·营养与食品卫生·

2020—2024 年南京市校园周边食品污染状况及风险分析

王艳莉[1],王亮[2],李登坤[1],陈林[1],陈子彤[1],郭宝福[1]
1.南京市疾病预防控制中心,江苏 南京 210003;2.南京市江北新区公共卫生服务中心

摘要:目的　了解南京市校园及周边食品污染状况,评估食品中不同污染物的健康风险,为保障校园食品安全、加强监管提供科学依据。**方法**　2020—2024 年在全市范围内采集四类 458 份校园及周边食品并开展相应检测,分析各类食品中添加剂和丙烯酰胺等分布状况,依据不同污染物相应健康指导值或基准剂量,构建包含污染物毒性特征和人群食物消费特征的风险分级矩阵,评价食品中不同污染物暴露的健康风险。**结果**　南京市校园及周边各类食品污染物总体超标率为 4.59%,校园周边膨化食品中丙烯酰胺和含铝添加剂超标现象显著,其中丙烯酰胺和含铝添加剂超标率分别高达 10.6%和 4.3%,现制饮料中山梨酸和甜蜜素超标率均为 1.59%。**结论**　校园食品污染物风险分级结果显示膨化食品中含铝添加剂、丙烯酰胺以及现制饮料中甜蜜素的健康风险较高。对于膨化食品和现制饮料等高消费量人群引起的健康风险应予以重视,为校园周边食品安全潜在危害识别及优先管理提供参考依据。

关键词:校园周边食品;食品添加剂;丙烯酰胺;风险分级
中图分类号:R155.5　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1003-8507(2026)03-453-07
DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202509011

Food contamination status and risk assessment of foods around schools in Nanjing from 2020 to 2024

WANG Yan-li*, WANG Liang, LI Deng-kun, CHEN Lin, CHEN Zi-tong, GUO Bao-fu
Nanjing Center for Disease Control and Prevention, Nanjing, Jiangsu 210003, China

Abstract: Objective To investigate the contamination status of foods in and around schools in Nanjing and to assess the health risks of different contaminants, so as to provide scientific evidence for ensuring school food safety and strengthening supervision. **Methods** From 2020 to 2024, 458 samples of foods from in and around campuses, covering four categories, were collected and tested, based on the occurrence of additives and acrylamide in diverse food. Health-based guidance values and benchmark doses were used to construct a risk-ranking matrix that incorporated contaminant toxicity characteristics and population food consumption patterns to evaluate health risks. **Results** The results of the analysis showed that the overall exceeding standard rate of pollutants for food in and around the campuses in Nanjing was 4.59%. The issue of acrylamide and aluminum-containing additives in puffed food was serious particularly, with the exceeding standard rate of acrylamide and aluminum-containing additives reaching an alarming 10.6% and 4.3%, respectively, and the exceeding standard rates of sorbic acid and sodium cyclamate in prepared beverages were both 1.59%. **Conclusion** Risk ranking results indicated that aluminum-containing additives and acrylamide in puffed foods, as well as sodium cyclamate in freshly prepared beverages, posed elevated health risks. Particular attention should be paid to health risks in puffed foods and prepared beverages especially among populations with high and frequent consumption of these foods. The findings provide a scientific foundation for identifying potential hazards and regulatory priority of food safety in food around schools.

Keywords: Food available around schools; Food additives; Acrylamide; Risk ranking

校园及周边食品(简称校园食品)安全问题历来受到广泛的社会关注,针对学校的食品安全问题,各级政府监管部门相应出台了许多措施保障校园食品安全,然而对许多学生而言,校园周边食品仍是难以抗拒的“美食”,尽管各种零食的生产趋向于机械化、标准化,但仍有不少企业为谋取私利在生产工艺、原材料、添加辅料等环节缩减成本,暴露出诸多食品安全隐患。为深入了解南京市校园食品污染物现状及存在的食品安全隐患,于 2020—2024 年对全市大中小学的学校食堂和校园周边的食品开展专项监测,基于

基金项目:南京医科大学南京公共卫生研究院强基项目(NQJ2406)
作者简介:王艳莉(1983—),女,硕士,副主任医师,研究方向:营养与食品安全
通信作者:郭宝福,E-mail: baofuguo@163.com

各类校园食品风险监测结果，构建食品－危害因素风险分级矩阵[1-2]，实现不同食品－危害因素的全面分析和快速风险评价，为校园食品安全潜在危害识别及有效管理提供参考依据和合理化建议，切实保障学生群体身体健康。

1　材料与方法

1.1　样品来源　按照2020—2024 年《南京市校园食品专项监测方案》，选择南京市 10 个区作为监测点，每区随机抽取 2 所小学、1 所普通中学和 1 所中等职业学校，另外选择 5 所高等院校，共计 45 所学校作为监测点学校。选取学校周边主要面向学生群体的零售商店、超市、饮品店和学校食堂作为采样点，采集包括膨化食品、冷冻饮品、含乳饮料及现制饮料等四类共计 458 份校园及周边食品。

