

# 中国食品安全科技创新现状及展望

## Innovation status and prospect of food safety science and technology in China

臧明伍<sup>1</sup> 莫英杰<sup>1</sup> 王硕<sup>2</sup> 陈芳<sup>3</sup>

ZANG Ming-wu<sup>1</sup> MO Ying-jie<sup>1</sup> WANG Shuo<sup>2</sup> CHEN Fang<sup>3</sup>

王静<sup>4</sup> 李笑曼<sup>5</sup> 侯威<sup>1</sup>

WANG Jing<sup>4</sup> LI Xiao-man<sup>5</sup> HOU Wei<sup>1</sup>

(1. 中国食品科学技术学会, 北京 100048; 2. 南开大学, 天津 300017; 3. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 4. 北京工商大学食品学院, 北京 100048; 5. 北京食品科学研究院, 北京 100068)  
(1. Chinese Institute of Food Science and Technology, Beijing 100048, China; 2. Nankai University, Tianjin 300071, China; 3. College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 4. School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 5. Beijing Academy of Food Sciences, Beijing 100068, China)

**摘要:**科技是食品安全的重要支撑要素,在防控食品安全风险、保障食品安全方面发挥着重要作用。近年来,中国对食品安全科技研发的支持力度明显增强,食品安全保障技术支撑作用不断强化。文章从基础研究、共性技术与装备研发、全产业链安全控制等关键领域,全面阐述中国食品安全科技创新取得的成果,剖析食品安全科技仍存在的问题,总结国际食品安全科技创新经验,旨在为中国食品安全科技创新发展提供参考。

**关键词:**食品安全; 科技创新; 现状; 展望

**Abstract:** Technology is an important support factor for food safety and plays an important role in controlling food safety risks and ensuring food safety. In recent years, support for food safety R&D in China has been significantly strengthened, and the supporting role of food safety technology has been continuously promoted. From the basic research, R&D of common technology and equipments, and whole controlling of food chain, this article comprehensively expounds the achievements of food safety science and technology innovation in China, analyzes the problems still existing in food safety science and technology, and summarizes the international experience of food safety science and technology innovation and development aims to provide reference for the innovation development of food safety science and technology in China.

**基金项目:**科技部科技创新战略研究专项(编号:ZLY201615)

**作者简介:**臧明伍,男,中国食品科学技术学会教授级高级工程师,硕士。

**通信作者:**莫英杰(1984—),女,中国食品科学技术学会工程师,硕士。E-mail: foodtech@cifst.org.cn

**收稿日期:**2018-02-09

**Keywords:** food safety; science and technology; innovation status; prospect

随着《食品安全法》的颁布、实施与修订,以及国务院食品安全委员会、国家食品药品监督管理总局以及国家市场监督管理总局等监管机构的成立或撤并,中国逐步建立起较为完善的食品安全法律法规和标准体系,食品全产业链安全保障能力不断增强,风险监测、评估与交流能力显著提升,食品安全形势呈现趋稳向好态势<sup>[1]</sup>。但在新的社会经济背景下,农产品产地环境污染、食品产业结构不平衡、产销秩序不规范等制约食品安全提升的深层矛盾依然存在,中国仍处于食品安全风险隐患凸显和食品安全事件高发期,食品安全风险隐患依然严峻。未来食品安全治理仍将面对四大主要风险:病原微生物污染防控是食品安全刚性需求,农兽药滥用是源头污染主要来源,重金属、真菌毒素等污染构成长远威胁,非法添加和欺诈是目前食品安全治理的主要问题<sup>[2]</sup>。科技是食品安全的重要支撑要素,在防控食品安全风险、全面提升食品安全水平方面发挥着重要作用。本文着眼中国食品安全科技创新,全面阐述中国食品安全基础研究、共性关键技术与装备研发、全产业链食品安全控制等主要领域取得的创新成果,剖析食品安全科技创新发展中存在的问题,总结国际食品安全科技创新发展经验,旨在为中国食品安全科技创新发展提供参考。

## 1 中国食品安全科技创新现状

### 1.1 中国食品安全科技创新总体状况

1.1.1 科技创新投入力度 近年中国持续加大对食品加工

制造、机械装备、质量安全、冷链物流、营养健康等领域科技研发的支持力度。“十一五”期间首次将“食品安全关键技术”列为国家12个重大科技专项之一<sup>[3]</sup>。“十二五”期间,国家“863”计划和科技支撑计划累计投入经费超过17亿元,先后设置食品安全高新检测检验技术研究及产品开发、食品安全风险评估关键技术研究、食品安全溯源控制及预警技术研究与推广示范以及食品非法添加物筛查技术4个重点项目;国家自然科学基金委累计投入7.9亿元用于食品科学基础研究。“十三五”开局之年,优先启动“现代食品加工及粮食收储运技术与装备”重点研发计划,共计投入11.7亿元,为实现食品产业转型升级和提升食品安全保障水平提供经费支撑<sup>[4]</sup>。

