

食品安全标准及监督管理

基于层次分析法和风险矩阵的进口酒类安全风险模糊综合评价

郭学文¹, 谢文², 张彦彬³, 乔俊琴¹, 练鸿振¹

(1. 南京大学现代分析中心, 南京大学化学化工学院, 生命分析化学国家重点实验室, 江苏南京 210093; 2. 杭州海关技术中心, 浙江杭州 311215; 3. 广州海关技术中心, 广东广州 510623)

摘要:目的 为进一步提高海关监管部门对进口酒类安全风险的预测预警能力, 保障我国食品安全, 加速通关效率, 构建进口酒类安全风险模糊综合评价模型。方法 基于调查结果, 利用层次分析法计算各指标的权重, 运用风险矩阵获得模糊隶属度矩阵, 进行模糊综合运算得到各级指标风险值, 同时模型引入动态调节因子, 最终实现对具体批次进口酒的风险等级评价。结果 我国进口酒类安全风险等级为中风险, 检测项目中甲醇风险值最高(82.917), 纳他霉素风险值最低(52.083)。结论 模型可根据进口酒类总体风险等级和检测项目风险值大小输出推荐检测项目, 具有较高的可靠性, 可为进口食品安全风险评价及管理工作提供参考。

关键词: 酒类; 风险评价; 模糊综合评价; 层次分析法; 风险矩阵

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2023)07-1080-08

DOI: 10.13590/j.cjfh.2023.07.017

Fuzzy comprehensive evaluation of imported alcohol safety risk based on AHP and risk matrixGUO Xuewen¹, XIE Wen², ZHANG Yanbin³, QIAO Junqin¹, LIAN Hongzhen¹

(1. Center of Materials Analysis and School of Chemistry & Chemical Engineering, State Key Laboratory of Analytical Chemistry for Life Science, Nanjing University, Jiangsu Nanjing 210093, China; 2. Technology Center of Hangzhou Customs District, Zhejiang Hangzhou 311215, China; 3. Guangzhou Customs Technology Center, Guangdong Guangzhou 510623, China)

Abstract: Objective To improve the prediction and early warning ability of the customs supervision department on the safety risk of imported alcohol, ensure food safety in China, and accelerate the efficiency of customs clearance, a fuzzy comprehensive evaluation model of imported alcohol safety risk based on analytic hierarchy process and risk matrix was constructed. **Methods** Based on the expert investigation results, the weight of each index was determined using the analytic hierarchy process, and the fuzzy membership matrices were obtained using the risk matrix. Subsequently, the risk value of each index was obtained using a fuzzy comprehensive algorithm. Simultaneously, a dynamic adjustment factor was introduced to finally realize the risk grade evaluation of specific batches of imported alcohol. **Results** The safety risk level of imported alcohol for China was medium. Among the analyzed items, methanol had the highest risk value (82.917), while natamycin had the lowest risk value (52.083). **Conclusion** The recommended detection items can be output by the established model according to the overall risk level of imported alcohol and the risk value of detection items. The model has high reliability and can provide a reference for the safety risk assessment and management of imported food.

Key words: Alcohol; risk assessment; fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process; risk matrix

近年来,我国酒类进口额逐年增长,2014—2021年我国酒类年进口额从177亿元人民币增至430亿元人民币^[1-2],年均复合增长率超过10%。酒

类进口量增长的同时,进口酒潜在的安全风险也同时增大。根据海关总署进出口食品安全局公布的2021年未准入境的食品信息中,酒类存在上百批次不合格记录,如甲醇含量不符合国家标准要求、铅超标、氰化物超标、超范围使用食品添加剂、产品霉变等。如何实现精准布控,一方面及时发现风险隐患,保障公众健康,另一方面加快通关效率,提高经济效益,一直是我国口岸监管部门面临的挑战^[3-4]。因此需要进一步完善我国的进口酒类风险管理体

收稿日期:2022-07-12

基金项目:国家重点研发计划(2019YFC1605400)

作者简介:郭学文 女 工程师 研究方向为食品检测与风险分析 E-mail: guoxuewen@nju.edu.cn

通信作者:乔俊琴 女 高级工程师 研究方向为分析化学与食品检测 E-mail: qiaojunqin@nju.edu.cn

系,建立一套科学有效的风险评价模型,为进口食品安全监管决策提供科学有效的理论支持。

在食品安全风险评价方面,国内外学者已通过大量研究,提出了一些风险评价的方法,常用的主要有 Delphi 专家调查法^[5]、层次分析法 (Analytic hierarchy process, AHP)^[6]、熵值法^[7]、模糊综合评价法^[8]、人工神经网络法^[9]等。然而在综合评价中单一的评价方法总存在一定不足,研究者发现联合应用不同的评价方法,可以扬长避短,实现对评价对象的深入研究。在解决难以量化的问题中,模糊综合评价法基于模糊隶属度理论,可以将定性评价转化为定量评价^[10],其与其他方法的联合运用虽然在火灾风险评估^[11]、生态环境评价^[12]、金融风险投资决策^[13]等各领域已应用广泛,但在进口食品安全领域,尤其是酒类安全风险评价方面应用较少。

