

纳米材料电化学传感器在食品检测中的应用

吴鸿敏, 傅骏青, 王文特, 张海红, 任雪梅, 提靖靓, 田洪芸*

(山东省食品药品检验研究院, 济南 250101)

摘 要: 纳米材料目前已广泛应用于传感器领域, 纳米材料电化学传感器相对于质谱, 色谱等传统的检测方法来说, 具有操作简单、响应快速、费用消耗低、灵敏度高优点, 因此在食品检测领域有重要应用。本文对纳米材料电化学传感器在食品农药残留、兽药残留、真菌毒素、污染物、微生物等检测方面的应用进行了综述, 对纳米材料电化学传感器的优势进行了分析, 以期为该技术的应用提供参考依据。

关键词: 纳米材料; 电化学传感器; 食品检测

Application of nanomaterial electrochemical sensor in food detection

WU Hong-Min, FU Jun-Qing, WANG Wen-Te, ZHANG Hai-Hong, REN Xue-Mei, TI Jing-Jing,
TIAN Hong-Yun*

(The Provincial Food and Drug Inspection Institute of Shandong, Jinan 250101, China)

ABSTRACT: At present, nanomaterials have been widely used in the field of sensors. Compared with the traditional detection methods of mass spectrometry, chromatography and other large-scale instruments, nanomaterials electrochemical sensors have the advantages of simple operation, fast response, low cost consumption, high sensitivity, etc., as a result, they have important applications in the field of food detection. This paper reviewed the application of nanomaterial electrochemical sensor in the detection of pesticide residues, veterinary drug residues, mycotoxins, pollutants, and microorganisms in food, and analyzed the advantages of nanomaterial electrochemical sensor, in order to provide reference for the application of this technology.

KEY WORDS: nanomaterial; electrochemical sensor; food detection

1 引 言

“民以食为天, 食以安为先”, 食品安全问题关乎全人类的安全, 与人民经济、生活和社会发展都有着密不可分的联系。三聚氰胺事件、皮革奶、瘦肉精、地沟油与染色馒头等一系列重大食品安全事件触目惊心, 为人们敲响了警钟。2015 年, 我国正式实施《食品安全法》, 制定了关于食品安全事件的具体处理办法, 习近平总书记提出了保障食品安全的“四个最严”要求, 李克强总理提出对食品安全违法犯罪行为“零容忍”, 党的十九大报告进一步强调“实施食品安全战略, 让人民吃得放心”^[1]。经过各方的共同

努力, 国内食品安全形势总体趋稳向好, 2018 年, 我国食品总体抽检合格率合格率在 97%以上, 大宗消费食品整体合格率保持高位^[2]。但是农药兽药残留、重金属污染、生物毒素污染问题需要高度关注; 微生物污染问题仍较普遍; 违规使用添加剂、非法添加仍是顽疾, 质量指标不符合标准等问题仍然多发易发。食品安全问题仍时刻不能放松。

纳米材料是一种尺寸通常在 1~100 nm 之间的材料, 因其具有高的比表面积、良好的导电性和催化活性、良好的生物相容性被广泛研究和应用, 目前分析研究比较多的纳米材料主要有纳米碳材料, 碳纳米管、石墨烯、纳米碳球、介孔碳材料、量子点、金属纳米粒子、金属纳米氧化

*通讯作者: 田洪芸, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测与研究。E-mail: sdsythy@126.com

*Corresponding author: TIAN Hong-Yun, Senior Engineer, The Provincial Food and Drug Inspection Institute of Shandong, No.2699, Tianchen Road, Gaoxin District, Jinan 250101, China. E-mail: sdsythy@126.com

物等^[3-8]。电化学传感器是通过将待测物质的化学信号转换成电信号,从而实现物质快速检测的一种传感器^[9]。纳米材料电化学传感器是指将纳米材料进行电极表面的修饰,从而提高电极的导电性能,在电化学反应中发挥催化作用,从而实现物质快速检测的传感器。纳米材料电化学传感器结合了纳米材料和电化学传感器的优点,具有较高的灵敏度及选择性且响应时间短、成本低和便于携带,且相对与质谱,色谱等大型仪器来说操作简单、响应更快速、费用消耗低。因此在食品检测、生物医学、农业和环境监测等方面有广泛的研究与应用^[10-13]。

