

食品安全标准及监督管理

基于组合赋权-TOPSIS的食品安全状况综合评价

吕锐颖^{1,2}, 梁祖培³, 让一峰^{1,2}, 赵丹霞³, 吴雪萍^{1,2}, 张燕³, 王俊明^{1,2}, 刘辉³, 柳春红^{1,2}
(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642; 2. 广东省食品质量安全重点实验室, 广东广州 510642; 3. 广东产品质量监督检验研究院, 广东广州 510670)

摘要:目的 构建一套科学、全面的食品安全评价模型用于评估区域食品安全总体状况。方法 综合考虑环境因素、公众满意度、食品安全监管等多个影响因素建立食品安全评价指标体系,运用组合赋权法为各指标赋予组合权重,并基于多项指标数据运用逼近理想解法分析区域食品安全总体状况。结果 确定食品安全评价指标体系包括人口经济状况、环境现状、食品安全监管、食品消费安全、社会满意度5个一级指标及14个二级指标。利用2021年A省食品安全评价性抽检相关统计数据进行实证,对A省21个地级市食品安全状况进行综合评价。结论 模型从多角度、多层次构建评价指标体系,以科学的方法设置指标权重,使食品安全评价指标体系更全面,进一步提升了评价结果的可信度,亦为探索食品安全状况综合评价提供新路径。

关键词:食品安全; 组合赋权; TOPSIS; 评价指标; 食品安全状况

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2024)11-1277-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2024.11.012

Comprehensive evaluation of food safety status based on the combined weighting-TOPSIS method

LYU Ruiying^{1,2}, LIANG Zupai³, RANG Yifeng^{1,2}, ZHAO Danxia³, WU Xueping^{1,2}, ZHANG Yan³,
WANG Junming^{1,2}, LIU Hui³, LIU Chunhong^{1,2}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangdong Guangzhou 510642, China;
2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Food Quality and Safety, Guangdong Guangzhou 510642, China;
3. Guangdong Testing Institute of Product Quality Supervision, Guangdong Guangzhou 510670, China)

Abstract: Objective To construct a set of scientific and comprehensive food safety evaluation models for assessing the overall situation of regional food safety. **Methods** The food safety evaluation index system was established by considering environmental factors, public satisfaction, food safety supervision, and other influencing factors, and the combination weights were assigned to each index by using the combination weighting method, and the approximate ideal solution method was used to analyze the overall situation of regional food safety based on the data of multiple indexes. **Results** It was determined that the food safety evaluation index system includes 5 primary indicators and 14 secondary indicators, including population and economic status, environmental status, food safety supervision, food consumption safety, and social satisfaction. Using the statistical data related to the evaluative sampling of food safety in A Province in 2021 for empirical evidence, a comprehensive evaluation of the food safety status in 21 prefecture-level cities in A Province was carried out. **Conclusion** The model constructs the evaluation index system from multiple perspectives and levels and sets the weights of the indexes in a scientific way, which makes the food safety evaluation index system more comprehensive, further enhances the credibility of the evaluation results, and provides a new path for exploring the comprehensive evaluation of the food safety situation.

Key words: Food safety; combined empowerment; TOPSIS; evaluation index; food safety condition

收稿日期:2024-01-05

基金项目:华南农业大学与广东产品质量监督检验研究院合作项目(H220928)

作者简介:吕锐颖 女 在读研究生 研究方向为营养与食品安全 E-mail:1687411140@qq.com

梁祖培 男 质量工程师 研究方向为食品质量安全 E-mail:1210092901@qq.com

吕锐颖和梁祖培为并列第一作者

通信作者:柳春红 女 教授 研究方向为营养与食品安全 E-mail:liuch@scau.edu.cn

刘辉 男 正高级工程师 研究方向为食品科学与工程 E-mail:37721381@qq.com

柳春红和刘辉为共同通信作者

随着现代社会经济的飞速发展,人民的生活水平质量显著提高,对食品的关注点也从解决温饱过渡到保障安全^[1-2]。食品安全状况是反映一个国家或地区经济发展水平,人民生活质量,食品安全水平的一项重要指标^[3]。进行食品安全状况综合评价可以根据评价对象食品安全相关检测结果,评估相应评价对象的食品安全状况,从而为食品安全监督管理部门提供决策辅助^[4]。目前,政府监管部门主要通过食品安全评价性抽检合格率的方式对食品安全状况进行考察,这种方式简单直观,但易造成对实际状况的低估,从而造成监管效率低^[5]。为使食品安全状况综合评价科学、公正,需构建一个多维度、多层次的食品安全评价模型。

