

# 食品中重金属残留的快速检测技术应用及风险评估

宿海莹

内蒙古赤峰市阿鲁科尔沁旗疾病预防控制中心 内蒙古 赤峰 025550

**摘要:** 食品中重金属残留威胁公众健康,快速检测技术与风险评估至关重要。当前,原子荧光光谱法、X射线荧光光谱法、纳米酶比色检测技术、电化学检测技术、生物传感器技术等重金属检测中各有应用。风险评估通过不同模型和流程,确定污染程度与潜在危害。然而,检测技术面临灵敏度、创新、标准不统一等挑战,风险评估存在参数、模型适用性等问题,监管与社会层面也有诸多不足。为此需加大技术研发投入、完善评估模型、强化监管并提升公众意识,以保障食品安全。

**关键词:** 食品; 重金属残留; 快速检测技术; 风险评估

## 引言

食品安全关乎公众健康,食品中重金属残留问题不容忽视。重金属如铅、镉、汞等,通过食物链进入人体后,会损害神经系统、肾脏等器官,引发严重疾病。快速检测技术能及时、准确地检测出食品中的重金属残留,为食品安全监管提供有力支持。风险评估则可科学评价重金属残留对人体的潜在危害,为制定标准和实施监管措施提供依据。本文旨在探讨食品中重金属残留快速检测技术的应用及风险评估,分析面临的挑战并提出应对措施。

## 1 食品中重金属残留的快速检测技术应用

### 1.1 原子荧光光谱法(AFS)

原子荧光光谱法是将原子利用连续光源或线光源激发到较高的电子能级,然后测定被激发的电子返回基态时所发射出的荧光辐射的一种分析方法。它具有同时多元素分析、灵敏度高、线性范围宽、检出限低、谱线简单等特点<sup>[1]</sup>。特别是氢化物发生-原子荧光光谱法(HG-AFS),可将待测元素转化为气态氢化物,与大量基体分离,降低基体干扰,进样效率也显著提高,已成为检测汞、砷、铅等挥发性元素的主要手段。该方法常用于粮食、蔬菜、水产品等食品中重金属残留检测,能快速准确地得出结果,且仪器操作相对简便,适合基层检测机构使用。

### 1.2 X射线荧光光谱法(XRF)

X射线荧光光谱法是利用X射线照射样品,使样品中的元素产生特征X射线,通过测量不同元素的X射线强度进行定性和定量分析。如能量色散X射线荧光光谱仪(EDXRF),可用于快速非破坏性检测食品中的镉、铅、汞、砷等重金属。它无需复杂的样品前处理,能在2-3分钟内完成快速筛查,25分钟内实现准确测量,适用

于大米、小麦、茶叶等多种农作物及加工食品的检测。其优点是操作简便、检测速度快、可多元素同时分析,且仪器便携,能满足现场检测需求。但该方法对轻元素的检测灵敏度相对较低,且受样品均匀性影响较大。

### 1.3 纳米酶比色检测技术

纳米酶比色检测技术凭借速度快、灵敏度高的特点,在重金属检测中得到广泛应用。例如,中国农业科学院质标所构建了一种基于金纳米酶比色原理的直接固体进样汞分析体系。该体系利用金纳米酶具有的金汞齐和过氧化物酶(POD)活性“双重能力”,研制的PVP-AuNPs膜可高效捕获固体食品样品中的汞,通过催化氧化底物实现汞的比色检测。此方法无需繁杂样品处理,25分钟内大米中汞的检出限达到 $6\mu\text{g/kg}$ ,打破了常规纳米比色传感技术无法直接检测固体样品的瓶颈。

### 1.4 电化学检测技术

基于丝网印刷电极的电化学检测技术是近年来发展起来的一种快速检测方法。武汉轻工大学开发了基于此技术的粮食重金属现场检测新技术及新装备,通过电极功能化修饰、信号放大机制引入等,实现了对大米、糙米等粮食样本中无机砷的快速准确检测。该方法检测速度快,从样本到结果小于30min,测试灵敏度高,定量限 $<0.5\text{ppb}$ ,结果准确,变异系数(CV)在 $\pm 10\%$ 以内。电化学检测技术成本相对较低,仪器便携,适合基层单位对食品中重金属的现场快速筛查。

### 1.5 生物传感器技术

生物传感器是利用生物分子识别元件与物理或化学换能器相结合,用于检测目标物质的装置。在食品重金属检测中,可利用抗体、核酸适配体等生物识别分子对重金属离子进行特异性识别。例如,基于核酸适配体的生物传感器可快速检测铅离子,具有灵敏度高、选择性

