

Recent Developments of Electrochemical Sensors on Domestic Food Safety

Tiantian Li¹, Yifan Wang¹, Zhenhua Liu^{1,2*}

¹Shanghai Ocean University, Shanghai

²National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering (Shanghai Ocean University), Shanghai

Email: *zhliu@shou.edu.cn

Received: Jan. 1st, 2019; accepted: Jan. 18th, 2019; published: Jan. 25th, 2019

Abstract

Nowadays, food safety is widely concerned by the whole society. The detection methods are becoming more and more important. Electrochemical sensors, as a valuable means of detection, have been applied and studied extensively. Herein, we introduce the developments of electrochemistry sensors from four aspects, including pesticide residue detection technology, veterinary drug residue detection technology, food additives and banned chemicals detection technology, and biotoxin detection technology in order to promote the investigations on electrochemical sensors and the establishment of related databases.

Keywords

Food Safety, Electrochemical Sensor, Detection Technology

电化学传感器在国内食品安全中的研究进展

李天天¹, 王亦凡¹, 刘振华^{1,2*}

¹上海海洋大学, 上海

²食品科学与工程国家级实验教学示范中心(上海海洋大学), 上海

Email: *zhliu@shou.edu.cn

收稿日期: 2019年1月1日; 录用日期: 2019年1月18日; 发布日期: 2019年1月25日

摘要

食品安全今天受到全社会的普遍关注, 其检测方法也愈加重要。电化学传感器作为一种重要的检测手段

*通讯作者。

得到了广泛的应用和大量的研究。本文当中，我们从农药残留检测技术、兽药残留检测技术、食品添加剂和违禁化学品检测技术、生物毒素检测技术四个方面对其发展状况做了介绍，以期推动电化学传感器的研究工作和相关数据库的建立工作。

关键词

食品安全，电化学传感器，检测技术

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

食品是我们所有可以吃的喝的物品的总称。而食品安全涉及到食品自身以及与其有关的所有的一切。近年来，国内不断有食品安全事件发生，大多与食品受到某种污染有关。人们对食品安全的关注度也越来越高。如何快速、准确、便捷地检测出食品中的污染物，是检测技术研究发展的重要关注点。目前已有大量的检测方法出现，比如气相色谱、高效液相色谱、色-质联用方法[1]、表面增强拉曼光谱、免疫分析[2]、毛细管电泳[3]、生物传感器[4]等等。在各种检测方法和技术中，电化学传感器因为具有灵敏度高、选择性好、成本低、分析速度快等优点，在食品检测中广泛使用。近年来其与生物学、医学、信息学、材料学等多个学科产生了深度交叉，成为了分析科学领域重要的生长点，广泛应用于生物技术[5] [6]、食品工业[7]、临床检测[8]等等多个领域。由于电化学传感器涉及面非常广，本文拟关注电化学传感器在国内食品安全领域中的研究进展，通过一些最新的研究实例来让读者对该领域有所了解。

2. 电化学传感器最新研究情况

2.1. 农药残留检测技术

农药的大量使用引起农产品和环境中药残留超标，对生态环境安全和人类健康造成极大威胁。近年来，农药残留问题已经引起世界广泛的关注。随着人们食品安全和环境意识的不断增强，发展农药残留检测新技术变得十分紧迫。农药残留常用的检测方法有气相色谱、液相色谱、免疫吸附测定和液相色谱-质谱联用仪等，这些方法具有相当高的灵敏度和选择性，可同时测定多个类似物，但费用昂贵、处理费时限制了其使用。因此寻求一种廉价、方便、灵敏的测试方法显得十分必要。针对不同的农药，已经提出了相应的农残检测方法。下面通过几个例子来介绍其发展状况。