建立食品安全评价模型有两个关键要点,首先,需要建立合理的指标体系。指标体系分为单层指标体系和多层指标体系。刘文等^[6]运用不合格率、不合格度两类指标评估食品安全指数;李太平^[7]基于食品安全质量检测数据评估食品安全指数;吴广枫等^[8]提出从食品消费安全状况、食品生产经营安全状况、食品安全监管状况3个维度构建食品安全综合评价指标体系。在关于区域食品安全状况综合评价的研究中,大多数文献多从单一角度进行食品安全评价或只考虑了食品本身安全状况的一些指标,但很少找到一套既合适又全面的评价食品安全总体状况的指标。其次,确定评价指标权重的方法是影响评价结果科学性的因素之一。王铭等^[8]提出运用层次分析法^[9](Analytic Hierarchy Process, AHP)、德尔菲法^[10]、熵值法^[11]等方法确定权重。常用的指标权重计算方法有主观赋权法和客观赋权法,其中主观赋权法有层次分析法、序关系分析法^[12]等,客观赋权法有熵权法、变异系数法、CRITIC法^[13]等。AHP法是经典的赋权方法之一,在各个领域得到了广泛的应用,但在实际应用中AHP法有许多局限性,因此有学者提出将AHP法与德尔菲法相结合的方法,以解决影响因素复杂多样情况下的评价指标选择及赋权问题,然而主观赋权法最大的局限性在于其主观依赖性^[14-15]。传统的食品安全评价指标权重确定方法多采用主观赋权法,如周元等^[16]基于德尔菲和AHP法构建食品安全综合评价指标体系评估天津各区食品安全指数;吴为等^[17]采用德尔菲法和Fussy综合评判法建立了广东省食品安全状况评价指标体系并确定指标权重;王冀宁等^[18]利用网络层次分析法计算各指标权重,确定每项指标对于食品安全状况的重要性。然而这些方法存在主观偏差,导致权重计算结果缺乏权威性和客观依据^[13]。

对指标赋权后需要建立指标值到分值的映射关系,进行食品安全状况综合评价。章德宾等^[19]基于中国食品安全监测样品数据运用BP神经网络建立了食品安全预警模型;刘於勋^[20]将层次分析和灰度关联分析相结合构建食品安全综合评价模型。已有的食品安全评价模型运用了BP神经网络、模糊评价法、灰度关联分析法等,但未见学者运用逼近理想解法^[21](Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)进行食品安全评价。TOPSIS法能够处理数据较为繁杂的样本系统,同时也能够用于分析多样本数据,并且能够很好地刻画多个影响指标对评价对象的综合影响力度。

本研究拟构建一个涵盖多维度、多层次的食品安全评价指标体系,并采用组合赋权法确定指标权重后运用TOPSIS法确定评价对象的食品安全总体状况的食品安全评价模型^[22-23]。此模型综合考虑多个影响因素,克服了单一方法赋权的局限性,充分发挥了各种赋权方法自身的优势,能够全面有效地评估多个地区的食品安全状况,为食品安全监管决策提供参考,也为食品安全状况综合评价提供一种新思路。

1 资料与方法

1.1 食品安全评价指标体系构建

在食品安全评价性“抽检不合格率”的基础上,通过检索分析有关食品安全评价的研究成果选取能够评价地区食品安全状况的指标,并运用德尔菲法由食品安全领域专家筛选评价指标,最终形成食品安全评价指标体系。

1.1.1 专家遴选

专家组成员为在高校、疾病预防控制中心、市场监督管理局、食品检测所、农业科学研究院等相关工作单位长期从事食品安全、安全监管、食品检验、风险评估工作的中级及以上职称的专家,总人数为20人。