本研究基于 AHP 和风险矩阵建立了进口酒类安全风险的模糊综合评价模型,模型采用 AHP 确定各风险指标的权重,运用风险矩阵获得模糊隶属度

矩阵,通过模糊综合运算得到各级指标风险值,同时模型引入动态调节因子,以实现具体批次进口酒安全风险等级评价,为进口酒类的管理及风险防控工作提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

1.1.1 评价指标筛选

根据国家食品安全抽检实施细则(2018年版、2019年版、2020年版、2021年版)内容及海关总署2019年度、2020年度、2021年度进口食品化妆品安全抽样检验项目,结合过去进口酒类安全问题的特征及发生条件,从实际监管可操作性的角度出发,对评价指标进行筛选,建立评价指标体系,包括理化指标、污染物、食品添加剂、生物毒素、非法添加和其他风险项6个一级指标,6个一级指标下又分别包括酒精度、甲醇、氰化物、甲醛、铅等27个二级指标,具体评价指标体系构建见表1。

表1 进口酒类安全风险评价指标体系

Table 1 Index system of imported alcohol safety risk assessment

评价指标体系(目标层)	一级指标(准则层)	二级指标(指标层)
进口酒类安全风险评价指标体系 A	理化指标 B ₁	酒精度 C ₁₁
		甲醇 C ₁₂
		氰化物 C ₁₃
		甲醛 C ₁₄
	污染物 B ₂	铅 C ₂₁
		塑化剂 C ₂₂
	食品添加剂 B ₃	苯甲酸及其钠盐 C ₃₁
		山梨酸及其钾盐 C ₃₂
		脱氢乙酸及其钠盐 C ₃₃
		纳他霉素 C ₃₄
		甜味剂 C ₃₅
		合成着色剂 C ₃₆
		二氧化硫残留量 C ₃₇
		富马酸 C ₃₈
		羧甲基纤维素钠 C ₃₉
		咖啡因 C ₃₁₀
	生物毒素 B ₄	赭曲霉毒素 A C ₄₁
		交链孢毒素 C ₄₂
		展青霉素 C ₄₃
	非法添加 B ₅	工业大麻香精 C ₅₁
		金箔 C ₅₂
	其他风险项 B ₆	产品过期 C ₆₁
		感官检验不合格 C ₆₂
		包装不合格 C ₆₃
		假冒伪劣 C ₆₄
		标签不合格 C ₆₅

1.1.2 数据来源

本研究数据获取采用专家调查法,根据建立的评价指标体系,邀请相关领域的12位专家分别对

进口酒类安全风险评价指标体系中的二级指标进行评估,从风险发生的可能性和严重性两个角度进行打分,其中可能性有5种:几乎确定、很可能、可

能、不太可能、几乎不可能,对应得分分别为5分、4分、3分、2分、1分;严重性有5种:很严重、严重、一般、轻微、可忽略,对应得分分别为5分、4分、3分、2分、1分。可能性和严重性等级划分规则参考周烽等^[14]的研究。

1.2 方法

本研究的方法主要为模糊综合评价法。模糊综合评价是根据模糊数学理论的隶属度,将定性评价转化为定量评价,并建立相应的模型用于计算和评估。首先确定被评价对象的因素集、评语集,再分别确定各个因素的权重及其隶属度向量,获得模糊评判矩阵,将模糊评判矩阵与因素的权向量进行模糊运算,得到模糊综合评价结果。模糊综合评价的两个重要环节是确定每个评价指标的权重和进行单因素评价构建隶属度向量^[10]。其中指标权重的确定通常由决策者直接指定,然而对于复杂的问题,很难直接给出每个评价指标的权重,而这正是层次分析法擅长的问题。层次分析法是定性和定量决策方法的结合,通过对问题的分解,将复杂问题分解为多个子问题,通过对评价指标的两两比较,得出评价指标的权重^[6]。风险矩阵法是一种利用二维矩阵将风险发生的可能性和危害的严重程度综合评估的定性评估方法^[15]。风险矩阵的引入,可以更加合理地实现模糊综合评价中对单因素风险等级的评价。