食品安全检测范围广泛,涉及领域较多,检测物质的品种庞杂。建立一套快速、简便、敏感、准确的食品安全检测体系意义重大。纳米材料电化学传感器作为新型的快速检测技术,在食品中农药残留、兽药残留、真菌毒素、理化指标和微生物指标等方面应用研究正在蓬勃开展。本研究综述了纳米材料电化学传感器在食品检测中的应用,为食品安全快速检测技术提供新的思路。

2 纳米材料电化学传感器概述

电化学传感器的分类方法有很多种,根据检测物质的不同分类:电化学传感器可分为生物电化学传感器(检测葡萄糖、多巴胺、尿酸、兽药残留等)、气体电化学传感器(如 O_2 、 CO 、 H_2O_2)等、离子电化学传感器(H^+ 、 NO_2^-)等。在检测这些物质时,既可以单独用由无机材料、有机材料等材料修饰的电极(也称为电化学传感器),也可以用这些电极与生物敏感元件(如酶、DNA 等)相结合,因为此类电极含有生物分子,常常被称为生物电化学传感器^[14]。

纳米材料生物电化学传感器相对于传统的直接由纳米材料修饰的传感器有良好的生物相容性和选择性,因此应用也比较广泛。在纳米材料生物电化学传感器构建过程中,生物组分的固定化方法是关键步骤之一,也是改善电化学免疫传感灵敏度、稳定性等传感器性能的有效手段之一。目前,较为常见的固定化方法有吸附法、共价键合法、包埋法、电化学聚合法、层层自组装法等^[15-17]。较为常见的纳米材料有碳纳米管、石墨烯、介孔碳材料、金属纳米粒子等。通过上述固定化方法将纳米材料与生物组分相结合,然后修饰到电极表面,可以实现对各种物质的检测。

3 纳米材料电化学传感器在食品安全检测中的应用

3.1 纳米材料电化学传感器在食品农药残留中的应用

农药残留问题对人们的健康的危害和对经济造成的损失不容忽视。我们国家也发布了一系列的标准和公告

来规定食品中农兽药残留的限量指标。如 GB 2763-2019《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》^[18]、GB 31650-2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》^[19]等,另外国家也采取一系列措施,加强对农兽药残留超标的检测,整治农兽药残留的问题。但是食品中尤其是蔬菜中的农药残留超标,水产品、蜂蜜产品以及肉制品、乳制品中的兽药残留超标以及违规使用禁用兽药问题仍然屡见不鲜。因此有学者对运用纳米材料电化学传感器检测农兽药残留进行了研究,并得到了良好的结果。Chen 等^[20]成功构建了基于富勒烯(C_{60})和金纳米粒子(Au)@牛血清白蛋白(bovine serum albumin, BSA)-半导体量子点(quantum dots, QDs)的纳米花型电化学发光免疫传感器,实现了对鸡肉、猪肉和鸭肉中恩诺沙星的灵敏检测,该传感器在诺氟沙星、沙拉沙星和氧氟沙星存在的条件下,对于恩诺沙星仍有较高的选择性,可以在实际样品中较为准确地检测恩诺沙星。Wang 等^[21]以二氧化硅(SiO_2)为载体,采用表面印迹技术,制备了分子印迹聚合物(molecular imprinting polymers- SiO_2 , MIPs- SiO_2),将羧基化多壁碳纳米管(carboxylic multi-walled carbon nanotubes, c-CNTs)与氧化石墨烯(graphene oxide, GO)复合制得 Gr-CNTs,在其修饰的电极表面上再修饰一层壳聚糖(chitosan, CS)溶液,最后采用滴涂法修饰 MIPs- SiO_2 构建出一种毒死蜱分子印迹电化学传感器,并应用该传感器检测了水果、蔬菜中的毒死蜱含量。该传感器具有良好的选择性、重现性和稳定性,实际样品回收率在 91%~109%,所制备的 MIPs- SiO_2 /PtAu-GrCNTs/GCE 能够在复杂的实际样品中进行检测。Hu 等^[22]制备了纳米 ZrO_2 / 石墨烯复合膜修饰的对硫磷电化学传感器,并运用该传感器测定了苹果中的对硫磷含量,分析结果显示对硫磷在传感器上的氧化峰电流与其浓度在 0.05~30 $\mu mol/L$ 范围内呈良好的线性关系,检测限达 20 nmol/L,用加标回收法测量苹果样品中对硫磷含量,回收率在 99%~104%之间。

