

## 研究报告

## 冬奥会食品供应链有害因子知识图谱和智能化快筛技术研究

张朝正<sup>1</sup>, 陈婷<sup>2</sup>, 潘登<sup>1</sup>, 马大燕<sup>1</sup>, 冯谚晨<sup>2</sup>, 吴永宁<sup>1</sup>

(1. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100021; 2. 北京市科学技术研究院分析测试研究所/北京市理化分析测试中心, 北京市食品安全分析测试工程技术研究中心, 北京 100089)

**摘要:**目的 面向冬奥会食品安全应急保障应用场景, 构建“多元集成、有效控制、智慧保障”解决方案。方法 综合运用应急风险评估方法, 基于知识图谱集成食品供应链有害因子智能化快筛装置与方法, 采用大数据、人工智能和移动互联网技术构建奥运食品供应链风险预警智慧管控系统, 智能生成食品供应链不同环节、不同有害因子应急预案, 从而面向系统不同层级用户实现精准推送。结果 运用智能化快筛技术和预测预警技术, 该预案在北京冬奥会及冬残奥会(张家口赛区)2022食品安全突发事件应急演练和冬奥会测试赛、正式比赛期间供奥食品企业食品安全保障工作中得到实际应用。结论 以食品安全风险分析和数据治理为主线、以快筛技术智能化集成为手段, 以智慧风险预测与智能预警交互为纽带, 推动了食品供应链有害因子系统感知、靶向识别、精准确证, 提高了重大活动食品安全应急保障能力。

**关键词:**冬奥会; 食品安全; 应急保障; 知识图谱; 智能化快筛

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2022)05-0884-05

DOI: 10.13590/j.cjfh.2022.05.004

**Knowledge map and intelligent rapid screening technology of harmful factors in food supply chain of Winter Olympics**ZHANG Chaozheng<sup>1</sup>, CHEN Ting<sup>2</sup>, PAN Deng<sup>1</sup>, MA Dayan<sup>1</sup>, FENG Yanchen<sup>2</sup>, WU Yongning<sup>1</sup>

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China; 2. Institute of Analysis and Testing, Beijing Academy of Science and Technology/Beijing Centre for Physical and Chemical Analysis, Beijing Engineering Research Center of Food Safety Analysis, Beijing 100089, China)

**Abstract: Objective** A “multi-integration, effective control, and intelligent guarantee” solution was built for the application scenarios of food safety emergency support for the Winter Olympics. **Methods** With emergency risk assessment method, the intelligent quick screening device and method for harmful factors in the food supply chain were integrated based on the knowledge map, and big data, artificial intelligence and mobile internet technologies were used to construct an intelligent management and control system for risk early warning of the food supply chain in the Olympics to realize that the emergency plan for different links and different harmful factors in the food supply chain was intelligently generated, which were precisely pushed to users at different levels of the system. **Results** Using intelligent rapid screening technology and prediction and early warning technology, it has been practical application in the food safety emergency drills for food safety emergencies in the Beijing Winter Olympics and Winter Paralympics (Zhangjiakou Area) 2022, and guarantee of food safety for Olympic food companies in the Winter Olympics test competitions, and the official competitions. **Conclusion** Taking food safety risk analysis and data governance as the main line, intelligent integration of quick screening technology as a means, and intelligent risk prediction and intelligent early warning interaction as a link, the systematic perception, targeted identification, and accurate verification of harmful factors are promoted in the food supply chain to improve the food safety emergency support capability for major events.

**Key words:** Winter Olympics; food safety; emergency support; knowledge graph; intelligent quick screening

收稿日期: 2022-09-14

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFF0305000)

作者简介: 张朝正 男 助理研究员 研究方向为食品安全风险管理 E-mail: zhangchaozheng@cfsa.net.cn

陈婷 女 研究员 研究方向为食品安全数据分析与信息化 E-mail: chenting@bepca.ac.cn(共同第一作者)

通信作者: 吴永宁 男 研究员 研究方向为化学污染监控技术、食品污染与人体健康关系的风险评估研究 E-mail: wuyongning@cfsa.net.cn

2022年冬奥会在我国首次举办,国际关注度和影响力重大。食品安全作为奥运会公共安全的重要组成部分,对奥运会的成功举办具有重要的支撑作用。各国宗教信仰不同、饮食文化不同、用餐人员集中度高、冬季饮食特点以及冬季流行病特征等因素对冬奥会食品安全应急保障提出了重大挑战。目前,针对重大活动的食品安全应急保障存在数据资源分散、技术支撑协同能力不足、场景示范模式欠缺、新型研发技术与应急保障实际需求相脱节等问题,迫切需要建立满足重大活动食品安全应急保障实际需求的数据融合、处置高效的示范新模式<sup>[1]</sup>。

