区域的覆盖等; 食品品种的确定需要综合考虑食品消费量数据和食品风险等级等因素; 检验项目的确定需要考虑食品标准、既往监测结果、项目的危害风险程度等; 监测环节需要考虑生产、流通、餐饮服务等各种环节; 监测时间需要考虑不同时间的分散采样, 特殊食品的季节性, 风险项目的时间属性等; 样品量的分配要综合考虑上述所有影响因素。在所有影响因素中, 以定性及半定量因素为主, 传统做法是凭计划起草者的工作

经验来人为主观判断, 因此起草者的知识、技能、经验等对最终制定的方案质量起到举足轻重的作用。而层次分析的基本原理是将上述定性及半定量的影响因素转化为定量指标, 由一套固定理论体系去决定计划所涉及的各项内容。

3.1 不同因素间样本量的分配应用

3.1.1 构造两两比较矩阵

首先, 影响监督抽检工作计划样本量分配的主要因素设定为 6 种, 对于各因素重要程度赋分制, 由专家给出, 详见表 3。

定义: 因素 1: 食品安全监督抽检结果(近 3 年)

因素 2: 食物消费量数据

因素 3: 食品安全风险监测结果(食药部门)

因素 4: 其他部门/系统可参考抽检结果

因素 5: 食品安全风险监测结果(卫生部门)

因素 6: 食品安全热点事件影响及受关注程度

3.1.2 计算特征根和特征向量

按应用模型中方根法公式计算 M 值、 B 值和 G 值, 求

特征向量, 最大特征值 λ_{\max} 为 6.2592。

3.1.3 进行一次性检验

$$C \cdot I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6.2592 - 6}{6 - 1} = 0.0518$$

表 3 判断矩阵
Table 3 Judgment matrix

A-a	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
A ₁	1	2	4	3	1	7
A ₂	1/2	1	3	2	1/2	6
A ₃	1/4	1/3	1	2	1/4	5
A ₄	1/3	1/2	1/2	1	1/3	5
A ₅	1	2	4	3	1	7
A ₆	1/7	1/6	1/5	1/5	1/7	1

查表 2 得 6 阶矩阵平均随机一致性指标 $R \cdot I = 1.26$ 。

$$C \cdot R = \frac{C \cdot I}{R \cdot I} = \frac{0.0518}{1.26} = 0.0411$$

$C \cdot R = 0.0411 < 0.10$, 故检验合格, 赋值合理。

3.1.4 确定各项目分数

排序权重向量 $\omega^b = \{0.2992, 0.1835, 0.0981, 0.0917, 0.2992, 0.0283\}$

3.1.5 样本量分配

以排序权重向量为依据, 监测食品总样本量为 N 份, 最低样本量 n_1 份, 剩余待分配样本量 n_2 份, 根据监督抽检结果分配样本量占剩余样本量的 29.92%, 即 $n_2 \cdot 29.92\%$ 份, 根据食物消费量数据分配样本量占剩余样本量的 18.35%, 即 $n_2 \cdot 18.35\%$ 份, 根据食药部门食品安全风险监测结果分配样本量占剩余样本量的 9.81%, 即 $n_2 \cdot 9.81\%$ 份, 根据其他部门/系统可参考抽检结果分配样本量占剩余样本量的 9.17%, 即 $n_2 \cdot 9.17\%$ 份, 根据卫生部门食品安全风险监测结果分配样本量占剩余样本量的 29.92%, 即 $n_2 \cdot 29.92\%$ 份, 根据食品安全热点事件影响及受关注程度分配样本量占剩余样本量的 2.83%, 即 $n_2 \cdot 2.83\%$ 份。

3.2 不同采样环节样本量的分配应用

首先, 采样环节分为 4 种, 对于各因素重要程度赋分制, 由专家给出, 详见表 4。

定义: 因素 1: 超市

因素 2: 零售店

因素 3: 其它场所

因素 4: 肉菜市场

表 4 判断矩阵
Table 4 Judgment matrix

A-a	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	1	5	7	9
A ₂	1/5	1	3	7
A ₃	1/7	1/3	1	5
A ₄	1/9	1/7	1/5	1

