

# 三标度模糊层次评判模型在食品安全风险评估中的应用

龙泽荣\*

(新疆维吾尔自治区产品质量监督检验研究院, 乌鲁木齐 830011)

**摘要: 目的** 采用国家食品标准与三标度层次分析法(TAHP)对新疆小麦粉和食用植物油进行风险评估。**方法** 层次构建中采用三标度(0, 1, 2)定量确定各个有害物的危害程度, 并建立相应的比较和判断矩阵。通过矩阵运算获得各个危害物的权重并进行一致性检验。**结果** 采用 TAHP 在 MATLAB 软件的辅助下计算各有害物的权重并检验其一致性。一致性检验结果为小麦粉为 0.089, 4 种植物油为 0.085, 均低于 0.1。利用各危害物权重因子构建的风险模型分别运用于新疆小麦粉和食用植物油 2010、2014 和 2015 年的风险评估, 结果与实际情况较为吻合。**结论** 该风险模型不仅可应用于上述食品质量风险评估, 而且还可推广应用于其他食品的安全评价模型的构建, 以及对食品质量安全的调查、评估和监督提供参考。

**关键词:** 三标度层次分析法; 一致性检验; 食品安全风险评估; 小麦粉; 食用植物油

## Application of three scale fuzzy hierarchy model in food-safety risk assessment evaluation

LONG Ze-Rong\*

(Xinjiang Uygur Autonomous Region Product Quality Supervision and Inspection Institute, Urumqi 830011, China)

**ABSTRACT: Objective** To perform risk assessment of wheat flour and food-grade vegetable oil in Xinjiang region by the combination of three-scale analytical hierarchy process (TAHP) and state food standards. **Methods** In the process, the comparison matrix and judgment matrix were introduced firstly through making comparisons between each hazard using a 3 scale (0, 1, 2) approach. Then risk assessors could determine the weight of each hazard. **Results** In this paper, we utilize the above method to analyze those internal significant hazards of wheat flour and four varieties of edible vegetable oil with the auxiliary of the MATLAB software, respectively. The consistency check results showed that judgments were found to be precise and justifiable, and consistent with narrow marginal inconsistency ratio (0.089 for wheat flour and 0.085 for edible vegetable oil, respectively). The corresponding food models were constructed by using those weights, and applied to their risk evaluation during 2010, 2014 and 2015 years. The evaluation results were approximately in accordance with those of actual cases. **Conclusion** The technique can be used in the analysis of above-food quality risk, and it also can be used as a reference of modeling in the different food safety evaluation, as well as to provide

基金项目: 国家质检总局科技项目(2008QK319)

**Fund:** Supported by the Science and Technology Project of State Quality Inspection Administration (2008QK319)

\*通讯作者: 龙泽荣, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: long8326rong@163.com

\*Corresponding author: LONG Ze-Rong, Senior Engineer, Xinjiang Uygur Autonomous Region Product Quality Supervision and Inspection Institute, No.188, Hebei Road (East), Urumqi 830011, China. E-mail: long8326rong@163.com

references for survey, assessment and supervision of food quality safety.

**KEY WORDS:** three scale fuzzy hierarchy model; consistency check; food-safety risk assessment; wheat flour; food-grade vegetable oil

## 1 引言

近年来, 由于化学物质、微生物毒素、环境污染等引起的食品安全事故在全球频发, 已引起人们的强烈关注。其中影响较大的事件有: 二恶英食物链污染、肯德基苏丹红事件、美国毒菠菜事件以及疯牛病等。食品安全危机不仅严重打击了消费者的信心, 而且对本国的政治经济产生了严重影响。我国近年来也同样被一系列的食品安全问题困扰。苏丹红鸭蛋、瘦肉精猪肉、三聚氰胺奶粉、地沟油、毒胶囊、镉污染大米等事件的相继曝光, 拷问着各级食品安全监管部门。我国发布的食品安全法明确对食品制假、掺假行为予以处罚, 但这只是事后惩罚, 难以清除事件本身带来的负面影响。如何将“事后惩罚”变为“事前预防”成为食品安全监管部门最关心的问题之一<sup>[1-3]</sup>。