本研究针对食源性疾病、食品污染等食品安全突发事件中快速应急响应和处置的需求,将食品安全新型检测技术、材料及装备与食品安全应急场景需求相结合,利用大数据、人工智能等现代信息技术开展食品供应链有害因子智能化辨识,优化响应预案体系,集成高通量、高灵敏的现场快检技术与装置,实现信息技术与检测技术的深度融合,整体提升冬奥会食品供应链全程监管工作中风险鉴定、溯源、预测预警能力。

## 1 重大活动食品安全应急保障技术发展概况及发展趋势

食品从农田到餐桌的每一个环节都有可能存在食品安全风险隐患,重大活动一旦发生食品安全突发事件,必须在短时间内得到控制,否则就会给活动带来灾难性影响。不仅如此,未酝酿成为食品安全事件的隐患,也必须在有限时间内及时遏止,并且消除所有相关的风险趋势。重大活动食品安全应急保障工作涉及多品类、多环节、多部门、多角色,是综合性和跨领域问题,国际上十分重视食品安全应急保障体系建设,在食品安全风险鉴定与溯源、食品突发事件现场处置以及风险管理与应急管理技术方面展开了系统研究。

### 1.1 食品安全风险鉴定与溯源技术发展

由微生物污染引起的食源性危害是重大活动应急保障需要解决的主要食品安全问题。近年来,美国疾病预防控制中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)和欧盟食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)已经将全基因组测序技术用于食品中重要食源性致病菌的鉴定<sup>[2-3]</sup>。预计美国、欧盟在未来5年内将采用全基因组测序技术替代目前传统的食源性致病菌鉴定、分型及溯源技术。我国虽起步较晚,但也紧随其后,逐渐加强这方面的能力。2015年,国家食品安全风险评估中心启动了《国家食源性致病微生物全基因组测序数据

库》的构建工作。在国家重点研发计划“食品安全关键技术研发”重点专项的支持下,国家食品安全风险评估中心等机构以国家食源性疾病分子溯源网络(TraNet)为基础,建成了基于WGS分型技术的新型食源性疾病分子溯源网络,以应用于病因食品的快速准确识别<sup>[4]</sup>。

食品中化学性污染物的风险鉴定与溯源也是食品突发事件应急处置中的重要环节。近年来,利用高分辨质谱结合化学计量学方法的非靶向筛查技术已经在食品领域开展了广泛的研究,对非目标化合物进行筛选、确认和定量分析,实现高通量、高灵敏度、高准确性的筛查确证<sup>[5]</sup>,使食品中非靶向筛查手段更为先进、方法更为完善、更具有应急效能。

### 1.2 食品突发事件现场处置技术研究进展

食品安全快速检测是食品突发事件现场处置中采用的最重要的技术手段。酶联免疫技术<sup>[6]</sup>、胶体金试纸条技术<sup>[7]</sup>、聚合酶链式反应(Polymerase chain reaction, PCR)技术<sup>[8]</sup>等一系列先进技术的发展形成了一批高通量、高灵敏的快速检测试剂与装备,被应用于食品突发事件现场快速检测。纳米材料和抗体制备技术与传统电化学的快速检测技术相结合,电化学传感器的检测灵敏度和特异性大大提高<sup>[9-10]</sup>。便携式PCR仪、便携式光谱仪、便携式拉曼仪等大型检测仪器逐渐发展为小型化、便携化、车载化,提升了应对各种突发事件下的能力,为食品突发事件的危害控制、医院医疗救治提供快速的检测依据和保障。然而,我国食品安全快速检测还存在一些不足,如食品快速检测的能力、范围有限,食品快速检测的精准度、效力不足,食品快速检测的针对性、效率不高,上述问题还亟待解决。

### 1.3 风险管理与应急管理研究进展

发达国家和地区食品安全应急管理的核心思想在于寻求决策的科学化,表现为注重定量分析和信息搜索和处理工作,将数学模型的建立和运用融入决策的过程中,并在实践中广泛地运行风险分析、过程管理等先进的管理理论与方法<sup>[11-13]</sup>。我国食品安全应急管理在应急保障机制上实现了“从农田到餐桌”的全过程统一监管,但作为应急管理核心的应急决策模式研究,还缺乏较为系统分析的视角。《中共中央国务院关于深化改革加强食品安全工作的意见》明确提出:完善食品安全事件预警监测、组织指挥、应急保障、信息报告制度和体系,提升应急响应、现场处置、医疗救治能力<sup>[14]</sup>。北京市科学技术研究院基于国际领先的ISO 31000风险管理理念和大数据思维,在公共安全领域率先将风险管理理念中引入应急保障体系,形成国内首个

