

# 食品安全领域快速检测仪器的的发展现状与展望

马向南, 杜美红\*

(北京市理化分析测试中心, 北京市食品安全分析测试工程技术研究中心, 北京 100089)

**摘要:** 食品安全是各国关注的焦点问题。快速检测仪器以其简便、快速、高效、经济的特点, 较好地满足了食品快速初筛检测的需求, 在食品安全监测中发挥了重要作用。本文将快速检测仪器分为实验室、在线和现场快速检测三大类, 通过对免疫法、酶抑制法、生物传感器、PCR 技术等与快速检测仪器相应的快速检测方法与技术阐述, 综述了快速检测仪器在食品安全检测中的应用及其研究进展, 展望了我国食品安全领域快速检测仪器的发展方向。随着我国产业发展和消费习惯的转变, 微生物快速检测技术及仪器将成为我国未来发展的一个趋势。另外, 鉴于实验室快速检测仪器和现场快速检测仪器两类仪器的优势与劣势, 移动实验室这一新型模式也将成为我国快检仪器行业未来发展的必然走向。

**关键词:** 食品安全; 快速检测; 快速检测仪器

## Status and outlook of rapid detection equipment for food safety

MA Xiang-Nan, DU Mei-Hong\*

(Beijing Center for Physical & Chemical Analysis, Beijing Engineering Research Center of Food Safety Analysis, Beijing 100089, China)

**ABSTRACT:** Food safety is the focus of the world attention. Screening test plays an important role in food safety monitoring. Rapid detection equipments with simple, fast and economical characteristics suits to this kind of tests. In this paper, rapid detection equipments were divided into 3 types: for the laboratory, for the on-line test, and for the field test. Through setting forth the principles of the immunoassay, enzyme inhibition, biosensors and PCR technologies, current application, research progress and development trend of rapid detection equipments in food safety areas were described. With the transformation of Chinese industrial development and consumption habits, rapid detection technique and equipment of microorganism would be a trend in China in the future. In addition, in view of the advantages and disadvantages in the rapid laboratory testing equipment and on-site rapid testing equipment, mobile laboratory would be an inevitable trend in the future.

**KEY WORDS:** food safety; rapid detection; rapid detection equipment

基金项目: 北京市科学技术研究院萌芽计划(2014-05)、国家科技支撑计划(2012BAF14B02)、国家重大科学仪器设备开发专项(2013YQ140371)、北京市科学技术研究院创新团队(IG201307)

**Fund:** Supported by the Program of Beijing Academy of Science and Technology (2014-05), the National Key Technology Support Program (2012BAF14B02), the National Major Special Project in Scientific Equipments (2013YQ140371) and the Innovation Team of Beijing Academy of Science and Technology (IG201307)

\*通讯作者: 杜美红, 副研究员, 主要研究方向为食品安全与快速检测。E-mail: dumeihong@hotmail.com

\*Corresponding author: DU Mei-Hong, Associate Researcher, Beijing Center for Physical & Chemical Analysis, Beijing Engineering Research Center of Food Safety Analysis, Beijing 100089, China. E-mail: dumeihong@hotmail.com

## 1 引言

食品安全是事关人民健康和构建和谐社会的重大战略问题。近年来,三聚氰胺事件、瘦肉精事件以及层出不穷的地沟油事件,不断挑战着社会大众的底线,食品安全问题也逐渐得到了更多人的关注。因此,食品检测成为保障食品安全的一道坚实防线,受到了政府部门的高度重视。由于食品流通速度的加快,实验室常规检测方法和仪器很难及时、快速、全面地监控食品安全的各环节状况,精准快速、方便灵敏的食品安全检测技术及快速检测仪器应运而生。近年来,快速检测技术及仪器从 20 世纪 80 年代最早的纸片发展到当今的便携式仪器,从几个项目的检测发展到现在的几百个项目的检测,成果可观。本文依照食品安全快速检测方法分类简要综述了食品安全快速检测和筛查技术与仪器的进展,分析了快速检测仪器的优势及存在的弊端,并展望了该类仪器未来的发展前景。