1.1.2 德尔菲法

专家对食品安全评价指标体系中的各指标进行可行性及重要程度判断,重要程度分为非常重要、重要、一般、不太重要、不重要5个程度;专家根据1~9标度表(表1),对各指标的重要性两两比较。运用统计学方法将专家反馈的指标重要程度量化为具体数值,将定性问题转化为定量问题对结果进行分析和评价。

1.2 数据来源

研究数据主要来源于2021年《A省统计年鉴》《A省农村统计年鉴》、A省卫生健康委统计等统计年鉴,最终整理出A省各指标的统计数据。

表1 评价指标重要性1~9标度表

标度 a_{ij}	标度含义
1	第 i 个因素和第 j 个因素相比同等重要
3	第 i 个因素和第 j 个因素相比稍微重要
5	第 i 个因素和第 j 个因素相比明显重要
7	第 i 个因素和第 j 个因素相比强烈重要
9	第 i 个因素和第 j 个因素相比极端重要
2,4,6,8	第 i 个因素和第 j 个因素的影响介于上述两个相邻等级的中间
倒数	第 i 个因素和第 j 个因素的影响是上述等级的相反数

注: a_{ij} 表示第 i 个评价指标相比第 j 个评价指标的重要性

1.3 组合赋权

1.3.1 主观赋权法——AHP法

AHP法是目前最常用的主观赋权法。根据表1所示1~9标度,对同一层级的各个指标进行重要性两两比较并进行赋值,建立判断矩阵,设有 n 个指标,可得到 $n \times n$ 的判断矩阵 A ,其中 a_{ij} 表示第 i 个评价指标相比第 j 个评价指标的重要性,且 $i < j$, $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

计算判断矩阵 A 的向量,进行归一化得出单层指标的权重值 ω_j ,并进行一致性检验。通过一致性检验后,计算最下层指标对目标层的相对重要性权值,即为第 j 个评价指标的主观权重 ω_j^A 。

1.3.2 客观赋权法——CRITIC法

CRITIC法是熵权法的一种改进,它通过计算指标间的标准差和相关系数反映指标的变异性 and 指标间的冲突性,综合衡量从而得到指标的客观权重^[24]。指标间的标准差越大,说明指标变异性越大,各对象差异越大,权重会越高;指标间的相关系数越大,说明指标间具有较强的正相关,其冲突性越大,权重会越高。具体步骤如下:

(1) 原始矩阵无量纲化

原始数据矩阵内元素 x_{ij} ,经过指标无量纲化处理后的元素为 x'_{ij} ,无量纲化矩阵记为 $X' = (x'_{ij})_{m \times n}$ 。确定负向指标及正向指标,公式(1)。

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)}, x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

(2) 计算皮尔逊相关系数 r

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

(3) 计算冲突性 R_j 、变异性 σ_j 和信息量

$$C_j C_j = \sigma_j R_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x'_{ij} - x'_j)^2}{m-1}} \sum_{i=1}^m (1 - r_{ij}) \quad (3)$$

(4) 计算客观权重 ω_j^B

$$\omega_j^B = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \quad (4)$$

1.3.3 主客观权重组合

采用拉格朗日乘子法计算组合权重。

$$\omega_j = \frac{\sqrt{\omega_j^A \omega_j^B}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\omega_j^A \omega_j^B}} \quad (5)$$

1.4 改进TOPSIS法

TOPSIS法也称为“优劣解距离法”,是一种基于原始数据的综合评价方法,适用于对多个评价对象进行比较分析^[25-26]。胡杰和鲍帆^[27]引入“虚拟负理想解”代替“负理想解”使得评价结果更加合理科学。

(1) 构造组合赋权的标准化矩阵

以经拉格朗日乘子法计算所得的主客观组合权重 ω_j 结合原始数据经过无量纲化处理后的无量纲化矩阵 X' ,得到加权综合评价矩阵 Z 。

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{m1} & \dots & Z_{mn} \end{bmatrix} = X'_{ij} * \omega_j \quad (6)$$

(2) 正理想解 Z^+ 、负理想解 Z^- 和虚拟负理想解 Z^*

$$Z^+ = \{ \max Z_{ij} | i = 1, 2, \dots, m \} = \{ Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_m^+ \} \quad (7)$$

$$Z^- = \{ \min Z_{ij} | i = 1, 2, \dots, m \} = \{ Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_m^- \} \quad (8)$$

$$Z^* = 2Z^- - Z^+ = (z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*) \quad (9)$$

