

食品安全快速检测技术的应用研究进展

林伟琦*

(厦门市产品质量监督检验院, 厦门 361004)

摘要: 近些年我国已建立起强大的食品安全监督检测管理体系, 对食品生产、加工、流通到最终消费的各个环节进行监督, 但却不能做到完全杜绝食品安全问题, 且目前的监管体系很难覆盖众多的食用农产品、散装食品、餐饮食品以及现场制售食品。食品快检技术主要针对这类食品, 采用快速检测方法, 对这类食品中某种特定物质或指标进行快速定性定量检测。基于此, 本文介绍了目前国家发展食品快检技术的相关政策, 并从化学比色法、酶联免疫吸附法、胶体金免疫层析法、电化学分析法、生物发光几个方面, 探讨了近年来在食品快检技术的应用进展以及存在的问题, 并对未来快检技术的发展方向提出几个展望。

关键词: 食品安全; 快速检测; 比色; 酶联免疫; 胶体金层析; 电化学分析; 生物发光

Research progress on application of rapid food safety detection technology

LIN Wei-Qi*

(Xiamen Products Quality Supervision & Inspection Institute, Xiamen 361004, China)

ABSTRACT: In recent years, a strong food safety supervision and testing management system has been established to supervise all aspects of food production, processing, circulation and final consumption in China. However, the problems of food safety can not be eliminated completely. It is difficult for the current supervision system to cover a large number of edible agricultural products, bulk food, catering food and food made on-spot. Food rapid detection technology is mainly used for this kind of foods, adopting fast detection methods to conduct rapid qualitative and quantitative detection of a specific substance or index. This paper introduced the relevant national policies and strategies on the development of food rapid detection technology, and discussed the recent application progress and existing problems of food rapid detection technology from following aspects: chemical colorimetry, enzyme-linked immunosorbent assay, gold immuno-chromatographic assay, electrochemical analysis, and bioluminescent, and put forward to some prospects for the future development of rapid detection technology.

KEY WORDS: food safety; rapid detection technology; colorimetry; enzyme linked immunosorbent assay; gold immuno-chromatographic assay; electrochemical analysis; bioluminescent

1 引言

食品安全一直是人们重点关注的问题之一。但近年来, 食品引发的安全问题时有发生, 严重威胁着广大人民群众

的身体健康, 进而影响经济发展与社会稳定。而目前, 我国的食品行业大部分不具有规模性, 数量多、分散, 从业者法治和自律意识比较弱, 并且消费人群和销售渠道也很多, 导致了食品安全问题频发^[1]。从近几年的食品安全问

基金项目: 福建省质量技术监督局科技项目(FJQI2017025)

Fund: Supported by Science and Technology Project of Fujian Provincial Bureau of Quality and Technology Supervision (FJQI2017025)

*通讯作者: 林伟琦, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。E-mail: linweiqi@xmzjy.org

*Corresponding author: Lin Wei-Qi, Ph.D, Senior Engineer, Xiamen Products Quality Supervision & Inspection Institute, No.170, Hubin South Road, Siming District, Xiamen 361004, China. E-mail: linweiqi@xmzjy.org

题来看,大部分食品安全问题,除环保和生产条件等客观因素导致外,大部分源于对农药、兽药、添加剂、非法添加物等的违用、滥用所致。要有效解决中国的食品安全问题,就必须对食品的生产、加工、流通和销售各环节实施全程管理和监控,而目前食品监管部门所采取的采样后送实验室检测流程很难做到及时、快速、全面地从各环节监控食品安全状况,尤其对于生鲜的食用农产品等短保质期食品,这就需要发展一种新的、满足这一要求的快速、方便、准确、灵敏的分析检测技术。而食品安全快速检测技术是解决这一监管难题的一个有效工具。