1.1.2 创新领域与创新成果 科技创新投入有效提升了食品安全领域的创新活力,食品安全科技创新能力得到不断增强。围绕有害物防控、风险分析以及食品与人类营养健康关系等领域,重点突破了风险评估、检验检测、溯源与预警以及安全控制等一批关键技术“瓶颈”。一方面,食品安全检测技术向高通量、非定向筛查转变,大量检测技术处于国际领先地位,由“并跑”变“领跑”,而以检测技术为支撑的信息化监测与预警体系也初步形成。另一方面,食品加工过程安全控制技术研发能力与世界先进水平的差距进一步缩小:在超高压杀菌、在线品质监控、无菌灌装和可降解食品包装材料等方面取得重大突破,开发了一批具有自主知识产权的关键技术与装备;食品贮运逐步向“动态保鲜”转变,在快速预冷、气调保藏、适温配送等方面取得显著成效,助推新兴物流产业的快速发展<sup>[4]</sup>。

产学研全方位的创新格局,加速了创新成果的产出。国家级奖励方面,先后在食品安全危害因子(兽药残留、真菌毒素)检测与防控技术、农产品/食品(果蔬、水产品、冷却肉等)品质控制关键技术与装备、食品营养健康产品开发关键技术创新等关键领域,取得一批标志性创新成果,获得国家科技进步/发明奖30余项<sup>[5]</sup>。科技论文方面,食品学科领域内研究论文发表总量逐年递增,2010~2014年Scopus数据库中食品学科共收录138 574篇SCI论文,中国以发文量17 054篇的较大优势位于第二位。食品学科论文发表数量增长速率(增长率292.3%)明显高于世界平均速率。专利方面,规模以上食品工业企业专利申请量逐年增加,2016年为21 500件,较2010年增加2.74倍,食品专利申请迈入提质新阶段<sup>[6]</sup>。

1.1.3 学科建设与人才培养 学科建设不断加速。目前,中国从事食品科学研究的科研院所和高校超过350家,主要包括24所博士点院校、100多所硕士点院校以及235所本科院校,每年为食品产业输送近10万名毕业生。依托科研院所与高校,食品领域建有5个国家重点实验室、7个国家工程实验室、10余家国家工程中心、20余个产学研紧密结合的产业技术创新战略联盟,构建了多层次的创新平台。

人才培养成效显著。中国食品领域已形成一支由院士领衔,国家千人计划、长江学者和国家杰青补充的高层次人才队伍,同时以不同培养目标实施的校企联合培养、卓越工

程师计划、国际联合培养、专业学位培养等人才培养模式在高校的食品学科中全面实行。

## 1.2 中国食品安全科技创新标志性成果

### 1.2.1 食品安全与营养基础研究成果丰硕

(1) 加工有害物生成机理及减控。依托食品科学与技术国家重点实验室及省部共建食品营养与安全国家重点实验室等平台,食品加工过程有害物产生与控制机理机制研究从宏观向分子层面转变。从分子水平揭示食品加工过程有害物形成及阻断机制,建立高蛋白食品、高油脂食品和发酵食品三类型食品安全加工新体系<sup>[7]</sup>;基于模拟试验和动力学分析,初步探明热加工食品中杂环胺、反式脂肪酸和呔喃的形成机制与控制途径<sup>[8]</sup>。

(2) 生物毒素、食源性致病微生物检测及防控。依托农业部农产品加工重点实验室等平台,重点开展了食品原料和加工过程有害物的形成和调控机制研究:建立生物及物理技术消除多种有害物质毒素的畜禽食品加工技术,为畜禽产品中目标化合物的有效控制提供全面的技术保障<sup>[9]</sup>。揭示多个信号途径在主要粮油产品真菌毒素合成调控的作用及其机理,明确了喹啉类和单端孢霉烯族毒素等5种受试物及其主要代谢产物在畜禽产品中的吸收、分布、代谢和排泄途径,为国家制定相关食品安全标准提供了基础支撑<sup>[10]</sup>。

(3) 污染物、危害因子暴露评估。重点创新了食品新原料、新食品添加剂和新接触材料毒理学安全性评价技术,构建中国食品添加剂毒理学资料数据库,为重点食品安全标准指标的再评估提供科学手段。基于油炸薯类制品、油炸方便面等加工过程中产生的丙烯酰胺、糖基化终末产物、杂环胺等有害物的定量分析方法体系以及高通量分析方法,构建糖基化终末产物的基础数据库,并获得部分消费者对有害物的人群暴露数据<sup>[11]</sup>。建立中国食品添加剂毒理学资料数据库,提出酶制剂及防腐剂的安全评价方法与原则,研发中国特有食品添加剂红曲红、栀子黄等的产品标准及检验方法,为中国食品添加剂安全性评价和科学管理提供了技术依据<sup>[12]</sup>。