排序权重向量 $\omega^b = \{0.6403, 0.2176, 0.1061, 0.0360\}$

以排序权重向量为依据, 监测食品总样本量为 N 份, 监督抽检超市样本量为 $N \cdot 64.03\%$ 份, 零售店样本量为 $N \cdot 21.76\%$, 其它场所样本量为 $N \cdot 10.61\%$, 肉菜市场样本量为 $N \cdot 3.60\%$ 。

4 讨论与分析

基于层次分析法设计食品安全监督抽检方案较传统方法的优点在于, 监测内容不是由计划起草者的个人主观经验所决定的, 而是由一套成熟的方案设计理论体系决定的, 该理论体系涵盖了影响食品安全监督抽检工作效能的各种因素, 具有较强的科学性、合理性。在当前政府每年巨额投入食品安全监督抽检经费的情况下, 科学合理地制定每年的抽检方案, 无疑可以极大地提高该项工作的成效。层次分析法如何与食品安全监督抽检方案设计有机结合, 其理论体系架构如何囊括各项重要影响因素, 基于层次分析法的食品安全监督抽检方案设计理论体系形成后, 以何种可操作性的方式应用到政府监督抽检方案制定工作中, 这些将是后续需要深入研究并着重解决的问题。

参考文献

- [1] Saaty TL. How to make a decision: The analytic hierarchy process [J]. Interfaces, 1994, 24(6): 19-43.
- [2] Yi XB, Wang L. Land suitability assessment on a watershed of Loess Plateau using the analytic hierarchy process [J]. PLoS One, 2013, 8(7): e69498.
- [3] Kurka T. Application of the analytic hierarchy process to evaluate the regional sustainability of bioenergy developments [J]. Energy, 2013, 62: 393-402.
- [4] Hu W, Liu GB, Tu Y. Wastewater treatment evaluation for enterprises based on fuzzy-AHP comprehensive evaluation: A case study in industrial park in Taihu Basin, China [J]. Springer Plus, 2016, 5(1): 907.
- [5] Kling M, Seyring N, Tzanova P. Assessment of economic instruments for countries with low municipal waste management performance: An approach based on the analytic hierarchy process [J]. Waste Manage Res, 2016, 34(9): 912-922.
- [6] Massei G, Rocchi L, Paolotti L, et al. Decision support systems for environmental management: A case study on wastewater from agriculture [J]. J Environ Manag, 2014, 146: 491-504.
- [7] Kariuki CM, Van-Arendonk JA, Kahi AK, et al. Multiple criteria decision-making process to derive consensus desired genetic gains for a dairy cattle breeding objective for diverse production systems [J]. J Dairy Sci, 2017, 100(6): 4671-4682.
- [8] Zopounidis C, Pardalos PM. Handbook of multicriteria analysis [Z].
- [9] 伍永祥, 杨桂元. 基于安徽省食品安全抽检的方案模型研究 [J]. 科技和产业, 2010, 10(7): 18-22.
Wu YX, Yang GY. A study on sampling model of the food safety bases on Anhui province [J]. Sci Technol Ind, 2010, 10(7): 18-22.
- [10] 刘丽洁, 郭长慧, 张娜, 等. 运用层次分析法对餐饮食品微生物安全因素分析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2729-2735.