食品安全快速检测技术^[2-4]是指利用快速检测设施设备(包括快检车、室、仪、箱等),按照市场监督管理总局或国务院其他有关部门规定的快检方法,对食品(含食用农产品)进行某种特定物质或指标的快速定性定量检测的行为,主要适用于需要在短时间内显示结果的禁限用农兽药、饲料及动物饮用水中的禁用药物、非法添加物质、生物毒素等的定性检测,检测对象主要为食用农产品、散装食品、餐饮食品、现场制售食品,对于预包装食品原则上以常规实验室检验为主。2018年12月29日新修正颁布的《中华人民共和国食品安全法》^[5]中第一百一十二条“县级以上人民政府食品安全监督管理部门在食品安全监督管理工作中可以采用国家规定的快速检测方法对食品进行抽查检测”;2017年原食药总局出台了《关于规范食品快速检测方法使用管理的意见》^[4],意见指出,各省(区、市)、计划单列市、副省级省会城市食品药品监管部门要按照食品药品监管总局制定发布的《食品快速检测方法评价技术规范》^[6]和相应快检方法等要求,通过盲样测试、平行送实验室检验等方式对正在使用和拟采购的快检产品进行评价。评价结果显示不符合国家相应要求的,要立即停止使用或者不得采购。省(区、市)食品药品监管部门可以根据食品安全监管需要,组织专业技术机构对不属于国家规定的食品快检方法开展评价,评价结果符合有关要求的,可用于所在省(区、市)各级食品药品监管部门在食品安全监管中的初步筛查。相关法律法规、政策的实施为食品快检技术的发展指明了方向。

然而,快检技术在实际检测工作中还是存在很多问题^[7-10]。如缺少检测标准,严重制约了便携式检测仪器的的发展,同时缺少便携仪器也限制了标准的制定;快检方法灵敏度差,检测范围窄,稳定性不足,快检设备质量缺少监管或第三方监督机制;结果判断主要依靠目视法,结果正确与否与个人操作关系很大;快检技术的制度建设还不健全,报告和记录制度不完善,检测过程不可追溯;快检有利于及时锁定并做好问题食品处置工作,起到定性筛查、风险预警作用,但并不能直接作为执法依据,这也限制了快检技术的推广。

本文系统介绍了目前国内食品快速检测技术,并从

实际应用和需求的角度的,预测了该领域技术的发展方向,以期对我国食品快检领域的良性发展提供有益的参考。

2 快速检测技术

2.1 比色法

利用被测物质本身的颜色,或加入试剂后呈现的颜色,用眼睛观察、比较溶液颜色深度,或用光度计进行测量以确定溶液中被测物质浓度的方法^[11,12]。比色法具有直观、快速、便携等优点,在大批量样品检验中发挥重要作用。食品分析中常用的比色法主要有显色速测、速测卡等。

显色速测技术是依据显色反应的颜色变化对目标物进行快速分析,不同显色反应适于不同的目标物。在GB 5009.226-2016《食品中过氧化氢残留量的测定 钛盐比色法》^[11]中,过氧化氢在酸性溶液中与钛离子生成稳定的橙色络合物,吸光度与样品中过氧化氢含量成正比;金文斌等^[13]利用 Fe^{2+} 与百里香酚蓝的显色反应测定茶叶和面粉中的微量铁;最近,市场监管总局发布一系列快检方法征求意见稿中采用显色速测技术对白酒中甲醇^[14]、水发产品中甲醛^[15]、食品中硼酸^[16]进行测定。还有一类显色快速检测技术是利用目标物对显色反应的抑制作用而测定目标物,例如,胆碱酯酶催化乙酰胆碱水解,其水解产物与二巯代二硝酸苯甲酸反应,生成黄色物质,测定其吸光度就能够估计酶的活性,而有机磷和氨基甲酸酯类农药会抑制胆碱酯酶的催化活性,国标GB/T 5009.199-2003《蔬菜中有机磷的氨基甲酸酯类农药残留量的快速检测》^[17]测定了胆碱酯酶催化活性抑制率,从而判断样品中是否有高剂量有机磷或氨基甲酸酯类农药的存在;再比如, Cu^{2+} 通过类芬顿反应产生羟基自由基($\text{OH}\cdot$),氧化2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS)显色,没食子酸丙酯可以清除 $\text{OH}\cdot$,从而抑制了ABTS的氧化显色过程,李梅等^[18]利用该原理,快速测定食品中没食子酸丙酯。

将显色反应底物附着在试纸条上制成相应的速测卡,可以快速对大批量的样品进行筛选测试。国标GB/T 5009.199-2003将靛酚乙酸酯(红色)附着在试纸制成速测卡,利用胆碱酯酶可催化靛酚乙酸酯(红色)水解为乙酸与靛酚(蓝色),有机磷或氨基甲酸酯类农药对胆碱酯酶有抑制作用,使催化、水解、变色的过程发生改变,由此判断出样品中是否有高剂量有机磷或氨基甲酸酯类农药的存在^[17]。