1.2.1 确定因素集

因素集是由影响评价对象的各种因素所组成的一个集合。本研究中模糊综合评价分为两级评价,评价指标体系中的第二级指标(指标层)为第一级指标(准则层)的因素集,两者构成第一级评价;评价指标体系中的第一级指标(准则层)为评价指标体系(目标层)的因素集,两者构成第二级评价。

1.2.2 确定评语集

评语集是研究因素可能的评价结果组成的集合,风险等级分为5级,评语集合为:风险等级={极高,高,中,低,极低}。

1.2.3 AHP法确定因素权向量

AHP法是一种定性和定量相结合的、系统化、层次化的分析方法。通过分析复杂系统所包含的因素及相关关系,将问题条理化、层次化,将每一层次各要素两两比较,按照一定的标度理论,得到相对重要程度的比较标度,并建立判断矩阵,计算判断矩阵的最大特征值及其特征向量,得到各层次要素对上层次某要素的重要性次序,从而建立权重向量。具体步骤如下:

(1)建立层次结构模型。

(2)构造判断矩阵。同一层次的指标两两比较其相对重要性,以此来构造判断矩阵。

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \quad \text{式(1)}$$

式中 a_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的相对重要性比较结果,可按 1~9 标度法对重要性程度赋值。其中,1~9 数值的大小表示前者与后者相比的重要程度,数值越大则重要程度越大,相互之间的倒数即为后者对前者的比较重要程度。

(3)权值计算,利用和积法计算权值步骤^[16]:

将 A 的每一列向量归一化:

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad \text{式(2)}$$

对按列归一化的判断矩阵,再按行求和:

$$\bar{w}_i = \bar{a}_{ij}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad \text{式(3)}$$

将向量 $\bar{w} = [\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n]^T$ 归一化即为各指标对上一层指标的权向量:

$$\bar{w}_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad \text{式(4)}$$

(4)一致性检验。

计算最大特征根:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{n w_i} \quad \text{式(5)}$$

计算一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{式(6)}$$

计算一致性比例:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{式(7)}$$

当 $CR < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性可以接受,其中 RI 取值见表 2。

表2 平均随机一致性标度 RI

Table 2 Average random consistency scale RI	
阶数	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
RI	0 0 0.58 0.9 1.12 1.24 1.32 1.41 1.45 1.49

在风险评估中风险的重要性是指风险造成后果的严重程度,因此本研究利用对各因素严重性打分的结果计算权向量。将专家对严重性打分的结果取平均,采用改进的 Saaty 1-9 标度法(表 3)对指标分值进行两两比较,得到判断矩阵,通过和积法^[16]计算出最大特征根 λ_{\max} 及其特征向量,并进行矩阵一致性检验,得到各因素权重。其中一级指标的严重性得分由二级指标的严重性得分结果与二级指标的权重进行加权平均计算得到。二级指标与一级指标权重之积为总排序权重。

表3 改进的 Saaty 1-9 标度法
Table 3 Improved Saaty 1-9 scale method

B _i 指标值	[1.000, 1.444)	[1.444, 1.888)	[1.888, 2.332)	[2.332, 2.776)	[2.776, 3.220)	[3.220, 3.664)	[3.664, 4.108)	[4.108, 4.552)	[4.552, 5.000]
B _j 指标值									
[1.000, 1.444)	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9
[1.444, 1.888)	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8
[1.888, 2.332)	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
[2.332, 2.776)	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
[2.776, 3.220)	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5
[3.220, 3.664)	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4
[3.664, 4.108)	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3
[4.108, 4.552)	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2
[4.552, 5.000]	9	8	7	6	5	4	3	2	1

1.2.4 风险矩阵法构建隶属度矩阵

隶属度矩阵是由单因素的隶属度向量构成的矩阵。按照风险矩阵法^[15],利用专家打分结果,将风险因素发生的可能性和严重性对照风险矩阵表(表4)得出对应因素的风险等级,再根据每个等级的专家打分人数占总人数的百分比形成单因素的隶属度向量,单因素隶属度向量组合形成隶属度矩阵。

表4 风险矩阵表
Table 4 Risk matrix

	严重性				
可能性	可忽略	轻微	一般	严重	很严重
几乎确定	中	高	高	极高	极高
很可能	中	中	高	高	极高
可能	低	低	中	高	高
不太可能	极低	低	低	中	高
几乎不可能	极低	极低	低	中	中