1.2　人群消费量数据　人群消费量数据来源于 2012—2014 年南京市居民营养与健康状况监测，参照《中国居民营养与健康状况监测工作手册》，采用多阶段分层随机抽样方法，对南京市城区 6 岁以上居民进行问卷调查，采用 3 d 24 h 膳食回顾调查和食物频率调查表(food frequency questionnaire，FFQ)相结合的方式询问调查对象各种食物的消费状况，选取所有调查对象中年龄在 6～24 岁之间的学生群体，根据人群的消费模式和消费习惯，对摄入量特别少的食物进行合并，得到不同食物的消费频率及消费量。

1.3　监测项目　重点监测的污染物种类包括各类食品添加剂(苯甲酸、山梨酸、糖精钠、阿斯巴甜、甜蜜素、安赛蜜、柠檬黄、日落黄、苋菜红、胭脂红、亮蓝和含铝添加剂)及食品加工过程污染物(丙烯酰胺)等。

1.4　检测方法　按照 2020—2024 年《南京市校园食品专项监测方案》中规定的检测方法开展检测：苯甲酸、山梨酸和糖精钠按照 GB5009.28—2016《食品安全国家标准 食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定》进行检测；阿斯巴甜按照 GB5009.263—2016《食品安全国家标准 食品中阿斯巴甜和阿力甜的测定》进行检测；甜蜜素按照 GB5009.97—2023《食品安全国家标准 食品中环己基氨基磺酸钠盐的测定》进行检测；安赛蜜按照 GB5009.140—2023《食品安全国家标准 食品中乙酰磺胺酸钾的测定》进行检测；着色剂按照 GB5009.35—2023《食品安全国家标准 食品中合成色素的测定》进行检测；含铝添加剂按照 GB5009.182—2017《食品安全国家标准 食品中铝的测定》进行检测；丙烯酰胺按照 GB5009.204—2014《食品安全国家标准 食品中丙烯酰胺的测定》进行检测。

1.5　评价依据　我国现行食品添加剂使用标准中尚未对现制饮料中食品添加剂的使用量做出相应规定，本研究参照 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂的使用标准》及国家卫生计生委《关于调整含铝食品添加剂使用规定的公告》(2014 年第 8 号)对膨化食品、现制饮料、冷冻饮品及含乳饮料中防腐剂、甜味剂、着色剂和含铝添加剂等结果进行评价。《关于调整含铝食品添加剂使用规定的公告》中规定膨化食品生产中不得使用含铝食品添加剂，考虑食品中可能存在天然铝本底含量(一般≤20 mg/kg)，国家食品安全风险评估中心规定若膨化食品中含铝添加剂含量超过 20 mg/kg 需进行复检，即可能存在人为添加的可能[3]，因此本文将膨化食品中含铝添加剂超过 20 mg/kg 的样品判定为超标样品。

欧盟对食品中丙烯酰胺含量限定范围大多在 300～850 μg/kg[4]区间，其中大多数谷类早餐的基准水平设定为 300 μg/kg，饼干和曲奇为 350 μg/kg，薯片为 750 μg/kg。本研究参照薯片中丙烯酰胺含量限值 0.75 mg/kg 对膨化食品中丙烯酰胺含量进行评价。

1.6　构建风险分级矩阵　根据风险评估原理，人体食品污染物膳食暴露的健康风险与该食品中污染物含量、污染物毒性特征及人体食物摄入量等因素相关，仅通过食品中污染物含量大小并不能真实反映其对人体健康的风险。因此，本研究基于校园食品污染物监测结果，参考周萍萍[1]、马宁等[2]建立的风险分级模型方法，科学设置各段界值和最适权重，选取毒性校正含量、食品中污染物超标率、食物消费量评分构建风险分级矩阵，得到不同食品－污染物暴露对人体危害的健康风险评分，食品污染物风险分级框架见图 1。

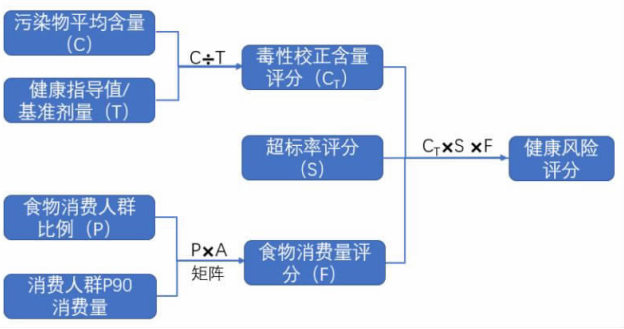


图 1　食品污染物风险分级框架

Figure 1　Framework of risk ranking for contaminants in food

1.6.1　毒性校正含量　毒性校正含量是食品中某污染物的某一含量水平下，摄入食物数量可达到该污染物的人体健康指导值或基准剂量，包括食品污染水平(平均含量)和污染物毒性特征(健康指导值或基准剂量)两方面内容，毒性校正含量越高，说明安全食用量越低。毒性校正含量赋分设为 5 分 9 段，可实现各段数据较好分离，见表 1。食品中不同污染物的健康指