全生命周期管理的安全风险云服务平台<sup>[15]</sup>。

综上所述,基于食品供应链全链条风险管理的理念,利用食品非靶向筛查、全基因组测序、生物芯片等新型检测技术,实现信息技术与检测技术的深度融合,整体提升食品安全应急保障工作中风险鉴定、溯源、应急处置能力,成为重大活动食品安全应急保障技术发展的必然趋势。

## 2 冬奥食品供应链有害因子智能化快筛技术研究

本研究基于食品安全风险预测预警研究基础,以冬奥会食品供应链风险分析和数据治理为主线,针对现有食品中有害因子监控及预测预警技术智能化不足且不能完全满足冬奥会食品安全保障的问题,综合运用应急风险评估方法,整合相关知识库、案例库、标准及预案,建立分析模型,集成面向冬奥会食品供应链有害因子智能化快筛与预测预警的检测技术体系,完成标准化、场景化、智慧化解决方案开发。

### 2.1 冬奥食品有害因子智能化快筛知识图谱的构建

本文汇聚近年来重大赛事活动和风险监测中

食品化学污染物、致病微生物、食品掺假、食源性疾病病例监测、食源性疾病暴发、食物中毒事件、分子溯源、化学品和生物性标准物质等数据和检测方法,依据标准术语编码规则,形成了冬奥会食品风险数据本体库。采用术语词典和机器学习相结合技术,利用多源时变数据的关联模型及特征提取方法,对上述有害因子多源时变数据进行语义化处理,通过深度学习建立有害因子特征库,形成三元组知识图谱,通过知识推理的手段识别冬奥食品安全潜在风险。

跟踪冬奥食品从原料种植/养殖、生产加工到产品储存、运输全链条中各风险因子的发生发展和消减规律,利用点评估、概率评估相结合的方法,开展全过程定量风险评估。基于知识图谱、卷积神经网络、时空统计模型等数据分析技术,确定关键参数,构建食品安全供应链风险因子分析和时空动态预测模型。利用污染物风险分级模型,确立各种危害因子的优先管控次序,通过层次分析法和熵值法等技术手段开展食品中多危害因子的综合评价。

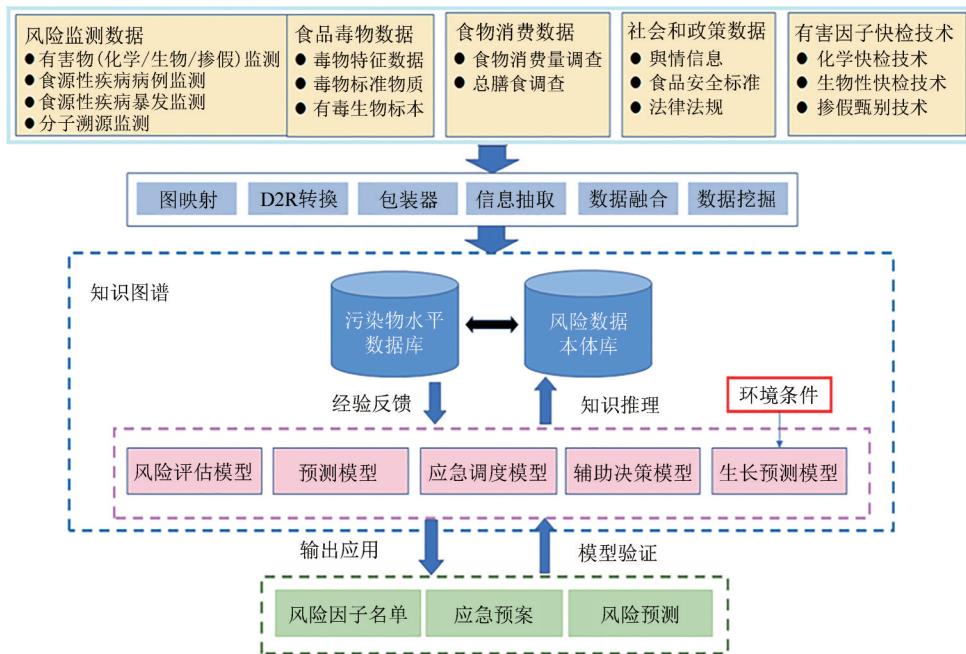


图1 食品有害因子智能化快筛知识图谱技术框架

Figure 1 The technical framework of knowledge map for intelligent quick screening of food harmful factors