表5 进口酒类安全风险等级评价表

Table 5 Evaluation form of imported alcohol safety risk level

风险值 F	风险等级	加权值 M_i	风险管理
[0, 40]	极低	20	实施5%常规抽检,检测风险值排前20%的项目
(40, 60]	低	50	实施20%强化检测,检测风险值排前50%的项目
(60, 80]	中	75	实施50%检测,检测风险值排前70%的项目
(80, 90]	高	90	实施80%加严检测,检测风险值排前85%的项目
(90, 100]	极高	100	实施批批检测,所有项目均检测

1.2.7 动态调节因子

影响进口酒类安全的因素众多,对同一类产品,从不同国家进口或者通过不同进口方式进口时其风险是不同的,因此在对具体批次进口酒进行风险评价时,除酒类产品自身的性质外,还要考虑进口国家的食品安全管理水平、食品的跨境方式等因素。在此引入动态调节因子 H (表6),对风险值及抽检率和检测项目比例进行调节,以实现具体批次进口酒的精准管理。其中动态调节因子取值由经验所得,或专家制定统一规则,监管人员根据实际情况、经验或专家制定的规则进行设置。具体批次进口酒的最终风险值 F' 根据式(9)计算得出,再对照表5,得到该具体批次进口酒的风险等级及管理措施。

$$F' = F \times H \tag{9}$$

1.2.5 建立综合评价模型

确定因素权向量 \bar{W} 和模糊隶属度矩阵 $R_{n \times m}$ 后,通过模糊变化得到模糊综合评价向量 \bar{B} ,即 $\bar{B} = \bar{W} \circ R_{n \times m}$,其中 \circ 为综合评价合成算子,这里采用加权平均型的 $(+, \cdot)$ 矩阵乘法算子。

1.2.6 风险值及风险等级确定

依据相关资料及专家调研,对进口酒类安全风险等级进行了相应的划分,构建了进口酒类安全风险评价等级表,如表5所示。将综合评价向量 \bar{Z} 和评价等级加权值矩阵 M 依据式(8)运算得到各级指标和进口酒类安全风险评价的综合得分,记为风险值 F ,并将风险值 F 对照表5,判断出进口酒类最终所处的风险等级,根据风险等级和二级指标的风险值排序情况确定抽检项目,式中 $M = [M_1 M_2 M_3 M_4 M_5] = [20 \ 50 \ 75 \ 90 \ 100]$ 。

$$F = \bar{Z} M^T \tag{8}$$

1.3 统计学分析

本研究中所有数据采用 Matlab R2019b 进行分析和计算。

2 结果

针对进口酒类安全风险问题,共向12位海关技术专家发放了进口酒类风险评估问卷以确定各指标风险等级和指标权重。邀请的12位专家全部具有高级职称,平均专业工作年限达25.8年,调查结果可信度高。

2.1 判断矩阵与权重计算

通过层次分析法的计算步骤,将所有专家对二

表6 动态调节因子
Table 6 Dynamic regulation factors

动态调节因子H	动态调节因子描述	制定规则
国别因子	进口国家食品管理水平(与我国管理水平相比) 进口国家限量标准(与我国标准相比)	由经验所得,或由专家制定统一规则,监管人员根据实际情况、经验或专家制定的规则进行设置
贸易因子	进口国家疫情疫病状况 食品跨境方式(一般贸易、跨境电商等) 运输方式(常温运输、冷链运输等)	
舆情因子	国际通报不合格信息 国内抽检不合格信息	

级指标严重性打分结果取平均值,按照改进的Saaty 1-9 标度法(表3)对指标得分两两比较,得到二级指标的判断矩阵,通过和积法计算得到二级指标中各指标权重,将专家对二级指标严重性打分结果与其权重进行加权求平均值,得到一级指标的严重性分值,同样根据表3构造一级指标判断矩阵,得到一级指标的权重,二级指标与一级指标权重之积为总排序权重,具体判断矩阵和权重值结果分别如表7~13和表14所示。经计算,所有判断矩阵一致性比率CR<0.1,均通过一致性检验。

表7 一级指标判断矩阵

Table 7 Judgment matrix of the first-level index

项目	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
B ₁	1	1/2	2	1	1	2
B ₂	2	1	3	2	2	3
B ₃	1/2	1/3	1	1/2	1/2	1
B ₄	1	1/2	2	1	1	2
B ₅	1	1/2	2	1	1	2
B ₆	1/2	1/3	1	1/2	1/2	1

表8 理化指标B₁判断矩阵

Table 8 Judgment matrix of physical and chemical indexes B₁

项目	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄
C ₁₁	1	1/4	1/4	1/3
C ₁₂	4	1	1	2
C ₁₃	4	1	1	2
C ₁₄	3	1/2	1/2	1