(3) 计算第 i 个评价对象与 D_i^+ 和 D_i^* 的距离

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_j^+ - Z_{ij})^2}, D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_j^* - Z_{ij})^2} \quad (10)$$

(4) 计算第 i 个评价对象的相对贴进度 T_i

$$T_i = \frac{D_i^*}{D_i^+ + D_i^*} \quad (11)$$

1.5 统计分析

采用 Excel、Matlab 软件计算得主、客观权重,采用 Excel 软件进行 TOPSIS 计算、制表及采用 Origin 软件进行绘图。

2 结果与讨论

本研究以 A 省为例,基于食品安全评价性抽检模型对 A 省 21 个地区的评价性抽检样品估算及分配,并对各地区食品安全状况进行评价。

2.1 食品安全评价指标体系的确立

经专家筛选,最终确定食品安全评价指标体系共 5 个一级指标、14 个二级指标。指标体系如图 1 所示。

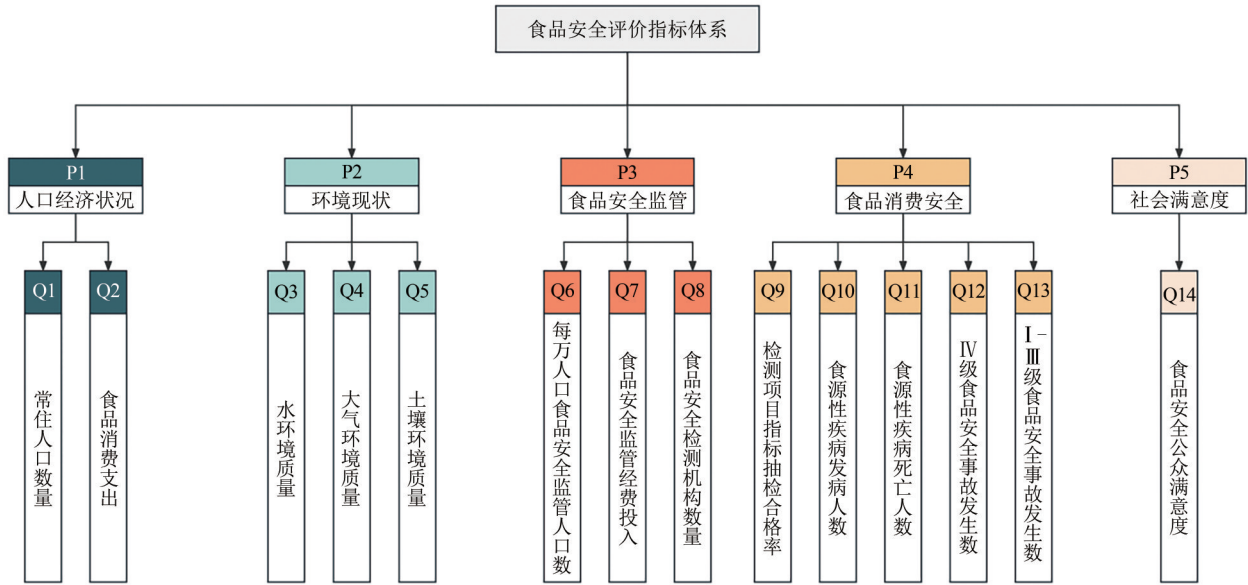


图1 食品安全评价指标体系

Figure 1 Food safety evaluation sampling index system

2.2 组合权重结果

2.2.1 确定主权重

根据各指标相对重要性两两比较的最终结果，建立判断矩阵，进行归一化处理后计算各指标的主观权重，并进行一致性检验。各指标主观权重如表2所示。

表2 食品安全评价指标主权重

Table 2 Subjective weights of food safety evaluation sampling indicators

一级指标	二级指标	ω^A	CI	CR
P ₁	Q ₁	0.015	0.000	0.000
	Q ₂	0.044		
P ₂	Q ₃	0.126	0.000	0.000
	Q ₄	0.126		
	Q ₅	0.126		
P ₃	Q ₆	0.020	0.000	0.000
	Q ₇	0.061		
	Q ₈	0.020		
	Q ₉	0.082		
P ₄	Q ₁₀	0.108	0.051	0.045
	Q ₁₁	0.067		
	Q ₁₂	0.041		
P ₅	Q ₁₃	0.038	0.000	0.000
	Q ₁₄	0.126		