目前在农兽药残留方面的研究有相对传统的电化学传感器、选择性专一的分子印迹电化学传感器和电化学免疫传感器等类型^[23-25]。分子印迹电化学传感器和电化学免疫传感器测定的高选择性和电化学分析高灵敏度的特征得到了越来越广泛的应用^[26]。

3.2 纳米材料电化学传感器在黄曲霉毒素 B_1 检测中的应用

近年来,真菌毒素污染也是食品安全值得关注的问题之一。我国 GB 2761-2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》^[27]中规定了各类食品真菌毒素的限量。该标准中规定了食品中黄曲霉毒素 B_1 (aflatoxin B_1 , AFB₁)、黄曲霉毒素 M_1 、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、展青霉素、赭曲霉毒素 A 及玉米赤霉烯酮的限量指标。真菌毒素污染食品后,可使食用者中毒,有些毒素可以诱导基因突变和产生致癌

性。其中黄曲霉毒素 B₁ 毒性最强、传播范围最广, 在农产品中几乎无可避免, 对人类危害巨大^[28]。在发展中国家, 很多种癌症的发病情况和 AFB₁ 有关, 因此必须严格控制食品中 AFB₁ 的最大残留量。传统的 AFB₁ 检测方法耗时间^[29,30], 不能够满足对农产品的现场监控作用, 纳米材料电化学传感器的使用

目前, 电化学测定黄曲霉毒素 B₁ 的方法主要是构建电化学免疫传感器, 实现特异性的识别检测^[31-33]。Myndrula^[34]等研制了一种快速、低成本的 AFB₁ 免疫传感器, 通过将 AFB₁ 的抗体固定到多孔硅覆盖薄金层的纳米结构上, 从而实现对 AFB₁ 的检测, 并且在 0.001~100 ng/mL 的 AFB₁ 浓度范围内对该免疫传感器进行了测试, 检测限达到 3 pg/mL, 方法灵敏度高。刘增宁等^[35]将多壁碳纳米管(multiwalled carbon nanotubes, MWCNTs)@纳米氧化锡锑(antimony tin oxide, ATO)-CS(壳聚糖)复合材料修饰在丝网印刷电极表面, 再将 AFB₁ 抗体和 BSA 固定在电极表面, 构建免疫传感器。实现了对花生油中黄曲霉毒素 B₁ 的检测。且对黄曲霉毒素 B₁ 实现了良好的特异性检测。加标实验的加标回收率在 95%~111%之间, 相对标准偏差在 2.3%~5.3%之间, 方法准确性好。

3.3 纳米材料电化学传感器在食品污染物检测中的应用

食品污染物是指食品在从生产加工、包装、贮存、运输等过程中产生的或由环境污染带入的、非有意加入的有毒有害物质。人体超量摄入污染物, 有可能损伤神经系统、消化系统并有可能致癌。GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[36]规定了食品中铅、镉、汞、亚硝酸盐等 12 种污染物限量, 涉及水果、蔬菜、谷物等 22 类食品、160 余个限量指标。