有机磷农药在保障农作物产量方面具有很重要的作用，但是，长期大量使用有机磷农药，会在蔬菜、瓜果上有不小的残留，很可能对环境、人体、动物等产生急慢性的毒害。现实当中有机磷农药造成的中毒事件比任何其他农药都频繁、严重。因此对有机磷农药进行及时、准确、灵敏的监控和检测，成为亟待解决的迫切问题。有鉴于此，闵红等构建了两类新型复合纳米材料修饰的有机磷农药传感器[9]。研究发现，二者均具有良好的测量性能。对于电流型乙酰胆碱酯酶生物传感器，实验表明，其中的 Au-Fe₃O₄ 纳米粒子具有良好的生物兼容性，固定在传感器上的乙酰胆碱酯酶有良好的酶动力学响应，其表观米氏常数(K_M^{app})为 10.3 mmol L⁻¹；同时，该纳米粒子能够有效地促进电子传递。Au-Fe₃O₄ 纳米粒子修饰的酶传感器，具有响应速度快、检测灵敏度高、稳定性好等优点；利用有机磷农药对乙酰胆碱酯酶的抑制作用，以硫代乙酰胆碱为底物，对有机磷农药敌敌畏进行了检测，检测限达到 4.0×10^{-13} mol L⁻¹。

针对蔬菜中的啉虫脒, 金党琴等研究了一种基于 TiO_2 的光催化耦合碳糊电极传感器[10]。作者考察了光催化降解时间、缓冲液 pH 值、偏置电压和累积时间等几个因素。在最佳实验条件下, 所提出的电化学方法检测啉虫脒在 $0.01 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ~ $2.0 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度范围呈线性关系, 检出限为 $0.2 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。进一步研究发现, 该方法显示出了良好的选择性、重现性和稳定性, 可成功地应用到蔬菜样品中啉虫脒的测定并得到满意的结果。同时, 作者也深入研究了乙草胺、烯草酮的光化学传感器。该研究反映了光化学传感器在国内的进展情况。

苗珊珊等利用纳米材料和过氧化氢对鲁米诺发光体系的增敏作用, 成功构建了用于有机磷农药定量分析的电致化学发光酶生物传感器[11]。传感器的组装过程如下: 首先在玻碳电极表面滴涂碳纳米管, 接着电镀 Pt 和 Au 两种纳米粒子, 然后在半胱氨酸的交联作用下将乙酰胆碱酯酶和胆碱氧化酶固定于修饰电极表面。研究建立了基于该生物传感器的马拉硫磷、毒死蜱、甲基对硫磷和毒氟磷的定量分析方法, 分别得到了乙酰胆碱酯酶活性抑制率与农药浓度的回归方程。将其用于卷心菜中有机磷农药的残留分析, 4 种农药的加标回收率在 77.60%~108.43%, 相对标准偏差在 1.78%~11.14%, 符合农药残留检测的标准。构建的生物传感器体现了较好的稳定性, 较高的检测灵敏度, 以及对有机磷农药的选择性, 可长期存放等优越性, 为环境介质中有机磷农药的痕量残留分析提供了新的手段和方法。

2.2. 兽药残留检测技术

现代养殖业日益趋向于规模化、集约化, 使用兽药成为保障畜牧业发展必不可少的一环。兽药残留会严重影响产品质量, 损害人体健康、破坏生态环境[12]。因此, 世界各国都高度重视食品中兽药残留量的检测[13]。为了开发快速、方便、高效的电化学传感器检测方法, 我国的科研工作者也进行了大量的研究。

林青制备了一种检测沙丁胺醇的超灵敏电化学免疫传感器[14]。金掺杂的石墨纳米复合物有很大的比表面积, 因而可以固定大量的壳聚糖和辣根过氧化物酶; 辣根过氧化物酶量的增加促进了过氧化氢和电极之间的电子转移。在实验优化条件下, 该传感器在沙丁胺醇浓度为 0.08 ng mL^{-1} ~ 1000 ng mL^{-1} 范围内呈良好的线性关系, 检测限为 0.04 ng mL^{-1} , 可用于饲料和猪肉样品中沙丁胺醇的检测。