由表2可知，指标两两比较结果构造的判断矩阵CR值均小于0.1，均通过了一致性检验。

2.2.2 确定客观权重和组合权重

基于评价指标原始数据计算得出各指标权重，结果如表3所示， ω^A 为主权重， ω^B 为客观权重， W_z 为组合权重。将食品安全评价模型各指标的组合权重与AHP法计算的主权重和CRITIC法计算的客观权重进行比较，发现不同赋权方法计算所得权重之间的差异较大。其中，主权重变异程度较

表3 Q₁-Q₁₄组合权重

Table 3 Q₁-Q₁₄ combination weights

评价指标	ω^A	ω^B	W_z
Q ₁	0.015	0.067	0.033
Q ₂	0.044	0.052	0.049
Q ₃	0.126	0.089	0.109
Q ₄	0.126	0.095	0.113
Q ₅	0.126	0.074	0.100
Q ₆	0.020	0.060	0.036
Q ₇	0.061	0.077	0.071
Q ₈	0.020	0.055	0.034
Q ₉	0.082	0.073	0.080
Q ₁₀	0.108	0.083	0.098
Q ₁₁	0.067	0.055	0.063
Q ₁₂	0.041	0.062	0.052
Q ₁₃	0.038	0.071	0.054
Q ₁₄	0.126	0.087	0.108

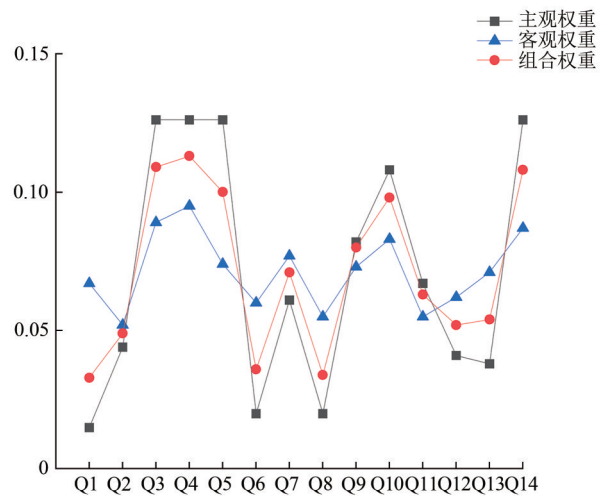


图2 Q₁-Q₁₄权重对比

Figure 2 Comparison of Q₁-Q₁₄ weights

大，客观权重变异程度较小，组合权重介于两者之间，权重比较如图2所示。AHP法具有一定的主观局限性，CRITIC法易忽略实际情况，因此组合权重

可以兼顾主、客观赋权法的优点,更科学、合理分配权重。食品安全评价指标体系中指标 Q_3 (水环境质量)、 Q_4 (大气环境质量)、 Q_5 (土壤环境质量)、 Q_{14} (食品安全公众满意度)的组合权重值相对较大,均超过了 0.1。检验项目指标抽检合格率的权重占 0.08,权重占比居中上水平。地区环境质量时刻影响着食品的生长发育及食品的加工生产,是影响地区食品安全状况的重要指标;食品安全公众满意度是检验食品安全防控治理效能的直观标准,也是反映地区食品安全总体状况的重要指标;食品安全检验项目指标抽检合格率能直观反映食品消费安全状况,体现地区市场食品安全水平。食品消费支出、食品安全事故发生数、食品安全检测机构数量等指标均能从不同角度反映地区食品安全总体状况。

2.3 食品安全状况评价

将标准化矩阵进行加权,获得加权矩阵,计算各评价对象的正理想解、负理想解及相对贴进度。为更直观地表达评价结果,将相对贴进度赋为百分制并进行排序(从高到低),结果如表 4。

