

多维度食品安全评估指数体系模型的构建及应用

Construction and application of multi-dimensional food safety evaluation index system model

缪璐¹ 朱珂² 曹轶群¹ 周墨钦²

MIAO Lu¹ ZHU Ke² CAO Yi-qun¹ ZHOU Mo-qin²

高梦昭² 陀雄信¹ 邓柯²

GAO Meng-zhao² TUO Xiong-xin¹ DENG Ke²

(1. 广西壮族自治区产品质量检验研究院, 广西 南宁 530200;

2. 清华大学工业工程系统计学研究中心, 北京 100084)

(1. Guangxi Institute of Product Quality Inspection, Nanning, Guangxi 530200, China; 2. Center for Statistical Science, Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要:目的:通过食品安全评价指数体系来评价地区食品安全状况。方法:在构建的指数体系中,综合考虑影响食品安全的各种因素,如地市规模、食品种类、检测项目危害、生产地等,并采用多种数据来源对模型进行支撑。结果:利用 2021 年广西食品安全评价抽检数据进行实证,分别使用经典大样本估计法和经验贝叶斯估计法进行模型计算后,发现基于食品种类的安全指数的评估结果与简单合格率评估结果存在一定差异,但两种算法均显示餐饮食品的安全情况显著低于其他食品大类。此外,使用贝叶斯估计方法有效解决了合格率为 100% 或数值普遍接近时的计算问题。结论:该模型可以实现从地区、食品种类、地区和食品种类等多角度、不同层次计算得到食品安全指数结果。

关键词:食品安全;评估指数体系模型;经典大样本估计法;经验贝叶斯估计

Abstract; Objective: It was the method of evaluating regional food safety status through food safety evaluation index model.

Methods: In the index model, various factors affecting food safety, such as the size of the city, the types of food, the hazards of the test items, the place of production, etc., were comprehensively considered, and a variety of data sources were

used to support the model. Using this model, the results of food safety index could be calculated from multiple angles and different levels, such as region, food category, region and food category.

Results: Sampling data of Guangxi food safety assessment in 2021 had been utilized for empirical research. The classic large sample estimation method and empirical Bayesian estimation method had been applied for model calculation. It was found that the results from these two methods had a certain differences, but both methods got the same results showing that restaurant and catering food safety was significantly poorer than other food categories. In addition, the Bayesian estimation method could effectively solve the calculation problem when the pass rate was 100% or the values were largely close. **Conclusion:** The model could calculate the food safety index results from multiple angles and different levels, such as regions, food types.

Keywords: food safety; evaluation index system model; classic large sample estimation method; empirical bayesian estimation method

基金项目:广西壮族自治区市场监督管理局科技计划项目(编号:GXSKJ2022-13)

作者简介:缪璐,女,广西壮族自治区产品质量检验研究院高级工程师,硕士。

通信作者:邓柯(1982—),男,清华大学工业工程系统计学研究中心副教授,博士。E-mail:kdeng@tsinghua.edu.cn

收稿日期:2022-07-06 **改回日期:**2023-01-04

食品安全问题是全世界面临的共同问题^[1]。在“十三五”时期,农产品和食品抽检量实现每年 4 批次/千人的目标,在“十四五”时期,稳步实现农产品和食品抽检量每年 5 批次/千人目标^[2]。因此,中国各省市已积累了大量食品抽检数据,而食品安全数据评价结果通常仅仅以各产品检测项目的合格率或不合格率通报某一地区的食品安全状况^[3-6],对于逐年生成的大量数据,未进一步挖掘分析。

作为反映食品安全状况的“风向标”和“温度计”,食品安全综合评价指数体系持续保持研究热度^[7],英国经

济学人智库(EIU)运用层次分析法和专家评分法,从2012年开始率先在全球范围内编制发布《全球食品安全指数》,但仅从食品供需角度来评价,无法反映食品质量安全与否^[8]。国际食品法典委员会(CAC)和世界卫生组织(WHO)的食品风险评估专家利用危害物实际摄入量与安全摄入量之间的数量关系,构建了食品安全指数(IFS),作为食品安全危害物暴露风险的评价方法^[9]。该方法更多的是从毒理学角度研究食品安全问题,未考虑社会面的其他因素。目前中国未形成全国统一标准的食品安全指数体系。刘文等^[10]选择不合格率、不合格度两类指标来构建食品安全指数,评估了7类食品的质量安全情况;李太平^[11]运用木桶原理和黄金分割法则,采用五级标度法构建了中国食品安全指数的测度方法,并运用构建的食品安全指数对2015年度中国食品安全进行了测度。在研究方法上中国学者也进行了大量探索,如运用主成分分析法^[12]、灰色关联分析法^[13]、层次分析法^[14]、神经网络^[15-16]及机器学习算法^[17]来确定指标权重,构建食品安全指标体系来对食品安全状况进行综合评价。上述研究主要从食品自身安全性出发,未综合考虑影响食品安全的其他因素,如消费量、食品产地、危害性、城市规模等,无法全面有效评估食品安全总体状况。