(4) 食品与人类营养健康。依托食品营养与安全国家/省部级重点实验室、乳品生物技术与工程教育部重点实验室、北京食品营养与人类健康高精尖创新中心等平台,围绕食品营养机理与功能评价、食品中有害物识别机制与风险评估、加工制造过程营养与安全调控机理、食品营养与人类健康、食品安全基础研究、健康食品加工技术研发与转化等方向,明确多种关键食品组分/功能因子营养量效关系和作用机理机制<sup>[13]</sup>。挖掘并构建特有益生菌种资源库,基于宏基因组阐明益生菌摄入对肠道菌群结构的影响及变化趋势<sup>[14-15]</sup>。

(5) 食品安全与耐药性。围绕畜禽重要病原菌抗生素耐药性形成、传播与控制等基础研究,首次发现大肠杆菌质粒介导的多黏菌素耐药基因MCR-1,解析耐药性产生与传递机制,较大规模分析了MCR-1阳性大肠杆菌在临床病人及社区人群中的分子流行特征,为耐药性风险评估与预防控制提供了重要的理论基础<sup>[16]</sup>。

### 1.2.2 共性关键技术与装备取得新突破

(1) 食品真实性鉴别技术。基于差异蛋白质组学、DNA 指纹和 DNA 条形码、特征性多肽识别、同位素分析、光谱法、色谱法等真实性鉴定技术,实现了对产品的物种真伪鉴别、产地溯源及掺假物检测,推动食品掺假成分由定性向定量鉴定的转变。采用 DNA 和特征性多肽识别法,实现肉或肉制品中多种源性成分的快速定性精准定量分析<sup>[17-18]</sup>;采用稳定性同位素法,实现小麦制粉产品、牛肉和猕猴桃等样品产地溯源<sup>[19]</sup>;采用红外光谱法、核磁共振波谱法,成功应用于肉制品定级以及油脂和乳制品掺假鉴定;采用气相色谱和高效液相色谱法,成功应用于生鲜牛乳中甲醛、蜂蜜中糖浆、玉米馒头中柠檬黄色素掺假及花生油、棕榈油、山茶油等食用油的掺假鉴定<sup>[20]</sup>。

(2) 化学有害物识别与检测。创新样品全回收前处理材料和技术,重点突破了食品危害物非定向筛查和高通量检测共性关键技术。构建包括农兽药、精神药品、其他药品等 1 196 种常见的有毒有害化合物的 UPLC-Q-TOF 数据库<sup>[21]</sup>;依托通用快速前处理、食品中毒害物质同步识别谱库和食品中非目标成分鉴定三项核心技术,构建食品中高风险化合物筛查鉴定技术平台,涵盖食品中主要理化危害指标近 3 000 种<sup>[22]</sup>。开发中国首个用于农产品中 1 000 多种农药残留色谱-质谱联用技术检测的系列高通量方法,建立多项国际 AOAC 方法<sup>[23]</sup>;开发了高灵敏度、高通量真菌毒素多残留快速精准检测技术、生物毒素多残留同位素稀释液质联用检测技术,以及贝类毒素和河豚毒素的适配体标记检测技术<sup>[24-25]</sup>。

(3) 有害物过程控制技术。建立具有自主知识产权的非浓缩还原(NFC)果蔬汁超高压杀菌技术,建立基于菌落总数的超高压果蔬汁货架期预测模型,实现果蔬汁的安全与营养<sup>[26]</sup>。针对农药残留、微生物和非法添加物三类典型危害物,建立基于酶联免疫、金标试纸、纳米传感器、生物传感、机器视觉的食品品质在线监测和控制技术,有效提高企业食品质量安全在线监控能力。

(4) 物流贮运保鲜技术。开发了果蔬、水产品等移动真空预冷、无水保活、节能适温贮藏物流、适温物流辅助等一批新技术,研制低碳节能物流装备、冰温保鲜库及保鲜工艺<sup>[27]</sup>,应用生物源保鲜剂<sup>[28]</sup>、开发 CO<sub>2</sub> 高透性保鲜膜<sup>[29]</sup>等对传统果蔬产品的物流保鲜技术进行技术改革。基于特色易腐果蔬物流损耗规律,研发了智能环保型移动式果蔬高湿变风量压差预冷装置、冷链物流专用周转容器等<sup>[30]</sup>。