导值或基准剂量及换算后的结果见表 2。

1.6.2　超标率评分　超标率评分赋分设为 4 分 7 段，最高分设为 4 分、对应超标率≥15%，其他区段为≥10%～15%赋 3.5 分、≥5%～10%赋 3 分、≥3%～5%赋 2.5 分、≥2%～3%赋 2 分、≥1%～2%赋 1.5 分和＜1%赋 1 分。对于未作限量规定的食品参照相关食品限量值，毒性校正含量赋分设定及超标率指标赋分标准见表 1。

1.6.3　食物消费量评分　食物消费特征包括消费人群 P_{90} 消费量和人群食物消费比例(%)两方面内容，分别反映人群食物高消费量水平和食用人群规模，消费人群 P_{90} 消费量是消费人群中各类食品的 P_{90} 消费量(以 g/(kg·BW)计)，分为 5 级；消费人群比例即消费某一类食品人数占调查总人数的比例，分为 4 级。通过消费量赋分风险矩阵[2]获得食物消费量综合评分，消费量赋分风险矩阵见图 2。

1.6.4　统计学方法　根据世界卫生组织提出的“食品中低水平污染物可信评价”原则，当未检出数据的比例低于 60%时，所有未检出数据用 1/2 检测限替代；当未检出数据的比例高于 60%时，所有未检出数据用检测限替代，应用 SPSS 22.0 软件进行数据分析。

表 1　毒性校正含量及超标率赋分标准

Table 1　Scoring criterions for toxicity adjusted content and exceeding standard rate

评分	毒性校正含量	超标率(%)
1	＜0.5	＜1
1.5	≥0.5～1	≥1～2
2	≥1～2	≥2～3
2.5	≥2～5	≥3～5
3	≥5～10	≥5～10
3.5	≥10～15	≥10～15
4	≥15～20	≥15～20
4.5	≥20～25	–
5	≥25～30	–

表 2　不同污染物的健康指导值或基准剂量

Table 2　Health guide value or benchmark does of the contaminants

污染物	健康效应	健康指导值 / 基准剂量	换算后[每日 mg/(kg·BW)]	参考文献
丙烯酰胺	神经、生殖和遗传毒性，2A 类致癌	每日 0.17 mg/kg	0.17*	[4]
苯甲酸	皮肤刺激、神经毒性、肾毒性	每日 0～5 mg/(kg·BW)	5	[5]
山梨酸	细胞毒性	每日 0～25 mg/(kg·BW)	25	[6]
阿斯巴甜	安全性较高	每日 0～40 mg/(kg·BW)	40	[7]
甜蜜素	胃肠道反应	每日 0～11 mg/(kg·BW)	11	[8]
安赛蜜	安全性较高	每日 0～15 mg/(kg·BW)	15	[9]
苋菜红	眼睛、皮肤和呼吸道刺激	每日 0～0.5 mg/kg	0.5	[10]
胭脂红	细胞毒性、遗传毒性	每日 0～4 mg/(kg·BW)	4	[11]
亮蓝	细胞毒性、遗传毒性	每日 0～6 mg/(kg·BW)	6	[12]
柠檬黄	过敏、腹泻和细胞毒性	每日 0～7.5 mg/(kg·BW)	7.5	[13]
日落黄	皮肤和呼吸道刺激，细胞毒性	每日 0～4 mg/(kg·BW)	4	[13]
含铝添加剂	神经、骨骼、肝肾毒性和免疫损伤	每周 2 mg/(kg·BW)	0.286	[14]

注：*2015 年，EFSA 设置其基准剂量为 0.17 mg/(kg·BW)/d。



图 2　消费量赋分风险矩阵

Figure 2　Risk matrix of food consumption

2　结　果

2.1　校园食品中不同污染物监测结果　2020—2024 年共采集含乳饮料、现制饮料、冷冻饮品和膨化食品等样品 458 份，获得有效检测数据 3 263 项次，21 份样品超过相应的限量标准，样品总体超标率为 4.59%。其中膨化食品中丙烯酰胺和含铝添加剂检出率均较高，膨化食品丙烯酰胺超标率高达 10.6%，丙烯酰胺最高检出值为 2.73 mg/kg；含乳饮料中安赛蜜和阿斯巴甜检出率均较高，1 份含乳饮料甜蜜素超过限量值；现制饮料中分别有 3 份样品山梨酸和甜蜜素均超过限量值，现制饮料中甜蜜素检出值高达 0.839 g/kg，另有 2 份现制饮料安赛蜜超标；冷冻饮品中柠檬黄、山梨酸和甜蜜素检出率均较高，1 份冷冻饮品甜蜜素超过限量值。各类校园食品中不同食品污染物监测情况见表 3。

