

基于层次分析法的食品微生物安全风险评价体系研究

陈晓燕, 施家威*, 黎海涛, 沈燕丽

(浙江医药高等专科学校食品学院, 宁波 315100)

摘要: **目的** 确定食品微生物安全风险评价指标及其权重, 构建食品微生物风险评价指标体系。**方法** 对浙江省 2017—2019 年生产、流通、餐饮环节监督抽检数据进行筛选分析, 确定评价食品微生物风险的一级、二级评价指标, 运用层次分析法, 确定各项指标对“食品微生物安全”目标层的权重, 并进行一致性检验和综合安全指数分析。**结果** 评价体系由 5 个一级指标和 8 个二级指标组成, 一级指标权重由高到低依次为霉菌 0.3670、铜绿假单胞菌 0.3670、金黄色葡萄球菌 0.1473、大肠菌群 0.0641、菌落总数 0.0545, 8 个二级评价指标权重依次为饮料 0.2922、糕点 0.2351、水产品 0.1556、炒货坚果 0.1146、水果 0.0737、饼干 0.0463、肉制品 0.0421、调味品 0.0404。**结论** 影响食品微生物安全的 5 个一级评价指标权重由高到低依次为霉菌、铜绿假单胞菌、金黄色葡萄球菌、大肠菌群、菌落总数, 综合分析各食品品类微生物安全风险, 饮料、糕点的权重最高, 水产品、炒货坚果次之, 饼干、肉制品、水果、调味品相对较低。

关键词: 层次分析; 微生物安全; 风险评价; 指标体系

Analysis of food microbial safety risk assessment system by using analytic hierarchy process

CHEN Xiao-Yan, SHI Jia-Wei*, LI Hai-Tao, SHEN Yan-Li

(Food Science College of Zhejiang Pharmaceutical College, Ningbo 315100, China)

ABSTRACT: Objective To determine the food microbial safety risk evaluation indexes and their weights, and establish a food microbial safety risk evaluation index system. **Methods** Based on the screening and analysis of the supervision and sampling data of production, circulation and catering links in Zhejiang province from 2017 to 2019, the first and second level evaluation indexes of food microbiological risk were determined, and the weight of each index on the target level of "food microbiological safety" was determined by using the analytic hierarchy process, and the consistency test and comprehensive safety index analysis were carried out. **Results** The evaluation system was composed of 5 first-class indicators and 8 second-class indicators. The weights of the first-class indicators from high to low were mold 0.3670, *Pseudomonas aeruginosa* 0.3670, *Staphylococcus aureus* 0.1473, coliform group 0.0641, and total bacterial count 0.0545. The weights of 8 secondary evaluation indicators were 0.2922 for beverage, 0.2351

基金项目: 浙江省食品安全创建评价项目(2020071)、浙江医药高等专科学校 2018 年度校级科研课题(2019016)

Fund: Supported by Food safety Evaluation Project in Zhejiang Province (2020071), and School Level Scientific Research Project of Zhejiang Pharmaceutical College in 2018 (2019016)

*通信作者: 施家威, 教授, 主要研究方向为食品检测与食品安全风险评估。E-mail: shijw@sina.cn

*Corresponding author: SHI Jia-Wei, Professor, Zhejiang Pharmaceutical College, No.888 East Yinxian Avenue, Yinzhou District, Ningbo 315100, China. E-mail: shijw@sina.cn

for cake, 0.1556 for aquatic product, 0.1146 for fried nut, 0.0737 for fruit, 0.0463 for biscuit 0421 for meat products and 0.0404 for condiments. **Conclusion** From high to low, the weight of 5 first-class evaluation indexes affecting food microbial safety is mold, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, coliform group and total number of colonies. Based on the comprehensive analysis of the microbial safety risk of various food categories, beverage and pastry have the highest weight, followed by aquatic products and fried nuts, while biscuits, meat products, fruits and condiments are relatively low.