研究拟构建多维度指标评价体系,实现包括食品消费量、食品产地、危害性、城市规模,或地区与食品种类的交叉维度等多种指标的计算,并基于此对食品安全抽检数据进行应用验证,能够全面有效评估食品安全总体状况,从而为食品安全监管决策需要提供更多数据支持,并结合评估结果,对未来抽检计划的制定与部署产生指导性作用。

1 材料与方法

1.1 多维度食品安全评估指数体系构建

常见的食品安全检测数据分析方法局限于计算名义合格率,经常由于在检测项目上检测样本分布不均,某些产品检测样本太少,造成计算上的困难或结果有失偏颇。因此,对评价性抽检的原始数据进行统计学方法处理和统计模型构建,能够更加充分地利用抽检数据,为合格率计算提供更多可能。通过构建多维度指标评价体系,实现包括地市、食品种类、检测项目,或地区与食品种类的交叉维度等多种指标的计算,从而为食品安全监管决策需要提供更多数据支持,并结合评估结果,对未来抽检计划的制定与部署产生指导性作用。

1.1.1 食品消费量原则 评价模型需要考虑每一种食品在日常生活中的消费量。举例来说,有两种食品a和食品b,其中a是一种日常消费量大的食品,b是一种较少食用的食品。假设食品a和食品b均存在较高的食品安全风险,那么在不考虑其他条件的影响下,食品a造成的负

面影响要大于食品b的。因此,在评价模型中消费量不同的食品应该对分析结果产生不同的影响。

1.1.2 食品产地原则 对于在一个地区销售的食品来说,可能是本地区的生产企业自主生产的,也可能是外省市生产的,甚至从国外进口而来。如果一个地区生产的食品出现问题,那么该地区需要负责包括从生产环节到销售环节在内的全部责任,反之,如果一个外地生产的食品出现问题,则该地区管理部门只需要承担销售环节方面的责任。因此,模型中本地生产食品的重要性理应高于外地生产的。

1.1.3 项目危害程度原则 不同检测项目的毒理性质有显著性差异,食物中有毒重金属超标所带来的后果远比普通添加剂超标要严重。因此,需要在评价模型中根据不同检测项目的危害程度加以区分,对人体健康危害大的检测项目对指数的影响应越大。

1.1.4 城市规模原则 城市规模不同,对于食品安全事故产生的影响也会有所区别,如果在某一产品不合格率相同的情况下,在特大城市和Ⅱ型大城市影响范围不一样,在不考虑其他因素的条件下,对于超大城市造成的负面影响会大于Ⅱ型大城市。

1.2 食品安全评价理论模型

1.2.1 食品安全评价基本模型 令 I, J, K, L 分别表示地区、食品大类、抽检批次、检测项目; i, j, k, l 为其相应指标。定义如下评价的基本模型框架:

(城市 i ,食品大类 j)的食品安全评价指数 $R_{(i,j)}$ 为

$$R_{(i,j)} = \sum_{(i,j,k,l)} a_j \cdot b_{ijk} \cdot c_{ijkl} \cdot d_i \cdot p_{ijkl}, \quad (1)$$

式中:

a_j ——第 j 个食品大类($j=1, \dots, 7$)的消费量权重系数;

b_{ijk} ——第 i 个地市在第 j 个食品大类上抽检的第 k 个批次($k=1, \dots, n_{ij}$)的生产地权重系数;

c_{ijkl} ——第 l 个检测项目($l=1, \dots, n_{ijk}$)的危害值权重系数;

d_i ——第 i 个地市($i=1, \dots, 14$)的城市规模权重系数;

p_{ijkl} ——食品 j 在地区 i 抽检的第 k 个批次在 l 项目上的基础合格率。

1.2.2 食品安全评价综合指数的估计方法 由式(1)可知,概念上安全指数 $R_{(i,j)}$ 是基础合格率 p_{ijkl} 的线性组合。理论上,只要已知所有的基础合格率 p_{ijkl} 以及上述给定的权重,就可以将 $R_{(i,j)}$ 计算出来。但事实上,真实的 p_{ijkl} 是永远不可能已知的,只能通过估计方法估计得到。在利用实际抽检数据进行计算时,研究采用两种估计方法。