但比色法的不足之处在于显色反应对反应条件依赖性较强,在检测过程中易受反应条件的影响。

2.2 酶联免疫吸附法

酶联免疫吸附法利用酶与抗体或抗抗体共价结合,形成酶标记复合物,再与相应的抗原形成酶标记的抗原抗体复合物,然后相应的底物在酶的催化下反应生成另一种有色产物,颜色的深浅与标本中受检物质的量直接相关。

农业部发布 1025 公告-6-2008《动物性食品中莱克多巴胺药物残留检测 酶联免疫吸附法》^[19]快检方法中, 样品中的莱克多巴胺与包被在微孔条的莱克多巴胺抗原竞争酶标的莱克多巴胺抗体, 洗板后, 酶标板上只留下固定在微孔条上莱克多巴胺抗原与酶标的莱克多巴胺抗体复合物, 该复合物的多少跟样品中的莱克多巴胺成负相关, 与底物显色后得到样品中莱克多巴胺的含量。该方法操作简单, 非常适合现场快速检测。采用同样的方法, 农业部 1025 公告-7-2008《动物性食品中磺胺类药物残留检测》^[20]、农业部 1025 公告-8-2008《动物性食品中氟奎诺酮类残留检测》^[21]、农业部 1025 公告-17-2008《动物性食品中氟喹诺酮类药物残留检测》^[22]、农业部 1025 公告-24-2008《动物源食品中磺胺二甲嘧啶残留检测》^[23]、农业部 1025 公告-25-2008《动物源食品中恩诺沙星残留检测》^[24]、农业部 1163 公告-1-2009《动物性食品中己烯雌酚残留检测》^[25]分别测定磺胺类药物、氟奎诺酮、呋喃唑酮、磺胺二甲嘧啶、恩诺沙星、己烯雌酚等残留物。在技术研究领域中, 李江等^[26]利用酶联免疫吸附法快速检测乳制品中黄曲霉毒素 B₁(aflatoxin B₁, AFB₁)、M₁(aflatoxin M₁, AFM₁)。彭宏威等^[27]利用响应面法优化酶联免疫吸附法检测呋喃西林代谢物前处理的衍生条件, 对动物源性食品中呋喃西林代谢物进行快速筛查。李雪娇等^[28]利用间接酶联免疫吸附法对核桃蛋白浓度进行测定。李亚璞等^[29]利用双抗体夹心的 ELISA 检测牛奶过敏原 β-乳球蛋白, 准确率达 100%。

酶联免疫吸附法的不足之处是由于抗原抗体的反应专一性, 针对每种目标物都要建立专门的检测试剂和方法, 为此类方法的普及带来难度, 而且如果食品在加工或者是前处理过程中抗原被破坏, 其检测结果的准确性也将会受到影响。

2.3 胶体金免疫层析法

胶体金是由氯金酸(HAuCl₄)在还原剂如白磷、抗坏血酸、枸橼酸钠、鞣酸等作用下, 聚合成一定大小的金颗粒, 并由于静电作用成为一种稳定的胶体状态, 故称胶体金。胶体金在弱碱环境下带负电荷, 可与蛋白质分子的正电荷基团形成牢固的结合, 而这种结合是静电结合, 并不影响蛋白质的生物活性。与酶标免疫法比, 酶标抗体采用化学偶联方法连接, 会影响酶的活性, 所以它可以取代酶标记抗体用于检测, 而且由胶体金发展过来的免疫层析法很容易制成试剂盒, 非常适合现场快速检测。胶体金免疫层析法在食品快速检测各种小分子有机物方面越来越受到重视。

水产品中孔雀石绿的快速检测胶体金免疫层析法(KJ201701)^[30]中, 孔雀石绿与胶体金标记的特异性抗体结合, 抑制抗体和检测卡中检测线(T线)上抗原的结合, 从而导致检测线颜色深浅的变化。通过检测线与控制线(C线)颜色深浅比较, 对样品中孔雀石绿和隐色孔雀石绿总量进

行定性判定。采用相同的策略, 分别对食品中呕吐毒素^[31]、罗丹明 B^[32]、硝基呋喃类代谢物^[33]、克伦特罗^[34]等进行定性判定。近期市场监管总局发布一系列快检方法征求意见稿中也有采用同样的方法分别测定保健食品中非法添加的西地那非^[35]、罗格列酮^[36]、巴比妥类^[37]、水产品中的氯霉素^[38]、食用油中的苯丙苾^[39]、食品中的玉米赤霉烯酮^[40]。特别是胶体金免疫层析法还可以利用金颗粒银染技术^[41-43]提高检测灵敏度。