KEY WORDS: analytic hierarchy process; microbial safety; risk evaluation; index system

0 引言

食源性微生物安全事件是由某种特定的食品、致病菌、加工过程、地区、传播途径或某些复合因素的作用导致一种或多种影响人群健康的事件发生,包括腹泻、住院和死亡等^[1]。食源性致病菌引起的食品安全风险是全球性的问题,近年来,由食源性致病微生物导致的中毒或死亡事件在全球频发,食源性致病微生物引起的疾病已成为危害人类健康的头号杀手^[2]。我国食品安全调查数据显示,自2010年以来,致病微生物引发的食物中毒事件数一直高于化学性和有毒动植物^[3]。食品微生物安全问题已成为食品安全的核心。

食品安全抽样检验是食品安全监管的重要手段,是全面掌握食品安全总体情况、及时发现和处置食品安全问题的重要技术支撑。国家、省、市各级市场监管部门每年都要组织开展食品安全监督抽检工作,由此产生庞大的抽检数据。为更好地挖掘食品抽检数据关系,查找食品安全风险因素、总结不合格成因、提高抽检的靶向性,学者们运用各种数据分析方法对抽检数据进行了深入研究^[4-10]。但是,针对食品微生物安全风险评价的研究不多,且局限在餐饮环节^[11-12],目前还未发现有涵盖生产、流通、餐饮等食品微生物安全风险全环节的评价研究。层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是美国运筹学家 Saaty 教授提出的一种定性和定量分析相结合的多目标决策方法^[13]。AHP 将决策者的经验判断给予量化,在目标结构复杂且缺乏必要的信息情况下尤为实用,近年来在食品安全风险评估和监管领域应用较多^[14-17]。

本研究以浙江省 2017—2019 年生产、流通、餐饮环节食品监督抽检数据(包括国抽、省抽)为数据分析源^[18],运用层次分析法,将影响食品微生物安全的各类因素予以定量,构建系统性的食品微生物安全风险因素评价指标体系,以期为目标抽检和食品微生物安全风险监测提供一定的参考。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

以浙江省市场监督管理局监督抽检数据库中 2017—2019 年食品生产、流通、餐饮环节监督抽检数据(包

括国抽、省抽)为数据分析源。

1.2 方 法

1.2.1 分析方法

采用迈实 AHP 软件 V1.82 建立层次分析模型、矩阵判断、一致性检验、权重计算等。

1.2.2 数据处理

以浙江省 2017—2019 年食品生产、流通、餐饮环节监督抽检数据作为本研究的基础数据,以“微生物”不合格项为筛选信息进行数据筛选。对不合格产品信息中的不合格项目,分别按照年份、生产日期、产品类别、抽检环节、不合格项目等进行分类汇总,应用 Excel 软件进行数据统计。

2 结果与分析

浙江省 2017—2019 年共监督抽检发现不合格食品 2249 批次,其中,“微生物”不合格食品 605 批次,占 26.90%, 涵盖糕点、饮料、水产品、炒货坚果等各食品大类,涉及菌落总数、大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌等微生物不合格项目。

2.1 食品微生物风险概况

605 批次“微生物”不合格食品中,生产、流通、餐饮环节的不合格数分别为 259、275、71 批次,占该环节不合格食品总数的 52.53%、24.80%、10.74%。从各年情况来看,每一年中生产抽样环节微生物不合格占比均远高于其他抽样环节,且占当年所有不合格食品的一半左右,2017、2018、2018 三年分别为 40.10%、61.44%、55.71%, 详见表 1。可见,生产环节是食品微生物污染的主要环节。生产环节中的卫生条件不达标、生产设备及其器具清洗消毒不到位、产品包装密封不严等是造成微生物超标的主要原因。

从微生物不合格项来看,主要为菌落总数、大肠菌群、霉菌、铜绿假单胞菌和金黄色葡萄球菌,分别为 240、149、91、74、27 批次,占微生物不合格项目总数的 40%、25%、15%、12%、4%, 详见图 1。菌落总数超标是食品微生物不合格的最主要因素。从各大类食品检出的微生物不合格指标情况来看,菌落总数和大肠菌群普遍易感,霉菌、金黄色葡萄球菌主要在糕点类食品中检出,铜绿假单胞菌集中在饮料类。

表 1 各抽样环节微生物不合格食品数量及占该环节所有不合格食品比例情况
Table 1 Quantity and proportion of microbial unqualified food in each sampling link