表 4 食品安全状况
Table 4 Food safety status

地区	D_i^+	D_i^-	T_i	得分	排名
A ₁	0.155 7	0.460 7	0.747 4	74.74	15
A ₂	0.127 2	0.486 6	0.792 8	79.28	4
A ₃	0.147 9	0.489 3	0.767 9	76.79	12
A ₄	0.111 0	0.506 4	0.820 3	82.03	1
A ₅	0.143 1	0.480 0	0.770 3	77.03	10
A ₆	0.142 1	0.508 2	0.781 6	78.16	8
A ₇	0.125 6	0.501 0	0.799 6	79.96	3
A ₈	0.186 3	0.445 9	0.705 3	70.53	20
A ₉	0.128 6	0.482 9	0.789 8	78.98	6
A ₁₀	0.133 3	0.498 8	0.789 1	78.91	7
A ₁₁	0.166 8	0.481 5	0.742 7	74.27	16
A ₁₂	0.121 9	0.487 2	0.799 8	79.98	2
A ₁₃	0.139 6	0.498 6	0.781 2	78.12	9
A ₁₄	0.148 4	0.495 9	0.769 7	76.97	11
A ₁₅	0.162 8	0.466 8	0.741 5	74.15	18
A ₁₆	0.158 0	0.474 0	0.750 0	75.00	14
A ₁₇	0.133 8	0.503 9	0.790 2	79.02	5
A ₁₈	0.165 2	0.451 1	0.732 0	73.20	19
A ₁₉	0.161 0	0.462 2	0.741 6	74.16	17
A ₂₀	0.190 4	0.445 8	0.700 8	70.08	21
A ₂₁	0.155 4	0.485 7	0.757 6	75.76	13

由表 4 可知,A 省 21 个地区的食品安全状况得分均在 70 分以上,其中 A₄地区排名第 1,食品安全状况得分为 82.03 分,而排名最后的 A₂₀地区得分仅为 70.08 分。由图 3 可看出以上差异在于 A₄地区的各项评价指标的水平均在中上水平,且权重值较高的指标如 Q_3 (水环境质量)、 Q_4 (大气环境质量)、 Q_{14} (食品安全公众满意度)也优于大多数地区;A₂₀地区的几个高权重指标的排名都较差,如 A₂₀地

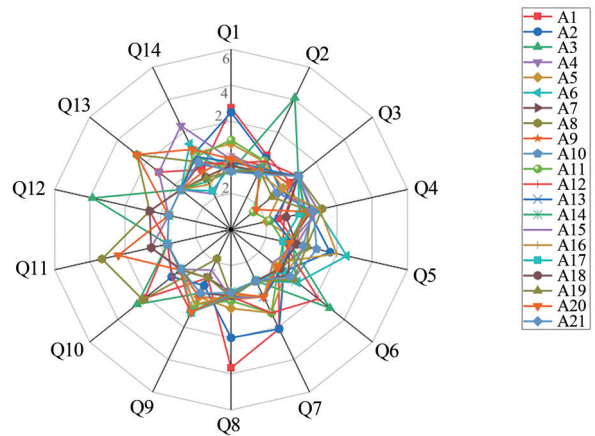


图 3 A 省 21 个地市食品安全状况雷达图

Figure 3 Radar map of the food safety situation in 21 municipalities in A Province

区的 Q_3 、 Q_5 、 Q_{14} 均较低且与其他地区的水平差距较大,但这些不足正好为 A₂₀地区将来的食品安全改进工作提供了具体方向和改善依据。上述分析表明,对一个地区的食品安全状况进行评估应当结合多个因素、多个层面,评估得到的不仅仅是直观的好坏排序结果,更要从不同的因素分析中反映出今后提高食品安全状况的重点环节,只有这样才能使我们的食品安全监管更科学、更客观公正。