### 1.3 全产业链安全控制体系不断完善

1.3.1 食品安全管理与追溯体系 加速推进食品安全管理 HACCP 体系、SSOP、GMP 体系,实现对食品生产、流通的安全控制。基于 HACCP、GMP 和食品企业诚信管理体系(CMS)等原理,依托食品安全溯源技术,建立营养配餐食品安全保障体系及婴幼儿配方羊奶粉从奶源到餐桌的食品安全管理体系,并在生产企业进行示范实施,强化原辅料及生产过程的质量控制。研制电子型货架期指示器,实现贮运过程和冷链流通或销售中水产品实时信息、品质监控及货架期

预测<sup>[31-32]</sup>。

1.3.2 食品安全管理信息化与智能化 建成国家食品安全抽检监测信息系统、进口食品风险预警系统、乳制品风险预警系统及覆盖 58 个城市的肉菜流通追溯系统等信息化系统,实现食品不同环节的信息化监控、预警与追溯。开发基于物联网技术的农药产品追溯系统、中国农药数字监督管理平台,初步实现农兽药产品信息化管理,建成集监管、测试信息、认证追溯及大数据平台的“三系统一平台”贵州食品安全云服务体系<sup>[33]</sup>。

## 2 国际食品安全科技创新经验借鉴

### 2.1 食品安全与营养健康研究基础扎实

2.1.1 食品加工有害物抑制基础研究超前 提出丙烯酰胺广泛存在于热加工食品中,并率先阐明天冬酰胺途径和非天冬酰胺途径 2 种丙烯酰胺产生途径,以及己糖强酸性条件下脱水和美拉德反应 2 种 5-甲基糠醛产生途径,并得到全球公认。同时开展了加工有害物抑制机制研究,通过抗氧化剂、植物提取物、天冬酰胺酶、金属离子、微生物发酵以及微波、射频、超高压均质等多种手段有效抑制丙烯酰胺的生成<sup>[34]</sup>。

2.1.2 分子营养学推动营养健康食品精准制造 基于宏基因组学、转录组学、蛋白组学和营养代谢组学的营养组学技术不断融入营养健康食品研发中,特定人群营养健康功能评价技术体系日臻完善,靶向设计、精准制造成为营养健康研究新热点。美国、欧盟、日本等发达国家高度关注食品安全重点领域和方向投入,欧盟将“营养健康”列入主要支持研究领域(欧盟《第七框架计划》),美国用于公众营养健康水平提升的经费约占其非国防领域科研经费总额的 1/3(美国 NIH、USDA),日本重点支持“食品安全制造”和“膳食营养健康”研究领域达 1 000 亿日元以上(日本《科学技术基本计划》)。全球众多著名的食品公司也投入大量经费用于开发营养健康食品绿色制造技术。

### 2.2 基于风险分析和供应链控制的安全控制技术完善

2.2.1 风险评估技术体系构建完善 以化学、毒理学、营养学、微生物学和分子生物学为基础,建立多学科融合的定量风险评估技术,构建基于不同食品种类、不同风险因子的苹果模型和数据资源,推动食品安全风险评估的数据化、精准化。全球环境监测系统/食品规划(GEMS/Food)为开展国际暴露评估建立全球 13 个地区性的膳食数据库<sup>[35]</sup>。美国利用 Monte Carol 和 Bootstrap 模型,输入各种食品中的污染水平、各种食品消费量和毒性数据,分别计算出 26 个人群亚群、不同地区和四季的污染物风险分布情况。欧盟通过收集各国食品消费量和污染水平数据库,建立全新整合的食品风险分析技术重点解决暴露评估和风险表征中的不确定度问题。这些技术已逐步被 JECFA 采纳,并占据国际主导权。

2.2.2 化学有害物识别与检测能力不断加强 食品安全检测技术推陈出新。分子生物学技术(实时荧光定量聚合酶链反应、PCR 结合变性梯度凝胶电泳、DNA 杂交探针、宏基因组学测序技术)、生物芯片技术、绿色荧光蛋白标记技术、系统生物学技术、生物光谱技术、替代毒理学技术等前沿技术

不断应用到食品安全检测中,多元、高效、靶向的前处理技术和强大的数据库资源助于提升定量风险评估的准确性和危害物筛选鉴别的精准性<sup>[36]</sup>。

2.2.3 耐药性研究技术方法发展迅速 国际学者先后在美国、意大利、埃及、韩国等地动物源性食品中分离到多种耐药菌或耐药基因,分离得到“超级细菌”和发现新型“超级耐药基因”,初步明确细菌耐药性产生和传播的分子机制<sup>[37-38]</sup>。下一代测序技术(NGS)被发现能够以更高的分辨率来“洞察”抗生素耐药性的产生和传播,随着大数据的深入和检测技术的提升,测序技术在细菌耐药性研究方面的优势越发明显。

