

基于纳米材料的食品安全快速检测技术研究

居亚东

北京林业大学生物科学与技术学院，北京市，100080；

摘要：现如今，社会各界对食品安全给予了高度的重视，为了保障人民群众的身体健康，需要积极探索科学的食品安全快速检测技术。而如今，随着纳米科技的高速发展，将纳米材料应用在食品安全快速检测中，能够全面提升检测的准确性、灵敏度，实现快速化、现场化的检测，更能拓展多元化有害物检测的范围。本文则论述了纳米材料应用在食品安全快速检测中的重要性，以及基于纳米材料的食品安全快速检测技术相关应用路径。

关键词：纳米材料；食品安全检测；应用研究

DOI：10.69979/3041-0673.26.02.023

引言

将纳米材料应用在食品安全快速检测领域中，不仅提升检测的灵敏度与准确性，更实现快速化、现场化检测，以及拓宽多元化有害物检测范围。如今，镧系纳米材料，硅基纳米材料，以及金纳米簇食品安全检测技术被广泛应用到食品安全检测领域中，本文着重论述了上述相关技术的应用路径。

1 纳米材料应用在食品安全快速检测中的重要性

现如今，社会各界对食品安全给予了高度的重视，同时食品供应链日益复杂，如果应用传统的检测方法，将难以适应社会发展以及食品监管的需求，而纳米材料凭借着高比表面积、优异的光电性能，以及可调控表面功能团等优势，为食品安全快速检测革新发展，提供了有效的帮助，应用纳米材料进行食品安全快速检测的重要性体现为三个方面。

首先，提升检测灵敏度与准确性。利用纳米材料的量子尺寸效应和表面效应，能够进一步放大检测信号，快速高效地识别出痕量有害物。如：金纳米簇融入到农药中，可以产生颜色的变化，而硅基纳米材料凭借着精准的识别特性，能够识别出重金属离子，如此不仅提升了检测数据的可靠性，更降低了检测限；

其次，为实现快速化、现场化的检测提供了有效帮助。基于纳米材料的试纸和传感器有着操作简单、响应速度快、设备轻便的优势，能够在检测现场实现检测结果的快速生成。如：Eu(III)荧光免疫层析试纸条能够在半小时内，快速筛查农药残留，促进检测监控时效性的全面提升；

最后，拓展多元化有害物检测范围。拓展纳米材料的功能化特性，不仅能够对农药残留、重金属等污染物

检测，同时也可以检测出食品中的致病菌、真菌毒素的。而且将镧系材料、硅基材料相结合，凭借着镧系材料的发光性能和硅基材料的吸附能力，能够实现“一才多用”，为食品安全风险筛查工作快速高效的开展，提供了有效帮助。

2 镧系纳米材料食品安全快速检测技术应用

现如今，我国食品供应链日益复杂，且食品安全检测标准日益提升，为了能够推动食品安全检测技术实现现场化、快速精准的发展，需要积极融合高效的纳米材料检测技术，镧系纳米材料有着优异的催化活性、较高的生物相容性，能够快速检测出食品中的农药残留，以及重金属离子。

2.1 农兽药残留检测应用

镧系纳米材料应用在农兽药残留检测工作中，凭借着其独有的发光机制和电化学行为，能够高灵敏的、高选择性的识别出含量农药和兽药分子。具体而言，可以将镧系纳米材料作为电极修饰材料或者光学探针，如此镧系纳米材料的表面活性位点能够与目标分子产生特异的相互作用，通过转换与放大反馈信号产生便于检测的光学响应，进一步识别出农兽药残留，如使用铕(Eu^{3+})纳米材料修饰电极表面，凭借着此材料的电催化特性，能够与有机磷类农药分子产生氧化还原反应，从而输出电流变化信号，便于工作者掌握农药残留的浓度，此方法有着较强的抗干扰能力，可以检测出复杂食品基质中多种农药的残留。

另外，镧系纳米材料在光学检测领域中，凭借着长寿命荧光和斯托克斯位移较大的特性，为农药残留的快速检测提供了有效的帮助。如：稀土 Eu(III)配合物是一种天线型的发光材料，基于能量转移机制可以采集

检测过程中所产生的强烈荧光信号。基于上述原理所开发出的 Eu(III) 荧光微球免疫层析试纸条,可以快速测定食品中的氯霉素含量,可以在固定好的免疫层析试纸条上放置样品,而如果样品中存有氯霉素将会与试纸产生竞争性的免疫反应,出现较强的荧光信号,使用此方法可以在半小时内完成高效的检测,并且此方法的检测限可达 $0.1 \mu\text{g/kg}$ 。