### 2.2 基于知识图谱的食品安全智能化快筛技术集成

为了形成针对食品化学性有害因子研制的现场多功能食品安全快速检测仪、针对食品生物性有害因子研制的微流控检测仪以及针对食品真伪掺假快检研制的便携式荧光定量PCR仪等快筛装置的多功能集成,本研究研发了移动端应用小程序“现场快速检测智能监控系统”,基于食品有害因子智能化快筛知识图谱开展数据的汇聚整合与关联

分析,实现食品供应链不同有害因子响应预案的自动触发和检测任务下发,同系统的数据采集形成闭环管理。

在快检仪器数据接口对接过程中,现场快速检测智能监控系统采取两种数据采集方式:针对现场多功能食品安全快速检测仪,系统内嵌该快检仪器的自动数据采集程序,通过系统自动下发检测任务并自动采集仪器数据到检测结果数据库中;针对微

流控检测仪和便携式荧光定量 PCR 仪,系统自动查询仪器检测结果文件存储地址,通过自动解析仪器的检测结果文件数据存储格式,从文件中提取检测结果信息存储到检测结果数据库中。

### 2.3 冬奥食品供应链风险监控预警智能系统的研发

面向冬奥食品安全风险预测预警需求,本研究以食品供应链有害因子风险管理为主线,融合政府食品安全监管部门风险监测数据、冬奥食品供应基地产品信息数据、第三方检测机构检测检验数据以及智能化快筛装置数据,基于冬奥食品有害因子智能化快筛知识图谱,实现风险因子的关联识别和发

展趋势预测。采用冬奥食品安全风险二维码,实现食品供应链有害因子全生命周期管理和风险表达。

构建冬奥食品供应链风险监控预警智能系统,集成基于知识图谱的现场快速检测智能监控系统以及食品安全风险评估模型、风险预测的预警模型,实现食品供应链全链条风险分级预警、精准溯源、应急处置全流程交互式管理以及个性化预案智能推送。冬奥会及冬残奥会期间,该系统在冬奥会 10 个食品供应基地进行了全面部署,保障了源头的食品安全。同时,该系统接入到了张家口市市场监督管理局智慧监管保障平台,为冬奥会张家口赛区的食品安全保障提供了风险预警技术支撑。

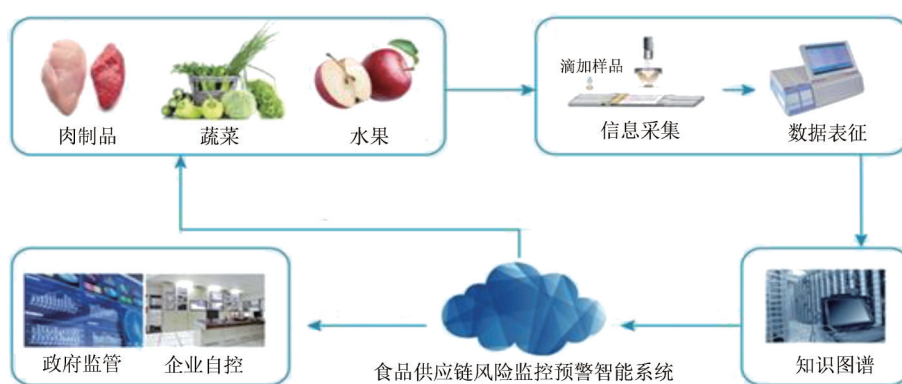


图2 食品供应链风险监控预警智能系统应用流程图

Figure 2 Application flow chart of food supply chain risk monitoring and early warning intelligent system

### 3 结论

本研究从冬奥食品安全应急保障需求出发,探索性地构建了冬奥食品有害因子智能化快筛知识图谱,并通过研发冬奥食品供应链风险监控预警智能系统,实现食品供应链“全过程、多维度、场景化、快响应”的智能化应急保障示范新模式,推动了食品供应链有害因子系统感知、靶向识别、精准确证,为冬奥食品供应链风险快速定位、态势研判、辅助决策等提供了有效的技术支撑,提高了重大活动食品安全应急保障能力。在后冬奥时代,该研究成果可推广应用到各级食品安全监管部门以及食品全链条生产经营企业,通过对食品安全风险数据的全生命周期管理,形成大数据分析驱动的食品安全智慧监管体系,大力提升常态化食品安全风险管理的效能。

### 参考文献

[1] 庞国芳,孙宝国,陈君石.中国食品安全现状、问题及对策战略研究-第二辑[M].北京:科学出版社,2020:58-70.  
PANG G F, SUN B G, CHEN J S. Zhongguo Shipin anquan xianzhuang wenti ji duice zhanlue yanjiu dierji [M]. Beijing: Science Press, 2020: 58-70.