好等优点。生物传感器能够实现对重金属的快速、实时检测,且可集成化、微型化,有望发展成为便携式现场检测设备,但目前部分生物传感器的稳定性和重复性还有待提高。

## 2 食品中重金属残留的风险评估

### 2.1 风险评估的重要性

食品中重金属残留的风险评估是对食品中重金属可能对人体健康造成的潜在危害进行科学评价的过程。通过风险评估,可以确定重金属的污染程度、潜在危害水平,为食品安全标准的制定、监管措施的实施提供依据,有助于合理分配监管资源,有效保障公众健康。

### 2.2 风险评估模型

(1) 基于概率风险评估模型,该模型通过分析食品中重金属的浓度、暴露途径和人群摄入量,评估重金属污染对健康的潜在风险。例如,通过调查某地区食品中铅的含量,结合当地居民的饮食结构,计算出不同年龄段人群通过食物摄入铅的概率,再根据铅的毒性数据,评估其对人体健康的风险<sup>[2]</sup>。此模型能综合考虑多种因素,但需要大量准确的基础数据,数据的不确定性可能会影响评估结果的准确性。(2) 基于剂量-反应关系风险评估模型,通过研究重金属暴露剂量与人体健康损害之间的关系,建立剂量-反应曲线来评估健康风险。如通过动物实验或人群流行病学调查,确定镉的不同暴露剂量与肾脏损伤等健康效应之间的关系,进而根据食品中镉的含量和人体摄入量,预测可能产生的健康风险。该模型较为直观,但对于一些低剂量长期暴露的情况,准确建立剂量-反应关系存在一定难度。(3) 基于风险评估指数模型,综合考虑食品中重金属浓度、暴露途径和人群暴露水平,计算风险评估指数来评估健康风险。将食品中砷的含量、人群通过饮食摄入砷的频率等因素纳入公式,计算出砷的风险评估指数,根据指数大小判断风险等级。此模型相对简单易懂,但指数的计算方法和参数选择需要科学论证,否则可能导致评估结果偏差。

### 2.3 风险评估流程

确定食品中重金属的种类及其潜在危害。通过查阅文献、相关研究报告等,了解铅、镉、汞等重金属对人体神经系统、肾脏、骨骼等器官的损害作用,明确其毒性效应和危害机制。根据已有的毒理学数据和研究成果,确定重金属暴露剂量与人体健康效应之间的关系。对于有明确剂量-反应关系的重金属,如镉与肾脏损伤,可直接采用相关研究中的剂量-反应曲线;对于数据尚不充分的重金属,可通过动物实验或类比其他相似重金属的研究结果来确定。评估人体通过食物摄入重金属的

途径和摄入量。通过饮食调查,了解不同地区、不同年龄段人群的食品消费习惯,结合食品中重金属的检测数据,计算出人群对各种重金属的每日摄入量。同时,考虑食品加工、烹饪等过程对重金属含量的影响,更准确地评估暴露水平。综合危害识别、剂量-反应评估和暴露评估结果,对食品中重金属残留的风险进行定性或定量描述。如得出某地区儿童因食用某品牌大米可能摄入过量铅,存在神经系统发育受损风险的结论,或计算出某类食品中重金属导致人体健康风险的概率值,为风险管理提供依据。

## 3 食品中重金属残留检测与风险评估面临的挑战

### 3.1 检测技术方面

(1) 灵敏度和准确性有待提高,虽然现有快速检测技术取得了一定进展,但对于一些低浓度重金属的检测,仍存在灵敏度不足的问题。部分检测方法在复杂食品基质中容易受到干扰,导致检测结果准确性下降,难以满足日益严格的食品安全标准要求。(2) 技术创新不足,快速检测技术的研究和开发投入相对不足,新型检测技术的研发速度较慢。目前一些检测方法存在检测范围有限、操作复杂等局限性,如某些生物传感器只能检测特定几种重金属,且稳定性有待提升,影响了其广泛应用<sup>[3]</sup>。(3) 检测标准不统一,不同国家和地区的食品重金属检测标准存在差异,国内相关标准的更新速度也较慢。同时,检测方法的标准操作程序(SOP)不统一,不同实验室采用相同方法检测同一食品样品,可能得出不同结果,给检测结果的互认和比较带来困难。