表 3 南京市校园食品中污染物监测结果

Table 3 Monitoring results of pollutants in food around schools in Nanjing

食品类别	检测项目	样品数(份)	检出值范围(g/kg)	检出率(%)	超标率(%)	限量值(g/kg)
含乳饮料	阿斯巴甜	113	0.018 3 ~ 0.109 0	38.1	0	0.600
	甜蜜素	113	0.016 0 ~ 0.595 0	12.4	0.88	0.650
	安赛蜜	113	0.079 0 ~ 0.190 0	46.9	0	0.300
	苯甲酸	113	0.026 0 ~ 0.239 0	9.7	0	1.000
	山梨酸	113	0.112 0 ~ 0.254 0	17.7	0	1.000
现制饮料	阿斯巴甜	189	0.006 0 ~ 0.070 3	2.6	0	0.600
	甜蜜素	189	0.019 3 ~ 0.839 0	4.2	1.59	0.650
	安赛蜜	189	0.008 0 ~ 0.319 0	15.3	1.06	0.300
	亮蓝	189	0.016 0	0.5	0	0.020
	柠檬黄	189	0.006 0 ~ 0.022 3	5.8	0	0.100
	日落黄	189	0.007 0 ~ 0.022 6	3.7	0	0.100
	苋菜红	189	0.002 7 ~ 0.006 1	1.1	0	0.050
	胭脂红	189	0.003 6 ~ 0.007 8	1.6	0	0.050
	苯甲酸	189	0.007 0 ~ 0.168 0	6.3	0	1.000
	山梨酸	189	0.006 0 ~ 0.538 0	25.4	1.59	0.500
冷冻饮品	阿斯巴甜	62	0.001 1 ~ 0.212 9	11.3	0	1.000
	甜蜜素	62	0.039 6 ~ 0.737 0	22.6	1.61	0.650
	安赛蜜	62	0	0	0	0.300
	柠檬黄	62	0.001 9 ~ 0.006 7	33.9	0	0.050
	日落黄	62	0.001 9 ~ 0.002 5	15.4	0	0.090
	苋菜红	62	0.001 9 ~ 0.007 4	6.5	0	0.025
	胭脂红	62	0.000 9 ~ 0.001 6	6.5	0	0.050
	亮蓝	62	0.000 6 ~ 0.011 4	11.3	0	0.025
	苯甲酸	62	0.007 0 ~ 0.019 9	4.8	0	1.000
	山梨酸	62	0.018 5 ~ 0.306 0	24.2	0	0.500
膨化食品	丙烯酰胺	94	0.014 0 ~ 2.730 0	94.7	10.6	0.750*
	含铝添加剂	94	0.750 0 ~ 30.500 0	57.5	4.3	0.020*

注：* 丙烯酰胺和含铝添加剂含量单位均为 mg/kg。

2.2 校园食品中不同污染物健康风险分级 根据建立的校园食品 – 污染物风险分级模型，得到不同食品 – 污染物组合的健康风险评分，27 种食品 – 污染物组合中，毒性校正含量较高的污染物为膨化食品中的含铝添加剂以及现制饮料中甜蜜素和含乳饮料甜蜜素，分别为 20.3、7.5、6.5。

各类校园食品中健康风险评分排名靠前的食品 – 污染物组合分别是膨化食品 – 含铝添加剂、现制饮料 – 甜蜜素和膨化食品 – 丙烯酰胺，分别为 33.8、22.5、21.0，冷冻饮品中食品添加剂污染的健康风险评分相对较低。见表 4。

3 讨 论

开展校园食品专项监测具有重要的现实意义，能够及时发现校园食品安全隐患，敦促食品生产加工企业改进，形成“政府监管、企业自律、社会协同、公众参与、法治保障”的整体格局[15]，进而创建更加和谐稳定、健康发展的食品安全市场和环境。