2.2.4 大数据、信息化和智能化风险预警技术支撑完善

WHO/FAO 食品安全网络(INFOSAN)覆盖各成员国,建立全球性的食品安全预警应急对策机制。欧盟建立欧盟食品和饲料快速预警系统(RASFF)形成沟通渠道顺畅的网络系统,保护消费者免受不安全食品和饲料危害。英国食品标准机构通过监控预警系统随时加强传染病控制。德国联邦消费者保护食品安全局的农产品风险预警信息预报系统,可以提供食品和饲料安全监察查询和服务。美国推出基于核酸的脉冲场凝胶电泳技术(PFGE)食源性疾病监测网络,系统覆盖 23 个国家和地区的食品主动保障体系,在全球食源性疾病的检测方面发挥了巨大作用。

2.3 食品供应链安全保护体系健全

美国和欧盟围绕食品欺诈、食品恐怖主义等蓄意污染所开展的脆弱性评估技术体系、TACCP 和 VACCP 体系等方面的研究不断深入,引领全球食品安全研究新方向。美国 FDA 于 2007 年底提出食品供应综合保护战略(Food Protection Plan, FPP)。欧洲的国际性食品零售商提出的《世界食品安全倡议》中定义了食品安全管理伞,针对食品恐怖主义和食品掺假的 TACCP 和 VACCP 体系研究与构建,成为发达国家和地区食品保护体系研究的重点。

2.4 食品领域专利国际竞争优势明显

国际大型食品企业在中国知识产权局、欧美、中国、日本、加拿大、澳大利亚等国家和地区均有专利申请,基本形成了专利保护网络,大幅提升其在食品产业的核心竞争力。美国更多占据食品安全和营养健康领域专利核心国地位,高强度专利占比高。从核心专利角度看,15 项高强度专利中,13 件来自美国,美国加州大学、美国塔夫斯大学、美国英特尔公司在农药残留快速检测领域具有核心地位,其专利价值更高<sup>[39]</sup>。

### 3 国内外食品安全科技发展状况对比分析

3.1 风险评估能力与国际水平存在差距

中国食品安全风险分析缺乏风险评估数据支撑,基于致病菌生物特性、污染物特征、食源性特征等角度的定量风险评估仍待开展。一是食品化学污染监测覆盖面、监测项目、监测技术、数据库建设和应用等方面还有很大差距;二是缺乏敏感人群/高暴露和高风险人群的评估参数及常见重要致病菌风险评估的背景资料;三是食品新原料、新食品添加

剂和新接触材料的暴露评估和安全性评价仍不全面;四是缺少自动或半自动化的风险评估分析处理工具和技术手段。

3.2 食品安全危害识别与检测技术亟待加强

高通量的定向检测和非定向筛查技术,以及食品供应链中环境污染、化学投入品残留、内源生成和外源添加的危害物控制技术亟待加强研究。中国优势传统发酵食品、乳制品和油脂加工中产生的高风险化学危害物的干预、阻断、控制关键技术仍待开发。国家标准物质库有待进一步完善,高特异和高广谱性生物识别材料资源库尚未构建,在稳定高效、规模化制备方面亟待突破。高效、系统的食品反掺假防控技术体系尚未完全建立,基于同位素、特征成分和 DNA 分子指纹库的真实性溯源与鉴定,以及脆弱性评估技术体系仍待强化。

3.3 食品溯源与风险预警能力存在差距

国家食品安全溯源云平台、食源性生物因素全基因组溯源国家数据库和溯源网络、食品全产业链检测信息与安全标准集成及大数据分析溯源预警系统尚待构建。中国部分食品中生物性污染物、化学性污染物、物理性污染物、重要致病菌和食源性疾病的监测数据资料有限,基于网络技术、软件技术的生产链信息溯源体系与后台监管数据库的食品安全的可追溯系统建立仍不完善。

3.4 食品标准建设数据有待完善,专利国际竞争力有待提升

国际标准制定参与度较低,主持或参与制定食品国际标准方面仍有待加强。截止目前,中国主导制定的国际标准 6 项,有 CAC 标准《非发酵豆制品》、ISO《蜂王浆》以及 AOAC 农药残留、生物毒素检测方法标准,CAC 使用中国农药残留数据制定国际限量标准数量仅 11 项,食品标准建设数据有待完善<sup>[40]</sup>。与发达国家相比,中国授权专利占比较低,专利质量有待提升,国际化布局不多,关键技术领域研究较发达国家还处于跟跑阶段。

