

Research Progress of Rapid Detection Technology for Food Contaminants

Shishuang Wang

Jingzhou Food and Drug Inspection Institute China, Jingzhou, Hubei, 434000, China

Abstract

Compared with traditional grain contamination detection technologies, current methods exhibit technical limitations including prolonged testing cycles, cumbersome operational procedures, and severe sample degradation. This study systematically analyzes common rapid detection techniques for mycotoxins and heavy metal contaminants, summarizing their operational principles, key technological advancements, and practical applications. Specific improvement measures are proposed to address existing technical issues, while further examining the optimal application conditions for different detection technologies. The findings aim to provide valuable references for food safety regulatory authorities, grain processing industry practitioners, and researchers in detection technology development.

Keywords

food contaminants; mycotoxins; heavy metals; rapid detection technology; progress in detection methods

粮食污染物的快速检测技术研究进展

王世双

荆州市食品药品检验所, 中国·湖北 荆州 434000

摘要

与传统的粮食污染物检测技术相比, 目前部分粮食污染检测技术存在检测周期过长、操作步骤繁琐、样本破坏严重的技术缺陷。本研究的目的在于通过分析真菌毒素和重金属污染物的常见快速检测技术, 归纳其作用原理、技术更新重点及应用情况。对现有检测技术中存在的问题提出具体的改良措施, 并进一步分析不同检测技术适合的应用条件, 希望为食品安全监管部门、粮食加工企业从业人员以及检测研发人员提供参考价值。

关键词

粮食污染物; 真菌毒素; 重金属; 快速检测技术; 检测方法进展

1 引言

随着当今我国工业的快速发展, 工业制造和生产过程中生产的产品以及副产品对当今的环境造成了严重的污染。工厂在工业生产过程中所排出的废水污染物严重影响了当今我国粮食的质量, 粮食的污染状况成为近几年来国家非常重视的问题, 因此近年来国家开始重视粮食污染物的检测工作开展。只有保证粮食安全我国人民在日常生活中才能够放心购买粮食产品, 文章将对粮食污染物的快速检测技术进行仔细分析, 在分析过程中将会详细重点介绍检测技术应用。

2 粮食污染物概述

2.1 真菌污染

真菌污染是粮食储藏期间的安全隐患, 温湿环境会促

使霉菌快速繁殖, 并且真菌毒素具有较强的毒性、致癌性和隐蔽性, 威胁粮食安全。主要污染物曲霉菌和镰刀菌中, 曲霉菌可产生黄曲霉毒素等有毒次级代谢产物。主要污染物镰刀菌可以产生脱氧雪腐镰刀菌烯醇等真菌毒素。由于曲霉菌和镰刀菌的污染物不会使粮食的品质外观产生明显变化, 且分布在粮堆中的数量并不平均, 传统的依靠感官判定的检测方法无法准确判断是否含有污染物, 并有可能导致污染物随食物链进入人体造成危害。

2.2 重金属污染

威胁粮食质量安全的重金属污染主要有土壤退化、灌溉水质超标、农用投入品不合理使用三个方面, 其中, 粮食作物中常见的重金属污染物包括镉、汞、铅等, 重金属由于化学性质稳定、难以被自然界降解的性质, 通过粮食作物根系被吸收后, 会在粮食作物内不断富集, 长期食用有少量重金属污染的粮食, 会对人体的神经系统、消化系统和造血系统等带来不可逆转的伤害, 粮食作为生物材料, 其化学组成

【作者简介】王世双(1984-), 男, 中国湖北荆州人, 本科, 高级工程师, 从事食品安全研究。

较为复杂,在进行重金属检测之前要进行样品前处理,目前的前处理技术难度大、耗时长且易发生二次污染等不足阻碍了对粮食安全质量检测的效率和准确度。

2.3 我国食品污染现状

我国粮食污染状况在空间分布与污染物种类上呈现显著的区域性和多样性特征。从地理分布来看,南方高湿度气候环境下,粮食受真菌污染的概率显著高于北方地区,其中黄曲霉毒素在玉米、花生等农产品中的检出频率较高。在重金属污染方面,其分布与人类活动和土壤环境密切相关,主要集中于工矿企业周边区域以及土壤酸化地带,稻米中镉含量超标问题在部分地区尤为突出。随着全球气候变化加剧以及土壤质量退化,粮食污染风险呈现持续上升趋势。当前,传统检测技术的局限性已难以满足粮食质量安全监管需求,导致部分受污染粮食流入市场流通环节,因此,发展高效快速的检测技术对实现粮食全产业链质量安全管控具有重要意义。