(1) 经典大样本估计法:经典大样本估计法是常见的

合格率估计方法^[18],此处为了计算食品安全评价指数,还需要加入各个权重因素,从而最终得到加权计算的项次合格率作为指数结果。(城市*i*,食品大类*j*)的项次加权合格率为:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ij}} \sum_{l=1}^{n_{ijk}} b_{ijk} c_{ijkl} Y_{ijkl}}{\sum_{k=1}^{n_{ij}} \sum_{l=1}^{n_{ijk}} b_{ijk} c_{ijkl}}, \quad (2)$$

式中:

Y_{ijkl} ——项目检验结果,取值为(0,1),0代表不合格,1代表合格。

再分别投射到地市和食品维度上,可得到地市和食品大类的项次加权合格率。

城市*i*的项次加权合格率为

$$R_i^{\text{city}} = \frac{\sum_{j=1}^7 a_j R_{ij}}{\sum_{j=1}^7 a_j}. \quad (3)$$

食品大类*j*的项次加权合格率为

$$R_j^{\text{food}} = \frac{\sum_{i=1}^{14} a_j R_{ij}}{\sum_{i=1}^{14} d_i}. \quad (4)$$

(2) 经验贝叶斯估计法:为了更好地评估抽检结果,对不确定性进行衡量,还采用了经验贝叶斯方法来计算食品安全评价指数^[19]。在贝叶斯统计的框架下,未知参数 p_{ij} 不再被看作是一个给定但是未知的常数,而被看作是一个随机变量,其“先验分布” π_{ij} 是指在获取任何数据之前,对于未知参数 p_{ij} 分布的认识。对于此处所关心的 p_{ij} ,通常选择 $\pi_{ij} = \text{Beta}(\alpha, \beta)$ 作为其先验分布,其中先验分布参数 (α, β) 使用数据进行经验估计。假定检验数据是在 p_{ij} 给定的条件下依照二项分布模型产生的,通过公式推导,得到最终的 p_{ij} 的后验分布为:

$$p(p_{ij} | \{y_{ijl}\}) \propto p_{ij}^{\alpha-1} \cdot (1-p_{ij})^{\beta-1} \cdot p_{ij}^{m_{ij}} \cdot (1-p_{ij})^{n_{ij}-m_{ij}} = p_{ij}^{\alpha-1+m_{ij}} \cdot (1-p_{ij})^{\beta-1+n_{ij}-m_{ij}}.$$

即 p_{ij} 的后验服从参数为 $\alpha + m_{ij}$ 和 $\beta + n_{ij} - m_{ij}$ 的 Beta 分布。

然后使用蒙特卡罗模拟的方法,根据以上后验分布抽取 p_{ij} ,然后对于每个 p_{ij} 模拟生成

$$Y_{ijkl} \sim \text{Bernoulli}(p_{ij})$$

此处(城市*i*,食品大类*j*)的项次加权合格率为

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ij}} \sum_{l=1}^{n_{ijk}} b_{ijk} c_{ijkl} Y_{ijkl}}{\sum_{k=1}^{n_{ij}} \sum_{l=1}^{n_{ijk}} b_{ijk} c_{ijkl}}, \quad (5)$$

式中:

Y_{ijkl} ——计算模拟项目检验结果,取值为(0,1),0代表不合格,1代表合格。

得到后验分布后,使用后验中位数作为 p_i 以及 p_j 的估计,使用后验分布的 2.5% 和 97.5% 分位数作为估计区间。同样地,分别投射到地市和食品维度上,便可得到地市和食品大类的项次加权合格率。

1.3 食品安全评估指数模型实证分析

以 2021 年广西食品安全评价性抽检数据为例,此次抽检选择公众消费量大、消费人群广的粮食加工品、食用油、油脂及其制品、肉制品、乳制品、豆制品、食用农产品及餐饮食品 7 类重点食品,覆盖了广西境内的 14 个地级市的 111 个县级行政区。各抽检监测地区在流通环节选择当地居民主要的 3 类食品购买点作为目标采样点:① 超市、商店(包括便利店、专营店);② 农贸市场;③ 餐饮店(包括酒店、饭店、快餐店、小吃店)。

