

Application of Nanosensors in Food Packaging and Recent Advances

Kun Wang Guiying Wang*

College of Home and Art Design, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, 150040, China

Abstract

Nanomaterial-based products are stable under high pressure and temperature and are subject to excellent quality control during food production, processing and packaging. This paper focuses on an overview of the application of nanosensors in food packaging detection and discusses the key role of nanomaterials in enhancing the performance of food packaging, prolonging the shelf life of food products as well as food safety detection. Nanosensors are highly sensitive and selective in detecting food freshness in food products. Nanosensors enable rapid and accurate detection of harmful substances in food by utilizing the unique optical, electronic and catalytic properties of nanomaterials.

Keywords

Nanomaterials; Food packaging; Nanosensors; Packaging detection

纳米传感器在食品包装的应用及最新进展

王琨 王桂英*

东北林业大学家居与艺术设计学院, 中国·黑龙江 哈尔滨 150040

摘要

以纳米材料为基础的产品在高压和高温下是稳定的,并且在食品生产、加工和包装过程中受到优秀的质量控制。本文重点综述了纳米传感器在食品包装检测中的应用,探讨了纳米材料在提升食品包装性能、延长食品保质期以及食品安全检测中的关键作用。纳米传感器在检测食品中的食品新鲜度方面具有高度敏感性和选择性。纳米传感器通过利用纳米材料的独特光学、电子和催化性能,实现了对食品中有害物质的快速、准确检测。

关键词

纳米材料; 食品包装; 纳米传感器; 包装检测

1 引言

作为食品和周围环境之间的屏障,食品包装起着至关重要的作用,不仅仅是提供有关产品的详细信息,它们还保护食品免受周围环境的影响,以避免不良的质量变化。在这种情况下,可以提高包装的机械性能、阻隔性能和抗菌性能,延缓食品变质过程。

纳米材料是一种以其纳米尺度为特征的材料,这赋予了它们因其细粒度而产生的独特性能。纳米材料已广泛应用于活性、可生物降解和智能包装。特别是聚合物基材料,能够生产具有超级阻隔性能的软包装,可以与玻璃或金属的性能相媲美。此外,它们具有更好的生物降解性,可以提供纳

米级杀菌和抑菌性能,以降低微生物活性,从而保护包装内容物。因此,纳米材料在主动和智能包装中的应用为开发具有增强性能和新功能的包装材料提供了一个令人兴奋的机会。对包装膜的屏障特性、机械强度和结构完整性的有利影响,不仅减轻了食品的腐败,而且有助于有效传递有关食品安全性的信息。

2 食品包装中的纳米材料

将纳米材料加入到聚合物基体中,以延长食品的保质期,确保食品安全,并提高阻隔性能,特别是抗氧化和防潮性能。碳纳米管、纳米纤维可作为补充纳米材料。这些材料被加入到包装材料可以增强其固有的性能。比如,银纳米颗粒融入包装材料的目的是为了抗菌,从而延长被封装食品的寿命。

将金属纳米粒子添加到包装材料中可以增强包装材料的特性,使其更易可生物降解和环保,例如金纳米粒子和银纳米粒子。Yang 等人通过将茯苓多糖-银纳米粒子(PCP-AgNPs)加入到壳聚糖膜溶液中,成功制备了PCP-AgNPs/

【作者简介】王琨(1999-),男,中国安徽合肥人,硕士,从事食品包装新鲜度指示研究。

【通讯作者】王桂英,女,硕士,副教授,从事智能包装材料及技术,轻工技术装备及其自动化研究。

CS复合膜。该膜对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌表现出优异的抗菌活性,尤其是对大肠杆菌的抗菌活性最高,有效的将草莓的保质期延长^[1]。研究人员通过溶液浇注技术制备载有姜黄素和银纳米颗粒的果胶/明胶薄膜,用作抗菌多功能食品包装薄膜。发现和银纳米颗粒姜黄素在薄膜中分布均匀。复合膜具有良好的抗氧化活性、机械性能、疏水性和抗菌能力。同时,复合膜具有从黄色到浅红色再到深红色的pH响应颜色变化行为,适用于根据变质过程中的pH值变化监测虾包装的新鲜度^[2]。张家乐等人^[3]制备了一种基于表面增强拉曼散射的纳米探针,用于葡萄酒和啤酒中硫化氢的快速灵敏检测。