## 2 食品安全快速检测仪器

我国快速检测仪器主要是应对食品安全监管、室内空气和饮用水安全的检测,国外的快速检测仪器主要检测炸药、毒品和一些危险品。食品安全快速检测是指包括前处理在内,可以在短时间内取得检测结果,称之为快速检测<sup>[1]</sup>。快速检测仪器因其应用目的、要求和场合的不同,分为实验室快速检测、现场快速检测和在线快速检测三大类仪器。国外在此方面起步比较早,发展比较快,许多产品较成熟,且部分已商品化。在我国,近年来也涌现出一批科研院所及厂家研发和生产快速检测仪器。

### 2.1 实验室快速检测仪器

实验室快速检测是指利用一切可以利用的实验室仪器设备快速定性和定量。理化方法一般在 2 h 内能够出结果的即可视为快速检测。微生物快速检测与常规检测相比,能够减少 1/2 或 1/3 的时间,且有判断性意义的结果即可视为快速检测。酶联免疫法一般能够在 3~4 h 得出结果,也算是快速检测<sup>[2]</sup>。实验室的快速检测严格按照标准操作规范开展检验,着重于挖掘现有设备潜力、更新仪器设备以及改变样品前处理的方式,实现快速筛查的目的,故其有别于实验室常规检测<sup>[3]</sup>。高效的前处理方法是快速分析检测的关键,传统的样品前处理方法有液-液萃取、索氏提取、蒸馏、离心、沉淀分离和离子交换等,这些方法都比较费时、费力而且不易达到自动化操作。近年来,一些新型的样品前处理技术如固相萃取、磁性固相萃取、固相微萃取、聚合物整体柱微萃取等得到了迅速发展<sup>[4-14]</sup>,这些前处理技术能够满足快速、高选择性、样品使用量少、试剂消耗少、自动化程度高和环境友好的要求,与气相色谱及其联用、液相色谱及其联用、质谱等实验室仪器相结合,达

到了快速检测食品中农药残留、食品添加剂、兽药残留、重金属等项目的目的。如毛细管电泳仪以其样品处理简单、多组分同时测定、快速、自动化及越来越低的检出限,被广泛应用在食品农药兽药残留、非法添加剂、生物毒素等方面的检测<sup>[15]</sup>。另外,实验室快速检测仪器—PCR<sup>[16-17]</sup>(polymerase chain-reaction, 聚合酶链式反应)仪及实时荧光定量 PCR 仪由于从样品前处理到 PCR 扩增及得到实验结果 24 h 内完成,具有简便、快速、敏感性高、特异性强和对标本的纯度要求低的优点,现已被广泛应用于微生物检测等领域。自从 1996 年美国 ABI 公司推出了将扩增和检测融为一体的实时荧光定量 PCR 仪后,很多公司如德国的 Eppendorf、瑞士的 ROCHE 和美国的 MJ 等都先后推出了款式不同的定量 PCR 仪<sup>[18]</sup>。实验室快速检测仪器还有一类是不需要前处理的,如近红外光谱仪、拉曼光谱仪和核磁共振谱仪,由于其无损、快速的特点与优势,仪器制造厂商将其开发为便携式仪器,已经逐渐从实验室走向现场检测。

### 2.2 现场快速检测仪器

现场快速检测仪器是利用检测现场一切可以利用的手段快速定性或半定量。现场快速检测是食品安全监管人员的有力工具,实现大量样品的快速筛查,成为实验室常规检测的排头兵。

#### 2.2.1 农药残留的快速检测仪器

农药残留快速检测方法主要包括酶抑制法<sup>[19]</sup>(enzyme inhibition method, EM)、免疫分析法、生物传感器和表面增强拉曼光谱法等,基于这些方法现已涌现出多种农药残留快速检测仪器。