目前风险评估使用的方法有德尔菲法<sup>[4]</sup>、BP神经网络法<sup>[5]</sup>、基于 ASP.NET 技术 C/B 和 B/S 的应用模型<sup>[6]</sup>、GIS 技术<sup>[7]</sup>以及分析层次法(analytic hierarchy process, AHP)<sup>[8]</sup>等。其中德尔菲法和 AHP 应用较为成熟和广泛。德尔菲法通常用于与公共政策问题相关的长程预测, 如经济走向、卫生、教育和食品问题等。迄今为止, 德尔菲法对单一标量指标预测最为成功, 但对多个指标的复杂体系却无能为力。而 AHP 法则擅长对复杂问题做出决策。这个方法是将定性的评价进行量化处理, 在层次分析的基础上创建比较和分析矩阵, 进而获得各指标的权重因子。该方法的优越性在于能够提供一致性检测从而避免决策的偏差。因此 AHP 法被广泛应用于模型开发、咨询分析、风险评估以及相关过程的决策。本文采用三标度层次分析法(three scale analytic hierarchy process, TAHP)分别定量分析小麦粉和食用植物油各危害物的危害程度, 通过两两相互比较, 构建比较矩阵和对应的判断矩阵, 计算各危害物权重, 并获得相应的风险模型。该方法是否合理, 需要通过一致性检验。本研究旨在获得一种易于使用并与实际相结合的风险模型, 以可比较的方式对风险进行定量分析, 为决策部门提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与检验方法

文中所涉及的样品来自于新疆乌鲁木齐市及周边地区企业。小麦粉和食用植物油重点考察了包括重金属(铅、镉、砷和汞)在内的 12 项指标<sup>[9-11]</sup>。检测方法依照国家标准(GB/T 5009.1、GB/T 5009.15、GB/T 5009.11、GB/T 5009.17、GB/T 5009.19、GB/T 18415、GB/T 5009.37、GB/T 5009.27)执行。各指标残留量限定符合表 1 所列, 低于或等于限定值为符合, 用“+”表示; 高于限定值则用“-”表示。样品数量、品种、检验测定结果如表 2 所示。

表 1 小麦粉和食用植物油中对有害物残留量的限定值(参考国标 GB2760、GB 2761 和 GB2762, 并适当修改)

Table 1 The amount of residue limits of State Standard for wheat flour and food-grade vegetable oil (appropriate modification of State Standard of the People's Republic of China GB2760, GB 2761 and GB 2762)

指标( <i>i</i> )	$S_j$ (mg/kg)	
	小麦粉	食用植物油
Pb	0.2	0.1
Cd	0.1	-
As	0.1	0.1
Hg	0.02	-
六氯苯(BHC)	0.05	-
滴滴涕(DDT)	0.05	-
过氧化苯甲酰(BPO)	60	-
酸值 (AV) <sup>a</sup>	-	3000
过氧化值(POV)	-	2500
溶剂残留 (SR)	-	50
黄曲霉素 B <sub>1</sub> (AFB <sub>1</sub> )	-	0.01
苯并(a)芘 (BaP)	-	0.01

<sup>a</sup>AV 表示中和 1 kg 脂肪中的酸所需要的氢氧化钾的质量。

表 2 样品按各指标(j)测定结果  
Table 2 Determination results of samples according to indicator j