## 4 提升食品安全科技创新保障能力的对策

4.1 健全基于风险分析和供应链控制的食品安全科技支撑框架

改变传统的风险分析或供应链控制单一食品安全科技支撑模式,建立基于风险分析与食品供应链全程控制为安全综合评价手段,其包括风险评估、风险管理(以风险评估、决策和预警为核心)、风险交流及风险溯源体系的食品安全科技支撑框架,开展针对高风险环节识别、关键危害控制与预防技术的研究与推广。基于供应链控制,开发既能保证食品营养品质、质量安全和货架期,又能缩短加工时间、提高生产连续性的加工技术和装备,建立食品安全与营养品质保持技术体系。建立互联互通、数据共享的监管数据和实验室数据管理系统,为科学监管提供数据支持。通过感知化、物联化、智能化手段,整合、分析和展示食品安全关键信息,为政府实施有效管理提供必要手段,更有力地推进食品安全社会共治与全程监管。

#### 4.2 强化食品安全风险评估基础研究和数据库建设

加大食品安全风险评估基础研究,重点开展毒理学安全性评价技术体系研究,构建基于食品新原料、新食品添加剂和新接触材料的安全性评价技术体系和方法,建立基于污染物、食源性致病微生物、过敏原的风险评估和膳食暴露基础数据库,为食品安全标准制修订提供数据支撑。通过食品安全风险剖析、机理形成、迁移转化、全链条基础性评估等研究,加强相关食品安全基础研究的投入和关注,并形成良好的基础研究成果的实用化、可及化,实现基础研究的落地转化。

#### 4.3 加强食品安全危害识别与检测技术研发

基于食品安全检测领域紧扣监管需求,发现潜在的系统性的风险隐患,对非法添加物质非靶向性综合筛查技术、食品农兽残留高通量筛查确证技术、食品质量追溯及真实性分析技术、食品快速检测方法、食品质量控制体系及标准样品研制、生物学检验方法及溯源技术,以及多组分检测技术、食品组学研究、智能标签技术、食品微生物检测用试剂评价平台、单克隆抗体的免疫学检验技术等食品安全检验前沿技术和方法构建,提升食品安全从“被动检测”向“主动保障”的转变。

#### 4.4 强化基于大数据的信息化、智能化风险溯源与预警体系建设

基于数据采集、存储、清洗、挖掘及数据可视化等大数据技术,加速现代信息技术在食品安全信息化网络平台的融合与应用,构建标准统一、互联与共享、信息安全的食品安全信息平台,推动现有“信息化监测网络”向“智能化监测与预警网络”升级。重点完善升级食品抽检监测、食品中环境污染物、进出口食品风险监测网络,加快构建食源性疾病、食品真实性(掺假成分)等风险监测与预警平台,实现机器人、机器助人,为食品安全监管提供良好的信息化和智能化支持。

#### 4.5 实施知识产权战略,强化国际交流与成果转化应用

实施食品安全领域专利质量提升工程,培育高价值核心专利,提高专利授权和转移比重。加大食品安全与营养健康领域核心专利技术在重要国家和市场的专利布局和技术输出,增强对潜在市场的努力,实现知识产权创造由多向优、由大到强的转变,更好支撑食品安全与营养健康发展。加强国际交流合作,积极引进过程控制、风险监测与预警、风险分析等领域的先进技术,引进、消化、吸收、再创新。创新科技成果宣传推广模式,融合在线技术成果对接、网络直播、在线问答等互联网元素,探索食品加工校企合作新空间、新途径。引导科研机构、高校、企业等创新主体加速转移转化科技成果,推动中国食品安全水平全面提升。