目前对于食品中污染物测定的电化学传感器主要测定食品中的重金属离子、亚硝酸盐、苯并[a]芘^[37-43], 而对于食品中有机污染物的研究相对较少^[44]。崔学平等^[45]同时制备了 β -环糊精/还原氧化石墨烯/玻碳电极(β -CD/RGO/GCE)和胸腺嘧啶聚合链/纳米多孔金/金电极(ploy-T/NPG/AuE)2 种电化学传感器, 结合差分脉冲吸附溶出伏安法, 分别建立了海参体内铅、汞的检测方法。将 β -CD/RGO/GCE 应用于海参体内铅的测定, 将 Ploy-T/NPG/AuE 应用于海参体内汞的测定, 所得检测结果与电感耦合等离子体质谱法的相对误差均在 5%以内, 样品回收率均在 95%~105%之间, 方法准确性好。朱鸣等^[46]用水热法制备硫化亚锡-碳球-玻碳电极(SnS-CSs/GCE)电化学传感器。在最佳实验条件下, SnS-CSs/GCE 电极检测亚硝酸盐的检测限为 0.32 mol/L, 低于国家标准且该修饰电极具有良好的重现性、稳定性和抗干扰性, 是一种具有广阔应用前景的亚硝酸盐电化学传感器。

3.4 纳米材料电化学传感器在微生物检测中的应用

目前, 微生物污染仍然是食品安全的重要问题之一。微生物指标是反映食品被细菌或者致病菌污染的指标, 反应食品微生物指标主要有菌落总数、大肠菌群和致病菌 3 项。食用微生物超标的食品后轻则造成腹痛、腹泻、痉挛、恶心等, 重则可能危及生命安全^[47-49]。因此快速精准的食品微生物检测技术对于保障安全的食物供应和减少食源性疾病的发生率是十分重要的。常规方法来检测食品中微生物比较耗时, 因此发展快速检测微生物的方法尤为重要^[50]。

近年来一些学者构建了基于纳米材料的电化学生物传感器, 可快速和超灵敏检测真实体系样品中的微生物, 并在食品安全监管和疾病的预防控制等方面具有广泛的应用前景。Chen 等^[49]研制了一种新型的基于三维石墨烯结构的金纳米颗粒修饰的电化学 DNA 生物传感器。采用自行设计的生物捕获探针针对异化亚硫酸盐还原酶基因进行识别, 可检测多种食源性致病菌。此类含有三维石墨烯结构的金纳米粒子可参与食源性致病菌的富集识别探针的构建。在优化条件下, 该传感器灵敏度高, 检测限可达 9.41×10^{-15} mol/L。Abbaspour^[50]等制备了检测金黄色葡萄球菌的电化学免疫传感器, 将生物素化的初级金黄色葡萄球菌抗适配体固定在链霉亲和素的磁性微球(MB)上, 将第二代金黄色葡萄球菌抗体适配体与银纳米粒子(APT-AgNPs)结合, 在 MB 表面形成了 APT/金黄色葡萄球菌/APTA_gNPs 多层复合物, 通过双适体夹心法检测金黄色葡萄球菌, 其检出限为 1.0 CFU/mL。张新爱等^[51]将大肠杆菌抗体和二茂铁甲酸固定在 SiO₂ 修饰的纳米 ZnO 上作为标记物, 通过脉冲伏安法测定电极表面的电流信号, 检测乳制品中的大肠杆菌数, 其检出限为 100 CFU/mL。

4 结论与展望

目前, 纳米材料电化学传感器以其独特的优势在食品分析领域中显示出巨大的应用潜力, 涉及到食品农药残留、兽药残留、真菌毒素、污染物、微生物等检测方面。虽然纳米材料电化学传感器具有仪器简单, 操作方便, 周期短, 灵敏度高优点, 但是由于食品基质复杂, 测定前需要复杂的前处理过程, 稳定性差等问题依然亟待解决。未来其在食品安全领域的应用, 需要解决以下几个关键问题: (1)发展纳米材料电化学传感器在食品安全现场检测中的作用, 即不进行或者只进行简单前处理, 即可对目标污染物进行快速筛查; (2)进一步开发生物相容性好, 导电性好, 环保型的新型纳米材料; (3)解决纳米材料电化学传感器稳定性差的问题, 改进固定化方法。我们相信, 随着研究的越来越深入, 纳米材料电化学传感技术势必会成为食品检测乃至各个领域广泛应用的一项快速响应、成本低廉、