样品名称	规格型号	商标或工艺	样品等级	样品数量(袋)	样本基数(袋)	抽样时间(年)	指标(j)										
							Pb	Cd	As	Hg	BHC	DDT	BPO	AV	POV	SR	AFBI
5 kg/袋	5 kg/袋	汇宏	特制一等	5	15000	2010	0.15/+	0.05/+	0.03/+	0.01/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			特制二等	5	6000	2014	0.10/+	0.06/+	0.04/+	0.008/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
25 kg/袋	25 kg/袋	天鹰	特制一等	5	4200	2010	0.14/+	0.02/+	未检出/+	0.006/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			特制二等	5	3500	2014	0.09/+	0.08/+	0.03/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
5 kg/袋	5 kg/袋	金玺	特制一等	5	3200	2014	0.08/+	0.05/+	未检出/+	0.005/+	0.01/+	未检出/+	25/+	—	—	—	—
			特制二等	5	15000	2010	0.05/+	0.10/+	0.03/+	0.008/+	0.01/+	0.01/+	未检出/+	—	—	—	—
20 kg/袋	20 kg/袋	芝清牌	特制一等	2	5200	2014	0.01/+	0.12/+	0.05/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			特制二等	5	1500	2010	0.12/+	0.08/+	0.02/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	5/+	—	—	—	—
25 kg/袋	25 kg/袋	康维美	标准粉	5	3250	2014	0.08/+	0.09/+	0.03/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	20/+	—	—	—	—
			特制一等	5	1850	2010	0.14/+	0.05/+	0.03/+	0.001/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
10 kg/袋	10 kg/袋	天山	特制一等	5	2500	2010	0.10/+	0.05/+	0.03/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			特制二等	5	5200	2010	0.10/+	0.05/+	0.02/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
25 kg/袋	25 kg/袋	帅奇	标准粉	5	3600	2010	0.13/+	0.05/+	0.03/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	2/+	—	—	—	—
			普通粉	5	1800	2014	0.14/+	0.07/+	0.05/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
10 kg/袋	10 kg/袋	翔实	特制一等	5	2500	2010	0.10/+	0.05/+	0.02/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			特制二等	5	3000	2014	0.08/+	0.08/+	0.03/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
25 kg/袋	25 kg/袋	宏达	标准粉	5	2500	2014	0.13/+	0.06/+	0.01/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			普通粉	5	1500	2010	0.15/+	0.07/+	0.04/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
10 kg/袋	10 kg/袋	宏达	特制一等	5	3000	2014	0.11/+	0.08/+	0.05/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			特制二等	5	1500	2010	0.14/+	0.05/+	0.03/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
10 kg/袋	10 kg/袋	宏达	标准粉	5	3600	2014	0.08/+	0.07/+	0.04/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			普通粉	5	1000	2014	0.08/+	0.08/+	0.04/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
25 kg/袋	25 kg/袋	宏达	特制一等	2	1200	2010	0.13/+	0.07/+	0.03/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—
			特制二等	2	900	2014	0.10/+	0.09/+	0.06/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+	—	—	—	—

续表 2

样品名称	规格型号	商标或工艺	样品等级	样品数量(L)	样本基数(L)	抽样时间(年)	指标(μg)											
							Pb	Cd	As	Hg	BHC	DDT	BPO	AV	POV	SR	AFBI	BaP
菜籽	散装	压榨法	一级	2	1100	2015	0.004/+	—	0.001/+	—	—	—	—	1000/+	2100/+	22/+	未检出/+	未检出/+
	5 L/桶	压榨法	二级	2	25000	2015	0.002/+	—	0.001/+	—	—	—	—	130/+	1300/+	未检出/+	未检出/+	未检出/+
	散装	浸出法	三级	2	2000	2015	0.008/+	—	0.005/+	—	—	—	—	540/+	1500/+	30/+	未检出/+	未检出/+
葵花籽	2.5L/桶	浸出法	四级	5	4500	2015	0.007/+	—	0.008/+	—	—	—	—	450/+	1300/+	25/+	未检出/+	未检出/+
	散装	压榨法	三级	2	8000	2015	0.001/+	—	0.003/+	—	—	—	—	150/+	2400/+	2/+	未检出/+	未检出/+
	5 L/桶	压榨法	一级	10	22500	2015	0.002/+	—	0.001/+	—	—	—	—	20/+	2200/+	1.5/+	未检出/+	未检出/+
玉米油	2.5 L/桶	压榨法	二级	5	8750	2015	0.006/+	—	0.002/+	—	—	—	—	85/+	1750/+	1.0/+	未检出/+	未检出/+
	散装	浸出法	三级	2	2500	2015	0.009/+	—	0.004/+	—	—	—	—	50/+	120/+	25/+	未检出/+	未检出/+
	2.5 L/瓶	压榨法	三级	5	10000	2015	0.001/+	—	0.01/+	—	—	—	—	240/+	490/+	未检出/+	0.009/+	未检出/+
豆油	散装	浸出法	三级	2	1700	2015	0.002/+	—	0.02/+	—	—	—	—	120/+	540/+	未检出/+	0.012/-	未检出/+
	5L/桶	浸出法	一级	10	15500	2015	0.001/+	—	未检出/+	—	—	—	—	100/+	1200/+	15/+	未检出/+	未检出/+
	散装	浸出法	一级	2	2800	2015	0.005/+	—	0.01/+	—	—	—	—	170/+	1100/+	17/+	未检出/+	未检出/+