2.2 重金属离子检测应用

如今,重金属污染对食品安全产生了严重的威胁,镧系纳米材料有着丰富的表面官能团。

以及较为优越的光物理特性,为重金属检测工作的革新提供了有效帮助。一方面,镧系纳米材料可以作为吸附剂,基于离子交换、表面络合等机制,可以对食品或水体中的铅(Pb^{2+})、镉(Cd^{2+})、汞(Hg^{2+})等重金属离子形成选择性的富集。另外一方面,镧系纳米材料有着优越的发光特性,如果食品中金属离子浓度较高则能够产生灵敏的变化,从而完成重金属的定量检测。

首先,基于铈(Ce)的可变价态($\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$),以及优异的氧化还原性能,能够建立起电化学传感器。如:运用水热法形成氧化铈(CeO_2)的纳米颗粒,附着于电极表面,可以与样品中的重金属离子产生特异性反应,之后运用方波伏安法等技术对样品氧化还原电流进行检测,从而同步测定样品中的多种离子。此方法有着响应速度快、操作便捷的优势,提升了食品样品检测的抗干扰性能。

其次,被称为天线效应的镧系配合物,应用于光学检测领域中,全面提升了重金属离子检测的轻度和效率。如:将苯二甲酸(H_2BDC)作为铕离子(Eu^{3+})的敏化配体,能够建立新型的金属有机框架材料 MO,而如果检测样品中存在铜离子(Cu^{2+}),则基于材料与 Cu^{2+} 的电荷转移作用,能够出现 Eu^{3+} 荧光猝灭的情况,使用此方法既提升了检测的灵敏度,同时可以实现重金属离子的精准性筛选。如今,此方法被应用在食品样品铜含量测定等领域中,提升食品安全快速检测的精度和效率;

最后,可以将镧系纳米材料应用在重金属离子去除和检测领域中,如:基于钆(Gd^{3+})功能化的二氧化铈纳米材料,不仅能够吸附重金属离子,同时凭借着此材料的磁弛与信号变化,能够实时检测食品和样品环境中重金属污染的情况,为重金属污染的去除和检测提供了有效帮助。

3 硅基纳米材料食品安全快速检测技术应用

硅基纳米材料有着优异的生物相容性,可调控的孔

道结构,以及高比表面积,能够为高灵敏高效的检测提供深层次助力。如今,硅基纳米材料被广泛应用在农兽药残留检测、重金属离子检测,以及真菌毒素检测等领域之中。

3.1 农兽药残留检测应用

凭借着硅基纳米材料丰富的表面活性位点,以及优异的比表面积,能够高效识别出含量农药,并且实现高效的富集,介孔二氧化硅纳米材料其比表面积高达 $1000 \text{ m}^2/\text{g}$,而且此材料的孔道结构较为规则,能够基于氢键作用和物理吸附机制,实现对农药分子的选择性捕获。如:氨基功能化 MCM-41 介孔二氧化硅能够高效富集敌敌畏、马拉硫磷等农药,而且融合 GC-MS 技术,可以提升检测限精度,达到 $0.01 \mu\text{g/kg}$ 。

在传感检测领域中,硅量子点能够与配体和抗体形成完美的融合,基于荧光特性变化反应,可以对农药实现定量检测。如:运用有机磷水解酶对晶体管传感器进行修饰,生成硅纳米现场效应传感器,能够在 10 分钟内实时监测有机农药的电导率变化。此外,硅基纳米材料融合 ZIF-8 等材料,可以快速完成复杂农药的选择性识别检测工作。

3.2 重金属离子检测应用

利用硅基纳米材料的表面功能化修饰作用,可以高效识别出重金属离子,运用巯基、氨基等功能化的介孔二氧化硅,凭借着其配位作用选择性能,可以对重金属离子形成快速捕获。如:运用巯基修饰 SBA-15 可以高效吸附 Hg^{2+} ,其吸附容量可达 200 mg/g 。同时,此类纳米材料基于荧光信号变化,还可以实时的、定量的检测重金属离子浓度。

将硅量子点与 DTPA、双硫脲等螯和剂融合,建立荧光探针,该探针在检测 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} ,会产生荧光猝灭效应。

电化学传感方面,石墨烯/介孔二氧化硅复合形式的电极,并融合方波伏安法,可以对 Pb、Cd、Hg 等多种离子形成同步检测,提升重金属检测的优异性。

3.3 真菌毒素检测应用

运用分子印迹硅基纳米材料,在介孔二氧化硅表面建立起具有高效特异性的识别空腔,能够高选择性的捕获真菌毒素,运用此方法可以在 10 分钟内完成黄曲霉毒素的筛查工作,其吸附容量可达 45 mg/g ,选择性系数达到 8.0,检测限可达 $0.1 \mu\text{g/kg}$ 。

基于免疫磁分离策略,可以实现抗体与磁性硅基纳米颗粒的耦合,实现毒素的富集与快速分离。在快速检

测工作中,可以运用以硅量子点作为信号标记物的免疫层析试纸条,完成对黄曲霉毒素等真菌毒素的快速检测,如此可以在 15 分钟内完成相关检测工作,其检测限可达 $0.5 \mu\text{g/kg}$ 。