卜敏等[15]研发了一种用于硫酸庆大霉素测定的电化学发光生物传感器。研究者以氧化石墨烯为原料, 采用一步法原位合成石墨稀, 同时将联吡啶钉固定在石墨烯修饰的玻碳电极上, 构建了 $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$ 固相发光新方法。基于硫酸庆大霉素对 ECL 的增大效应, 建立了硫酸庆大霉素电化学发光分析新方法, 方法的线性范围为 $4.0 \times 10^{-9} \text{ g mL}^{-1}$ ~ $4.0 \times 10^{-7} \text{ g mL}^{-1}$ 。按照 IUPAC 建议, 计算出该法的检出限为 $2.0 \times 10^{-9} \text{ g mL}^{-1}$ 。将本法用于牛奶中硫酸庆大霉素的测定, 回收实验结果令人满意。用本法制备 $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$ 固相电化学发光体系, 简单方便, 且具有较高的灵敏度, 可用于食品分析等领域抗生素等物质的快速检测。

肖飞等将纳米技术与电化学免疫分析技术相结合, 开发了基于纳米材料的新型电化学免疫传感器, 并将其应用于食品中有代表性的有毒有害物苏丹红、瘦肉精和氯霉素的检测[16]。对于瘦肉精, 研究者制备了葡萄糖氧化酶(GOD)-克伦特罗(CB)功能纳米复合物, 并采用共价键合和温育组装等方法构建了双重信号放大的竞争型免疫传感器。研究了 GOD 催化氧化葡萄糖和普鲁士蓝(PB)催化还原 H_2O_2 双重信号放大的反应机理和传感器检测 CB 的作用机制。用扫描电子显微镜(SEM)等方法表征了纳米复合材料的形貌和复合物中 GOD 的活性, 复合物中的 GOD 保持了良好的电催化性能和酶动力学响应, 并且符合米氏动力学方程。最佳实验条件下, 该免疫传感器对盐酸克伦特罗的检测线性范围为 $0.01 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$ ~ $100 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$, 检测限达 $4.5 \text{ pg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。实验结果表明, 该传感器对瘦肉精克伦特罗的检测具有灵敏度高, 特异性强, 重现性好, 线性范围宽和检测限低等优点。将该方法用于猪肝样品的分析, 加标样品回收率在 97.50%~102.1%之间。该研究为瘦肉精及 β -受体兴奋剂的分析提供了一种新方法。

2.3. 食品添加剂和违禁化学品检测技术

食品添加剂以及很多的药物都在食品制备过程当中起着非常重要的作用，但是它们的用量在食品生产过程中要严格控制，否则必然产生危害。食品添加剂有非常多的种类，让食品具有各种需要的色、香、味特征，也可以让食品有更长的保质期等等。当然，有些是违禁的，比如孔雀绿。如何快速地检测它们，是目前亟待解决的一个问题。

张慧慧等[17]制备了几种新型的稀土电化学传感器，并通过循环伏安法和脉冲伏安法系统研究了抗氧化剂：2, 6-二叔丁基-4-甲基苯酚、甜味剂：阿斯巴甜和食用色素：胭脂红等食品添加剂在新型传感器上的电化学行为与电极反应机理。结果表明，在最佳条件下，都有良好的检测效果。对于胭脂红添加剂，传感器能显著提高其氧化峰电流。并且在最优条件下，氧化峰电流与胭脂红浓度在 $2 \times 10^{-6} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ~ $1 \times 10^{-4} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间呈现良好的线性关系，最低检出限为 $2.1 \times 10^{-8} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在检测过程中表现出很强的抗干扰能力和优异的稳定性。已用于实际样品分析，具有较好应用前景。

双酚 A 广泛应用于食品级包装材料和塑料制品中，由此引发的农产品及食品安全问题受到了人们的广泛关注。为了解决食品中双酚 A 的快速检测，周玲等[18]研究人员构建并优化了基于纳米材料修饰的可抛弃式丝网印刷碳电极和表面可更新碳纳米管离子液体电极的直接电化学传感方法，以及基于直接法和竞争法的电化学适配体传感方法。以此为基础建立了农产品及食品中双酚 A 快速、灵敏的检测模型，同时为双酚 A 的现场实时检测提供一种新的方法依据。对于基于石墨烯的可抛弃式电化学传感方法，在 pH 7.0 的磷酸缓冲液中，沉积电位和沉积时间分别为 -0.4 V 和 150 s 时传感器检测双酚 A 的灵敏度最优。在最优条件下，石墨烯修饰电极检测双酚 A 的线性范围为 $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ~ $80 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，检测下限为 $0.5 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。研究发现，在快速检测双酚 A 方面，另外两种方法也有非常好的效果。