### 2.2 评估方法

表3为层次分析法中三标度的定义,其意义在于用近似推理的方法把模糊的语言转变为可定量的数值。TAHP 目前已被应用于坦克的最佳火力分布<sup>[12]</sup>、水资源分布决策<sup>[13]</sup>、区域水资源的综合评价<sup>[14]</sup>以及谷物早期预警模型<sup>[15]</sup>等。与层次分析法中常用的九标度相比,三标度极大的简化了比较过程。如九标度中有“稍”、“明显”、“强烈”、“极端”等修饰词,来区分重要性的差异,在三标度中则没有这样的区分。

表 3 层次分析法(AHP)中三标度的定义  
Table 3 The three scale definition for any pair of objectives  $a_i$  and  $a_j$  in the AHP

重要性定义	打分
指标 $a_i$ 没有 $a_j$ 重要	0
指标 $a_i$ 和 $a_j$ 一样重要	1
指标 $a_i$ 比 $a_j$ 重要	2

通过对指标的成对比较形成了一个  $n \times n$  的比较矩阵  $A$ ,其表达式为(1)。将矩阵中的任意行向量  $a_{ij}$  相加,形成变量  $r_k$ ,见表达式(2)。 $r_k$ 是形成判断矩阵  $C$  的重要因子,见表达式(3)。

$$A=(a_{ij})_{n \times n} \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$r_k = \sum_{j=1}^k a_{ij} \quad (2)$$

$$C=(c_{ij})_{n \times n}$$

$$c_{ij} = \begin{cases} [(r_i - r_j) / (r_{\max} - r_{\min})] \times (b_m - 1) + 1 & r_i \geq r_j \\ \{ [(r_i - r_j) / (r_{\max} - r_{\min})] \times (b_m - 1) + 1 \}^{-1} & r_i < r_j \end{cases}$$

$$r_{\max} = \text{Max}\{r_k\}; r_{\min} = \text{Min}\{r_k\}; b_m = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} \quad (3)$$

在(3)式中  $r_{\max}$  和  $r_{\min}$  分别代表变量  $r_k$  的最大值和最小值。判断矩阵  $C$  中的任意向量  $c_{ij}$  与  $c_{ji}$  都满足倒数的关系,即:  $c_{ij} = 1/c_{ji}$ , 且  $c_{ij} \neq 0$ ; 当  $i=j$  时,  $c_{ij} = 1$ 。

方根法可用于计算各指标的权重,见表达式(4)。这个计算过程可以借助 MATLAB 软件实现。

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \dots \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} \times c_{12} \times \dots \times c_{1n} \\ c_{21} \times c_{22} \times \dots \times c_{2n} \\ \dots \\ c_{n1} \times c_{n2} \times \dots \times c_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\overline{M}_j = \sqrt[n]{M_j}, j=1 \dots n$$

$$\omega_j = \frac{\overline{M}_j}{\sum_{j=1}^n \overline{M}_j} \quad (4)$$

判断矩阵  $C$  的主向量  $\omega(\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T)$  与其最大正向量  $\lambda_{\max}$  之间的对应关系为  $C\omega = \lambda_{\max}\omega$ 。若矩阵每个向量都满足  $c_{it} = c_{ij}c_{jt}$ , 那么这个判断非常完美,当然这是非常难实现的。