(1) 食品消费量权重 a_i :依据《广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015)》^[20] 调查结果,设定九大类食品的膳食消费量权重比例,并对原始数据与抽检食品种类进行匹配,匹配原则见图 1。其中,肉及肉制品按照 4:1 的比例算作肉类(并入食用农产品)和肉制品的权重。

消费量权重比例	食品类别	食品大类	食品大类权重
0.28	米及米制品	粮食加工品	0.300
0.02	面及面制器	食用农产品	0.598
0.29	蔬菜	肉制品	0.032
0.05	水产品	食用油、油脂及其制品	0.030
0.13	水果	乳制品	0.020
0.16	肉及肉制品	豆制品	0.010
0.03	信用植物油	餐饮食品	0.010
0.02	乳及乳制品		
0.01	豆及豆制品		
0.01	其他类		

图 1 食品消费量权重赋值

Figure 1 Weight assignment of food consumption

(2) 城市规模权重 d_i :根据《广西统计年鉴 2021》^[21] 确定广西 14 个地级市常住人口数,并根据《国务院关于调整城市规模划分标准的通知》国发[2014]51 号文^[22] 将 14 个地市划分为 3 档,按每档的平均人数设置权重(见表 1)。

(3) 检测项目危害值权重 c_{ijkl} :检测项目危害值 c_{ijkl} 是国家食品安全风险评估中心通过综合有害物的急性毒性和长期毒性给出分值为 1~5 分的打分,其中 5 分表示危害性最高,1 分表示最低。打分确定依据见表 2。

(4) 生产地类别权重 b_{ijk} :生产地类别权重 b_{ijk} 数值采用德尔菲法由专家对相应权重进行赋值,本市生产、本省非本市生产、其他地方生产的权重分别为 1.0,0.8,0.7。2021 年抽检数据中 3 种类型生产地及其权重赋值见表 3。

2 结果与分析

2.1 经典大样本估计法的计算结果

从食品种类的角度来分析数据,先根据经典大样本估计法计算得到了第一组食品安全评价指数(加权合格率),并依据统计学公式计算得到了其 95% 的区间上、下

表 1 广西 14 个城市规模权重
Table 1 Scale weight of 14 cities in Guangxi

地区	2020 年常住人口/万人	城市规模	平均数权重
南宁市	875.26	特大城市	1.0
玉林市	580.41		
桂林市	493.74		
贵港市	432.17		
柳州市	416.32		
百色市	357.60		
河池市	342.23	I 型大城市	0.6
钦州市	330.64		
梧州市	282.45		
来宾市	207.72		
崇左市	209.13		
贺州市	201.04		
北海市	185.56		
防城港市	104.74		

限。肉制品加权合格率为 100%；餐饮食品加权合格率最低为 99.65%。

由图 2 可知,根据加权合格率的点估计结果和简单合格率的计算结果分别给各类食品进行排名,发现大部分食品的排名未发生变化,有变化的种类是乳制品、食用农产品和粮食加工品。其中,乳制品的名次由第 6 名上升到了第 4 名,而粮食加工品从第 5 名下降到了第 6 名。对比这两类食品的不合格情况,发现乳制品的检测项目危害值权重明显低于粮食加工品,且其消费量权重远低于粮食加工品,因此计算加权合格率时二者受到了不同影响:粮食加工品加权合格率排名发生下降,乳制品的加权合格率排名上升。

由图 3 可知,从区间估计结果看,餐饮食品的指数计算结果在统计上显著低于排名前三的食品肉制品、食用油、油脂及其制品和豆制品。

2.2 经验贝叶斯估计法的计算结果

由于肉制品的简单合格率为 100%,从理论上无法使用经典大样本法求得其置信区间,而贝叶斯方法可以有

表 2 检测项目危害值打分依据
Table 2 Scoring basis for hazard value of test items

赋值	危害	
	大鼠经口 LD ₅₀ (急性毒性)/ (mg · kg ⁻¹ · BW)	ADI/TDI/PTWI/PTMI(长期毒性)
1	>5 000	危害物 ADI 或者 TDI>10 μg/(kg · BW · d); 无 ADI 或 TDI 值危害物:致癌物(第 4 类);神经毒性(第 4 类);不确定的健康危害影响及未归类的有毒或有害物质;未按有毒或有害分类的物质
2	501~5 000	危害物 ADI 或者 TDI 0.1~10 μg/(kg · BW · d); 无 ADI 或 TDI 值危害物:致癌物(第 3 类);神经毒性(第 3 类)
3	51~500	危害物 ADI 或者 TDI 0.001~0.1 μg/(kg · BW · d); 无 ADI 或 TDI 值危害物:致癌物(第 2B 类);致突变物(第 3 类);生殖/发育毒性(第 3 类);神经毒性(第 2 类);慢性毒性(第 2 类)
4	1~50	危害物 ADI 或者 TDI<0.001 μg/(kg · BW · d); 无 ADI 或 TDI 值危害物:致癌物(第 2A 类);致突变物(第 2 类);生殖/发育毒性(第 2 类);神经毒性(第 1 类);慢性毒性(第 1 类)
5	<1	危害物 ADI 或者 TDI<0.001 μg/(kg · BW · d); 无 ADI 或 TDI 值危害物:致癌物(第 1 类);致突变物(第 1 类);生殖/发育毒性(第 1 类)