特异性强、灵敏度高的检测方法。

参考文献

- [1] 孙月芹, 戚海峰. 浅谈国内食品安全[J]. 现代食品, 2020, (6): 141–142, 148.
Sun YQ, Qi HF. Discussion on domestic food safety [J]. Mod Food, 2020, (6): 141–142, 148.
- [2] 卢婉珊. 2018 年政府抽检报告之食品篇: 全国食品整体抽检合格率为 97.6%[J]. 消费者报道, 2019, (2): 12–15.
Lu WS. Food part of the 2018 government sampling report: the overall sampling rate of national food is 97.6% [J]. Chin Consum Rep [J]. 2019, (2): 12–15.
- [3] Dinesh K. Patel, Kim HB, *et al.* Carbon nanotubes-based nanomaterials and their agricultural and biotechnological applications [J]. Materials, 2020, 13(7): 1679.
- [4] Luo XL; Han Y; Chen XM, *et al.* Carbon dots derived fluorescent nanosensors as versatile tools for food quality and safety assessment: A review [J]. Trends Food Sci Technol, 2020, (95): 149–161
- [5] Li FQ, Yu ZG, Han XD, *et al.* Electrochemical aptamer-based sensors for food and water analysis: A review [J]. Anal Chim Acta, 2018, (1051): 1–23.
- [6] 王仕兴, 张晓红, 牛华, 等. 纳米材料应用食品农药残留检测研究进展[J]. 粮食与油脂, 2011, (3): 43–47.
Wang SX, Zhang XH, Niu H, *et al.* Research advance on application of nanomaterials in analysis of pesticide residues in food [J]. J Cere Oil, 2011, (3): 43–47.
- [7] Stephen IB, Chen BH. Nanomaterial-based sensors for detection of foodborne bacterial pathogens and toxins as well as pork adulteration in meat products [J]. J Food Drug Anal, 2016, 24(1): 15–28.
- [8] Ersin K, Kadir SÇ, Havin B. γ -Fe₂O₃ magnetic nanoparticle functionalized with carboxylated multi walled carbon nanotube for magnetic solid phase extractions and determinations of sudan dyes and para red in food samples [J]. Food Chem, 2018, (242): 533–537.
- [9] 董秀秀, 王宇, 沈玉栋, 等. 基于新型纳米材料的电化学免疫传感器及其在食品安全检测中的应用进展[J]. 中国食品学报, 2015, 15(4): 136–146.
Dong XX, Wang Y, Shen YD. Nano material based novel electrochemical immunosensor and its application in the field of food safety [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2015, 15(4): 136–146.
- [10] 吴文静. 电化学分析法在食品安全检测中的应用探讨[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(3): 80.
Wu WJ. Discussion on the application of electrochemical analysis in food safety detection [J]. Technol Econ Guide, 2020, 28(3): 80.
- [11] 丁永玲. 量子点复合材料及应用于药物载体和金属离子检测的研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
Ding YL. Quantum dot composite and its application in drug carrier and metal ion detection [D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [12] 张坚. 环境检测中电化学传感器的应用[J]. 节能, 2019, 38(2): 91–92.
Zhang J. Application of electrochemical sensor in environmental detection [J]. Energy Conserv, 2019, 38(2): 91–92.
- [13] 袁建霞, 张秋菊, 胡小鹿, 等. 农业传感器国际竞争态势与研究前沿分析[J]. 现代农业科技, 2019, (14): 233–235, 237.
Yuan JX, Zhang QJ, Hu XL, *et al.* International competition situation and research frontier analysis of agricultural sensors [J]. Mod Agric Sci Technol, 2019, (14): 233–235, 237.
- [14] 王瑞鑫. 电化学免疫传感器在食品安全检测中的应用研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2016.
Wang RX. Application of electrochemical immunosensor in food safety detection [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science & Technology, 2016.
- [15] 谭芸. 电化学免疫传感器用于黄曲霉毒素和蛋白质检测的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
Tan Y. Detection of aflatoxin and protein by electrochemical immunosensor [D]. Changsha: Hunan University, 2019.
- [16] 刘凯歌. 基于纳米材料为载体的电流型及电位型免疫传感器的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
Liu KG. Study on current and potential immunosensor based on nanomaterials [D]. Chongqing: Southwest University, 2019.
- [17] 许双姐. 构建新型电化学免疫传感器及其对多环芳烃的检测研究[D]. 上海: 东华大学, 2013.
Xu SJ. Construction of a new electrochemical immunosensor and its application in the detection of polycyclic aromatic hydrocarbons [D]. Shanghai: Donghua University, 2013.
- [18] GB 2763-2019 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S].
GB 2763-2019 National food safety standard-Maximum residue limits for pesticides in food [S].
- [19] GB 31650-2019 食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量[S].
GB 31650-2019 National food safety standard-Maximum residue limits for veterinary drugs in foods [S].
- [20] Chen WL, Zhou Y, Yao X, *et al.* Sensitive detection of enrofloxacin using an electrochemiluminescence immunosensor based on gold-functionalized Cbo and Au@BSA nanoflowers [J]. New J Chem, 2018, (42): 14142–14148.
- [21] Wang QQ, Huang WH. Construction of a novel electrochemical sensor based on molecularly imprinted polymers for the selective determination of chlorpyrifos in real samples [J]. J Sep Sci, 2017, 40(24): 4839–4846.
- [22] 胡传正, 宋斌, 徐俊晖. 基于石墨烯纳米 ZrO₂ 复合膜修饰电极测定苹果中残余对硫磷的研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2019, 12(53): 930–936.
Hu CZ, Song B, Xu JH. Determination of residual parathion in apple based on graphene/nano ZrO₂ composite film modified electrode [J]. J Cent China Norm Univ(Nat Sci Ed), 2019, 12(53): 930–936.
- [23] Jaysiva G, Murugan K, Chen SM, *et al.* Electrochemical detection of thiamethoxam in food samples based on Co₃O₄ Nanoparticle@Graphitic carbon nitride composite [J]. Ecotox Environ Saf, 2020, (189): 110035.
- [24] 赵玲钰, 庞军, 高文惠. 三氟氯氧菊酯分子印迹电化学传感器的制备及其在粮谷快速分析中的应用[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(5): 134–139.
Zhao LY, Pang J, Gao WH. Preparation of trifluoroethrin molecularly imprinted electrochemical sensor and its application in rapid analysis of grain [J]. J Cere Oils Ass, 2019, 34(5): 134–139.
- [25] 郭怡光, 关瑾. 分子印迹技术在农药残留检测中的应用[J]. 辽宁化工, 2017, 46(2): 169–172.
Guo YG, Guan J. Application of molecularly imprinting technique in pesticide residue detection [J]. Liaoning Chem Ind, 2017, 46(2): 169–172.
- [26] 王延新, 谢书宇, 陈冬梅, 等. 电化学免疫传感器在食品安全检测中的