基于酶抑制法的农药残留快速检测仪在筛查和检测果蔬农产品农药残留中正发挥着重要的作用。近年来,农药残留快速检测仪器产业发展迅猛,长春吉大·小天鹅、天迈生物科技、厦门欧达、北京东西等仪器厂家先后研制出 40 余种具备农药残留快速检测功能的快速检测仪器。尽管酶抑制法农药残留快速检测技术的应用受到一定局限,但基于酶抑制原理的速测卡和速测仪现已广泛应用在我国快速检测有机磷和氨基甲酸酯类农药残留的现场,成为农药残留快速检测的主流技术。

酶联免疫吸附测定法<sup>[20]</sup>(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)试剂盒是基于免疫分析法开发的产品,在农药残留快速检测中得到广泛的应用。近些年,我国对酶联免疫吸附测定法开展了大量研究,也涌现出一批 ELISA 试剂盒及配套仪器的生产厂家,有北京勤邦、江莱生物、北京陆桥、基因美、普析通用、维德维康、智云达等企业,他们已能生产出性能与进口试剂盒相近,品种更多且价格便宜的产品。在 ELISA 试剂盒的研发中,制备特异性的抗体至关重要,因非特异性的抗体会造成检测结果的假阳性。

生物传感器是基于对生物物质敏感并将其浓度转化为电信号、光信号等信息来进行检测的仪器,它具有高灵敏、高识别、微型化和集成化等优点,成为当前食品安全快速检测领域研究的热点。生物传感器应用范围较广,大多应用于检测农药残留和兽药残留<sup>[21]</sup>,其中,酶生物传感器和免疫生物传感器主要应用在农药残留快速检测中<sup>[22-23]</sup>。如我国中科院研究生院应化所的课题小组采用乙酰胆碱酯酶生物传感器为电极与单片机结合成功研制了在常温下进行快速测定的掌上型有机磷农药残留检测仪,并能在 $10^{-7}$  mg/mL时即报警。

便携式拉曼光谱仪是利用表面增强拉曼光谱技术来完成食品中农兽药残留、非法添加物等的快速检测,并可以进行定量分析,同时由于检测方法简便快速、检测费用低、检测系统便携,便于在现场使用。目前,市场上的拉曼光谱仪大多是便携式的拉曼光谱仪,我国重点生产企业有烟台富耐立仪器、杭州合众环境、苏州欧普图斯、北京盈安科技、苏州佐藤精密仪器等。部分高校也自主研发了用于科学研究及教学的便携式拉曼光谱仪,如浙江大学研制了一台RS-1便携式拉曼光谱仪<sup>[24]</sup>,并提出了光谱预处理改进算法;苏州大学利用全息带阻滤光片和凹面光栅组装了一台新型便携式拉曼光谱仪<sup>[25]</sup>,有效过滤了瑞利散射光,具有结构简单、杂散光少、降低成本等优势。

#### 2.2.2 兽药残留的快速检测仪器

兽药残留快速检测仪器有酶标仪、胶体金读数仪等,此类仪器采用免疫学原理,可快速检测各类食品中的激素兴奋剂类残留、抗生素类残留、喹啉类残留、磺胺类残留和真菌毒素类等项目。

酶标仪与酶联免疫试剂盒配套使用,采用酶联免疫吸附法(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)进行检测,进口的酶标仪有美国 biorad 的 imak 酶标仪、美国 biotek 的 ELX800 多功能酶标仪、美国 thermo 的 MK3 全自动酶标仪、英国 Biochrom Anthos 的 2010 酶标仪、奥地利 TECAN 的 Infinite®M1000、F50 酶标仪等;国产商品化产品也有多款,如北京普朗公司的 DNM-9602G 质控酶标仪、山东博科的 BIOBASE-EL10A 酶标仪、上海科华的 KHB ST-360 酶标仪、深圳雷杜的 Rayto RT-6000 酶标仪等。酶联免疫试剂盒包括磺胺类、氨基糖苷类、喹啉类、氟喹诺酮类等。