胶体金免疫层析法的不足之处类似于酶联免疫法, 而且该方法在测定中应用的是单份试剂, 很难进行质量控制, 一般只能用于定性检测, 其定量检测和灵敏度都还有待提高。

2.4 电化学分析法

电化学分析法是根据溶液中物质的电化学性质及其变化规律, 建立以电位、电导、电流和电量等物理量与被测物质之间的计量关系, 对组分进行定性和定量检测。近年来, 随着纳米技术、表面修饰技术以及新材料合成的发展和应用, 电化学分析的灵敏度和特异性得到极大的提高, 而且所用的电化学仪器更易于微型化、智能化, 特别适应现场快速检测。

冯亚净等^[44]采用基于苯并芘(benzopyrene, BaP)的电化学氧化还原特征, 建立一种快速测定烧烤类食品中 BaP 含量的电化学分析方法, 在 0~100 nmol/L 范围内 BaP 的氧化峰电流与浓度呈线性关系, 检测限为 0.187 nmol/L, 检测结果与高效液相色谱法基本一致, 可用于烧烤类食品中 BaP 的快速检测。Degefu 等^[45]用木质素(lignin)修饰玻碳电极检测葡萄酒样本中的组胺, 组胺检测线性范围为 5~200 μmol/L, 检出限为 0.28 μmol/L。Abbasi 等^[46]建立了吸附溶出伏安法(adsorptive stripping voltammetry, ASV), 用于同时检测大米和大豆中 Pb 和 Cd 的含量, Pb 和 Cd 方法检测限分别是 0.017 ng/mL 和 0.01 ng/mL。柴晓玲等^[47]建立食品中呋喃的快速检测方法, 在 2×10^{-6} ~ 6×10^{-5} mol/L 范围, 与呋喃峰电流有良好的线性关系。张媛媛等^[48]研究了植物甾醇在裸玻碳电极上的电化学反应过程, 建立了差分脉冲法快速测定粮油食品中的总植物甾醇含量的新方法。

但由于食品检测中干扰因素多以及电化学选择性差等问题, 目前还没有相应的快检方法应用于实际检测。

2.5 生物发光法

所有生物细胞中含有恒量的 ATP, 生物发光法是利用细菌细胞裂解时会释放出恒量的 ATP, ATP 自细菌细胞释放出来后, 在荧光虫素酶催化下, 使荧光虫素氧化、发光, 光的强度就代表 ATP 的量, 从而推断出菌落总数。ATP 生物发光法具有快速、简便及较好重现性等优点。

李利霞等^[49]优化了检测条件, 建立了测定食品中细菌总数的 ATP 生物发光检测技术。在该条件下, 细菌总数

在 10^{-10} ~ 10^{-15} mol/mL 范围内, ATP 浓度与生物发光强度之间有较好的线性关系, 方法检出限为 10^{-15} mol/mL, 检测结果与平板计数结果相关性良好。在 GB/T 36004-2018《食品接触表面清洗消毒效果试验方法 三磷酸腺苷生物发光法》^[50]中, 利用该方法检测消毒后的食品接触表面的微生物量来评估消毒剂的消毒效果。

生物发光法对样品提出了至少 1000 个/mL 细菌浓度的要求, 其灵敏度难以满足, 同时无法对 ATP 来自微生物细胞还是非微生物细胞。

3 小结

3.1 大力发展便携式、微型以及智能化检测设备

传统的科学仪器是为了应对不同科学实验的要求, 通常具备多种功能, 搭载较多配件, 总是以大型、精密、娇贵的特点呈现在大众面前。然而, 小型化仪器才是未来仪器发展方向。无论是在日常的现场检测工作, 还是航天军事等特殊领域, 小型仪器才能够提高空间利用率, 而且小型仪器性能更稳定, 操作、维护更简单。随着科技的发展, 大型仪器小型化、智能化趋势越来越明显^[51,52]。最近各仪器公司相继推出小型台式检测仪器, 但仪器小型化并不是简单地将传统仪器等比例缩小, 也不是无下限地简化结构。结构的简化势必会影响到仪器的性能指标, 这意味着需从市场角度出发, 平衡小型化与功能性之间的矛盾, 研究探讨哪些仪器可以只做好单一功能, 哪些仪器需要在保留多功能的基础上尽量小型化。例如, 超微量分光光度计为了减少仪器的体积, 采用了单光路设计, 光纤传导, 大大减少了仪器体积, 但因为采用了单光路设计, 超微量分光光度计光谱扫描非常不理想, 但食品、环境检测中大部分检测项目都不需要用到光谱扫描, 因此, 食品、环境检测中用到的光度法的项目基本都可以转而采用超微量分光光度计检测, 目前, 该仪器已经在核酸浓度检测中大量使用。