3 结论

本研究综合考虑膳食结构、食品消费量和抽检不合格率等因素,通过德尔菲法构建食品安全评价指标体系,基于主观权重和客观权重运用 AHP-CRITIC 组合赋权法对各指标赋权,不仅减小了主观赋权法的偏向性,也减小了数据变化导致权重值的波动。基于抽检结果及指标基础数据,运用组合赋权-TOPSIS 法对评价对象的食品安全状况进行评估,为食品安全状况评价提供了一种新方法。并通过运用于 A 省评价性抽检工作,对 A 省 21 个地级市进行食品安全评价,为将来制定食品安全评价性抽检方案提供参考,也为 A 省居民提供各地级市食品安全状况评估概况。希望在未来拓展研究,结合其他地区乃至国家的实际情况构建更适宜的、覆盖面更广的食品安全评价模型。

参考文献

[1] MACHADO N V, AULER D P, TEIXEIRA R. Food safety in global supply Chains: a literature review [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(4): 883-891.
 [2] 郝建军, 付淑清. 浅谈食品质量安全的问题和对策 [J]. 食品安全导刊, 2023(4): 1-3.
 HAO J J, FU S Q. Problems and countermeasures of food quality and safety [J]. China Food Safety Magazine, 2023(4): 1-3.

- [3] 李太平. 基于分类抽样原理的我国食品安全状况定量评价研究[J]. 农业经济问题, 2020(9): 132-142.
LI T P. Study on China's food safety situation evaluation with classification random sampling theory[J]. Issues in Agricultural Economy, 2020(9): 132-142.
- [4] 杜树新, 韩绍甫. 基于模糊综合评价方法的食品安全状态综合评价[J]. 中国食品学报, 2006(6): 64-69.
DU S X, HAN S F. Comprehensive evaluation for food safety state based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2006(6): 64-69.
- [5] 吴广枫, 陈思, 郭丽霞, 等. 我国食品安全综合评价及食品安全指数研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(9): 1-6.
WU G F, CHEN S, GUO L X, et al. Research on food safety comprehensive evaluation and food safety index in China [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(9): 1-6.
- [6] 刘文, 李强, 刘鹏, 等. 食品安全指数的构建研究与实证分析[J]. 食品科学, 2015, 36(11): 191-196.
LIU W, LI Q, LIU P, et al. Construction of food safety index and its empirical analysis [J]. Food Science, 2015, 36(11): 191-196.
- [7] 李太平. 我国食品安全指数的编制理论与应用研究——以国家食品抽检数据为例[J]. 农业经济问题, 2017, 38(7): 80-87, 111-112.
LI T P. On the theory and application of chinese food safety index: A case of national food quality sampling and detecting data[J]. Issues in Agricultural Economy, 2017, 38(7): 80-87, 111-112.
- [8] 王铭, 蔡淑琴, 蔡弘. 食品安全评价体系初探[J]. 商场现代化, 2008(7): 48-49.
WANG G, CAI S Q, CAI H. Preliminary study on food safety evaluation system[J]. Market Modernization, 2008(7): 48-49.
- [9] BRICEÑO-LEÓN C X, SANCHEZ-FERRER D S, IGLESIAS-REY P L, et al. Methodology for Pumping Station Design Based on Analytic Hierarchy Process (AHP)[J]. Water, 2021, 13(20): 2886.
- [10] WU Q, JIANG H J, CHEN H Q. Establishment of infection prevention and control strategy in nursing managements during surgical operations in COVID-19 patients based on Delphi method[J]. Nursing Open, 2023, 10(6): 3906-3913.
- [11] WANG Y, ZHAI R, SUN B, et al. Microcapsule synthesis and evaluation on fatigue and healing of microcapsule-based asphalt by the entropy and TOPSIS method[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2022, 23(13): 4610-4621.
- [12] 徐先锋, 邢鹏飞, 王岁红, 等. 基于博弈论 G1-EW-TOPSIS 法的岩体质量评价和应用[J]. 黄金科学技术, 2022, 30(5): 704-712.
XU X F, XING P F, WANG S H, et al. Rock mass quality evaluation and application based on game theory and G1-EW-TOPSIS method [J]. Gold Science and Technology, 2022, 30(5): 704-712.
- [13] ZHANG F, WANG P, MU P, et al. A Comprehensive Evaluation Method for the Service Status of Groins in Waterways Based on an AHP-Improved CRITIC Combination Weighting Optimization Model[J]. Sustainability, 2022, 14(17): 10709.
- [14] 陈慧君, 刘焕, 黄卓权, 等. 基于 Delphi-AHP 法的菜薹质量安全影响因素研究[J]. 中国蔬菜, 2021(7): 88-92.
CHEN H J, LIU H, HUANG Z Q, et al. Studies on factors affecting quality and safety of flowering chinese cabbage based on Delphi-AHP[J]. China Vegetables, 2021(7): 88-92.