- 研究进展[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(7): 1334–1342.
- Wang YX, Xie SY, Chen DM, *et al.* Progress in the application of electrochemical immunosensor in food safety detection [J]. *Chin J Anim Veter Sci*, 2018, 49(7): 1334–1342.
- [27] GB 2761-2017 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].
GB 2761-2017 National food safety standard-Limit of mycotoxins in food [S].
- [28] 黄天培. 食品常见真菌毒素的危害及其防止措施[J]. 生物安全学报, 2011, 20(2): 108–112.
Huang TP. Health hazard to humans and prevention strategies of food-borne mycotoxins [J]. *J Bio Saf*, 2011, 20(2): 108–112.
- [29] 马江媛, 桑晓霞, 黄登宇. 黄曲霉毒素 B₁ 的检测方法[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(24): 8399–8404.
Ma JY, Sang XX, Huang DY. Detection method for aflatoxin B₁ [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(24): 8399–8404.
- [30] 王一晨, 刘奇, 吴学贵, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定花生中的黄曲霉毒素 B₁[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(7): 2059–2063.
Wang YC, Liu Q, Wu XG, *et al.* Determination of aflatoxin B₁ in peanut by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(7): 2059–2063.
- [31] 王春燕, 蒋晓青, 周泊. 基于 Cu-TPA 的电化学生物传感器对黄曲霉毒素 B₁ 的检测[J]. 高等学校化学学报, 2019, 40(11): 2301–2307.
Wang CY, Jiang XQ, Zhou B. An electrochemical biosensor based on Cu-TPA for determination of aflatoxin B₁ [J]. *Chem J Chin Univ*, 2019, 40(11): 2301–2307.
- [32] 惠媛媛, 王毕妮, 彭海霞. 电化学生物传感器在黄曲霉毒素检测中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 300–305.
Hui YY, Wang BN, Peng HX. Application research development of electrochemical biosensors in detection of aflatoxins [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(2): 300–305.
- [33] 王瑞鑫, 冯亚净, 李书国. 基于石墨烯/离子液体构建免疫传感器快速测定食品中黄曲霉毒素 B₁[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 120–125.
Wang RX, Feng YJ, Li SG. Rapid determination of aflatoxin B₁ in food by immunosensor based on graphene/ionic liquid [J]. *Food Sci*, 2016, 37(20): 120–125.
- [34] Myndrula V, Viterb R, Savchuke M, *et al.* Gold coated porous substrate for photoluminescence-based immunosensor suitable aflatoxin B₁ [J]. *Talanta*, 2017, (175): 297–304.
- [35] 刘增宁. 基于免疫传感器一的黄曲霉毒素 B₁ 快速检测仪的研制[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019.
Liu ZN. Development of a rapid detection instrument for aflatoxin B₁ based on immunosensor [D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2019
- [36] GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
GB 2762-2017 National food safety standard-Limit of pollutants in food [S].
- [37] 杜鹏, 李艳萍, 刘文杰, 等. 基于囊状复合材料的亚硝酸盐电化学传感器[J]. 闽南师范大学学报(自然科学版), 2019, 32(3): 52–59.
Du P, Li YP, Liu WJ, *et al.* Nitrite electrochemical sensor based on cystic composite material [J]. *J Minnan Norm Univ(Nat Sci)*, 2019, 32(3): 52–59.
- [38] 彭杨, 欧阳海平. 电化学检测腌制食品中亚硝酸盐分析[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44(9): 75–76.
Peng Y, Ouyang HP. Electrochemical detection of nitrite in pickled food [J]. *Grain Sci Technol Econ*, 2019, 44(9): 75–76.