3.2 大力发展快速样品前处理方法

相对于现代分析技术的快速发展, 样本前处理技术发展的滞后严重制约了分析化学的发展, 食品样品快检分析的瓶颈在于实际样品成分复杂, 基质干扰严重^[53,54]。如茶叶中存在的色素、茶多酚、咖啡因等, 肉类中的脂肪、蛋白质, 蔬菜水果中的色素、纤维素、糖等成分, 都会干扰目标物的检测, 而且会污染仪器, 降低仪器的灵敏度和使用寿命。而大部分的检测项目, 样品前处理步骤繁琐耗时, 占整个分析时间的 2/3, 发展简单、快速、高效、环境污染小的样品前处理方法将大大加速食品快检技术的发展。开发基于各种新型纳米材料、印迹材料、多孔材料的固相微萃取^[55]、液相微萃取和膜萃取等食品样品前处理技术。

3.3 运用数理统计的方法提高快检正确度

快检方法灵敏度差, 检测范围窄, 稳定性不足, 而且还有很多基于试纸、检测试剂盒的方法并不能给出就具体的检测数值, 只能给出阴、阳性结论, 增大了限值评判的难度。这就必然要求我们在检测工作中, 采用数理统计的方法辅助结果的判定。通过数理统计研究使我们对于变量的特征及其变化规律获得一个总的认识^[56,57]。

综上所述, 目前可视化、传感器、酶联免疫、便携式光谱等技术是常用的食品快检技术。但随着科学技术的快速发展, 交叉学科知识的引入, 将对食品快检技术向快速、准确、灵敏、便携和低成本的方向发展提供有力的支持, 推进我国食品工业更加健康、快速发展。

参考文献

- [1] 徐兴利. 从“论持久战”盘点 2011 年食品安全事件[J]. 中国食品, 2011, 592(24): 12-15.
Xu XL. Inventory of food safety incidents in 2011 from the “protracted war” [J]. Chin Food, 2011, 592(24): 12-15.
- [2] ISO 16140:2003 Microbiology of food and animal feeding stuffs protocol for the validation of alternative methods [S].
- [3] 师邱毅, 纪其雄, 许莉勇. 食品安全快速检测技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
Shi CY, Ji QX, Xu LY. Fast detection technology and application of food safety [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [4] 食品药品监管总局. 总局关于规范食品快速检测方法使用管理的意见-食药监科〔2017〕49 号[EB/OL]. [2017-06-08]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL1605/173600.html>.
China Food and Drug Administration. Opinions of the general administration on regulating the use and management of fast food testing methods-food and drug administration division [2017] No. 49 [EB/OL]. [2017-06-08]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL1605/173600.html>.
- [5] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国食品安全法[EB/OL]. [2015-4-24]. [2018-12-29]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/201901/c6d064de8295489288ec1383b33212ee.shtml>.
Standing Committee of the National People's Congress. Food safety law of the people's Republic of China [EB/OL]. [2015-4-24]. [2018-12-29]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/201901/c6d064de8295489288ec1383b33212ee.shtml>.
- [6] 食品药品监管总局办公厅. 总局办公厅关于印发食品快速检测方法评价技术规范的通知 食药监办科〔2017〕43 号[EB/OL]. [2017-03-31]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL1605/171311.html>.
General Office of food and Drug Administration. Notice on printing and distributing technical specifications for evaluation of fast food detection methods-Food and drug administration office [2017] No. 43 [EB/OL]. [2017-03-31]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL1605/171311.html>.
- [7] 王金艳. 食品快检技术在基层食品安全监管中的应用分析[J]. 食品安全导报, 2018, 11(15): 84.
Wang JY. Analysis on the application of fast food inspection technology in grass-roots food safety supervision [J]. Chin Food Saf Mag, 2018, 11(15): 84.
- [8] 朱星晔, 杨志宾, 刘海玲. 基层食品快检中存在的问题和对策探讨[J].