表9 污染物B₂判断矩阵

Table 9 Judgment matrix of contaminants B₂

项目	C ₂₁	C ₂₂
C ₂₁	1	1
C ₂₂	1	1

将表14中的相关权重值构建对应的权向量,其中 $\bar{W}_A = [0.170 \ 0.311 \ 0.089 \ 0.170 \ 0.170 \ 0.089]$,即B₁、B₂、B₃、B₄、B₅、B₆这6个一级指标相对于A的权向量。

$\bar{W}_{B_1} = [0.082 \ 0.359 \ 0.359 \ 0.200]$,即C₁₁、C₁₂、C₁₃、C₁₄这4个二级指标相对于B₁的权向量。

$\bar{W}_{B_2} = [0.500 \ 0.500]$,即C₂₁、C₂₂这2个二级指标相对于B₂的权向量。

$\bar{W}_{B_3} = [0.111 \ 0.111 \ 0.056 \ 0.111 \ 0.111 \ 0.111]$,即C₃₁、C₃₂、C₃₃、C₃₄、C₃₅、C₃₆、C₃₇、C₃₈、C₃₉、C₃₁₀这10个二级指标相对于B₃的权向量。

$\bar{W}_{B_4} = [0.333 \ 0.333 \ 0.333]$,即C₄₁、C₄₂、C₄₃这3个二级指标相对于B₄的权向量。

$\bar{W}_{B_5} = [0.750 \ 0.250]$,即C₅₁、C₅₂这2个二级指标相对于B₅的权向量。

$\bar{W}_{B_6} = [0.125 \ 0.250 \ 0.125 \ 0.250 \ 0.125 \ 0.125]$,即C₆₁、C₆₂、C₆₃、C₆₄、C₆₅、C₆₆这6个二级指标相对于B₆的权向量。

2.2 隶属度矩阵构建和模糊综合评价

由问卷表打分结果对照风险矩阵表(表4)得到第二级指标的风险等级,将风险等级结果按照专家人数进行统计,并根据每个等级的专家打分人数占总人数的百分比进行归一化处理,得到第二级指标的隶属度向量,第二级指标的隶属度向量组合得到第一级指标的隶属度矩阵。结果如下:

$$R_{B_1} = \begin{bmatrix} 0.083 & 0.250 & 0.417 & 0.250 & 0.000 \\ 0.000 & 0.167 & 0.250 & 0.250 & 0.333 \\ 0.083 & 0.333 & 0.167 & 0.417 & 0.000 \\ 0.083 & 0.500 & 0.167 & 0.167 & 0.083 \end{bmatrix}$$

$$R_{B_2} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.417 & 0.250 & 0.167 & 0.167 \\ 0.000 & 0.025 & 0.025 & 0.500 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_{B_3} = \begin{bmatrix} 0.083 & 0.583 & 0.250 & 0.083 & 0.000 \\ 0.167 & 0.417 & 0.333 & 0.083 & 0.000 \\ 0.167 & 0.583 & 0.167 & 0.083 & 0.000 \\ 0.250 & 0.417 & 0.250 & 0.083 & 0.000 \\ 0.000 & 0.250 & 0.750 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.333 & 0.667 & 0.000 & 0.000 \\ 0.083 & 0.417 & 0.250 & 0.167 & 0.083 \\ 0.167 & 0.500 & 0.333 & 0.000 & 0.000 \\ 0.167 & 0.500 & 0.333 & 0.000 & 0.000 \\ 0.167 & 0.417 & 0.250 & 0.167 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_{B_4} = \begin{bmatrix} 0.083 & 0.417 & 0.250 & 0.167 & 0.083 \\ 0.083 & 0.500 & 0.333 & 0.000 & 0.083 \\ 0.083 & 0.417 & 0.333 & 0.083 & 0.083 \end{bmatrix}$$

$$R_{B_5} = \begin{bmatrix} 0.083 & 0.250 & 0.417 & 0.250 & 0.000 \\ 0.083 & 0.583 & 0.333 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

表 10 食品添加剂 B₃判断矩阵
Table 10 Judgment matrix of food additives B₃

项目	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅	C ₃₆	C ₃₇	C ₃₈	C ₃₉	C ₃₁₀
C ₃₁	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
C ₃₂	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
C ₃₃	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2
C ₃₄	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
C ₃₅	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
C ₃₆	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
C ₃₇	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
C ₃₈	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2
C ₃₉	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
C ₃₁₀	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1

表 11 生物毒素 B₄判断矩阵
Table 11 Judgment matrix of biological toxin B₄

项目	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃
C ₄₁	1	1	1
C ₄₂	1	1	1
C ₄₃	1	1	1