校园周边食品监测结果显示，现制饮料中甜味剂、防腐剂及着色剂的使用呈现普遍性特征，与常炯炯等[16]关于市售饮品添加剂分布的研究结果相符。本研究现制饮料中山梨酸检出率为 25.4%，低于山东[17]市售现制饮料的 29.4%及无锡[18]校园周边现制饮料的 30.6%，其中分别有三份样品山梨酸和甜蜜素超出 GB2760—2024 中饮料限量标准。鉴于现制饮料市场规模增长迅速，但相关的法律法规和监管体系尚未完善，如现制饮料外包装上缺乏各类食品添加剂种类及使用量等相关标识，且缺乏食品安全追溯管理机制，因此对现制饮料亟须建立一套完善的卫生管理体系，增加现制饮料中各类食品添加剂使用的透明度，推广快速检测技术与区块链溯源系统的整合应用，从而实现从原料到成品的全链条监控尤为必要。

油炸和焙烤的淀粉类食品在高温下发生美拉德反应时往往产生大量丙烯酰胺，丙烯酰胺主要损伤中枢神经系统，且可能具有一定的遗传毒性和生殖毒性[7]。本研究膨化食品中丙烯酰胺最高含量为 2.73

表 4　南京市校园食品污染物健康风险排序

Table 4　Risk ranking of food–hazard combinations in food around schools in Nanjing

食品 – 污染物组合	毒性校正含量	毒性校正含量评分	超标率评分	消费量评分	健康风险评分	风险排序
膨化食品 – 含铝添加剂	20.3	4.5	2.5	3.0	33.8	1
现制饮料 – 甜蜜素	7.5	3.0	1.5	5.0	22.5	2
膨化食品 – 丙烯酰胺	1.4	2.0	3.5	3.0	21.0	3
含乳饮料 – 甜蜜素	6.5	3.0	1.0	5.0	15.0	4
现制饮料 – 安赛蜜	1.8	2.0	1.5	5.0	15.0	4
现制饮料 – 山梨酸	1.1	2.0	1.5	5.0	15.0	4
冷冻饮品 – 甜蜜素	4.9	2.5	1.5	4.0	15.0	4
含乳饮料 – 苯甲酸	2.8	2.5	1.0	5.0	12.5	5
现制饮料 – 苯甲酸	2.4	2.5	1.0	5.0	12.5	5
含乳饮料 – 安赛蜜	1.3	2.0	1.0	5.0	10.0	6
含乳饮料 – 山梨酸	1.4	2.0	1.0	5.0	10.0	6
现制饮料 – 柠檬黄	1.1	2.0	1.0	5.0	10.0	6
现制饮料 – 日落黄	2.0	2.0	1.0	5.0	10.0	6
现制饮料 – 胭脂红	1.2	2.0	1.0	5.0	10.0	6
冷冻饮品 – 苯甲酸	1.3	2.0	1.0	4.0	8.0	7
冷冻饮品 – 山梨酸	1.3	2.0	1.0	4.0	8.0	7
含乳饮料 – 阿斯巴甜	0.6	1.5	1.0	5.0	7.5	8
现制饮料 – 苋菜红	0.7	1.5	1.0	5.0	7.5	8
冷冻饮品 – 苋菜红	1.0	1.5	1.0	4.0	6.0	9
现制饮料 – 阿斯巴甜	0.1	1.0	1.0	5.0	5.0	10
现制饮料 – 亮蓝	0.1	1.0	1.0	5.0	5.0	10
冷冻饮品 – 阿斯巴甜	0.3	1.0	1.0	4.0	4.0	11
冷冻饮品 – 安赛蜜	0.0	1.0	1.0	4.0	4.0	11
冷冻饮品 – 柠檬黄	0.4	1.0	1.0	4.0	4.0	11
冷冻饮品 – 日落黄	0.4	1.0	1.0	4.0	4.0	11
冷冻饮品 – 胭脂红	0.2	1.0	1.0	4.0	4.0	11
冷冻饮品 – 亮蓝	0.1	1.0	1.0	4.0	4.0	11

mg/kg，低于周宇等[19]研究中油炸及烘烤食品中丙烯酰胺含量(3.21mg/kg)的报道，但本文膨化食品中丙烯酰胺检出率高达 94.7%，明显高于上海[20]市售油炸焙烤类食品中丙烯酰胺检出率 (42.14%)，其研究显示 3 ~ 17 岁人群食用各类油炸及焙烤类食品摄入丙烯酰胺的健康风险偏高[20]，因此政府部门应当持续加强重点食品中丙烯酰胺的风险监测，尽快制定安全可行的食品安全标准来降低食品中丙烯酰胺的污染水平。

本研究中各类校园食品健康风险评分排名靠前的食品 – 污染物组合分别是膨化食品 – 含铝添加剂(33.8)、现制饮料 – 甜蜜素 (22.5)和膨化食品 – 丙烯酰胺(21.0)。风险分级结果与李佳洁等[21]对北京地区儿童零食中含铝添加剂及甜蜜素为高危害因子结果类似，对饮料等摄入量较高的人群甜蜜素暴露引起的健康风险与使用常规评估方法得到的结果一致[22-23]。膨化食品中铝制剂可在消费量较高的儿童体内蓄积，造成免疫功能抑制及神经传导受阻，引起大脑损伤，本研究校园周边膨化食品中含铝添加剂超标率为 4.3%，略低于杭州市下城区[24]市售膨化食品中含铝添加剂 5%的超标率，考虑到对儿童等高消费量群体的健康影响，亟需将校园周边食品中含铝添加剂作为食品安全监管的重点指标。