年份	生产抽样环节		流通抽样环节		餐饮抽样环节		不合格食品总数
	数量	占不合格比例/%	数量	占不合格比例/%	数量	占不合格比例/%	
2017 年	75	40.1	90	28.75	10	12.90	629
2018 年	145	61.44	138	23.08	25	12.76	1030
2019 年	39	55.71	47	15.68	36	10.71	589
小计	259	52.53	275	24.80	71	10.74	2249

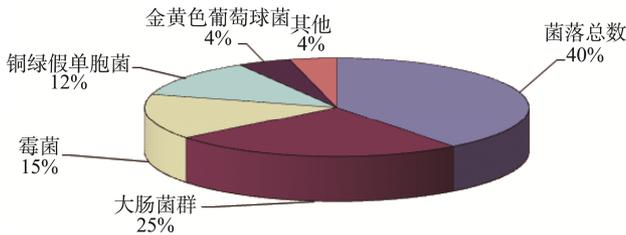


图 1 微生物不合格项目及所占百分比情况

Fig.1 Items and percentage of unqualified microorganism

根据食品生产许可分类目录进行食品类别整理, 涉及微生物不合格的共 21 类。各系类食品微生物不合格情况详见图 2, 其他是指除 8 种高风险食品外的其余 13 类食品, 如蛋制品、粮油加工品、淀粉及淀粉制品等。其中, 糕点、饮料、水产品面临的风险较高, 分别为 173、153、104 批次, 占不合格批次总数的 28.60%、25.29%、17.19%。

从不合格批次的抽检月份来看, 第三季度(7~9 月)的微生物不合格批次占比最高, 分别为 35.0%、30.0%、29.6%, 详见图 3。

2.2 食品微生物不合格抽检数据挖掘与风险评价模型

2.2.1 层次分析模型

依据 AHP 模型, 立足食品微生物安全风险实况, 围

绕“微生物安全”目标层, 将子目标分解为菌落总数、大肠菌群、霉菌、铜绿假单胞菌、金黄色葡萄球菌 5 大类。围绕子目标, 又继续分解为糕点、饮料、水产品、炒货坚果、饼干、肉制品、水果、调味品 8 个方案层, 浙江省食品微生物风险因素评价模型见图 4。