如今,硅基纳米材料凭借着优异的性能以及可功能化表面的优势,被广泛应用在农药残留重金属、离子、真菌毒素检测等领域中,为我国食品安全监控工作实现高效、精准的开展提供了有效帮助。

4 金纳米簇食品安全快速检测技术应用

金纳米簇(AuNCs)由多个金原子所构成,金纳米簇凭借着良好的尺寸依赖荧光特性,以及超小的尺寸,能够实现食品安全快速检测。

4.1 金属离子检测应用

在重金属检测领域中,凭借着金纳米簇优异的荧光性能和表面可修饰性,能够快速检测出重金属离子的浓度。金纳米簇的荧光特性对化学环境较为敏感,而与特定金属离子发生作用,会有荧光猝灭效应产生,其主要基于电子转移、聚集诱导效应机制,能够识别出重金属离子的含量,以及重金属离子类别。例如:在弱酸环境中,谷胱甘肽(GSH)的金纳米簇,可以与 Cd^{2+} 配位,从而产生 Cd-GSH 配合物。而被 GSH 修饰的金纳米簇可以高效检测出 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Hg^{2+} 等重金属离子,

为了进一步提升检测选择性,可以引入二亚乙基三胺五乙酸、8-羟基喹啉等螯合配体,运用硫辛酸修饰的金纳米簇,与 Hg^{2+} 适配所生成的荧光传感器,可以有效抵御多种复杂离子的干扰,同时融合双信号输出模式清除环境干扰因素,可以同步检测饮用水、果汁等样品中的多种金属离子。

4.2 兽药农药残留检测应用

运用表面电荷转移机制、内滤效应荧光共振能量转移机制,可以精准识别出农兽药分子。如:硫辛酸修饰的金纳米簇检测有机磷农药,能够产生聚集状态改变与荧光猝灭现象,全面提升兽药农药残留检测的精度和时效性。

适配体功能化的金纳米簇传感器有着卓越的检测性能,被修饰的传感器可以在 30 分钟内,检测出牛奶中氯霉素含量,其检测精度可以匹配 HPLC 检测方法。而在器件开发领域中,可以将金纳米簇作为信号标记物,生成试纸条或者微流控芯片。而基于竞争性免疫反应,可以完成可视化检测工作。如:基于金纳米簇所生产出的吡虫啉检测试纸条,可以在十几分钟内完成可视化检

测,满足了现场化、快速化的受农药检测需求。

4.3 致病菌及生物毒素检测应用

金纳米簇有着表面丰富的官能团,为生物识别提供了有效帮助,将金纳米簇应用在病菌检测领域中,可以基于特异性免疫反应或者适配体识别机制,快速捕获或检测目标菌。如:利用金纳米簇与抗大肠杆菌 O157:H7 抗体,偶联生产的荧光免疫探针,可以快速的检测和捕获病菌,提升检测灵敏度。

将核酸适配抗体功能化的金纳米簇应用在生物毒素检测领域中,能够实现毒素的超灵敏检测。基于 WS_2 纳米片与金纳米簇间荧光共振能量转移效应的检测策略,可以在 20 分钟内快速检测各类致病菌和生物毒素。同时,将金纳米簇融合到磁珠中可,以建立起分离富集系统,对金黄色葡萄球菌肠毒素实现超灵敏的检测,其检测限可以达到 0.1 pg/mL 。

凭借着金纳米簇独特的可功能化特性以及光学特性,可以为致病菌及生物毒素检测工作,实现高效、高精度的开展提供了显著的帮助。

5 结束语

综上所述,民以食为天,食品安全是如今社会各界、人民群众广泛关注的焦点所在,为了保护人民群众的身体健康,应在食品安全快速检测领域中,不断的实验、总结和分析纳米材料检测技术的应用策略,以及探索出新型的检测工艺和检测设备,这样才能够为我国食品安全检测工作高质量的发展,提供深层次助力。

参考文献

- [1] 刘俊桃,陈晓培,王川川,等. 金属有机骨架材料作为纳米酶在食品安全快速检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报,2022(8):13.
- [2] 郎爽,贾丽,周慧娟,等. 基于金纳米粒子的比色法在食品安全检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报,2022,13(17):9.
- [3] 张灵丽,吴巧灵,刘丰,等. 纳米材料增敏的电化学检测技术在食品双酚类物质检测中的应用进展[J]. 食品与发酵工业,2021,47(19):9.
- [4] 施丽霞,许春华,范莹,等. 基于钙钛矿纳米材料的碱性黄荧光比色法检测食品中的碱性黄[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(9):7.
- [5] 田冰,武煊,钟玉洁,等. 基于金纳米颗粒过氧化物酶活性的比色传感器在食品安全检测中的应用[J]. 食品与发酵工业,2022,48(4):6.