目前关于校园相关的食品污染物的风险分析多采用传统的风险评估方法，未见应用分级方法对校园及周边食品中不同污染物的健康风险进行排序，本研究基于 2020—2024 年南京市校园及周边食品的监测结果，采用客观数据作为分级指标，通过引入超标率指标，降低主观因素的影响，对校园及周边各类食品中污染物的健康风险进行快速排序，实现了风险管理的综合评价需求。需要注意的是，由于 2020—2023 年疫情影响，监测的校园及周边食品样本种类及样本量有限，同时本文使用的消费状况数据来源于 2012—2014 年南京市城乡居民营养与健康状况调查数据，随着时间的推移，人们的饮食习惯和消费模式可能已

经发生了变化，且校园食品消费人群性别、年龄等存在一定的不确定性，因此本研究分析得到的校园周边各类食品的健康风险存在一定的不确定性。

需要注意的是，风险分析中排序靠前的食品 - 污染物组合，反映的是相应食品污染物和消费水平下可能对相应的人群造成健康危害的相对风险较高，对于此类食品中相应的污染物应当优先关注。相关部门应当高效利用食品安全风险监测体系，重点防控各类食品中需优先关注的危害因素，做到早发现、早预防、早整顿、早解决，有效降低食品安全事件发生的可能性，更好地保障居民的健康权益。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Zhou PP, Liu ZP, Zhang L, et al. Methodology and application for health risk classification of chemicals in foods based on risk matrix [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2014, 27(11): 912–916.

[2] 马宁，王慧，毛伟峰，等. 水产品重金属风险分级模型建立及应用[J]. 中国食品卫生杂志，2020，32(3)：294–300.
Ma N, Wang H, Mao WF, et al. Establishment and application of health risk ranking model for heavy metals in aquatic products[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2020, 32 (3): 294–300. (In Chinese)

[3] 刘大晶，郭学斌，郭晚花. 2012–2019 年青海省部分食品中含铝量监测结果分析 [J]. 现代预防医学，2020，47(18)：3434–3437.
Liu DJ, Guo XB, Guo WH. Analysis of Aluminum contamination exceed standard in Foods with Aluminum additives in Qinghai Province in 2012–2019 [J]. Modern Preventive Medicine, 2020, 47 (18): 3434–3437.(In Chinese)

[4] EFSA. Scientific opinion on acrylamide in food [EB/OL]. [2025–11–13]. https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2015.4104.

[5] 叶研，胡丽，蔡卫红，等. 苯甲酸对人群健康影响的研究进展[J]. 环境卫生学杂志，2016，6(6)：451–456.
Ye Y, Hu L, Cai WH, et al. Research progress on effect of benzoic acid to human health [J]. Journal of Environmental Hygiene, 2016, 6 (6): 451–456.(In Chinese)

[6] 刘文，张春海，张子峰，等. 防腐剂山梨酸钾对蚕豆根尖细胞的遗传毒性[J]. 江苏大学学报:医学版，2004，14(6)：489–491, 493.
Liu W, Zhang CH, Zhang ZF, et al. Genetic toxicity in root tip cells of vicia Faba by the preservative Potassium sorbate [J]. Journal of Jiangsu University(Medicine Edition), 2004, 14(6): 489–491, 493.(In Chinese)

[7] 宋雁，樊永祥，李宁. 阿斯巴甜的安全性评价进展情况[J]. 中国食品卫生杂志，2010，22(1)：84–87.
Song Y, Fan YX, Li N. Advances on the safety assessment of aspartame[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2010, 22(1): 84–87. (In Chinese)

[8] 赵云霞，刘冰，王怡，等. 湖北省食品中甜蜜素和安赛蜜的风险评估[J]. 中国食品卫生杂志，2022，34(1)：110–115.
Zhao YX, Liu B, Wang Y, et al. Risk assessment of saccharin and acesulfame in food in Hubei Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(1): 110–115.(In Chinese)

[9] 郑思雨，滕晶晶，杨同金，等. 安赛蜜对大鼠的亚慢性毒性[J]. 食品与机械，2023，39(11)：23–28, 37.
Zheng SY, Teng JJ, Yang TJ, et al. Subchronic toxicity study of acesulfame in rats[J]. Food & Machinery, 2023, 39(11): 23–28, 37. (In Chinese)