[2] BRIAN SAUDERS. CDC/FDA partnership targets whole genome sequencing of *Listeria monocytogenes* [EB/OL]. (2013-11-27) [2022-03-14]. <http://www.foodsafetynews.com/2013/11/cdc-begins-real-time-whole-genome-sequencing-of-listeria-monocytogenes>.  
[3] ANDRIUKAITIS V. Message from Vytenis Andriukaitis, EU Commissioner for health and food safety, upon the launch of the EU Health Award for NGOs 2017[J]. European Journal of Public Health, 2016, 26(1): 201.  
[4] 马俊才,闫笑梅,刘健,等.国家食源性致病微生物全基因组数据库及溯源网络建设进展报告[R/OL]. 2019.  
MA J C, YAN X M, LIU J, et al. Science and technology report on the construction of national whole genome database of foodborne pathogenic microorganisms and traceability network [R/OL]. 2019.  
[5] 王磊,董燕婕,范丽霞,等.食品质量安全非靶向筛查技术研究进展[J].山东农业科学,2019,51(10):167-172.  
WANG L, DONG Y J, FAN L X, et al. Research development of non-targeted screening techniques for food quality safety[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51(10): 167-172.  
[6] 张也,刘以祥.酶联免疫技术与食品安全快速检测[J].食品科学,2003,24(8):200-204.  
ZHANG Y, LIU Y X. Rapid determination of enzyme-linked immunosorbent assay on food safety[J]. Food Science, 2003, 24(8): 200-204.  
[7] 龚频,王思远,陈雪峰,等.胶体金免疫层析试纸条技术及其

- 在食品安全检测中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 358-364.
- GONG P, WANG S Y, CHEN X F, et al. Research progress of colloidal gold immunochromatographic test strip technology and its application in food safety testing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(13): 358-364.
- [ 8 ] 黄明, 肖笑, 徐晟, 等. 免疫PCR检测技术及其在食品安全领域中的应用[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(6): 119-124.
- HUANG M, XIAO X, XU S, et al. Immuno-PCR technique and its application in food safety[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2010, 33(6): 119-124.
- [ 9 ] 鲁丁强, 庞广昌. 电化学纳米免疫传感器在食品安全检测中的应用展望[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 6-10.
- LU D Q, PANG G C. Recent development and application of electrochemical nanometer immunosensors in food detection[J]. Food Science, 2014, 35(8): 6-10.
- [10] 王延新, 谢书宇, 陈冬梅, 等. 电化学免疫传感器在食品安全检测中的研究进展[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(7): 1334-1342.
- WANG Y X, XIE S Y, CHEN D M, et al. Progress in the application of electrochemical immunosensor in food safety detection[J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2018, 49(7): 1334-1342.
- [11] 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 W X. National and international food safety assessment overview[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2011, 23(1): 13-17.
- [12] 唐晓纯, 许建军, 瞿哈屹, 等. 欧盟RASFF系统食品风险预警的数据分析研究[J]. 食品科学, 2012, 33(5): 285-292.
- TANG X C, XU J J, QU H Y, et al. Analysis of food safety risk pre-warning data from the EU's rapid alert system for food and feed (RASFF) system[J]. Food Science, 2012, 33(5): 285-292.
- [13] 张磊, 刘兆平. FAO/WHO在食品安全应急中应用风险分析原则和程序的指南[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2013.
- ZHANG L, LIU Z P. FAO/WHO guide for application of risk analysis principles and procedures during food safety emergencies [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2013.
- [14] 吉林省农业农村厅. 中共中央国务院关于深化改革加强食品安全工作的意见[J]. 吉林农业, 2019(13): 26-31.
- Department of Agriculture and Rural Affairs of Jilin Province. Zhonggong zhongyang guowuyuan guanyu shenhua gaige jiaqiang shipin anquan gongzuo de yijian.
- [15] 丁辉, 汪彤, 张骥, 等. 城市公共安全风险评估技术研究与应用[Z]. 北京市劳动保护科学研究所, 2013.
- DING H, WANG T, ZHANG J, et al. Chengshi gonggong anquan fengxian pinggu yanjiu yu yingyong[Z]. Beijing Municipal Institute of Labour Protection, 2013.