表1 金属纳米粒子抗菌食品包装膜的研究进展

金属纳米粒子	聚合物基质	抗菌菌种	包装应用
CuO	聚(丁二酸丁二醇酯-co-对苯二甲酸)/TiO ₂ /CuO	金黄色葡萄球菌和大肠杆菌	樱桃、番茄等
TiO ₂	Ag/TiO ₂ 、CS-PEO	黑曲霉菌、白色念珠菌	牛肉等
MgO	CS/Carboxymethyl chitosan/ Polyvinyl Alcohol/ Carboxymethyl Cellulose et al.	金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和大肠杆菌	猪、牛肉等

3 纳米材料传感器在食品包装的应用

在食品加工、运输、销售和储存过程中,人们非常重视食品的质量和安全性。传感器可以测量重要的质量属性,包括新鲜度、风味、质地和安全性。完善的传感器系统可以检测并减少微生物污染的风险、识别毒素的存在、检测不良商家在视频中添加的化学品、防止食品掺假和检测食品新鲜度。

现在,食品质量和安全至关重要。纳米传感器利用纳米材料的独特的性质改变着以前传统的检测方式。与传统检测方式相比,纳米传感器有着高敏感性和高度选择性,响应时间短和高稳定性的特点。纳米传感器检测机制可以总结为两个方面:表面相互作用和催化作用。纳米材料的表面可与分析物之间相互作用(例如蛋白质、DNA等),而分析物的变化又可带来其他可测量事物的变化,如光信号、电信号和颜色信号等。值得注意的是,纳米材料具有独特的光学、电子和催化性能,以及高表面体积比,为纳米传感器表面附着更多生物分子提供了平台,提高了总体特异性和灵敏度

3.1 用于食源性病原体纳米传感器

食物由于腐败产生的毒素和在运输、销售、处理和储存过程中滋生的细菌给食品安全带来重大挑战,严重影响了人类的生命安全。纳米传感器由于其独特的理化性质可以在食物产生问题是给人类带来预警,提醒人们食物已变质或被污染。据报道,多个NPs用于检测食品中致病菌的传感器,

其灵敏度优于传统方法。Hend S. Magar等人通过制备了由磁性的四氧化三铁纳米粒子作为内核,外层包裹着金纳米粒子的纳米尺度的复合材料,并形成了一种快速分析食品中金黄色葡萄球菌的一次性无标记纳米电化学免疫传感器芯片。作者开发的无标记免疫传感器芯片为食品样品中金黄色葡萄球菌的快速、灵敏检测提供了一种有效的工具,具有实际应用潜力^[4]。细菌毒素是一种严重的食品安全风险问题,尤其是葡萄球菌毒素。金纳米粒子修饰的纳米传感器已被开发用于检测食物中的毒素^[5]。利用金纳米颗粒组装的介孔氧化硅纳米结构作为生物纳米标记物检测链霉素残留,最低检出限可达5 pg/mL^[6]。

3.2 用于食品质量和新鲜度检测的纳米传感器

食品质量和新鲜度一直是食品安全的重要方面之一。食物在运输、售卖和储存的环节中,因为微生物作用和自身理化性质的改变,食物风味发生改变,新鲜度降低,变得不适合消费者使用。所以能反映食品质量和新鲜度的传感器就变得重要。

3.2.1 生物胺检测

生物胺是一类在食品中自然存在的化合物,它们由氨基酸的酶促脱羧反应或醛/酮的胺化/反胺化反应生成。这些反应大多由微生物如细菌在食品中进行,尤其是在食品的储存和成熟过程中。生物胺的存在和积累水平通常被视为食品新鲜度和质量的指标。因此,监测食品中生物胺的含量对于评估食品的新鲜度、质量和安全性至关重要。这可以通过各种分析方法实现,包括薄层色谱、气相色谱、毛细管电泳和高效液相色谱等。近年来,随着纳米技术和生物传感器技术的发展,基于纳米材料的纳米传感器因其高灵敏度和简单操作而受到关注,它们为快速检测食品中的生物胺提供了新的可能性。

3.2.2 TVB-N 检测

总挥发性基氮是食品工业中用来评估水产品特别是鱼类新鲜度的一个重要参数。TVB-N含量的测定可以帮助判断鱼类是否开始腐败,因为随着鱼体腐败过程的进行,微生物活动增强,导致蛋白质分解,产生更多的挥发性氮化合物。例如,中国的国家标准规定,鱼类中可接受的TVB-N含量为25 mg/100g。Zhang等人研究开发了一种双信号荧光测试条,用于包装海鲜的腐败感测和TVB-N的视觉监测。作者制备了D-青霉胺修饰的银纳米簇和金/银双金属纳米簇。TVBN与DPA-AgNCs相互作用,导致荧光强度降低,实现了对海鲜产品腐败过程的实时监测^[7]。