[10] 代汉慧，孔卓涛，陈冬东，等. 苋菜红蓄积毒性试验研究[J]. 现代药物与临床，2010，25(3)：201–203.
Dai HH, Kong ZT, Chen DD, et al. Cumulative toxicity of amaranth [J]. Drugs & Clinic, 2010, 25(3): 201–203.(In Chinese)

[11] 华从伶，王志聪，贾茹. 食品添加剂胭脂红与胭脂虫红的比较研究[J]. 食品与发酵科技，2017，53(1)：69–73.
Hua CL, Wang ZC, Jia R. The comparison research of food additives between ponceau 4R and carmines [J]. Sichuan Food and Fermentation, 2017, 53(1): 69–73.(In Chinese)

[12] 肖杰，苏明，钟宇思，等. 基于优化的高效液相色谱法测定蜜饯中七种人工合成色素及风险分析 [J]. 食品与发酵工业，2023，49(16)：291–297.
Xiao J, Su M, Zhong YS, et al. Determination of seven synthetic colorants in candied fruits by optimized high-performance liquid chromatography and risk analysis [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(16): 291–297.(In Chinese)

[13] de Oliveira ZB, Silva da Costa DV, da Silva Dos Santos AC, et al. Synthetic colors in food: a warning for children's health [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2024, 21(6): 682.

[14] 刘佳喜，张立丰. 铝的毒性研究研究进展[J]. 现代预防医学，2021，48(5)：806–809.
Liu JX, Zhang LF. Research progress on the toxicity of aluminum[J]. Modern Preventive Medicine, 2021, 48(5): 806–809.(In Chinese)

[15] 汪雨龙，谢敏，刘亮. 公众参与食品安全风险治理的现实困境与对策[J]. 食品安全质量检测学报，2020，11(14)：4861–4866.
Wang YL, Xie M, Liu L. The practical dilemmas and countermeasures of public participation in food safety risk governance [J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2020, 11 (14): 4861–4866.(In Chinese)

[16] 常炯炯，李善雅文，雍凌，等. 我国食品添加剂联合使用情况及累积风险评估[J]. 中国食品卫生杂志，2021，33(2)：206–214.
Chang JJ, Li SYW, Yong L, et al. Combined use of food additives and cumulative risk assessment in China [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2021, 33(2): 206–214.(In Chinese)

[17] 高慧，汪洋，王敏，等. 2018 年山东省现制饮料中甜味剂和防腐剂的含量调查[J]. 现代预防医学，2019，46(20)：3697–3699.
Gao H, Wang Y, Wang M, et al. Investigation of the contents of sweeteners and preservatives in freshly prepared beverage in Shandong Province in 2018 [J]. Modern Preventive Medicine, 2019, 46(20): 3697–3699.(In Chinese)

[18] 陈佳琪，任梁，钱红丹. 无锡市校园周边现制饮料食品风险监测结果[J]. 中国学校卫生，2023，44(7)：1092–1094.
Chen JQ, Ren L, Qian HD. Food safety and risk assessment for prepared beverage around the campus in Wuxi[J]. Chinese Journal of School Health, 2023, 44(7): 1092–1094.(In Chinese)

[19] 周宇，朱圣陶. 11 种油炸及烘烤食品中丙烯酰胺含量监测[J]. 中国食品卫生杂志，2008，20(1)：41–43.
Zhou Y, Zhu ST. Monitoring of acrylamide levels in 11 types of fried

and baked foods [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2008, 20(1): 41–43.(In Chinese)

[20] 秦璐昕,刘弘,罗宝章,等. 2009–2016 年上海市居民油炸焙烤类食品中丙烯酰胺暴露的健康风险评估[J]. 环境与职业医学,2021,38(5):467–472.
Qin LX, Liu H, Luo BZ, et al. Health risk assessment of acrylamide contamination in fried and baked foods from 2009 to 2016 in Shanghai residents [J]. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2021, 38(5): 467–472.(In Chinese)

[21] 李佳洁,罗浪,崔艳艳,等. 北京地区儿童零食安全风险预测研究及风险监测建议 [J]. 中国食品卫生杂志,2015,27(2):175–179.
Li JJ, Luo L, Cui YY, et al. Suggestions on risk monitoring plan of the safety of children's snacks based on the risk prediction of current safety status in Beijing area [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2015, 27(2): 175–179.(In Chinese)

[22] 王艳莉,李成国,郭宝福,等. 南京市居民膳食中甜蜜素暴露的风险评估[J]. 现代预防医学,2020,47(18):3322–3325.
Wang YL, Li CG, Guo BF, et al. Risk assessment of saccharin exposure in the dietary intake of Nanjing residents [J]. Modern Preventive Medicine, 2020, 47(18): 3322–3325.(In Chinese)

[23] Wang YL, Li CG, Li DK, et al. Estimated assessment of dietary exposure to artificial sweeteners from processed food in Nanjing, China [J]. Food Additives & Contaminants. Part a, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2021, 38 (7): 1105–1117.