金标读数仪与胶体金试纸配套使用,是根据胶体金试纸颜色深浅变化可快速、准确检测项目含量,具有灵敏度高、特异性强、简便、快速等特点,非常适用于兽药残留的现场快速检测。目前国内外均已具有相当成熟的利用免疫学分析法的试纸条,如美国的 Charm 开发了免疫纸色谱胶体金试纸条 ROSA 系列,用于牛乳中各种抗生素的检测;程华等<sup>[26]</sup>选用 STM32F103VC 单片机作为核心部件,通过颜色识别传感器 TCS3200 采集数据,研制出了胶体金免疫层析试纸条定量分析仪,能够对多种胶体金免疫层析

试纸条进行定量分析。

#### 2.2.3 微生物的快速检测仪器

ATP (adenosine-triphosphate, ATP) <sup>[27-29]</sup> 荧光检测仪(细菌检测仪)是快速检测细菌总数的便携式仪器,它利用荧光素-荧光素酶体系使 ATP 反应产生荧光的原理,实现了细菌总数的快速检测。ATP 生物发光法因其方便、快捷、灵敏度高等特点,被广泛推广。从 20 世纪 90 年代开始,国外就已经开始 ATP 检测技术的研究并开发出 ATP 荧光仪,如美国 Hygiena 公司的 Pi-102 食品检测 ATP 荧光仪、SURE II 型生物荧光仪,美国 NHD 公司的 Profile-1 荧光检测系统,德国 Merck 公司的 HY-LITE 荧光检测仪等;我国西安天隆从 2005 年开始进行手持式 ATP 荧光检测仪研制,并且研发出国内首台手持式 ATP 荧光检测仪。随着国内实际需求的变化,ATP 仪的生产厂家也逐步增加,代替了进口仪器的份额,如滨松光子公司的 BHP 系列 ATP 荧光快速检测仪,格丹纳公司的 BF-210ATP 快速检测仪等。手持 ATP 荧光检测仪能够快速、准确地检测出细菌总数,成为样品中有无微生物的极佳仪器,但无法对细菌种类进行辨识,因此,现场检测微生物往往与 PCR 仪配套使用。现场 PCR 仪具有灵敏性好、特异性好,能够快速区分微生物的类、型及亚型的优势,应用于食品工业、出入境食品的检验检疫,不过目前现场便携式的 PCR 仪生产厂家较少,所知的仅有韩国 Ahram Biosystems, Inc. 公司研制出 Palm PCR 掌上 PCR 仪。

近年来传感器检测微生物的研究已成为热点,由于生物传感器不断小型化,使得便携式的生物传感器成为可能。斯成燕等<sup>[30]</sup>利用 BIACORE3000 SPR 生物传感器快速、在线检测了大肠杆菌 O157:H7,大大减少了检测时间。利用  $F_0F_1$ -ATPase 旋转分子马达生物传感器可以实现快速、特异性、高通量检测不同食源性病原微生物,但由于检测方法仍在理论研究阶段,应用的实际还需进一步研究<sup>[31]</sup>。武会娟等<sup>[32]</sup>将  $F_0F_1$ -ATP 酶旋转分子马达和免疫技术结合,建立了免疫生物传感器对单核细胞增生李斯特菌进行快速检测的方法;魏玲<sup>[33]</sup>等将免疫生物传感器应用到肠出血性大肠埃希菌 O157:H7 中,建立了灵敏度高、特异性强的快速检测技术。杨瑞馥等<sup>[34]</sup>基于上转发光技术研制出能够定量检测的生物传感器,该生物传感器可快速检测食品中的致病微生物。

阻抗仪是阻抗法的仪器化。1974 年美国 Bactomatic 公司的 Cady 等<sup>[35]</sup>成功研制出首台阻抗仪—Bactometer32,该仪器是通过阻抗变化来监测微生物的代谢生长,进而快速检测样品中微生物的含量。阻抗法因其具有快速、简便、灵敏等优点已成为微生物快速检测的发展趋势,并逐渐应用在食品工业中<sup>[36,37]</sup>。目前,我国阻抗法的研究大多是针对食品中菌落总数、酵母菌、大肠杆菌、沙门杆菌、金黄色葡萄球菌,仅仅停留在快速检测方法上的研究,很难仪器化,因此,研制出灵敏度高、范围宽的阻抗仪是我国微生物