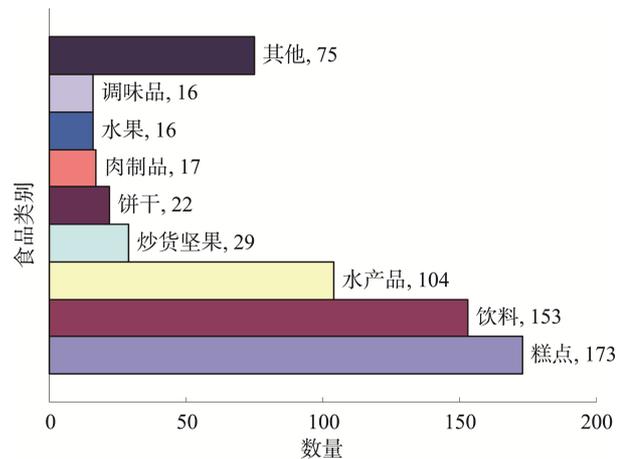


图 2 微生物不合格的主要食品系类

Fig.2 Major food categories with unqualified microorganisms

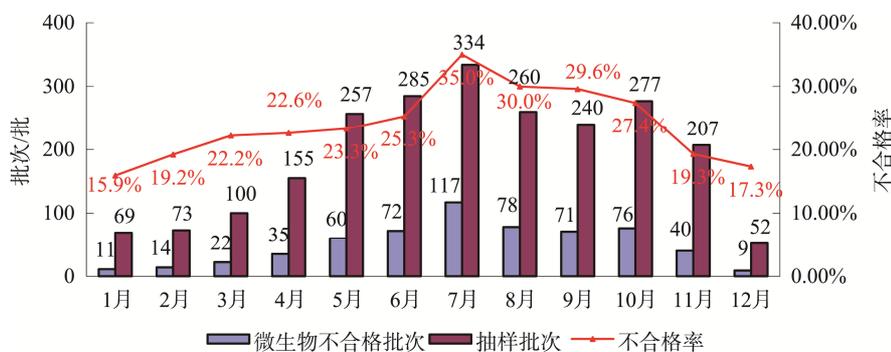


图 3 微生物不合格抽检月份情况

Fig.3 Sampling month of unqualified microorganism

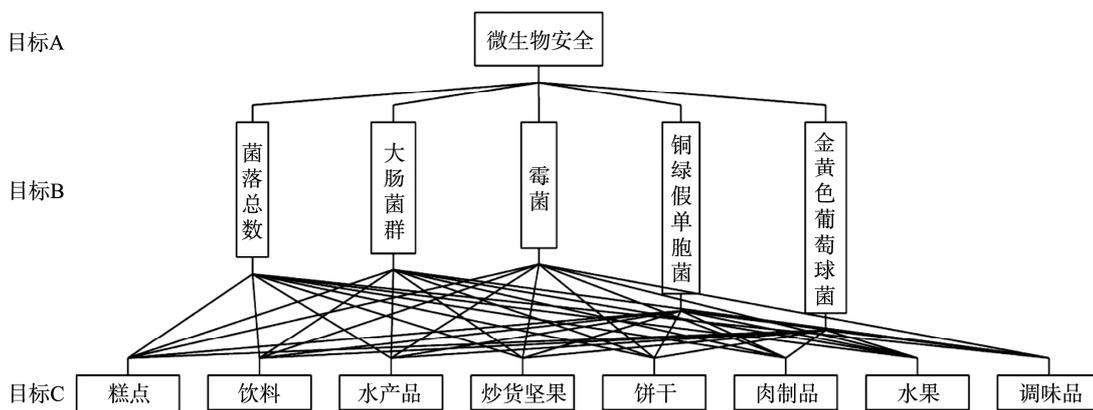


图 4 浙江省食品微生物风险因素评价模型

Fig.4 Evaluation model of food microbiological risk factors in Zhejiang province

2.2.2 权重系数和一致性检验

(1) 准则层 B 各指标对目标层 A 的权重计算和一致性检验

邀请来自食品检测、食品质量安全管理、食品安全监管、食品教学科研领域的 8 位专家, 依据专业经验, 结合各微生物指标的危害程度, 使用 1~9 标度法(见表 2)将准则层 B 中各微生物指标间的重要性予以两两比较量化, 并据此构建出准则层的各微生物指标 $B_i(i=1,2,3,4,5)$ 对目标 A 的判断矩阵 E1, 见表 3。

表 2 判断矩阵标度及定义
Table 2 The scale and definition of judgment matrix

标度 a_{ij}	定义
1	指标 i 和指标 j 相比, 两者具有相同的重要性
3	指标 i 和指标 j 相比, 前者比后者稍微重要
5	指标 i 和指标 j 相比, 前者比后者比较重要
7	指标 i 和指标 j 相比, 前者比后者十分重要
9	指标 i 和指标 j 相比, 前者比后者绝对重要
2,4,6,8	指标 i 和指标 j 相比, 重要程度介于上述相邻两者之间
倒数	倒数指标 j 和指标 i 相比的结果

表 3 准则层判断矩阵 E1
Table 3 Criterion level judgment matrix E1

	B1	B2	B3	B4	B5
B1	1	1	1/6	1/6	1/4
B2	1	1	1/4	1/4	1/4
B3	6	4	1	1	4
B4	6	4	1	1	4
B5	4	4	1/4	1/4	1

注: B1 为菌落总数, B2 为大肠菌群, B3 为霉菌, B4 为铜绿假单胞菌, B5 为金黄色葡萄球菌。

将上述两两比较矩阵输入迈实 AHPV1.82 软件, 得出最大近似值 $\lambda_{max}=5.248$, 一致性指标 $C_1=0.062$, 一致性比例 $C_R=0.055$, $C_R \leq 0.1$, 判断矩阵 E 通过一致性检验。故, 准则层 B 各项指标相对于目标层 A 的权重结果如下: 菌落总数 0.0545、大肠菌群 0.0641、霉菌 0.3670、铜绿假单胞菌 0.3670、金黄色葡萄球菌 0.1473。