事实上,我们通常采用非一致性指数  $C.I.$  值来确定这个判断矩阵是否具有一致性,其表达式为(5)。 $C.I.$  值越低,矩阵的一致性程度越高。通常  $C.I.$  值要求低于 0.1, 否则该矩阵不能被接受。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

由矩阵计算得到的指标权重被用于构建风险模型,如式(6)所示。

$$P = \sum_{j=1}^n \omega_j P_j \quad P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\} \quad (6)$$

式(6)中的  $P_j$  表示平均污染指数(API),它反映了产品中  $j$  指标的平均污染程度。 $P$  则为  $P_j$  的目标集合。

通过一个简单的变换,就可以对风险作出判断,见式(7)。

$$\Delta P = P_{n+1} - P_n \quad (7)$$

当  $\Delta P < 0$ , 表明风险水平呈现下降; 当  $\Delta P = 0$ , 表明风险水平没有变化; 当  $\Delta P > 0$ , 表明风险水平呈现升高趋势。

### 3 结果与讨论

表 1 为小麦粉和食用植物油国家标准中对有害物质残留的限量值( $S_j$ )。式(6)中的  $P_j$  与  $S_j$  间的关系如下式所示。

$$P_j = \frac{\sum_{l=1}^m (C_j / S_j)_l}{m} \quad (8)$$

式(8)中,  $C_j$  为实测值,  $l$  为样品数。

#### 3.1 对小麦粉的风险评估

近几年,随着人口的快速膨胀和地区经济的迅猛发展,新疆和全国其他地区一样也遭受着空气、水和土地污染的尴尬。化学污染物在上述媒介中累积,通过植物的吸收,进入到食物链中。如果食品中的有害物累积到一定程度,人体产生急性或慢性中毒。新疆是全国重要小麦产地,小麦粉是当地居民的主食之一,新疆人均消耗小麦粉为年 180~200 kg 左右。因此小麦粉的质量好坏直接与健康息息相关。

如表 1 所示, 影响小麦粉安全食用的因素主要有: 污染迁移的重金属(Pb、Cd、Hg 和 As), 农药残留(BHC 和 DDT)以及有害添加剂(BPO)。这些有害物的危害程度则依据限量值越低则重要性越大的原则。结合表 3 的判定规则, 我们对这些危害物进行两两相互比较。每对指标比较形成的向量构成了比较矩阵  $A$  ( $7 \times 7$ , Fig.1a)。再运用(1)-(3)式计算获得判断矩阵  $C$  ( $7 \times 7$ , Fig.1b)。

	Pb	Cd	As	Hg	BHC	DDT	BPO
Pb	1	0	0	0	0	0	2
Cd	2	1	1	0	0	0	2
As	2	1	1	0	0	0	2
Hg	2	2	2	1	2	2	2
BHC	2	2	2	0	1	1	2
DDT	2	2	2	0	1	1	2
BPO	0	0	0	0	0	0	1

(a) Matrix A

	Pb	Cd	As	Hg	BHC	DDT	BPO
Pb	1	1/4	1/4	1/11	1/8	1/8	3
Cd	4	1	1	1/8	1/5	1/5	6
As	4	1	1	1/8	1/5	1/5	6
Hg	11	8	8	1	4	4	13
BHC	8	5	5	1/4	1	1	10
DDT	8	5	5	1/4	1	1	10
BPO	1/3	1/6	1/6	1/13	1/10	1/10	1

(b) Matrix C

图 1 小麦粉的层次分析矩阵: (a)比较矩阵  $A$ ; (b)判断分析矩阵  $C$

Fig. 1 AHP matrixes for wheat flour: (a) comparison matrix  $A$ , and (b) judgment analysis matrix  $C$