#### 参考文献

- [1] 旭日干, 庞国芳. 中国食品安全现状、问题及对策战略研究[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 34-39.
- [2] 王守伟, 周清杰, 臧明伍. 食品安全与经济发展关系研究[M]. 北京: 中国质检出版社, 中国标准出版社, 2016: 62-65.
- [3] 贾敬敦, 蒋丹平, 陈昆松. 食品产业科技创新发展战略[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 238-254.
- [4] 中国政府网. “十三五”食品科技创新专项规划发布——科学打造舌尖上的产业[EB/OL]. (2017-06-26)[2018-03-20]. [http://www.gov.cn/xinwen/2017-06/26/content\\_5205419.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2017-06/26/content_5205419.htm).
- [5] 吴永宁. 我国食品安全科学研究现状及“十三五”发展方向[J]. 农产品质量与安全, 2015(6): 3-6.
- [6] 张南, 马春晖, 周晓丽, 等. 食品科学研究现状、热点与交叉学科竞争力的文献计量学分析[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 310-315.
- [7] 周景文, 堵国成, 陈坚. 发酵食品有害氨(胺)类代谢物: 形成机制和消除策略[J]. 中国食品学报, 2011, 11(9): 8-25.
- [8] 吕春晖, 方国臻, 王硕. 恩诺沙星分子印迹聚合物膜的制备及吸附性能研究[J]. 现代食品科技, 2017(11): 134-139.
- [9] 朱洪鹏, 潘源虎, 黄玲利, 等. 放射性示踪技术在兽药代谢及残留消除研究中的应用[J]. 核农学报, 2017, 31(6): 1 234-1 243.
- [10] 周露, 王会娟, 邢福国, 等. 平菇 P1 培养条件优化及其黄曲霉毒素降解酶的初步分离[J]. 核农学报, 2014(9): 1 625-1 631.
- [11] FU Yu-feng, ZHAO Ge, WANG Sheng, et al. Simultaneous determination of fifteen heterocyclic aromatic amines in the urine of smokers and nonsmokers using ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2014, 1 333(5): 45-53.
- [12] 张俭波, 王华丽, 张霁月, 等. 国内外食品添加剂带入原则的比较分析研究[J]. 卫生研究, 2014, 43(5): 832-835.
- [13] 徐洋, 侯占群, 许朵霞, 等. 淀粉类衍生物对喷雾干燥红曲色素物理综合特性的影响[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-12[2018-04-19]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.015997>.
- [14] 张和平. 我国益生乳酸菌研究与产业化现状及发展对策[J]. 生物产业技术, 2009(6): 53-55.
- [15] ZHAO Li-ping, ZHANG Feng, DING Xiao-ying, et al. Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes[J]. Science, 2018, 359(6 380): 1 151-1 156.
- [16] WANG Yang, ZHANG Rong-min, LI Ji-jun, et al. Comprehensive resistome analysis reveals the prevalence of NDM and MCR-1 in Chinese poultry production[J]. Nature Microbiology, 2017, 2(2): 16 260.
- [17] 张颖颖, 赵文涛, 李慧晨, 等. 液相色谱串联质谱对掺假牛肉的鉴别及定量研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(2): 230-237.
- [18] 陈颖. 食用油真伪鉴别方法研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2014, 32(6): 1-8.
- [19] 魏益民, 郭波莉, 魏帅, 等. 食品产地溯源及确证技术研究和应用方法探析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(24): 5 073-5 081.
- [20] ZHENT Xiao-chun, PENG Yan-kun, WANG Wen-xiu. A Nondestructive Real-Time Detection Method of Total Viable Count in Pork by Hyperspectral Imaging Technique [J]. Applied Sciences, 2017, 7(3): 213.
- [21] 郭娟. 有毒有害物质液相色谱质谱数据库的构建及应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2012: 12-23.
- [22] 郝杰, 姜洁, 余建龙, 等. 固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定动物源性食品中多种兽药残留[J]. 食品科学, 2017, 38(12): 266-272.
- [23] 曹新悦, 庞国芳, 金铃和, 等. 气相色谱-四极杆-飞行时间质谱和气相色谱-串联质谱对水果、蔬菜中 208 种农药残留筛查确证能力的对比[J]. 色谱, 2015, 33(4): 389-396.

(下转第 53 页)