(2) 方案层 C 各指标对准则层 B 的权重计算和一致性检验

依据 3 年来各食品类别在 5 项微生物指标中的不合格情况, 分别进行方案层 C 各指标对检测层 B 各指标重要程度的 1~9 标度, 得出判断矩阵 E2。将判断矩阵 E2 输入迈实 AHPV1.82 软件, 检测层 B 的 5 项指标对方案层 C 的各项计算结果详见表 4, 均通过一致性检验。故, 方案层 C 各项指标的权重为: 糕点 0.2351、饮料 0.2922、水产品 0.1556、炒货坚果 0.1146、饼干 0.0463、肉制品 0.0421、水果 0.0737、调味品 0.0404。

表 4 检测层 B 对方案层 C 的权重计算表
Table 4 Weight calculation table of detection layer B to scheme layer C

检测层 B 对方案层 C	最大近似值 λ_{max}	一致性指标 C_1	一致性比例 C_R
B1 对 C	8.577	0.082	0.058
B2 对 C	8.793	0.113	0.080
B3 对 C	8.540	0.077	0.055
B4 对 C	8.487	0.070	0.049
B5 对 C	8.307	0.044	0.031

注: B1 为菌落总数, B2 为大肠菌群, B3 为霉菌, B4 为铜绿假单胞菌, B5 为金黄色葡萄球菌。

(3) 微生物综合安全指数

利用公式 $F=C_1X_1+C_2X_2+\dots+C_5X_5$ (C 为权重, X 为不合格程度) 计算浙江省 2017—2019 年食品微生物综合安全

指数, F 值越低, 安全指数越高。由于各食品类别抽检样本量的不同, 故对不合格率进行归一化处理。归一化处理后, 方案层 C 各项指标的不合格程度见表 5。经过计算, 2017—2019 年食品微生物综合安全指数平均值为 20.46, 2017、2018、2019 三年分别为 21.26、20.92、18.73。可见, 浙江省食品微生物安全性总体呈上升趋势, 整个行业在往安全的方向发展。

3 结论与讨论

影响食品微生物安全的 5 个一级评价指标权重由高

到低依次为霉菌 0.3670、铜绿假单胞菌 0.3670、金黄色葡萄球菌 0.1473、大肠菌群 0.0641、菌落总数 0.0545, 菌落总数和大肠菌群普遍易感, 霉菌、金黄色葡萄球菌主要在糕点类食品中检出, 铜绿假单胞菌集中在饮料类。综合分析各食品类别微生物安全风险, 饮料 0.2922、糕点 0.2351 权重最高, 水产品 0.1556、炒货坚果 0.1146 次之, 饼干 0.0463、肉制品 0.0421、水果 0.0737、调味品 0.0404 相对较低。提示应将饮料、糕点列入微生物风险防控的重点, 铜绿假单胞菌、霉菌分别是饮料、糕点类食品微生物风险防范最为关键的 2 大控制要点。

表 5 方案层 C 各项指标不合格程度(%)
Table 5 Disqualification degree of each index of scheme layer C(%)

年份	糕点	饮料	水产品	炒货坚果	饼干	肉制品	水果	调味品
2017	36.24	31.36	16.03	4.18	4.88	2.09	2.44	2.79
2018	36.59	28.05	15.86	9.76	2.44	2.44	3.66	1.22
2019	24.38	24.38	28.13	5.63	3.75	5.63	3.75	4.38