使用 MATLAB 软件对判断矩阵  $C$  运算, 获得主向量  $\omega = [0.02537, 0.05941, 0.05941, 0.4549, 0.1926, 0.1926, 0.01559]^T$ , 最大正向量  $\lambda_{\max} = 7.5364$ 。将  $\lambda_{\max}$  代入一致性检验方程(5)中,  $C.I.$  值为 0.089, 小于 0.1。这个结果表明 TAHP 适用于小麦粉的风险评估。

将主向量  $\omega$  中的各指标的权重因子带入式(6), 则其风险模型为:

$$P = 0.02537P_{Pb} + 0.05941P_{Cd} + 0.05941P_{As} + 0.4549P_{Hg} + 0.1926P_{BHC} + 0.1926P_{DDT} + 0.01559P_{BPO} \quad (I)$$

分别将表 2 中 2010 和 2014 年的检测数据带入式(8)中, 求得各指标的 API 值。如图 2 所示, 2010 年, Pb 的 API 值异常高, 为 0.5002。在 2014 年这个数值降为 0.2625。这个结果表明铅污染很可能来源于工厂排放的粉尘, 经过对排污企业的综合治理后, 这种情况有所好转。

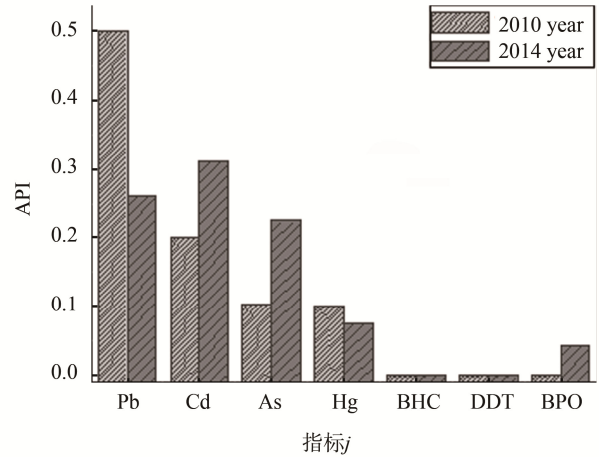


图 2 小麦粉在 2010 和 2014 年的平均污染指数(API)的比较  
Fig. 2 Comparison of API between seven hazards of wheat flour over the year 2010 and 2014

2014 年 Cd 和 As 的 API 值略有增加, 增白剂 BPO 的 API 值增加较为明显, 提醒监管部门应对 BPO 加强监管。农药残留量的 API 值在 2010 和 2014 年没有明显变化。将上述指标的 API 值带入模型(I)中, 则  $P_{2010} = 0.0766$ ;  $P_{2014} = 0.0733$ 。总体比较, 2014 年的风险水平低于 2010 年, 而且维持在非常低的风险水平上。

### 3.2 对食用植物油的风险评估

如表 1 所示, 影响食用植物油安全食用的因素主要有: 污染迁移的重金属(Pb), 农药残留(As)以及加工和储存中形成的有害物质(酸值、过氧化值、溶剂残留、黄曲霉素 B1、苯并(a)芘)。与小麦粉的分析过程相似, 食用植物油中的有害指标采用两两比较的方式分别建立比较矩阵和判断矩阵。如图 3 所示。MATLAB 软件计算结果为: 主向量  $\omega = [0.0306, 0.0501, 0.0886, 0.2118, 0.2118, 0.6704, 0.6704]^T$  和最

大正向量  $\lambda_{\max} = 7.5108$ 。其非一致性检测  $C.I.$  值为 0.085, 小于 0.1。结果表明 TAHP 同样适用于食用植物油的风险评估。

	Pb	As	AV	POV	SR	AFB1	BaP
Pb	1	1	2	2	2	0	0
As	1	1	2	2	2	0	0
AV	0	0	1	0	0	0	0
POV	0	0	2	1	0	0	0
SR	0	0	2	2	1	0	0
AFB1	2	2	2	2	2	1	1
BaP	2	2	2	2	2	1	1