### 3.2 风险评估方面

风险评估模型中的参数往往依赖于大量实验数据和历史数据,这些数据的准确性和可靠性难以完全保证。参数估计可能存在误差,不同模型对参数的选择标准也不同,导致风险评估结果可能存在差异。此外,参数更新不及时,无法及时反映环境变化、食品生产工艺改变等因素对重金属污染的影响。不同的风险评估模型适用于不同的食品种类和重金属类型,对于复杂食物链中重金属的迁移转化过程,现有模型难以全面准确解析。而且,人体对重金属的敏感性和耐受性存在个体差异,风险评估模型通常难以精确考虑这些因素,导致评估结果与实际情况可能存在偏差。建立和应用风险评估模型需要专业的知识和技能,涉及大量的数据收集、处理和分析工作,成本较高。对于一些中小企业或基层监管部门,难以承担风险评估所需的人力、物力和财力投入,限制了风险评估工作的广泛开展。

### 3.3 监管与社会层面

第一, 监管体系不完善, 食品安全监管体系存在漏洞, 监管法规和标准不统一, 不同部门之间协调不足, 难以形成有效的监管合力。监管人员数量不足, 专业素质参差不齐, 对食品生产、流通等环节的重金属残留监管难以做到全面覆盖。第二, 企业责任意识淡薄, 部分食品生产企业为追求利润, 忽视食品安全, 对原材料采购把关不严, 生产过程中缺乏对重金属污染的控制措施, 甚至故意使用受重金属污染的原料以降低成本, 增加了食品中重金属残留的风险。第三, 公众意识不足, 公众对食品中重金属残留的危害认识不足, 缺乏自我保护意识。获取食品安全信息的渠道有限, 难以准确了解食品中重金属残留情况, 对食品安全事件的关注度不够, 无法形成有效的社会监督压力, 不利于推动食品中重金属残留问题的解决。

#### 4 食品中重金属残留检测与风险评估应对措施

加大对食品中重金属残留快速检测技术的研发投入, 鼓励科研机构、高校与企业合作, 开发高灵敏度、高准确性、宽检测范围的新型检测技术和设备。加快检测技术标准的制定和更新, 统一检测方法和操作程序, 提高检测结果的可比性和可靠性。加强对基层检测人员的培训, 提高其操作技能和专业水平, 确保检测结果准确可靠。深入研究重金属在食品中的迁移转化规律和人体毒理学机制, 收集更准确、全面的数据, 完善风险评估模型参数。加强对个体差异等因素的研究, 提高风险评估模型的适用性和准确性。开发简便、实用、低成本的风险评估工具和软件, 便于中小企业和基层监管部门使用, 促进风险评估工作的广泛开展。完善食品安全监管法规和标准, 明确各部门监管职责, 加强部门间协作, 建立健全统一高效的食品安全监管体系。加大对食

品生产企业的监管力度, 加强对原材料采购、生产过程、成品检测等环节的检查, 对违规企业依法严惩, 提高企业违法成本。加强对食品流通环节的监管, 建立重金属残留追溯体系, 确保问题食品可及时召回。通过宣传教育、科普讲座、媒体报道等多种方式, 向公众普及食品中重金属残留的危害、检测方法和预防措施等知识, 提高公众的食品安全意识和自我保护能力<sup>[4]</sup>。建立食品安全信息公开平台, 及时向公众发布食品中重金属残留检测结果和风险评估信息, 引导公众合理消费, 鼓励公众参与食品安全监督, 形成全社会共同关注、共同参与食品安全管理的良好氛围。

#### 结语

食品中重金属残留的快速检测技术与风险评估, 对保障食品安全意义重大。当下, 检测技术灵敏度、创新性及标准统一性欠佳, 风险评估参数与模型有缺陷, 监管和社会参与力度也有待增强。未来, 政府、企业、科研机构及公众需形成合力, 加大技术研发投入, 完善标准体系, 强化监管执法效能, 提升全民安全意识, 共筑食品安全防线, 守护公众健康。

#### 参考文献

- [1] 夏新玲. 食品中农药与重金属残留的快速检测技术及综合管控[J]. 中国食品工业, 2025(8): 56-58.
- [2] 曹丽萍, 齐西仓, 谢颂辉, 赵冉, 牛忠林. 食品及农产品中有害物质快速检测技术的应用[J]. 食品安全导刊, 2025(7): 165-167.
- [3] 黄鹏. 食品中重金属快速检测技术探索[J]. 食品安全导刊, 2024(14): 148-150.
- [4] 李刚, 朱城杰, 汪向婷, 卢安琪. 食品中重金属的危害现状及检测技术[J]. 中外食品工业, 2024(21): 81-83.