- 食品安全导报, 2018, 11(9): 116.
- Zhu XY, Yang ZB, Liu HL. Discussion on the problems and countermeasures in the quick inspection of basic food [J]. *Chin Food Saf Mag*, 2018, 11(9): 116.
- [9] 孙静. 食品快检室建设与问题浅析[J]. *中国果菜*, 2016, 36(7): 23-24.
- Sun J. Construction and thinking about fast food catering unit inspection room [J]. *Chin Fruit Veg*, 2016, 36(7): 23-24.
- [10] 温振东. 如何推进食药部门食品快速检测体系建设[J]. *食品安全导报*, 2016, 10(19): 37-40.
- Wen ZD. How to promote the construction of food rapid detection system in food and drug department [J]. *Chin Food Saf Mag*, 2016, 10(19): 37-40.
- [11] GB 5009.226-2016 食品安全国家标准 食品中过氧化氢残留量的测定 [S].
- GB 5009.226-2016 National food safety standard-Determination of hydrogen peroxide residue in food [S].
- [12] 柯燕娜, 葛宇, 赵琴. 鸡爪中过氧化氢残留量的影响因素研究和检测方法比较[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(11): 2821-2824.
- Ke YN, Ge Y, Zhao Q. Influencing factors of hydrogen peroxide residues in chicken feet and comparison of detection methods [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(11): 2821-2824.
- [13] 金文斌, 侯林邑. 基于铁(II)-百里香酚蓝显色反应的分光光度法测定食品中的铁(II)[J]. *理化检验(化学分册)*, 2019, 55(6): 719-720.
- Jin WB, Hou LY. Determination of iron (II) in food by spectrophotometry based on color reaction of iron (II) with Thymol Blue [J]. *Phys Test Chem Anal (Part B: Chem Anal)*, 2019, 55(6): 719-720.
- [14] 市场监管总局. 关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等13项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件12[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
- State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 12 [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [15] 市场监管总局. 关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等13项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件4[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
- State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 4 [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [16] 市场监管总局. 关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等13项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件9[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
- State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 9 [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [17] GB/T 5009.199-2003 蔬菜中有机磷的氨基甲酸酯类农药残留量的快速检测[S].
- GB/T 5009.199-2003 Rapid determination for organophosphate and carbamate pesticide in vegetable [S].
- [18] 李梅, 莫曼海, 黎慧, 等. Cu²⁺-Fenton 反应比色法测定食品中没食子酸丙酯[J]. *中国食品添加剂*, 2017, 24(2): 167-171.
- Li M, Mo MH, Li H, et al. Detection of propyl gallate in food by colorimetric method based on Cu²⁺-Fenton [J]. *Chin Food Addit*, 2017, 24(2): 167-171.
- [19] 农业部 1025 公告-6-2008 动物性食品中莱克多巴胺药物残留检测 酶联免疫吸附法 [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17171.html>
- Announcement 1025 of the Ministry of Agriculture-6-2008-Determination of ractopamine residue in animal derived food-Enzyme linked immunosorbent assay [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17171.html>
- [20] 农业部 1025 公告-7-2008 动物性食品中磺胺类药物残留检测 酶联免疫吸附法 [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17170.html>
- Announcement 1025 of the Ministry of Agriculture-7-2008-Determination of sulfonamide residues in animal originated food-Enzyme linked immunosorbent assay [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17170.html>
- [21] 农业部 1025 公告-8-2008 动物性食品中氟喹诺酮类药物残留检测 酶联免疫吸附法 [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17169.html>
- Announcement 1025 of the Ministry of Agriculture-8-2008-Determination of fluoroquinolones residues in animal originated food -Enzyme linked immunosorbent assay [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17169.html>
- [22] 农业部 1025 公告-17-2008 动物性食品中呋喃唑酮残留物检测 酶联免疫吸附法 [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/19354.html>
- Announcement 1025 of the Ministry of Agriculture-17-2008-Determination of marker residues of furazolidone in food-producing animal-Enzyme linked immunosorbent assay [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/19354.html>
- [23] 农业部 1025 公告-24-2008 动物源食品中磺胺二甲嘧啶残留检测 酶联免疫吸附法 [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/18047.html>
- Announcement 1025 of the Ministry of Agriculture-24-2008-Determination of sulfamethazine residues in edible animal tissues by immunoassay-Enzyme linked immunosorbent assay [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/18047.html>
- [24] 农业部 1025 公告-25-2008 动物源食品中恩诺沙星残留检测 酶联免疫吸附法 [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17443.html>
- Announcement 1025 of the Ministry of Agriculture-25-2008-Determination of enrofloxacin in edible animal tissues by immunoassay-Enzyme linked immunosorbent assay [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17443.html>
- [25] 农业部 1163 公告-1-2009 动物性食品中己烯雌酚残留检测酶联免疫吸附法 [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/18947.html>
- Announcement 1163 of the Ministry of Agriculture-1-2009-Determination