(a) Matrix A

	Pb	As	AV	POV	SR	AFB1	BaP
Pb	1	1	8	6	4	1/5	1/5
As	1	1	8	6	4	1/5	1/5
AV	1/8	1/8	1	1/3	1/5	1/12	1/12
POV	1/6	1/6	3	1	1/3	1/10	1/10
SR	1/4	1/4	5	3	1	1/8	1/8
AFB1	5	5	12	10	8	1	1
BaP	5	5	12	10	8	1	1

(b) Matrix C

图 3 食用植物油的层次分析矩阵: (a)比较矩阵 A; (b)判断分析矩阵 C

Fig. 3 AHP matrixes for edible vegetable oil: (a) adverse indicators comparison matrix A, and (b) judgment analysis matrix C

将主向量  $\omega$  中的各指标的权重因子带入式(6), 则其风险模型为:

$$P = 0.2118P_{Pb} + 0.2118P_{As} + 0.0306P_{AV} + 0.0501P_{POV} + 0.0886P_{SR} + 0.6704P_{AFB1} + 0.6704P_{BaP} \quad (II)$$

表 4 为 4 种食用植物油各指标在 2015 年的 API 值。其中玉米油的黄曲霉素 B<sub>1</sub> 有反映, 而其他则趋于零。表明要特别注意玉米原料的储存条件, 防止发霉现象产生。分别将 4 种植物油各指标的 API 值带入模型(II)中, 则  $P_{\text{葵花籽油}} = 0.0292$ ,  $P_{\text{菜籽油}} = 0.0370$ ,  $P_{\text{玉米油}} = 0.0583$ ,  $P_{\text{豆油}} = 0.0650$ 。通过比较, 其风险程度由大到小的变化顺序为: 豆油 > 玉米油 > 菜籽油 > 葵花籽油。但总体来看, 其风险程度均较低。

表 4 4 种食用植物油在 2015 年的平均污染指数(API)分析  
Table 4 API for four varieties of food-grade vegetable oil samples in 2015

指标(j)	API			
	葵花籽油	菜籽油	玉米油	豆油
Pb	0.0306	0.0450	0.0114	0.0462
As	0.0177	0.0542	0.1145	0.0153
AV	0.2121	0.2213	0.0742	0.0369
POV	0.2486	0.1985	0.1989	0.4738
SR	0.0010	0.0012	0.0000	0.3061
AFB1	0.0000	0.0000	0.0322	0.0000
BaP	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

### 4 结 语

本文介绍了 TAHP 建立的模型在小麦粉和食用植物油风险评估方面的应用。TAHP 技术通过一致性检测、模型构建、历史数据分析等为我们提供了一种较为可靠的风险评价, 对风险产生及变化进行了评估。不仅为食品监管部门的管理给予技术支持, 也为区域经济的健康有序发展提供保障。当然, 这种方法也存在着一些不确定因素: (1)若使用人员对整体情况把握不清, 漏掉了某些关键指标, 会导致判断出现失误; (2)在实际应用中, 如果出现较大偏差, 还需要对模型进行适当的修正, 以提高判断的准确性。随着检测水平的提高以及国家标准的不断修订, 检测指标的增补, 限量值的降低等, TAHP 提供的模型愈加接近真实, 风险评估的准确性将大大提高。

### 参考文献

- [1] 唐晓纯. 国家食品安全风险监测评估与预警体系建设及其问题思考[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 342-348.  
Tang XC. Construction of national food safety risk monitoring, assessment and early warning system and related problems [J]. Food Sci, 2013, 34(15): 342-348.
- [2] 李宁, 严卫星. 国内外食品安全风险评估在风险管理中的应用概况[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(1):13-17.  
Li N, Yan WX. National and international food safety assessment overview [J]. Chin J Food Hyg, 2011, 23(1):13-17.
- [3] 戚建刚. 食品危害的多重属性与风险评估制度的重建[J]. 当代法学, 2012, 2, 49-56.  
Qi JG. Multi-attributes of food hazards and reconstruction of food risk assessment system [J]. Curr Law, 2012, 2, 49-56.