[24] 冯哲伟,王峥,杨海斌,等. 杭州市下城区市售食品中含铝添加剂监测结果分析 [J]. 中国卫生检验杂志,2021,31(15):1900–1902.
Feng ZW, Wang Z, Yang HB, et al. Analysis of monitoring results of Aluminum additives in food sold in Xiacheng District of Hangzhou City [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2021, 31 (15): 1900–1902.(In Chinese)

收稿日期:2025–09–02

(上接第 446 页)

autophagosome initiation sites[J]. Cell, 2022, 185(22): 4082–4098. e22.

[42] Chou X, Ding F, Zhang XY, et al. Sirtuin–1 ameliorates cadmium–induced endoplasmic reticulum stress and pyroptosis through XBP–1s deacetylation in human renal tubular epithelial cells [J]. Archives of Toxicology, 2019, 93(4): 965–986.

[43] Hao RL, Song XY, Sun–Waterhouse D, et al. MiR–34a/Sirt1/p53 signaling pathway contributes to cadmium–induced nephrotoxicity: A preclinical study in mice [J]. Environmental Pollution, 2021, 282: 117029.

[44] Pan H, Wang HD, Wang XL, et al. The absence of Nrf2 enhances NF–κB–dependent inflammation following scratch injury in mouse primary cultured astrocytes [J]. Mediators of Inflammation, 2012, 2012: 217580.

[45] Hassanein EHM, Mohamed WR, Shalkami AGS, et al.Renoprotective effects of umbelliferone on methotrexate–induced renal injury through regulation of Nrf–2/Keap–1, P38MAPK/NF–κB, and apoptosis signaling pathways [J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 116(Pt B): 152–160.

[46] Liu T, Zhang LY, Joo D, et al. NF–κB signaling in inflammation[J]. Signal Transduct Target Ther, 2017, 2: 17023.

[47] Wei ZJ, Nie GH, Yang F, et al. Inhibition of ROS/NLRP3/caspase–1 mediated pyroptosis attenuates cadmium–induced apoptosis in duck renal tubular epithelial cells[J]. Environmental Pollution, 2021, 273: 115919.

[48] Wang W, Mao SH, Yu HL, et al. Pinellia pedatisecta lectin exerts a proinflammatory activity correlated with ROS–MAPKs/NF–κB pathways and the NLRP3 inflammasome in RAW264.7 cells accompanied by cell pyroptosis [J]. International Immunopharmacology, 2019, 66: 1–12.

[49] Li ZY, Chi HQ, Zhu W, et al. Cadmium induces renal inflammation by activating the NLRP3 inflammasome through ROS/MAPK/NF–κB pathway in vitro and in vivo[J]. Archives of Toxicology, 2021, 95(11): 3497–3513.

[50] Wu Z, Liu Q, Zhu K, et al. Cigarette smoke induces the pyroptosis of urothelial cells through ROS/NLRP3/caspase–1 signaling pathway[J]. Neurourology and Urodynamics, 2020, 39(2): 613–624.

[51] 李金慧,李文学,李军涛,等. 镉亚急性暴露对小鼠肝肾功能及甲基化水平的影响[J]. 环境与职业医学,2015,32(5):460–466.
Li JH, Li WX, Li JT, et al. Effect of subacute cadmium exposure on liver and kidney functions and methylation level in mice [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2015, 32 (5): 460–466.(In Chinese)

[52] Elkin ER, Higgins C, Aung MT, et al. Metals exposures and DNA methylation: current evidence and future directions [J]. Curr Environ Health Rep, 2022, 9(4): 673–696.

[53] Ma YG, Su QC, Yue CG, et al. The effect of oxidative Stress–Induced autophagy by Cadmium exposure in kidney, liver, and bone damage, and neurotoxicity [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(21): 13491.

[54] Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, et al. The effects of Cadmium toxicity [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(11): 3782.

[55] Gong ZG, Liu G, Liu WJ, et al. The epigenetic regulator BRD4 is involved in cadmium–triggered inflammatory response in rat kidney [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 224: 112620.

[56] Zhang CY, Lin TJ, Nie GH, et al. Cadmium and Molybdenum co–induce pyroptosis via ROS/PTEN/PI3K/AKT axis in duck renal tubular epithelial cells [J]. Environmental Pollution, 2021, 272: 116403.

[57] Zhang CY, Wang XR, Pi SX, et al. Cadmium and Molybdenum co–exposure triggers autophagy via CYP450s/ROS pathway in duck renal tubular epithelial cells [J]. Science of the Total Environment, 2021, 759: 143570.

收稿日期:2025–10–14