- of diethylstilbestrol in animal derived food-Enzyme linked immunosorbent assay [EB/OL]. [2008-04-29]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/18947.html>
- [26] 李江, 黎丁滔, 蔡艳, 等. 快速测定乳制品中黄曲霉毒素 B₁、M₁[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(1): 49-50.
Li J, Li DT, Qi Y, *et al.* Rapid determination of aflatoxin B₁, M₁ in dairy products [J]. Chin Dairy Ind, 2019, 47(1): 49-50.
- [27] 彭宏威, 白瑞樱, 陈殿, 等. 响应面试验优化动物源性食品中呋喃西林代谢物 ELISA 检测的衍生条件[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 287-294.
Peng HW, Bai RY, Chen D, *et al.* Optimization of derivatization conditions by response surface methodology for the determination of semicarbazide in animal-derived foods by enzyme-linked immunosorbent assay [J]. Food Sci, 2017, 38(6): 287-294.
- [28] 李雪娇, 赵博, 杨帅, 等. 酶联免疫吸附法与二喹啉甲酸法检测核桃蛋白浓度的比较研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(22): 6009-6014.
Li XJ, Zhao B, Yang S, *et al.* Comparison of enzyme-linked immunosorbent assay and bicinchoninic acid assay for detection of walnut protein concentration in food [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(22): 6009-6014.
- [29] 李亚璞, 麻云莲, 樊丹, 等. 牛奶过敏原 β-乳球蛋白抗体的制备及免疫检测方法的建立[J]. 现代食品科技, 2018, 34(10): 225-229.
Li YP, Ma YL, Fan D, *et al.* Preparation of antibodies and preliminary establishment of immunoassay method against allergen β-lactoglobulin from milk [J]. Mod Food Sci Technol, 2018, 34(10): 225-229.
- [30] 食品药品监管总局. 总局关于发布《水产品中孔雀石绿的快速检测 胶体金免疫层析法》等 6 项食品快速检测方法的公告(2017 年第 58 号) 附件 1[EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
China Food and Drug Administration. Announcement on 6 fast detection methods of food-Appendix 1 [EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [31] 食品药品监管总局. 总局关于发布《水产品中孔雀石绿的快速检测 胶体金免疫层析法》等 6 项食品快速检测方法的公告(2017 年第 58 号) 附件 2[EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
China Food and Drug Administration. Announcement on 6 fast detection methods of food-Appendix 2 [EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [32] 食品药品监管总局. 总局关于发布《水产品中孔雀石绿的快速检测 胶体金免疫层析法》等 6 项食品快速检测方法的公告(2017 年第 58 号) 附件 3[EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
China Food and Drug Administration. Announcement on 6 fast detection methods of food-Appendix 3 [EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [33] 食品药品监管总局. 总局关于发布《水产品中孔雀石绿的快速检测 胶体金免疫层析法》等 6 项食品快速检测方法的公告(2017 年第 58 号) 附件 5[EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
China Food and Drug Administration. Announcement on 6 fast detection methods of food-Appendix 5 [EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [34] 食品药品监管总局. 总局关于发布《水产品中孔雀石绿的快速检测 胶体金免疫层析法》等 6 项食品快速检测方法的公告(2017 年第 58 号) 附件 6[EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
China Food and Drug Administration. Announcement on 6 fast detection methods of food-Appendix 6 [EB/OL]. [2017-05-25]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [35] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等 13 项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件 1[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 1 [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [36] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等 13 项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件 2[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 2 [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [37] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等 13 项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件 3[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 3 [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [38] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等 13 项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件 5[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 5 [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [39] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等 13 项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件 10[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 10 [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [40] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于就《食品中非法添加西地那非和他达拉非的快速检测胶体金免疫层析法(征求意见稿)》等 13 项食品快速检测方法公开征求意见的公告 附件 13[EB/OL]. [2019-02-21]. http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201902/t20190221_291004.html.
State Administration for Market Regulation. Announcement on soliciting public opinions on 13 fast detection methods of food -Appendix 13