- [39] 杨舫, 窦文超, 赵广英. 基于羟磷灰石电化学传感器快速检测茶叶中痕量铅[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 244–250.
Yang F, Dou WC, Zhao GY. Hydroxyapatite modified electrochemical sensor for the rapid determination of trace lead in tea [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2014, 14(1): 244–250.
- [40] 杨舫, 赵广英, 窦文超. 羟磷灰石/SDBS 丝网印刷碳电极快速测定茶叶痕量铅[J]. 茶叶科学, 2012, 32(6): 485–493.
Yang F, Zhao GY, Dou WC. Hydroxyapatite/SDBS modified screen-printed carbon electrodes for the rapid determination of trace lead in tea [J]. *J Tea Sci*, 2012, 32(6): 485–493.
- [41] 冯亚净, 李书国. 石墨烯电化学传感器法快速测定植物油中的苯并(a)芘[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 218–223.
Feng YJ, Li SG. Graphene-based electrochemical sensor for rapid determination of benzo(a)pyrene in vegetable oils [J]. *Food Sci*, 2018, 39(8): 218–223.
- [42] 王瑞鑫, 冯亚净, 李秀缺, 等. 电化学免疫传感器法快速测定粮油食品中的苯并(a)芘[J]. 现代食品科技, 2016, 32(9): 295–301.
Wang RX, Feng YJ, Li XQ, *et al.* An electrochemical immunosensor for rapid quantification of benzo(a)pyrene in grain-and oil-related foods [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2016, 32(9): 295–301.
- [43] 费世东, 王春萍, 刘英菊, 等. 基于 PAMAM 树枝状大分子构建苯并(a)芘电化学免疫传感器的研究[J]. 分析试验室, 2014, 33(8): 875–879.
Fei SD, Wang CP, Liu YJ, *et al.* Investigation on construction of an amperometric immunosensor for rapid detection of benzo [a] pyrene based on dendrimer-PAMAM [J]. *Chin J Anal Lab*, 2014, 33(8): 875–879.
- [44] 刘源, 吴海云, 于亚平, 等. 快速检测水中多氯联苯含量的电化学免疫传感器设计[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(18): 4593–4595.
Liu Y, Wu HY, Yu YP, *et al.* Design on electrochemica immunosensor for rapid detection of PCBs in water [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, 54(18): 4593–4595.
- [45] 崔学平. 海参中痕量铅、汞元素的溶出伏安法快速检测研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
Cui XP. Rapid determination of trace lead and mercury in sea cucumber by stripping voltammetry [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019.
- [46] 朱鸣, 张娅, 许珊, 等. 硫化亚锡-碳球复合物的制备及其在亚硝酸盐检测中的应用[J]. 扬州大学学报, 2019, (4): 24–28.
Zhu M, Zhang Y, Xu S, *et al.* Preparation of stannous sulfide carbon sphere complex and its application in nitrite detection [J]. *J Yangzhou Univ*, 2019, (4): 24–28.
- [47] 王琳, 赵建梅, 赵格, 等. 国内外食源性致病微生物风险预警开展现状与启示[J]. 中国动物检疫, 2020, 37(4): 65–71.
Wang L, Zhao JM, Zhao G, *et al.* Current situation and Enlightenment of food borne pathogenic microorganism risk early warning at home and abroad [J]. *Chin Anim Health Insp*, 2020, 37(4): 65–71.
- [48] 古丽巴哈尔·托乎提, 李海芳, 李小燕, 等. 新疆地区部分食品微生物污染检测结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(1): 210–217.
Gulibahaer T, Li HF, Li XY. Analysis on determination results of microbial contamination in some kinds of food in Xinjiang region [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(1): 210–217.
- [49] Chen SQ. Three dimensignal graphenc nanoshcet doped with gold nanoparticles as electrochemical DNA biosensor for bacterial detection [J].