参考文献

- [1] US Department of Agriculture/Food Safety and Inspection Service (USDA/FSIS) and US Environmental Protection Agency(EPA). Microbial risk assessment guideline: Pathogenic organisms with focus on food and water [Z]. 2012.
- [2] 董庆利. 食源性致病微生物研究新动态[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(24): 9273-9274.
DONG QL. New research trends of foodborne pathogenic microorganisms [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(24): 9273-9274.
- [3] 朱江辉. 中国食品微生物风险评估进展与展望[J]. 中国食品卫生, 2016, 28(2): 139-143.
ZHU JH. China's food microbiological risk assessment progress and prospect [J]. Chin J Food Hyg, 2016, 28(2): 139-143.
- [4] 杨璐, 张馨月, 郑丽敏. 挖掘数据关系的食品抽检数据可视化分析图研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 272-279.
YANG L, ZHANG XY, ZHENG LM. Research on visual analysis chart of food sampling data based on mining data relationship [J]. T Chin Soc Agric Mach, 2019, 50(6): 272-279.
- [5] 金学波, 杨念香, 白玉廷, 等. 基于分布式深度学习模型的食品抽检数据预测方法研究[J]. 食品科学技术学报, 2020, (1): 1-6.
JIN XB, YANG NX, BAI YT, et al. Research on prediction method of food sampling data based on distributed deep learning model [J]. J Food Sci Technol, 2020, (1): 1-6.
- [6] 何梓菱, 王哲, 周李, 等. 基于动态权值的食品抽检方法[J]. 数学建模及其应用, 2013, 2(3-4): 4-12.
ZHOU ZL, WANG Z, ZHOU L, et al. The method of food safety sampling inspection based on dynamic weight [J]. Math Model Appl, 2013, 2(3-4): 4-12.
- [7] 李笑曼, 臧明伍, 赵洪静, 等. 基于监督抽检数据的肉类食品安全风险分析及预测[J]. 肉类研究, 2019, 33(1): 42-49.
LI XM, ZANG MW, ZHAO HJ, et al. Analysis and prediction of meat product safety based on supervision and sampling data [J]. Meat Res, 2019, 33(1): 42-49.
- [8] 黄湘鹭, 邢书霞, 吕冰峰, 等. 2016-2017 年我国食品安全抽检数据分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(17): 4746-4751.
HUANG XL, XING SX, LV BF, et al. Analysis of national food safety supervision and sampling inspection in 2016-2017 [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(17): 4746-4751.
- [9] 汪海洋, 孙静, 陆晓清, 等. 2018 年全国食品安全监督抽检不合格情况分析[J]. 食品安全导刊, 2019, (9): 158-160.
WANG HP, SUN J, LU XQ, et al. Analysis of unqualified food safety inspection in 2018 [J]. Chin Food Saf Qual, 2019, (9): 158-160.
- [10] 房军, 元延芳. 我国食品安全风险分析与建议[J]. 中国食物与营养, 2019, 25(9): 24-27.
FANG J, YUAN YF. Analysis and recommendations on food safety risks in China [J]. Food Nutr China, 2019, 25(9): 24-27.
- [11] 张娜, 郭庆启, 韩春然, 等. 模糊数学法在餐饮食品微生物风险评估中的应用[J]. 中国食品学报, 2017, 17(8): 210-215.
ZHANG N, GUO QQ, HAN CR, et al. Application of fuzzy mathematics method in risk assessment of catering microorganism revised draft [J]. J Chin Insti Food Sci Technol, 17(8): 210-215.
- [12] 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.
- [13] KUNAL K, GANGULY KK. A fuzzy AHP approach for inbound supply risk assessment [J]. Benchmark Int J, 2013, 20(1): 129-146.
- [14] 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 UX. The research of risk resource management of food safety based on AHP [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(6): 330-333.
- [15] 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, (19): 209-215.
- WANG JN, PAN XX, XIONG Q, *et al.* Safety supervision index model of food production in china based on network analytical hierarchy process (ANP) [J]. Sci Technol Manag Res, 2018, (19): 209-215.
- [16] 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 CS, DONG LF, SHI R, *et al.* Risk evaluation index system of college canteen food safety based on analytic hierarchy process [J]. Mod Prev Med, 2018, (19): 209-215.
- [17] 余超, 李文学, 李迎月, 等. 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[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(12): 3694-3698.
- YU C, LI WX, LI YY, *et al.* Application of analytic hierarchy process in sample size allocation in drawing-up the sampling work plan for food safety supervision and inspection [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(12): 3694-3698.

- [18] 2017—2019 年浙江省食品安全抽检监测分析报告[Z]. Analysis report on sampling inspection and monitoring of food safety in Zhejiang province from 2017 to 2019 [Z].

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



陈晓燕, 硕士, 讲师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 2432885504@qq.com



施家威, 教授, 主要研究方向为食品检测与食品安全风险评估。

E-mail: shijw@sina.cn