李建龙等[19]首先构建了一种高灵敏度的阻抗电化学免疫测定法，并用其来测定牛奶中的青霉素的含量。他们通过层层自组装技术将多壁碳纳米管(MWCNTs)、壳聚糖(CS)和辣根过氧化物酶标记的青霉素抗体(HRP-Ab)三者共固定于玻碳电极表面，利用 HRP 可以催化 H_2O_2 还原进一步促进对苯二酚的氧化，从而引起阻抗的变化，然后根据电流的变化从而实现了对牛奶中青霉素的定量测量。MWCNTs-CS 膜由于能够吸纳更多的青霉素分子，所以拥有优秀的生物相容性、较高的稳定性和良好的导电性。利用磁性纳米材料，他们制备了灵敏度更高的生物纳米探针用于青霉素检测。纳米材料在构建优良的电化学传感器方面确实是非常有效。

2.4. 生物毒素检测技术

生物毒素，是一大类有毒化学物质的总称，包括动物、植物、微生物在其生长繁殖过程中或一定条件下产生的，对其他生物物种有毒害作用的各种化学物质。现已发现的生物毒素约有 2000 多种，多样性非常丰富。生物毒素具有较高的生物毒性，受真菌毒素和微藻毒素等污染的食品，对大众健康会造成极大危害；而具有极高毒性的肉毒毒素等还具备发展成潜在生物武器的可能性，从而威胁到国家公共安全。因此，对食品、环境样本中生物毒素的检测已得到各国化学与生物分析工作者的重点关注。

黄曲霉毒素(Aflatoxin, AFT)是一组具有强毒性和致癌性的真菌次生代谢产物，对动物和人类健康构成严重威胁[1]。农产品中黄曲霉毒素的含量是国际上食品卫生和农产品贸易中的必检指标[2]。我国出口食品每年因黄曲霉毒素超标而遭受通报扣留的事件屡屡发生，严重影响了我我国食品在国际市场的声誉[3]。及时检出黄曲霉毒素的含量对于食品安全和保障人民健康至关重要。

周琳婷等[20]采用电化学方法将氧化石墨烯、2, 5-二(2-噻吩)-1-对苯甲酸吡咯和氯金酸依次电沉积于金电极表面，以 EDC/NHS 为活化剂，将黄曲霉毒素 B1 抗体与导电高分子膜的羧基共价键合，最后滴涂 1, 3-二正丁基咪唑六氟磷酸盐离子液体于修饰电极表面，制备出了黄曲霉毒素 B1(AFB1)电化学免疫传

感器。研究表明, 石墨烯和纳米金的引入明显提高了修饰层的电子转移速率, 离子液体良好的生物亲和性显著改善了电极上抗体的稳定性。该传感器在灵敏度、稳定性方面均优于已有报道, 可应用于花生中痕量 AFB1 的检测。

顾灿灿等[21]利用二茂铁和亚甲基蓝为信号指示剂的“信号开启”和“信号关闭”体系, 发展了一种新型的在均相溶液中反应的可检测多种毒素的电化学适配体生物传感器。该方法设计了两种与毒素有关的单链 DNA 通过金硫键自组装固定到金电极表面, 当在均相溶液中加入两种毒素时, 这种双链结构就会解离, 并通过形成毒素与适配体复合物释放出信号指示剂标记的 DNA, 来产生电化学信号。该方法的选择性好, 灵敏度高, 成本低。其检测 OTA 和 AFB1 的检测下限分别为: 0.04 ng/mL、0.01 ng/mL。