3 真菌污染检测方法研究进展

3.1 免疫分析法

免疫分析法是基于抗原抗体特异性结合这一原理,具有独特的优势。其利用标记的抗体与目标毒素形成特异性的结合,通过信号转导系统来进行定量分析,因此不需要繁琐的样品处理,整个过程只需数个小时即可完成检测工作,大大提高了检测的工作效率。

近来研究热点是通过改进抗体制备工艺来提高抗体制备的效力,运用基因工程构建重组抗体可以极大提高对痕量毒素的识别能力,显著提高检测灵敏度。但是这种方法也存在着一定的局限性:一是利用抗体的交叉反应特性会导致检测结果呈假阳性。二是抗体的稳定性较差,容易受温度影响而失去活性,对储存和运输条件要求较高,需要整条链冷链保存运输。

3.2 近红外技术

近红外光谱技术因具有不破坏物质本体的检测特点,可用于粮食污染物检测,它利用 780—2500nm 波长范围内谷物食品中含氢基团对近红外光的吸收特性进行检测。检测过程主要包括扫描粮食样品光谱信号和使用化学计量学方法建立定量分析模型两部分,在数秒至数分钟内即可完成样品测定。

近年来,利用傅里叶变换技术和偏最小二乘回归相结合的技术对复杂基质中的痕量毒素进行快速准确的检测已获得新突破。在检测时不需要对样品进行有机溶剂等前处理过程,并可以直接对整粒谷物样品进行测试,符合现场快速筛查的要求,此外仪器实现小型化后将进一步拓宽应用领域,在粮食质量安全检测方面有着广泛应用前景。

3.3 生物化学传感器

生物化学传感器集成了生物识别元件和信号转导机制,

在特异性目标毒素与生物敏感材料的识别下,产生电信号或光信号,实现信号的输出。近几年的研究主要集中在改善传感界面、设计放大策略上,利用纳米材料的物理或化学特性,提高生物分子的固定化效率。通过酶促催化反应实现多级信号级联放大,将传感信号的灵敏度提升至 ng/mL 级别。

此项技术对于单次检测来说,仅用时 30 分钟,而且其灵敏度、快速响应都很不错。并利用微纳加工的方法把传感器件做到微型化的集成化,在田间就可以检测,并且它具有便携以及实时性良好的特点,用于仓库进行检测十分方便。

3.4 实时荧光定量 PCR

利用实时定量荧光 PCR (Real-Time Quantitative Fluorescent PCR) 技术,基于聚合酶链式反应 (PCR) 的核酸指数级扩增原理,以粮食中真菌特异性靶标基因的扩增产物为样本,通过对目标产物进行实时定量,从而实现对粮食污染物的快速、准确检出,利用生物信息学技术设计特异性引物和荧光探针,可实时监测靶向真菌基因组 DNA 保守区扩增过程,在有毒物质产生前即可完成对真菌污染的检出。

从技术革新角度来看,多靶点 PCR 体系的建立是重点方向,通过对引物组合、反应条件等进行调整,实现多个真菌靶标基因的平行扩增与检测,提高检测速度和通量。并且运用特异性强的特点,区分不同属、种的真菌,在粮食安全预防性检测方面发挥重要作用。但目前该技术仍存在缺点:一是样品核酸提取操作繁琐费时,极大程度限制了检测的时效性,急需更加便捷快速的方法提高核酸提取的速度。二是操作流程环节繁琐。

3.5 荧光分光光度法

荧光分光光度法是根据真菌毒素的荧光性质,利用不同浓度试样中激发光和发射光强度的差异来定量检测真菌毒素的方法。通过对激发波长、检测参数等指标进行优化,提高了微量毒素的检出限。结合导数光谱技术可去除复杂基质背景荧光干扰,提高检测灵敏度。随着分子印迹技术的发展,引入分子印迹技术研发特异性荧光探针,在构建具有靶向识别能力的分子识别位点后,可降低假阳性率。

这项技术具有操控成本较低、单次检测周期在 1-2 小时的特点,在中小型企业的批量样品筛查中较为适用。但是在样品中毒素浓度过高的情况下会产生信号过载的问题,此时需要用梯度稀释的方法来解决样品过载的问题。

3.6 高效液相法

高效液相法就是采用色谱柱分离,配合以紫外检测器或荧光检测器,对毒素进行量值测定。通过调节流动相和色谱柱填料来提高分离度,分析速度可提高到 30 分钟内完成分析。现在技术采用超高效液相和质谱联用,并利用高分辨率质谱确定毒素的结构,灵敏度达到皮克级别,由于其测定结果准确可靠,是目前真菌毒素检测的基准方法,但样品需要先经过提取、纯化,另外仪器的使用维护价格偏高,更适