3.2.3 次黄嘌呤检测

次黄嘌呤(Hx)是一种天然的嘌呤衍生物。在水产品新鲜度下降的过程中,体内ATP由于酶的作用经过一系列降解反应最终生成次黄嘌呤。随着水产品被屠宰后的时间不断增加,体内的次黄嘌呤也不断积累,使鱼肉产生苦味,导致感官评价和风味不断降低。因此可以通过检测次黄嘌呤的

含量,实现对水产品新鲜度的评价。催化次黄嘌呤生成黄嘌呤,再继续催化黄嘌呤生成尿酸,两次反应都会生成中间产物过氧化氢。围绕过氧化氢参与的氧化与还原反应,结合不同的换能元件,将化学信号转化为颜色信号,光谱信号或电信号,对样品中次黄嘌呤浓度进行定量检测,从而实现对水产品新鲜度的评价,如图。Wu 等人成功合成了具有优异过氧化物酶模拟活性的 2D Fe MOF 纳米片,并基于此构建了一种用于 Hx 检测的比色方法,该方法快速、准确,适用于评估水产品的新鲜度^[8]。段烁等人通过利用纳米二氧化铈修饰电极检测克氏原螯虾 Hx 含量^[9]。

Application

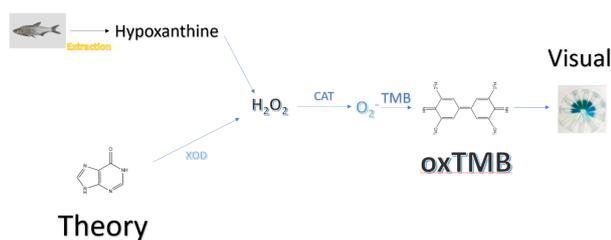


图 1 黄嘌呤氧化酶和过氧化物酶检测次黄嘌呤的催化反应示意图

4 结语

本文综述了纳米传感器在食品包装领域的最新应用进展,强调了其在提高包装性能、延长食品保质期及提升食品安全监测效率方面的关键作用。纳米材料因其独特的尺寸效应和理化特性,在包装膜中能显著改善阻隔性、抗菌性与机械强度。文章重点介绍了金属纳米粒子(如银、金)和纳米氧化物在包装材料中的功能性作用,能有效抑制微生物生长。另一方面,纳米传感器在食品新鲜度指示中的应用也得到广泛关注,尤其在检测食源性病原体、生物胺和次黄嘌呤方面表现出高灵敏度和快速响应能力。通过将纳米催化材料

与颜色或电信号响应结合,可实现对食品腐败过程的实时监测。尽管纳米传感器展现出巨大的应用前景,但在实际商业化过程中仍需解决成本、安全性与毒理学等问题,为未来智能包装的发展提供了研究基础与方向。

参考文献

- [1] Yang X, Niu Y, Fan Y, et al. Green synthesis of *Poria cocos* polysaccharides-silver nanoparticles and their applications in food packaging[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 269(Pt 1): 131928.
- [2] Li S, Wei N, Wei J, et al. Curcumin and silver nanoparticles loaded antibacterial multifunctional pectin/gelatin films for food packaging applications[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 266(Pt 1): 131248.
- [3] 张佳乐,陈晓雅,王赟,等.葡萄酒和啤酒中硫化氢的快速灵敏检测[J/OL].*食品与发酵工业*,1-8.
- [4] Magar H S, Abdelghany H, Abbas M N, et al. Fast analysis of *Staphylococcus aureus* in food products using disposable label-free nano-electrochemical immunosensor chips[J]. *Microchemical Journal*, 2023, 193.
- [5] Dobrucka R. Metal nanoparticles in nanosensors for food quality assurance[J]. *Logforum*, 2020, 16(2): 271-278.
- [6] 曹丰晶,胡玉才,王卓,等.金纳米颗粒在疾病诊断和食品检测领域的研究进展[J].*中国材料进展*,2012,31(06):31-35+55..
- [7] Zhang W, Ma J, Sun D W. Dual-signal fluorescent test strips for spoilage sensing of packaged seafood: Visual monitoring of volatile basic nitrogens[J]. *Food Chem*, 2023, 416: 135725.
- [8] Wu H, Xu Z, Xiong D, et al. Two dimensional iron metal-organic framework nanosheet with peroxidase-mimicking activity for colorimetric detection of hypoxanthine related to shrimp freshness[J]. *Talanta*, 2023, 265: 124833.
- [9] 段烁,贺建悦,占可,等.纳米二氧化铈用于克氏原螯虾鲜度特征物次黄嘌呤的电化学检测[J].*食品安全质量检测学报*,2022,13(08):2426-2432.