Sensor Actuat B Chem, 2018, (262): 860–868.

- [50] Abbaspour A, Norouz-Sarvestani F, Noori A, *et al.* Aptamer-conjugated silver nanoparticles for electrochemical dual-aptamer-based sandwich detection of *Staphylococcus aureus* [J]. Biosens Bioelectron, 2015, (68): 149–155.

- [51] 张新爱, 蒋玉香, 申建忠, 等. 功能化氧化锌纳米棒放大电化学免疫分析乳制品中大肠杆菌的研究[J]. 分析测试学报, 2014, 33(12): 1421–1425.

Zhang XA, Jiang YX, Shen JZ, *et al.* Amplified electrochemical immunoassay of *E. coli* in dairy product using functionalized ZnONRs [J]. J Instrum Anal, 2014, 33(12): 1421–1425.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介

吴鸿敏, 中级工程师, 硕士, 主要研究方向为食品安全检测与研究。

E-mail: wuhongmin8801@163.com

田洪芸, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测与研究。

E-mail: sdsythy@126.com

“农副产品加工与检测分析”专题征稿函

农副产品是由农业生产所带来的副产品, 包括农、林、牧、副、渔五业产品, 分为粮食、经济作物、禽畜产品、干鲜果、干鲜菜及调味品、土副产品、水产品等若干类。我国农副产物资源丰富, 每年农产品的加工利用产生种类众多的食品和相关制品, 但同时也产生大量副产物, 致使资源得不到充分利用以及造成环境污染。为提高农副产物资源的综合利用水平, 实现农产品加工的全利用和零排放, 同时使农副产物增值, 实现农产品加工的可持续发展。

本刊特别策划了“农副产品加工与检测分析”专题, 主要围绕果蔬加工与综合利用、禽肉制品加工与综合利用、农产品营养与健康功能、食品生物发酵技术、农产品贮藏保鲜技术、水产品加工与综合利用、粮油作物加工与综合利用等方面或您认为有意义的相关领域展开论述和研究, 综述及研究论文均可, 本专题计划在 2020 年 12 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员特邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 综述、研究论文和研究简报均可。请在 2020 年 10 月 15 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 再次感谢您的关怀与支持!

谢谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“专题: 农副产品加工与检测分析”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: 农副产品加工与检测分析专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部