- [EB/OL]. [2019-02-21]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL0087/173000.html>.
- [41] Holgate CS, Jackson P, Cowen PN, *et al*. Immunogold silver staining: new method of immunostaining with enhanced sensitivity [J]. *J Histochem Cytochem*, 1983, 31(7): 938–944.
- [42] 于巧玲, 蔡朝容, 覃俊达. 基于纳米金银材料的可视化检测研究进展[J]. *广东化工*, 2013, 41(11): 24–26.
Yu QL, Cai CR, Qin JD. Progresses on visual detection based on nano gold /silver materials [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2013, 41(11): 24–26.
- [43] Hussain MM, Samir TM, Azzazy HM. Unmodified gold nanoparticles for direct and rapid detection of *Mycobacterium tuberculosis* complex [J]. *Clin Biochem*, 2013, 46(7–8): 633–637.
- [44] 冯亚净, 张志业, 李书国. 电化学分析法快速测定烧烤类食品中的苯并(a)芘[J]. *食品科学*, 2017, 38(16): 205–209.
Feng YJ, Zhang ZY, Li SG. Electrochemical analysis for rapid determination of benzo(a)pyrene in barbecued foods [J]. *Food Sci*, 2017, 38(16): 205–209.
- [45] Degefu H, Amare M, Tessema M, *et al*. Lignin modified glassy carbon electrode for the electrochemical determination of histamine in human urine and wine sam-ples [J]. *Electrochim Acta*, 2014, 121(3): 307–314.
- [46] Abbasi S, Khodarahmian K, Abbasi F. Simultaneous determination of ultra trace amounts of lead and cadmium in food samples by adsorptive stripping voltammetry [J]. *Food Chem*, 2011, 128(1): 254–257.
- [47] 柴晓玲, 郝雅茹, 李书国. 电化学分析法快速测定食品中的呋喃[J]. *食品科学*, 2019, 40(16): 256–260.
Chai XL, Hao YR, Li SG. Rapid electrochemical determination of furan in food [J]. *Food Chem*, 2019, 40(16): 256–260.
- [48] 张媛媛, 吕双双, 李书国. 电化学分析法快速测定粮油食品中的总植物甾醇含量[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(5): 297–302.
Zhang YY, Lv SS, Li SG. Rapid detection of total phytosterol content in cereals, oils, and foodstuff by electrochemical analysis [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(5): 297–302.
- [49] 李利霞, 伍金娥, 常超, 等. ATP生物发光检测技术的建立及应用可行性分析[J]. *食品科技*, 2012, 37(1): 275–278.
Li LX, Wu JE, Chang C, *et al*. The establish of ATP bioluminescent detection technique and the feasibility analysis of its application [J]. *Food Sci Technol*, 2012, 37(1): 275–278.
- [50] GB/T 36004-2018 食品接触表面清洗消毒效果试验方法 三磷酸腺苷生物发光法[S].
GB/T 36004-2018 Food contact surfaces cleaning and disinfection efficacy test method-ATP bioluminescence method [S].
- [51] 向玉, 侯晨月, 徐伟. 微型质谱仪研究进展[J]. *生命科学仪器*, 2019, 17(6): 28–33.
Xiang Y, Hou CY, Xu W. Review of mass spectrometry miniaturization [J]. *Life Sci Instrum*, 2019, 17(6): 28–33.
- [52] Dorman FL, Whiting JJ, Cochran JW, *et al*. Gas chromatography [J]. *Anal Chem*, 2010, 82(12): 4775–4785.
- [53] 袁嫣昊, 胡曙光, 苏祖俭, 等. 食品中重金属检测快速前处理技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(14): 4483–4491.
Yuan YH, Hu XG, Su ZJ, *et al*. Research progress on rapid pretreatment of heavy metals detection in food [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(14): 4483–4491.
- [54] 王晓楠, 潘献辉. 水中氨基甲酸酯类农残前处理及色谱检测研究进展[J]. *化学分析计量*, 2012, 21(3): 95–98.
Wang XN, Pan XH. Development program of pretreatment and analysis of carbamate pesticides in water by chromatography [J]. *Chem Anal Meter*, 2012, 21(3): 95–98.
- [55] Wang X, Ye N. Recent advances in metal-organic frameworks and covalent organic frameworks for sample preparation and chromatographic analysis [J]. *Electrophoresis*, 2017, 38(24): 3059–3078.
- [56] 谢刚, 叶金, 王松雪. 食品安全快速检测方法评价技术研究进展[J]. *食品科学*, 2016, 37(17): 270–274.
Xie G, Ye J, Wang SX. Progress in the validation of rapid food safety detection methods [J]. *Food Sci*, 2016, 37(17): 270–274.
- [57] Uyttendaele M, Debevere J. Microbiological analysis of red meat, poultry and eggs--validation of alternative analytical methods application in food microbiology [M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2007.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

林伟琦, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: linweiqi@xmzjy.org