表 12 非法添加 B₅判断矩阵
Table 12 Judgment matrix of illegal addition B₅

项目	C ₅₁	C ₅₂
C ₅₁	1	3
C ₅₂	1/3	1

表 13 其他风险 B₆判断矩阵
Table 13 Judgment matrix of other risks B₆

项目	C ₆₁	C ₆₂	C ₆₃	C ₆₄	C ₆₅	C ₆₆
C ₆₁	1	1/2	1	1/2	1	1
C ₆₂	2	1	2	1	2	2
C ₆₃	1	1/2	1	1/2	1	1
C ₆₄	2	1	2	1	2	2
C ₆₅	1	1/2	1	1/2	1	1
C ₆₆	1	1/2	1	1/2	1	1

$$R_{B_6} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.333 & 0.333 & 0.083 & 0.083 \\ 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 \\ 0.083 & 0.417 & 0.250 & 0.250 & 0.000 \\ 0.083 & 0.167 & 0.417 & 0.167 & 0.167 \\ 0.000 & 0.333 & 0.500 & 0.083 & 0.083 \\ 0.083 & 0.333 & 0.500 & 0.083 & 0.000 \end{bmatrix}$$

利用第二级指标的隶属度矩阵与第二级指标的权向量进行模糊评价运算,得到第一级指标的安全风险模糊综合评价向量,亦即第一级指标的隶属度向量。由第一级指标的隶属度向量组合构建第一级指标的模糊隶属度矩阵 R_A ,并将 R_A 与对应的权向量 \overline{W}_A 进行模糊评价运算,得到酒类安全风险模糊综合评价向量 \overline{Z}_A 。

$$\overline{Z}_A = \overline{W}_A \cdot R_A = [0.054 \ 0.351 \ 0.305 \ 0.221 \ 0.070]$$

将酒类安全风险模糊综合评价向量、一级指标的模糊综合评价向量、二级指标的隶属度向量分别与预设等级加权值矩阵 M 进行模糊评价运算得到

进口酒类总体风险和各级指标的综合得分,即风险值,结果见表 14。由表 14 可知,进口酒类风险值为 68.316,对列表 5 可得进口酒类的总体风险等级为“中”风险,需实施 50% 抽检,检测项目可检测风险值前 70% 的项目。二级指标检测项目中甲醇风险值最高为 82.917,纳他霉素风险值最低为 52.083,风险值排前 70% 的项目分别为(风险值由高到低排序):甲醇、塑化剂、假冒伪劣、感官检验不合格、铅、标签不合格、甜味剂、氰化物、酒精度、工业大麻香精、合成着色剂、二氧化硫残留量、赭曲霉毒素 A、包装不合格、展青霉素、未按要求提供证书或合格证明材料、甲醛、产品过期、交链孢毒素、咖啡因。对海关总署进出口食品安全局报道的 2020—2021 年未准入境的食品信息进行整理统计,酒类不合格记录共有 21 类,具体不合格记录发生批次和占总批次的比例见表 15。对比表 15 可知,模型检测项目推荐结果与海关总署进出口食品安全局报道未准入境的食品信息中不合格记录有 13 项重叠,重叠项目占总批次比例达 82.9%,重叠度很高。此外,根据调研^[17-18],体系中二级指标(其他风险项除外)相对毒性由大到小分别为:氰化物、赭曲霉毒素 A、展青霉素、交链孢毒素、甲醛、塑化剂、咖啡因、铅、工业大麻香精、脱氢乙酸及其钠盐、纳他霉素、苯甲酸及其钠盐、山梨酸及其钾盐、甲醇、二氧化硫、羧甲基纤维素钠、富马酸、金箔、合成着色剂、甜味剂、酒精度。由于模型风险值结果综合考虑了指标不合格发生的可能性与严重性,结合表 15 中不合格记录发生比例及文献报道各指标毒性可知模型输出推荐项目比较合理,说明此模型具有较高的可靠性。

2.3 动态调节因子运用

对具体批次进口酒,例如有一批从 A 国进口的甲类酒报关,假设 A 国生产的甲类酒近期曾被我国或其他国家通报不合格,监管部门对设置的动态调节因子取值为 1.2,该批次进口酒的总体风险值为