表 3 2021 年抽检数据中的生产地类别及权重
Table 3 Production site category and weight in 2021 sampling data

食品产地	抽样批次数	抽样比例	食品产地权重
本市生产	9 897	0.658 4	1.0
本省非本市生产	3 568	0.237 4	0.8
外省生产	1 566	0.104 2	0.7

效解决该问题,并可以更加有效利用样本量,以及抽检数据之间的结构关系,因此采用经验贝叶斯估计法进行合格率计算,得到食品安全评价指数(贝叶斯加权合格率),并依据统计学方法得到其区间上、下限。肉制品仍排名第一,为 99.92%;餐饮食品排名最后,为 99.67%。而乳制品由于受到样本量较小的影响,排名第 6。

由图 4 可知,根据贝叶斯加权合格率的点估计结果

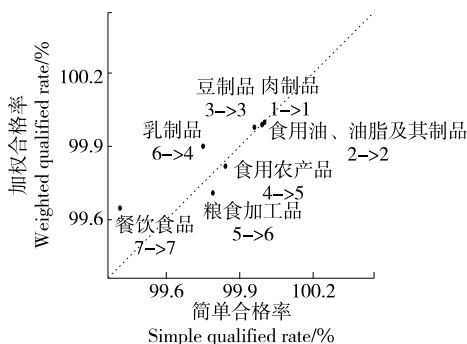


图2 各类食品合格率排名变化情况
(简单合格率 vs 加权合格率)

Figure 2 Ranking change of qualification rate of various foods (simple qualification rate vs weighted qualification rate)

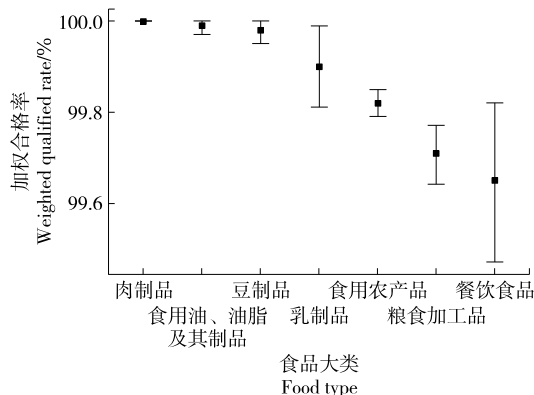


图3 各类食品加权合格率区间估计结果

Figure 3 Interval estimation results of weighted qualification rate of various foods

和简单合格率的计算结果分别给各类食品进行排名,名次变化未发生改变,是因为乳制品的抽检样本量最小,计算结果受到该因素影响。由图5可知,餐饮食品的计算结果明显低于其他食品大类。

2.3 结果分析

利用了经典大样本估计法和经验贝叶斯估计法两种估计方法。前者基于大样本正态近似进行不确定性的估计,存在直接的计算公式,具有计算方便的优点。然而实际中,由于成本的限制,抽检数目有限,在一些食品类别上甚至会出现合格率为100%的情形,此时置信区间便会退化成一个单点,进而无法准确地反映实际的食品安全状况。而经验贝叶斯方法在该研究中的创新应用,有效解决了合格率为100%或数值普遍接近时的估计问题,可以对计算结果的统计性质进行深入分析和解释。此外,继续利用模型的加权平均可以向不同维度形成映射的算法特点,得到了一整套的评价指标,可用于满足实践中多角度、多层次的信息需要。

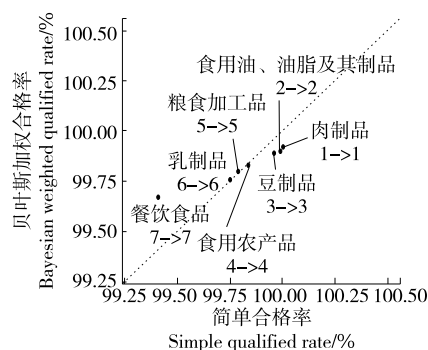


图4 各类食品合格率排名变化情况(简单合格率 vs 贝叶斯加权合格率)