合于实验室精确定量分析。

4 重金属污染检测方法研究进展

4.1 干法灰化法

干法灰化法作为粮食重金属检测的经典前处理技术,通过高温灼烧分解样品有机基质,后续采用酸溶方式提取残留灰分中的目标重金属元素。该方法具有操作流程简洁、化学试剂消耗少等优势,通过精准调控灼烧温度与时间参数,可有效抑制挥发性重金属的损失。

技术改进主要是针对低温预灰化以及程序升温,采用梯度升温 and 降温的方式,避免局部过热点的发生而引起的元素挥发,可以有效地提高检测回收率,但此过程耗时较长,大概要经历 4-6 个小时,并且要用到高温设备,所以,能耗会更高。这样用时较长并不适合突发性的食品安全事件的应急检测,适用于在实验室内大批量标准化样品的前处理步骤中使用。

4.2 湿法消解法

湿法消解法是粮食重金属检测前处理的经典方法,在强酸作用下,经过加热能够使粮食样品有机物基质完全矿化,从而将要测的目标重金属元素转变成能溶于水的离子态物质。硝酸-高氯酸混合酸体系可显著提高消解反应速率,从而达到缩短消解时间的目的,将传统的消解过程缩短为 2~3 小时即可完成消解的过程。

近年来,微波辅助消解新技术不断创新改进,使用微波辐射所产生的非热效应,使样品快速均匀加热达到消解温度,从而获得较好的消解效果,并大幅降低了酸用量,减少了化学污染的排放。此方法具有优良的基质适用性,可应用于各种粮食检测过程中,但还需要与完善的酸雾收集净化装置配套使用。并且由于其使用的强腐蚀性试剂以及高温高压的操作环境,都需要具有一定专业知识的技术员按照行业相关技术规定来进行操作。

4.3 微波消解法

将样品和酸性试剂一起加入到封闭的容器中,在微波能的作用下进行快速升温加压消解,一般设定好温度后即可自动进行,大约半小时即可完成消解,但所需用酸比普通法只用到其中的五分之一,大大减少了污染。而且这款一体化的消解罐还能做到自行进样和消解,一台设备同时可接 8 个样,工作效率极高,消解均匀度也很高,且不会造成任何元素的损失,也不会使挥发性重金属在消解过程中发生逃逸现

象,其检测回收率高达 95%,已经发展成为一种比较完美的实验室主流的前处理技术。

4.4 原子吸收光谱

原子吸收光谱通过测量重金属原子对特征谱线的吸收强度确定含量,分为火焰原子吸收与石墨炉原子吸收两种类型。火焰法适用于高浓度重金属检测,分析速度快,每样品检测时间约 30 秒。石墨炉法通过程序升温实现原子化,检出限可低至纳克级,适用于微量重金属检测。近年创新包括塞曼背景校正技术的应用,有效消除基质干扰,提升检测精度。该技术操作成熟稳定,是重金属检测的常规方法,局限性在于一次仅能检测一种元素,通量较低。

4.5 原子荧光光谱法

原子荧光光谱法利用重金属原子被激发后的荧光发射特性进行定量分析,对汞、砷等元素具有高灵敏度。该技术通过优化还原剂浓度与原子化温度,提升荧光信号强度,结合气液分离装置减少基质干扰。最新研究通过与流动注射技术联用,实现样品自动进样与在线检测,缩短分析周期。其检出限优于原子吸收光谱法,可达皮克级,且仪器成本相对较低,适用于基层检测机构的重金属筛查,局限性在于对部分元素的线性范围较窄。

5 结语

粮食污染物快速检测技术围绕高效、精准、环保持续突破。真菌污染检测技术正经历从实验室研究向现场无损检测的跨越式发展,近红外光谱分析技术与生物传感检测技术的深度融合,显著提升了检测效率与灵敏度;在重金属污染物检测领域,通过创新前处理方法、联用先进分析仪器以及采用固体进样技术,有效克服了传统检测方法存在的检测周期长、二次污染等技术瓶颈。未来需推进技术融合,构建多污染物同步检测体系,完善标准化模型并控制成本,强化粮食安全全链条监管。

参考文献

- [1] 张莹.粮食污染物的快速检测技术研究进展[J].现代食品,2019,(02):140-143.
- [2] 王文珺,叶金,孙双艳,等.粮食污染物的快速检测技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2018,9(21):5552-5558.
- [3] 刘伟,张江玉,杨洁,等.粮食中重金属检测技术研究进展[J].邢台学院学报,2024,39(01):188-192.
- [4] 张继明,张路路.粮食重金属的污染防治及检测技术探讨[J].种子科技,2020,38(10):65+67.