- [15] MOUSAVI S M, TAVAKKOLI-MOGHADDAM R, HEYDAR M, et al. Multi-Criteria Decision Making for Plant Location Selection: An Integrated Delphi-AHP-PROMETHEE Methodology[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2013, 38(5): 1255-1268.
- [16] 周元, 薛瑞楠, 魏颖, 等. 食品安全综合评价指标体系构建与应用[J]. 食品与机械, 2022, 38(10): 69-75+81.
ZHOU Y, XUE R N, WEI Y, et al. Construction and application of a comprehensive evaluation index system for food safety [J]. Food & Machinery, 2022, 38(10): 69-75+81.
- [17] 吴为, 顿中军, 江金女, 等. 广东省食品安全状况评价指标体系构建研究[J]. 华南预防医学, 2017, 43(3): 226-229.
WU W, DUN Z J, JIANG J N, et al. Establishment of evaluation index system on food safety in Guangdong Province [J]. South China Journal of Preventive Medicine, 2017, 43(3): 226-229.
- [18] 王冀宁, 潘晓晓, 熊强, 等. 基于网络层次分析的我国食品生产环节安全监管指数模型研究[J]. 科技管理研究, 2018, 38(19): 209-215.
WANG Y N, PAN X X, XIONG Q, et al. Safety supervision index model of food production in China based on network Analytical Hierarchy Process (ANP) [J]. Science and Technology Management Research, 2018, 38(19): 209-215.
- [19] 章德宾, 徐家鹏, 许建军, 等. 基于监测数据和 BP 神经网络的食物安全预警模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 221-226.
ZHANG D B, XU J P, XU J J, et al. Model for food safety warning based on inspection data and BP neural network [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 221-226.
- [20] 刘於勋. 食品安全综合评价指标体系的层次与灰色分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2007(5): 53-57.
LIU Y X. Hierarchy and grey analysis of the synthetical evaluation index system of food security [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2007(5): 53-57.
- [21] 苟廷佳, 陆威文. 基于组合赋权 TOPSIS 模型的生态文明建设评价——以青海省为例[J]. 统计与决策, 2020, 36(24): 57-60.
- [22] 缪璐, 朱珂, 曹轶群, 等. 多维度食品安全评估指数体系模型的构建及应用[J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 49-54+158.
MIAO L, ZHU K, CAO Y Q, et al. Construction and application of multi-dimensional food safety evaluation index system model [J]. Food & Machinery, 2023, 39(5): 49-54+158.
- [23] 罗宁, 贺墨琳, 高华, 等. 基于改进的 AHP-CRITIC 组合赋权与可拓评估模型的配电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(16): 86-96.

- LUO N, HE M L, GAO H, et al. Comprehensive evaluation method for a distribution network based on improved AHP-CRITIC combination weighting and an extension evaluation model [J]. *Power System Protection and Control*, 2021, 49(16): 86-96.
- [24] 张纾宁. 基于CRITIC-AHP权重分析法的大型集会活动风险管理研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2021: 15-25.
- ZHANG S Y. Risk management research on Large-Scale gathering event based on CRITIC-AHP [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021: 15-25.
- [25] ALIZADEH S, SALARI RAD M M, BAZZAZI A A. Alunite processing method selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment [J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2016, 26(6): 1017-1023.
- [26] YANG L, LI Y. A new method for ranking the usefulness of negative online reviews based on combined weighting method and improved TOPSIS [J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2022, 42(4): 3719-3736.
- [27] 胡杰, 鲍帆. 基于组合赋权-TOPSIS模型的机场运行效率评价[J]. *系统仿真学报*, 2023, 35(12): 2570-2581.
- HU J, BAO F. Airport operational efficiency evaluation based on combined weighting-TOPSIS model [J]. *Journal of System Simulation*, 2023, 35(12): 2570-2581.