Figure 4 Ranking change of qualification rate of various foods (simple qualification rate vs Bayesian weighted qualification rate)

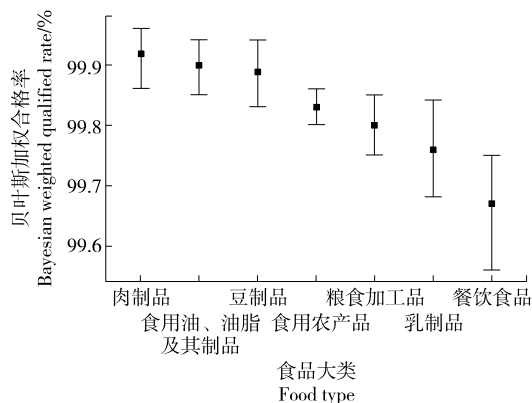


图5 各类食品贝叶斯加权合格率区间估计结果

Figure 5 Interval estimation results of Bayesian weighted pass rate of various foods

3 结论

探讨了通过食品安全评价指数体系来评价地区食品安全状况的方法。在构建的指数体系中,综合考虑了影响食品安全的主要因素,如地市规模、食品种类、检测项目危害、生产地等,并采用多种数据来源对模型进行支撑。试验仅从食品种类一个角度,采用经典大样本估计法和经验贝叶斯估计法两种估计方法进行验证,而该模型可以实现从地区、食品种类、地区和食品种类等多角度、不同层次计算得到食品安全指数结果,为食品安全监管决策需要提供更多数据支持,同时,也有利于找出其监管薄弱环节,实现社会资源在食品安全方面的合理分配,有效提高食品安全水平,对未来抽检计划的制定与部署产生指导性作用。为了保证计算结果的科学性和代表性,研究空间(包括抽检地区、检测项目、食品种类等)不能随意变化,否则结果将不具有纵向可比性。其次,如果历史数据积累不足,例如在单个检验项目上样本量偏小,可能导致估计方差较高。因此,在使用该评价指数体系

时,尽量稳定抽检地区、食品种类以及抽检项目等重要影响因素,并尽可能在科学制定抽检方案的同时,增加样本数量,从而使得评价结果保持稳定性与有效性,提高跨期研究的参考价值。