表14 评价指标体系权重值及各级指标风险值

Table 14 Weight value of evaluation index system and value at risk of each index

总体风险值(目标层)	一级指标(准则层)	指标权重	风险值	二级指标(指标层)	指标权重	指标总排序	风险值
68.316	理化指标 B ₁	0.170	72.368	酒精度 C ₁₁	0.082	0.014 0	67.917
				甲醇 C ₁₂	0.359	0.061 1	82.917
				氰化物 C ₁₃	0.359	0.061 1	68.333
				甲醛 C ₁₄	0.200	0.034 0	62.500
	污染物 B ₂	0.311	73.75	铅 C ₂₁	0.500	0.155 3	71.250
				塑化剂 C ₂₂	0.500	0.155 3	76.250
	食品添加剂 B ₃	0.089	58.883	苯甲酸及其钠盐 C ₃₁	0.111	0.009 9	57.083
				山梨酸及其钾盐 C ₃₂	0.111	0.009 9	56.667
				脱氢乙酸及其钠盐 C ₃₃	0.056	0.005 0	52.500
				纳他霉素 C ₃₄	0.111	0.009 9	52.083
				甜味剂 C ₃₅	0.111	0.009 9	68.750
				合成着色剂 C ₃₆	0.111	0.009 9	66.667
				二氧化硫残留量 C ₃₇	0.111	0.009 9	64.583
				富马酸 C ₃₈	0.056	0.005 0	53.333
				羧甲基纤维素钠 C ₃₉	0.111	0.009 9	53.333
				咖啡因 C ₃₁₀	0.111	0.009 9	57.917
	生物毒素 B ₄	0.170	62.576	赭曲霉毒素 A C ₄₁	0.333	0.056 7	64.583
				交链孢毒素 C ₄₂	0.333	0.056 7	60.000
				展青霉素 C ₄₃	0.333	0.056 7	63.333
	非法添加 B ₅	0.170	64.896	工业大麻香精 C ₅₁	0.750	0.127 6	67.917
				金箔 C ₅₂	0.250	0.042 5	55.833
	其他风险项 B ₆	0.089	68.594	产品过期 C ₆₁	0.125	0.011 2	60.833
				感官检验不合格 C ₆₂	0.250	0.022 3	72.500
				包装不合格 C ₆₃	0.125	0.011 2	63.750
				假冒伪劣 C ₆₆	0.250	0.022 3	72.917
				标签不合格 C ₆₇	0.125	0.011 2	70.000
				未按要求提供证书或合格证明材料 C ₆₈	0.125	0.011 2	63.333

表15 2020—2021年酒类未准入境事实发生批次及比例(n=193)

Table 15 Batches and proportions of liquor not allowed to enter China from 2020 to 2021(n=193)

不合格记录	批次	占比/%	不合格记录	批次	占比/%
标签不合格	72	37.31	氰化物超标	2	1.04
未按要求提供证书或合格证明材料	19	9.84	超限量使用食品添加剂富马酸	2	1.04
超限量使用食品添加剂二氧化硫	17	8.81	超限量使用食品添加剂酸性红(合成着色剂)	2	1.04
货证不符	15	7.77	超限量使用食品添加剂苯甲酸	2	1.04
感官检验不合格	24	12.44	甲醛超标	1	0.52
超限量使用食品添加剂安赛蜜/甜菊糖苷(甜味剂)	10	5.18	违规使用工业大麻香精	1	0.52
超限量使用食品添加剂羧甲基纤维素	6	3.11	总糖含量不符合国家标准	1	0.52
甲醇含量不符合国家标准	5	2.59	超限量使用食品添加剂山梨酸	1	0.52
违规使用化学物质金箔	5	2.59	超限量使用食品添加剂乳酸钙、碳酸镁	1	0.52
包装不合格	4	2.07	超限量使用食品添加剂咖啡因	1	0.52
铅超标	2	1.04			

81.979,风险等级为高风险,抽样比例增大为80%,检测项目比例调整为85%。通过增大该产品的抽样比例和检测项目比例,可以更好地对该产品进行监管。假设该国家管理水平高于我国,且无其他风险项,监管人员将其动态调节因子设置为0.8,该批次进口酒的总体风险值为54.653,风险等级为低风险,抽样比例减小为20%,检测项目比例调整为50%。通过减小该产品的抽样比例和检测项目比例可以提高通关效率。

3 结论

本研究在综合分析我国进口酒类现状及特点

的基础上,构建了进口酒类安全风险评价指标体系,基于AHP和风险矩阵建立了进口酒类安全风险模糊综合评价模型。通过建立的模型可以得到进口酒类的总体安全风险等级和具体检测项目的风险值,根据风险等级和检测项目的风险值排序情况确定抽检项目;同时模型引入动态调节因子,通过对风险值及抽检率和检测项目比例进行调节,可实现对具体批次进口酒的抽样、检测动态管理,为进口食品安全风险评价及管理工作提供参考。