分子印迹电化学传感器是以分子印迹材料作为传感介质的一类电化学传感器, 响应灵敏、快速、选择性和特异性好, 在复杂体系的痕量生物毒素分析中显示出较好的应用前景。王春琼等[22]以鬼臼毒素(PPT)为模板, 采用原位聚合法制得 PPT 分子印迹电化学传感器, 用循环伏安及交流阻抗法表征了其性能。线性范围为 $1.0 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\sim 120 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 检出限为 $0.47 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 将其用于桃儿七和入血清样品中 PPT 的检测。申晴等[23]以邻氨基酚为单体, 微囊藻毒素(MC-LR)为模板, 采用循环伏安法在金电极表面电聚合成膜分子印迹材料, 制备了传感器。采用安培法对 MC-LR 进行检测。线性范围为 $0.05 \text{ mg/L}\sim 0.35 \text{ mg/L}$, 检出限为 $7.3 \mu\text{g/L}$ 。这些传感器都可用于相应的生物毒素的检测, 并快速给出结果。

2.5. 食品安全研究中几种测量方法的比较

能用于食品安全的检测方法非常多, 表 1 列出了其中的一部分。可以看出, 每种方法都有其优缺点。

Table 1. Comparisons of several modern measurements in food safety

表 1. 食品安全研究中几种现代测量方法优缺点比较

测量方法	优点	缺点
电化学传感器	检测分析速度快, 灵敏度高, 选择性好, 成本低, 可与其他方法联用, 应用范围广	若保护不当则寿命不长, 预处理较耗时
气相色谱	分离效率高, 分析速度快, 样品用量少, 检测灵敏度高, 仪器制造难度小, 流动相无毒、易处理	成本高, 操作复杂, 对人员要求高, 对固体、部分无机样品、热不稳定物质不适用
高效液相色谱	检测分辨率和灵敏度高, 分析速度快, 重复性好, 定量精度高, 应用范围广, 适用于分析高沸点、大分子、强极性、热稳定性差的化合物	分析成本高, 样品预处理繁琐, 流动相有毒, 色谱柱易污染不易再生
质谱	测试速度快, 结果精确, 试样用量少, 高灵敏度和高质量检测范围	仪器精密, 价格昂贵
液相色谱-质谱联用	广适性检测器, 分离能力强, 检测限低	仪器精密, 价格昂贵
酶联免疫吸附测定	准确性高, 灵敏度高, 检测快速, 稳定性好, 操作简单, 易于自动化操作, 适于大批量标本检测, 成本低	易出现假阳性结果
毛细管电泳	所需样品量少, 仪器简单、操作简便, 分析速度快, 分离效率高, 分辨率高, 成本低, 应用范围广, 自动化程度高	制备能力差, 灵敏度较低, 重现性差, 线性范围窄、分析精确度不高、专属性鉴定尺寸不易掌握、仪器昂贵
拉曼光谱	误差小, 灵敏度高, 操作简单, 测定时间短。提供快速、简单、可重复、无损伤的定性定量分析, 无需样品准备	易受光学系统参数、荧光现象等因素的影响, 任何物质的引入都会污染被测体系, 常出现曲线的非线性问题
生物传感器	试剂可重复多次使用, 专一性强, 分析速度快, 准确度高, 操作简单, 成本低	前期实验较多

因此, 在研究过程中, 应根据研究对象的特点选择最为合适的测试方法, 以减少实验步骤, 降低成本并获得最佳的测试效果。比如质谱方法虽然具有测试速度快, 结果精确, 试样用量少, 高灵敏度等等优点, 不过测量仪器通常十分精密, 价格昂贵, 导致测试成本高。针对这些特点, 可以把它用在需要进行高精度测量的地方或者作为初级测试的后续检验方法, 以达到其价值最大化。

3. 结论与展望

电化学传感器在我国已有近二十年的发展历史, 特别是最近十年, 发展势头相当迅猛, 有大量的研究成果出现, 新型传感器设计层出不穷。在本文当中, 仅通过一些例子来展示了其发展的一角。我们发现, 新材料、新技术的应用是传感器发展的一大趋势, 这也可以说是纳米、石墨烯等新兴技术和领域对电化学传感器领域的直接影响和渗透。我国的传感器研究目前和发达国家还存在不小的差距, 我觉得有一点目前需要国内学界做的工作就是将已有的与传感器有关的研究分类整理为一个传感器数据库, 供研究者参考和借鉴, 以助力国内传感器研究团队。进一步, 我们也会考虑这方面的整理工作。