参考文献

- [1] 赵美玲, 秦卫平. 我国食品安全研究现状与热点的文献计量学分析[J]. 科技管理研究, 2014, 34(3): 68-73.
ZHAO M L, QIN W P. Research status and hot points of food safety in China based on Bibliometric analysis[J]. Science and Technology Management Research, 2014, 34(3): 68-73.
- [2] 中国政府网, 新华社. 国务院关于印发“十四五”市场监管现代化规划的通知[EB/OL]. (2022-01-27) [2022-08-11]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/27/content_5670717.htm.
China Government Network, Xinhua News Agency. Notice of the State Council on printing and distributing the modernization plan of market supervision in the 14th five year plan[EB/OL]. (2022-01-27) [2022-08-11]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/27/content_5670717.htm.
- [3] 胡芳, 任妍娜, 夏远. 2015—2019 年内蒙古自治区食品安全监督抽检情况分析[J]. 质量与安全, 2022, 32(2): 13-16.
HU F, REN Y N, XIA Y. Analysis of current situation of food safety in Inner Mongolia autonomous region from 2015 to 2019[J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2022, 32(2): 13-16.
- [4] 蒋燕舒, 刘玲君, 李道霞, 等. 2017—2020 年四川省食品安全监督抽检结果分析及时空聚集性研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2022, 43(6): 37-45.
JIANG Y S, LIU L J, LI D X, et al. Space-time clustering study on the food safety supervision and sampling inspection of Sichuan Province from 2017 to 2020 [J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition), 2022, 43(6): 37-45.
- [5] 韩世鹤, 高媛, 刘斯琪, 等. 2019 年国家食品安全监督抽检不合格结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(14): 4 886-4 893.
HAN S H, GAO Y, LIU S Q, et al. Analysis on unqualified results of sampling inspection of national food safety supervision in 2019 [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(14): 4 886-4 893.
- [6] 王琳, 田恒旗, 吴佳蓓, 等. 2019—2020 年全国食品安全监督抽检情况分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2022, 32(8): 897-900.
WANG L, TIAN H Q, WU J B, et al. Analysis of national food safety supervision and sampling inspections from 2019 to 2020[J]. Chin J Health Lab Tec, 2022, 32(8): 897-900.
- [7] 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.
- [8] HOBBS J E, FEARNE A, SPRIGGS J. Incentive structures for food safety and quality assurance: An international comparison[J]. Food Control, 2002, 13(2): 77-81.
- [9] 徐晓燕, 孙中叶, 屈凌波. 食品安全指数研究进展[J]. 农产品加工, 2020(20): 100-102, 105.
XU X Y, SUN Z Y, QU L B. Food safety index and recent related research in China[J]. Farm Products Processing, 2020(20): 100-102, 105.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 徐清宇, 余静, 朱大伟, 等. 基于主成分分析和聚类分析的不同水稻品种营养品质评价研究[J]. 中国稻米, 2022(6): 1-8.
XU Q Y, YU J, ZHU D W, et al. Nutritional quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis and cluster analysis[J]. China Rice, 2022(6): 1-8.
- [13] 姚睿宽. 基于灰色关联分析法的河南省粮食产量影响因素研究[J]. 安徽农学通报, 2022, 28(3): 44-48.
YAO R K. Research on influencing factors of grain yield in Henan Province Based on grey relational analysis[J]. Anhui Agri Sci Bull, 2022, 28(3): 44-48.
- [14] 张春生, 董良飞, 施蕊, 等. 基于层次分析法的高校食堂食品安全风险评价指标体系研究[J]. 现代预防医学, 2020, 47(5): 817-819, 878.
ZHANG C S, DONG L F, SHI R, et al. Risk evaluation index system of college canteen food safety based on analytic hierarchy process[J]. Modern Preventive Medicine, 2020, 47(5): 817-819, 878.
- [15] 尹佳, 陈翔, 董曼, 等. 基于小波分解—长短期记忆网络预测模型的酱卤肉制品安全预测分析[J]. 食品科学, 2022, 43(3): 121-128.
YIN J, CHEN X, DONG M, et al. Prediction and analysis of marinated meat product safety risk using wavelet transform-long short-term memory prediction model[J]. Food Science, 2022, 43(3): 121-128.
- [16] TALARI G, CUMMINS E, MCNAMARA C, et al. State of the art review of Big Data and web-based Decision Support Systems (DSS) for food safety risk assessment with respect to climate change[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 126: 192-204.
- [17] 周悦, 李潇岚, 程薇, 等. 基于机器学习算法的食品污染物神经毒性预测模型建立[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 216-223, 306.
ZHOU Y, LI X L, CHENG W, et al. Neurotoxicity prediction model of food contaminants based on machine learning[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 216-223, 306.

(下转第 158 页)