参考文献

[1] 中华人民共和国海关总署.(14)2014年12月进口主要商品

- 量值表(人民币值)[EB/OL]. (2015-01-21) [2022-10-10]. <http://www.customs.gov.cn/customs/302249/zfxgk/2799825/302274/302277/302276/310276/index.html>.
- General Administration of Customs of the People's Republic of China. (14) Table of import value of main commodities in December 2014 (RMB value) [EB/OL]. (2015-01-21) [2022-10-10]. <http://www.customs.gov.cn/customs/302249/zfxgk/2799825/302274/302277/302276/310276/index.html>.
- [2] 中华人民共和国海关总署. (14)2021年12月进口主要商品量值表(人民币值)[EB/OL]. (2022-01-18) [2022-05-04]. <http://www.customs.gov.cn/customs/302249/zfxgk/2799825/302274/302277/302276/4127968/index.html>.
- General Administration of Customs of the People's Republic of China. (14) Table of import value of main commodities in December 2021 (RMB value) [EB/OL]. (2022-01-18) [2022-05-04]. <http://www.customs.gov.cn/customs/302249/zfxgk/2799825/302274/302277/302276/4127968/index.html>.
- [3] 王佳. 我国海关通关管理中存在的问题及对策研究——以青岛海关为例[D]. 青岛: 青岛大学, 2018.
- WANG J. Research on the problems and countermeasures in China's customs clearance management -- Taking Qingdao Customs as an example[D]. Qingdao: Qingdao University, 2018.
- [4] 崔楠. 我国海关通关效率提升对策研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2015.
- CUI N. To enhance the efficiency of customs clearance in China's countermeasure research[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2015.
- [5] WU D, DING H, CHEN J Y, et al. A Delphi approach to develop an evaluation indicator system for the National Food Safety Standards of China [J]. Food Control, 2021, 121: 107591.
- [6] 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 B J, XIN H H, SU X C, et al. The quality monitoring research of food additives in meat products by analytic hierarchy process[J]. China Food Additives, 2015(8): 145-148.
- [7] ZHAO S S, LIN H X, LI S Q, et al. Modeling of chilled/supercooled pork storage quality based on the entropy weight method [J]. Animals: An Open Access Journal from MDPI, 2022, 12(11): 1415.
- [8] 杜树新, 韩绍甫. 基于模糊综合评价方法的食物安全状态综合评价[J]. 中国食品学报, 2006, 6(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 (6): 64-69.
- [9] GENG Z Q, SHANG D R, HAN Y M, et al. Early warning modeling and analysis based on a deep radial basis function neural network integrating an analytic hierarchy process: A case study for food safety[J]. Food Control, 2019, 96: 329-342.
- [10] ZENG D Z, HE Q Y, YU Z M, et al. Risk assessment of sustained casing pressure in gas wells based on the fuzzy comprehensive evaluation method [J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2017, 46: 756-763.
- [11] 刘沐宇, 黄根, 卢志芳. 桥梁火灾风险模糊综合评价方法[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(2): 8-14.
- LIU M Y, HUANG G, LU Z F. Fuzzy comprehensive assessment method for bridge fire risk [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2018, 35(2): 8-14.
- [12] ZHONG C H, YANG Q C, LIANG J, et al. Fuzzy comprehensive evaluation with AHP and entropy methods and health risk assessment of groundwater in Yinchuan Basin, northwest China [J]. Environmental Research, 2022, 204: 111956.
- [13] ZHONG Y J. Financial risk investment decision based on fuzzy logic theory model [J]. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 2018, 21(6): 1419-1424.
- [14] 周烽, 严颖鹏, 苏日娜, 等. 跨境电商进口食品质量安全风险评估模型的构建与运用[J]. 经济师, 2021(5): 21-22, 24.
- ZHOU F, YAN T P, SU R N, et al. Construction and application of risk assessment model for quality and safety of imported food in cross-border E-commerce [J]. China Economist, 2021 (5) : 21-22, 24.
- [15] 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, 23(6): 62-67.
- LIAO L X, WANG J X. Application of risk matrix in risk assessment of import and export food safety [J]. Journal of Inspection and Quarantine, 2013, 23(6): 62-67.
- [16] 肖龙, 戚湧, 李千目. 基于AHP和模糊综合评判的信息安全风险评估[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(22): 82-85, 89.
- XIAO L, QI Y, LI Q M. Information security risk assessment based on AHP and fuzzy comprehensive evaluation [J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(22): 82-85, 89.
- [17] 化学物质毒性数据库[DB/OL][EB/OL]. [2022-08-29].]<https://www.drugfuture.com/toxic/search.aspx>.
- Chemical Toxicity Database[DB/OL][EB/OL]. [2022-08-29].] <https://www.drugfuture.com/toxic/search.aspx>.
- [18] National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information (NIH). Pubchem [DB/OL]. [2022-08-29]. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>.