致 谢

本文受到了上海市“实验室队伍建设”项目(A1-0209-00-000502)的资金支持, 在此表示感谢。

参考文献

- [1] 张涛. 基于离子色谱-质谱联用技术在食品检测领域分析方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.
- [2] Lan, J., Zhao, H., Jin, X., *et al.* (2019) Development of a Monoclonal Antibody-Based Immunoaffinity Chromatography and a Sensitive Immunoassay for Detection of Spinosyn A in Milk, Fruits, and Vegetables. *Food Control*, **95**, 196-205. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.002>
- [3] 周桂, 谢贻冬, 罗珍连, 等. 毛细管电泳-电化学发光法分离检测麦芽中大麦芽碱[J]. 江苏农业科学, 2018, 11(18): 1-4.
- [4] Sappia, L., Felice, B., Sanchez, M.A., *et al.* (2019) Electrochemical Sensor for Alkaline Phosphatase as Biomarker for Clinical and *in Vitro* Applications. *Sensors & Actuators B: Chemical*, **281**, 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.10.105>
- [5] Mujeeb-U-Rahman, M., Honarvar, N.M., Sencan, M., *et al.* (2018) A Novel Semiconductor Based Wireless Electrochemical Sensing Platform for Chronic Disease Management. *Biosensors and Bioelectronics*, **124-125**, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.09.077>
- [6] 高丽霞. 电化学传感器在细胞活性氧检测及生物学效应研究中的应用[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [7] Rao, H., Chen, M., Ge, H., *et al.* (2017) A Novel Electrochemical Sensor Based on Au@PANI Composites Film Modified Glassy Carbon Electrode Binding Molecular Imprinting Technique for the Determination of Melamine. *Biosensors and Bioelectronics*, **87**, 1029-1035. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.09.074>
- [8] 项海鹏. 用于肿瘤标志物检测的聚多巴胺媒介电化学免疫传感器研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 中国科学院大学(中国科学院上海硅酸盐研究所), 2018.
- [9] 闵红. 蔬菜类食品中农药残留的快速检测方法和仪器的研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [10] 金党琴. 功能化纳米二氧化钛光电化学传感器的构建及在农药残留检测中的应用[D]: [博士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2016.
- [11] 苗珊珊. 硅胶表面分子印迹聚合物及新型电化学发光生物传感器在农药残留分析中的应用[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [12] Hu, Y. and Cheng, H. (2016) Health Risk from Veterinary Antimicrobial Use in China's Food Animal Production and Its Reduction. *Environmental Pollution*, **219**, 993-997. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.099>
- [13] 李芳, 康怀彬, 张瑞华, 等. 食品中农兽药残留生物传感检测技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 396-400.
- [14] 林青. 纳米材料结合竞争免疫法检测 β -兴奋剂类兽药的电化学传感器研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 济南大学,

2011.

- [15] 卜敏. 基于三种纳米材料的电化学发光传感器的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2013.
- [16] 肖飞. 新型电化学免疫传感器的制备及其在食品安全检测中的应用研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- [17] 张慧慧. 新型酰基吡唑啉酮稀土配合物传感器的研制及食品添加剂电化学性质的研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2014.
- [18] 周玲. 食品中双酚 A 检测用新型电化学传感器的研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [19] 李建龙. 铁金生物传感器测定食品中青霉素的研究[D]: [硕士学位论文]. 宁波: 宁波大学, 2014.
- [20] 周琳婷, 李在均, 方银军. 石墨烯/导电高分子/离子液体修饰的黄曲霉毒素 B1 免疫传感器的制备及应用[J]. 分析化学, 2012, 40(11): 1635-1641.
- [21] 顾灿灿. 基于均相电化学的新型生物传感技术研究[D]. 温州: 温州大学, 2017.
- [22] 王春琼, 白慧萍, 陈瑾, 等. 鬼臼毒素分子印迹电化学传感器的研制及应用[J]. 分析化学, 2014, 42(6): 842-846.
- [23] 申晴, 崔莉凤, 赵硕, 等. 微囊藻毒素分子印迹传感器的制备与应用[J]. 分析化学, 2012, 40(3): 442-446.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-1557, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aac@hanspub.org