- Liu LJ, Guo CH, Zhang N, *et al.* Analysis of microbial safety factors in catering food by using analytic hierarchy process [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(7): 2729–2735.
- [11] 李亚鹏, 于军, 樊红平, 等. 地方政府食品安全监管考评指标赋分方法初探[J]. *中国食品卫生杂志*, 2014, 26(4): 380–385.
- Li YP, Yu J, Fan HP, *et al.* Scoring method for government food safety supervision evaluation [J]. *Chin J Food Hyg*, 2014, 26(4): 380–385.
- [12] 龚玉霞. 基于层次分析法的我国食品安全风险来源管理对策研究[J]. *食品科技*, 2013, 38(6): 330–333.
- Gong YX. The research of risk resource management of food safety based on AHP [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(6): 330–333.
- [13] 魏建华, 张林田, 陆奕娜. 应用层次分析法对出口水产品呋喃残留进行风险评价[J]. *检验检疫学刊*, 2014, (1): 68–72.
- Wei JH, Zhang LT, Lu YN. Risk evaluation of nitrofurantol metabolites in export aquatic products [J]. *J Inspect Quarant*, 2014, (1): 68–72.
- [14] 周宏亮, 戴明强. 基于 AHP 的食品安全变化趋势研究[J]. *计算与数学工程*, 2014, (6912): 2369–2372.
- Zhou HL, Dai MQ. Changing trends in food safety based on AHP [J]. *Computer Digital Eng*, 2014, (6912): 2369–2372.
- [15] 霍俊爽, 王槐光, 白征莉, 等. 基于层次分析法对深圳市食品市场安全的研究[J]. *市场研究*, 2015, 10: 94.
- Huo JS, Wang HG, Bai ZL, *et al.* Study on safety of shenzhen food market based on analytic hierarchy process [J]. *Market Res*, 2015, 10: 94.
- [16] 王宝军, 信海红, 苏晓灿, 等. 基于层次分析法的肉制品中食品添加剂的质量监控研究[J]. *中国食品添加剂*, 2015, (8): 145–148.
- Wang BJ, Xin HH, Su XC, *et al.* The quality monitoring research of food additives in meat products by analytic hierarchy process [J]. *China Food Add*, 2015, (8): 145–148.
- [17] 楼甜甜, 陆柏益, 张星联. 基于 AHP 法的双孢蘑菇质量安全脆弱性评价模型的建立[J]. *农产品质量与安全*, 2016, (4): 28–34.
- Lou TT, Lu BY, Zhang XL. Establishment of quality safety vulnerability evaluation model of *agaricus bisporus* based on AHP method [J]. *Qual Saf Agric Prod*, 2016, (4): 28–34.
- [18] Lyu J, Zhou LY, Bi JF, *et al.* Quality evaluation of yellow peach chips prepared by explosion puffing drying [J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(12): 8204–8211.
- [19] 朱艳新, 李苏剑. 基于 AHP 法的食品物流安全风险评估及对策分析[J]. *现代管理科学*, 2013, (2): 64–66.
- Zhu YX, Li SJ. Risk assessment and countermeasure analysis of food logistics safety based on AHP [J]. *Mod Manage Sci*, 2013, (2): 64–66.
- [20] 王翼宁, 陈森. 基于层次分析法的食品供应链安全监管研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(5): 162–166.
- Wang YN, Chen M. The food supply chain safety supervision study on the basis of the analytical hierarchy process [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(5): 162–166.
- [21] 张勤, 施晓艳. 基于层次分析法的食品供应链风险影响因素评价——以生鲜食品为例[J]. *江苏商论*, 2014, 10: 21–24.
- Zhang Q, Shi XY. Analysis of factors affecting the food supply chain risk based on analytic hierarchy process method—Fresh food for example [J]. *Forum Jiangsu Bus*, 2014, 10: 21–24.
- [22] 许小艳, 程涛, 慕运动. 基于层次分析法的食品安全模型[J]. *平顶山学院学报*, 2014, 29(2): 26–29.
- Xu XY, Cheng T, Mu YD. Food safety model based on analytic hierarchy process [J]. *J Pingdingshan Univ*, 2014, 29(2): 26–29.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



余超, 副主任医师, 主要研究方向为食品安全标准与风险监测。
E-mail: 375839262@qq.com