- volatile flavor compounds and fatty acids in traditional fish sauce during fermentation by GC-MS[J]. *Journal of Fisheries*, 2018, 42(6): 984-995.
- [14] 焦慧. 海鱼及其制品挥发性风味研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012: 29.
- JIAO H. Study on flavor of seawater fish meat and its products[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2012: 29.
- [15] 姚芳, 赵延胜, 王海蓝, 等. 银杏果酶解发酵前后风味成分的变化及主成分分析[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(6): 251-265.
- YAO F, ZHAO Y S, WANG H L, et al. Changes and principal component analysis of flavor components in ginkgo seed before and after enzymolysis-fermentation[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(6): 251-265.
- [16] 蔺佳良, 繆芳芳, 蔡江佳, 等. 中华绒螯蟹不同部位挥发性物质的研究[J]. *核农学报*, 2014, 28(2): 259-269.
- LIN J L, MIAO F F, CAI J J, et al. Volatile substances in different parts of female *eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Nuclear Agricultural*, 2014, 28(2): 259-269.
- [17] 黄骆镰, 黄克, 肖如武. 水产品腥味物质形成机理的研究进展[J]. *广东化工*, 2009, 36(9): 146-150.
- HUANG L L, HUANG K, XIAO R W. Advances on the formational theory of fishy odor for aquatic product[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2009, 36(9): 146-150.
- [18] 杜国伟, 夏文水. 鲢鱼糜脱腥前后及贮藏过程中挥发性成分的变化[J]. *食品工业科技*, 2007(9): 76-80.
- DU G W, XIA W S. Changes of volatile components in silver carp surimi before and after deodorization and during storage [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2007(9): 76-80.
- [19] 冯杰, 詹晓北, 周朝晖, 等. 两种膜过滤生产的纯生酱油风味物质比较[J]. *食品与生物技术学报*, 2010, 29(1): 33-39.
- FENG J, ZHAN X B, ZHOU Z H, et al. Comparative analysis of flavor compounds in draft soy sauce origin from two different membranes[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2010, 29(1): 33-39.
- [20] 丁媛, 周君, 郑平安, 等. 基于 SPEM-GC-MS 和电子鼻研究温度对毛蚶挥发性物质的影响[J]. *核农学报*, 2013, 27(12): 1 873-1 880.
- DING Y, ZHOU J, ZHENG P A, et al. Analysis of flavor compounds of the *scapharca subcrenata* at different temperatures by SPEM-GC-MS combined with chemical sensors[J]. *Journal of Nuclear Agricultural*, 2013, 27(12): 1 873-1 880.
- [21] 吴丹. GC/MS 方法研究天然挥发性风味物质[D]. 上海: 复旦大学, 2006: 79.
- WU D. Study on natural volatile flavor compounds by GC/MS[D]. Shanghai: Fudan University, 2006: 79.
- [22] 杨红菊, 乔发东, 马长伟, 等. 脂肪氧化和美拉德反应与肉品风味质量的关系[J]. *肉类研究*, 2004(1): 25-28.
- YANG H J, QIAO F D, MA C W, et al. Effect of lipid oxidation and maillard reaction on flavor meat[J]. *Meat Research*, 2004(1): 25-28.
- [23] EDWARDS R A, ORDONEZ JA, DAINTY R H, et al. Characterization of the headspace volatile compounds of selected Spanish dry fermented sausages[J]. *Food Chemistry*, 1999, 64(4): 461-465.
- [24] 孙金龙, 师希雄, 岳建伟, 等. 金鲢鱼鱼体不同部位挥发性成分的检测[J]. *食品与发酵科技*, 2018, 54(4): 91-96.
- SUN J L, SHI X X, YUE J W, et al. Volatile component analysis of different parts of golden trout[J]. *Food and Fermentation Sciences and Technology*, 2018, 54(4): 91-96.
- [25] 张娜, 袁信华, 过世东, 等. 中华绒螯蟹挥发性物质的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2008(3): 141-144.
- ZHANG N, YUAN X H, GUO S D, et al. Study on volatile substances of Chinese mitten crab [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2008(3): 141-144.
- [26] 俞海峰, 何芳, 周浙良. 水产品的风味研究进展[J]. *现代渔业信息*, 2009, 24(3): 14-16.
- YU H F, HE F, ZHOU Z L. Progress in research of flavor of aquatic products[J]. *Modern Fisheries Information*, 2009, 24(3): 14-16.
- [27] 刘玉平, 陈海涛, 孙宝国. 鱼肉中挥发性成分提取与分析的研究进展[J]. *食品科学*, 2009, 30(23): 447-451.
- LIU Y P, CHEN H T, SUN B G. Recent advances in extraction and analysis of volatile components in fish[J]. *Food Science*, 2009, 30(23): 447-451.

(上接第 54 页)

- [18] AGRESTI A. An introduction to categorical data analysis, 2nd edition[M]. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007: 24-37.
- [19] GELMAN A, CARLIN J B, STERN H S, et al. Bayesian data analysis[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013: 63-78.
- [20] 唐振柱. 广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015)[M]. 南宁: 广西人民出版社, 2018: 6-12.
- TANG Z Z. Report on dietary nutrition and health status of Guangxi residents(2010—2015) [M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House, 2018: 6-12.
- [21] 中国统计出版社. 广西统计年鉴 2021[EB/OL]. (2020-04-15) [2022-07-25]. <http://tjj.gxzf.gov.cn/tjsj/tjnj/material/tjnj20200415/>
- 2021/zk/indexch.htm.
- China Statistics Press. Guangxi Statistical Yearbook-2021[EB/OL]. (2020-04-15) [2022-07-25]. <http://tjj.gxzf.gov.cn/tjsj/tjnj/material/tjnj20200415/2021/zk/indexch.htm>.
- [22] 中国政府网, 新华社. 国务院印发《关于调整城市规模划分标准的通知》[EB/OL]. (2014-11-20) [2022-08-13]. http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/20/content_2781156.htm.
- China Government Network, Xinhua News Agency. The State Council printed and distributed the notice on adjusting the criteria for dividing the size of cities[EB/OL]. (2014-11-20) [2022-08-13]. http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/20/content_2781156.htm.