- [4] Alphonse CB. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries [J]. *Agric Sys*, 1997, 53: 97–112.
- [5] Xiao J, Ma Z, Zhang D. The research on the BP neural network in the food security risk early warning applied under supply chain environment [C]. KAM '09 Proceedings of the 2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, Wuhan, China.
- [6] 秦志民, 程景民, 余红梅. 基于 ASP.NET 技术的食品安全预警系统简介[J]. *山西科技*, 2010, 25 (3): 65–66.  
Qin ZM, Chen JM, Yu HM. Warning systems of food security based on ASP.NET technology [J]. *Shanxi Sci Technol*, 2010, 25 (3): 65–66.
- [7] 莫建飞, 陆甲, 李艳兰, 等. 基于 GIS 的广西农业暴雨洪涝灾害风险评估[J]. *灾害学*, 2012, 27(1), 38–43.  
Mo JF, Lu J, Li YL, *et al.* GIS-based assessment of agricultural flood and water-logging risk in GuangXi [J]. *J Catastroph*, 2012, 27(1), 38–43.
- [8] 赵刚, 刘焕. 基于多层次模糊综合评判及熵权理论的实用风险评估[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2012, 52(10): 1382–1387.  
Zhao G, Liu H. Practical risk assessment based on multiple fuzzy comprehensive evaluations and entropy weighting [J]. *J Tsinghua Univ (Sci & Technol)*, 2012, 52(10): 1382–1387.
- [9] 刘蕊, 张辉, 勾昕, 等. 健康风险评估方法在中国重金属污染中的应用及暴露评估模型的研究进展[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(7): 1239–1244.  
Liu R, Zhang H, Gou X, *et al.* Approaches of health risk assessment for heavy metals applied in China and advance in exposure assessment models: a review [J]. *Ecol Environ Sci*, 2014, 23(7): 1239–1244.
- [10] 聂继云, 李志霞, 刘传德, 等. 苹果农药残留风险评估[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(18): 3655–3667.  
Nie JY, Li ZX, Liu CD, *et al.* Risk assessment of pesticide residues in apples [J]. *Chin Agric Sci*, 2014, 47(18): 3655–3667.
- [11] 李培武, 张奇, 丁小霞, 等. 食用植物源性农产品质量安全研究进展[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(18): 3618–3632.  
Li PW, Zhang Q, Ding XX, *et al.* A review of studies on quality and safety of edible vegetable agro-products [J]. *Chin Agric Sci*, 2014, 47(18): 3618–3632.
- [12] 刘鹏, 孙立涛, 徐大杰. 三标度法在坦克分队最优火力分配中的应用[J]. *火力与控制指挥*, 2005, 30(3): 90–92.  
Liu P, Sun LT, Xu DJ. The application of three-demarcation method in determining the optimum fire distribution of tank element [J]. *Fire Command Control*, 2005, 30(3): 90–92.
- [13] 沈晓娟, 徐向阳, 刘翔. 三标度法在水资源配置方案优选上的应用[J]. *水电能源科学*, 2006, 24(4): 16–18.  
Shen XJ, Xu XY, Liu X. Optimal choice of water resources allocation scheme based on three-demarcation method [J]. *Water Resour Power*, 2006, 24(4): 16–18.
- [14] 沈晓娟, 徐向阳. 基于三标度法的区域水资源综合评价[J]. *水资源保护*, 2006, 22(4): 36–39.  
Shen XJ, Xu XY. Comprehensive evaluation on regional water resources based on three-demarcation method [J]. *Water Resour Prot*, 2006, 22(4): 36–39.
- [15] 朱平, 罗艳, 谭红, 等. 稻米食品质量安全状态预警模型的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2010, 27(4): 161–163.  
Zhu P, Luo Y, Tan H, *et al.* The study of early warning model about quality safety of rice food [J]. *J Food Saf Qual*, 2010, 27(4): 161–163.

(责任编辑: 金延秋)

### 作者简介



龙泽荣, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。  
E-mail: long8326rong@163.com