- 比与分析[J]. 农产品质量与安全, 2014(6): 7-11.
- [2] 马欢欢, 白凤翎, 励建荣. 乳酸菌吸附作用清除食品中有毒重金属研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 301-307.
- [3] ABBAS S H, ISMAIL I M, MOSTAFA T M, et al. Biosorption of Heavy Metals: A Review[J]. Journal of Chemical Science & Technology, 2014, 3(4): 74-102.
- [4] HALTTUNEN T, FINELL M, SALMINEN S. Arsenic removal by native and chemically modified lactic acid bacteria[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 120(1/2): 173-178.
- [5] HALTTUNEN T, COLLADO M C, EI-NEZAMI H, et al. Combining strains of lactic acid bacteria may reduce their toxin and heavy metal removal efficiency from aqueous solution[J]. Letters in Applied Microbiology, 2008, 46(2): 160-165.
- [6] TOPCU A, BULAT T. Removal of cadmium and lead from aqueous solution by *Enterococcus faecium* strains[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(1): 13-17.
- [7] BHAKTA J N, OHNISHI K, MUNEKAGE Y. Characterization of lactic acid bacteria-based probiotics as potential heavy metal sorbents[J]. Journal of Applied Microbiology, 2012, 112(6): 1 193-1 206.
- [8] TIAN Feng-wei, ZHAI Qi-xiao, ZHAO Jian-xin, et al. *Lactobacillus plantarum* CCFM8661 alleviates lead toxicity in mice[J]. Biological Trace Element Research, 2012, 150(1/2/3): 264-271.
- [9] 于上富, 靳姐, 丁秀云, 等. 德氏乳杆菌吸附铅离子的机制研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 116-125.
- [10] 田丰伟. 缓解氧化应激乳酸菌的筛选、表征和功能评价研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 48-49.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.12—2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 6-9.
- [12] 熊婧. 乳酸菌对重金属镉的耐受性和吸附机制研究[D]. 广州: 暨南大学, 2015.
- [13] CABUK A, AKAR T, TUNALI S, et al. Biosorption of Pb (II) by industrial strain of *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on the biomatrix of cone biomass of *Pinus nigra*: equilibrium and mechanism analysis[J]. Chemical Engineering Journal, 2007, 131: 293-300.
- [14] 白洁琼, 尹华, 叶锦韶, 等. 嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换[J]. 环境科学, 2013, 34(1): 217-225.
- [15] 倪奕弘. 耐受重金属铜的乳酸菌的筛选及其铜结合性能的研究[D]. 广州: 暨南大学, 2014: 40-41.
- [16] 史广宇, 程媛媛, 史琦, 等. 铜绿假单胞菌对铜和铅的吸附[J]. 环境科学学报, 2017, 37(6): 2 107-2 113.
- [17] 王晓伟, 姚国强, 高鹏飞, 等. 乳酸菌对重金属污染的生物修复作用[J]. 中国微生态学杂志, 2014, 26(8): 968-972.
- [18] TEEMU H, SEPPO S, JUSSI M. Reversible surface binding of cadmium and lead by lactic acid bacteria and bifidobacteria[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 125(2): 170-175.
- (上接第 5 页)
- [24] HU Gao-shuang, SHENG Wei, LI Shi-jie, et al. Quantum dot based multiplex fluorescence quenching immune chromatographic strips for the simultaneous determination of sulfonamide and fluoroquinolone residues in chicken samples[J]. Rsc Advances, 2017, 7(49): 31 123-31 128.
- [25] PEI Shi-chun, ZHANG Yuan-yuan, SERGEI A E, et al. Detection of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk products from China by ELISA using monoclonal antibodies[J]. Food Control, 2009, 20(12): 1 080-1 085.
- [26] 廖小军. 新鲜苹果“喝”进去[J]. 中国农村科技, 2016(8): 40-42.
- [27] 郝利平. 果蔬产品物流技术与装备集成综合示范及推广应用[J]. 中国科技成果, 2015(6): 25-26.
- [28] 凡先芳, 张婕, 姚世响, 等. 1-MCP 和戊唑醇处理对青脆李果实贮藏期病害和品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 292-298.
- [29] RAO Lei, WANG Yong-tao, CHEN Fang, et al. The synergistic effect of high pressure CO<sub>2</sub> and nisin on inactivation of *Bacillus subtilis* spores in aqueous solutions[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 1 507.
- [30] 孙崇德, 张波, 徐昌杰, 等. 杨梅果实采后生物学特性与冷链物流技术[J]. 中国果业信息, 2013, 30(7): 36-37.
- [31] 李婷婷, 励建荣, 胡文忠. 可食性壳聚糖涂膜保鲜大黄鱼品质控制研究[J]. 中国食品学报, 2013(6): 147-152.
- [32] 李学鹏, 励建荣, 孟良玉, 等. 生物保鲜剂对中国对虾蛋白质生化特性的影响[J]. 渤海大学学报: 自然科学版, 2013(1): 37-44.
- [33] 唐立常, 李璉, 黎斌. 贵州飘起“食品安全云”[N]. 中国医药报, 2015-07-16(001).
- [34] MOTTRAM D S, WEDZICHA B L, DODSON A T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction[J]. Nature, 2002, 419: 448-449.
- [35] 李丹, 王守伟, 臧明伍, 等. 国内外经济利益驱动型食品掺假防控体系研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 320-325.
- [36] 王硕. 食品安全快速检测技术研究动态[J]. 食品安全质量检测学报, 2014(7): 1 911-1 912.
- [37] WIELINGA P R, JENSEN V F, AARESTRUP F M, et al. Evidencebased policy for controlling antimicrobial resistance in the food chain in Denmark[J]. Food Control, 2014, 40(1): 185-192.
- [38] NGUYEN H N K, VAN T T H, NGUYEN H T, et al. Molecular characterization of antibiotic resistance in *Pseudomonas* and *Aeromonas* isolates from catfish of the Mekong delta, Vietnam[J]. Veterinary Microbiology, 2014, 171(34): 397-405.
- [39] 张南, 马春晖, 尚飞, 等. 食品安全快速检测技术的专利文献计量研究[J/OL]. 食品科学: 1-10[2018-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20171212.1621.152.html>.
- [40] 国际食品法典委员会网站[EB/OL]. (2017-06-29)[2018-03-20]. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>.