物快速检测的发展方向<sup>[38-40]</sup>。

#### 2.2.4 有毒有害物质的快速检测仪器

商品化的便携式激光拉曼光谱仪是基于表面增强拉曼光谱(surface-enhanced Raman scattering, SERS)技术, 具有操作简便、灵敏度高、无需复杂样品前处理, 可适用于现场快速分析等优点, 已广泛应用于三聚氰胺、孔雀石绿、结晶紫、苏丹红 1 号等违禁添加物的快速检测<sup>[41,42]</sup>。Mecker 等<sup>[43]</sup>成功研制了便携式表面增强拉曼光谱仪, 可快速检测食品中的三聚氰胺。刘峰等<sup>[44]</sup>利用纳米增敏表面增强拉曼光谱技术, 自主研发了便携式三聚氰胺速检仪, 该仪器能够定量、快速地检测乳及乳制品中的三聚氰胺和养殖水中的孔雀石绿, 很适合现场快速检测。

#### 2.2.5 重金属的快速检测仪器

根据食品中重金属的快速检测方法, 目前已开发出的仪器有基于免疫学原理或是酶抑制原理的生物类仪器和基于电化学法的理化类仪器<sup>[45]</sup>。生物类仪器如果蔬污染物三合一便携式检测仪, 是北京农产品质量检测与农田环境监测技术研究中心与韩国美卡希斯有限公司利用酶抑制原理成功研制的<sup>[46]</sup>。理化类仪器如江苏天瑞仪器基于阳极溶出法自主研发了 HM-7000P 便携式食品重金属快速分析仪<sup>[47]</sup>; 西北工业大学赵廷凯和李铁虎<sup>[48]</sup>团队采用电化学方法, 选取碳纳米管与壳聚糖纳米复合材料当作电极材料, 简单快速地检测牛奶中的三聚氰胺。

### 2.3 在线快速检测仪器

在线快速检测仪器主要用于食品生产过程中的实时监测和过程分析。如 Foss 福斯华的在线近红外分析仪, 基于在线检测的特点, 已应用到饲料生产、黄油、奶酪等流质测量等领域<sup>[49]</sup>。乔佳等<sup>[50]</sup>结合快速气相色谱技术和飞行时间质谱技术, 研制出一种小型化在线式的快速气相色谱飞行时间质谱联用仪, 应用在过程监测中, 该联用仪器由广州禾信自主研发。另外, 近几年核磁共振<sup>[51]</sup>(nuclear magnetic resonance, NMR)技术在食品领域研究成果颇多, 公认为最有前途的过程分析技术之一。核磁共振在线分析仪已广泛应用在食品加工过程中的食品成分和结构的快速分析<sup>[52]</sup>。

## 3 食品安全快速检测仪器的未来

只要有食品工业存在, 食品安全风险就是一个不可回避的问题, 即使是发达国家也同样需要快速检测技术及快速检测仪器。近些年, 我国食品安全快速检测仪器的研发和生产厂家发展迅速, 专业队伍也越来越庞大, 促使了我国快速检测仪器及配套试剂盒技术水平大幅提升, 产品种类也日益繁多, 完全能够满足国内需求。目前, 我国快速检测仪器应用和推广的最大的阻力是缺少国家或行业标准以及高效的前处理方法, 相信通过国家投入大量经费对快速检测技术及仪器的支持, 我国的快速检测仪器将面临较

好的发展态势。

与发达国家相比, 中国食品快速检测的市场容量约为 15 亿元, 涉及农药残留检测、有毒有害物质检测、微生物检测等, 而发达国家的食品安全快速检测主要集中于微生物污染。随着产业发展和消费习惯的转变, 微生物的检测是必须的, 微生物快速检测技术及仪器将成为我国未来发展的一个趋势。另外, 鉴于实验室快速检测仪器和现场快速检测仪器两类仪器的优势与劣势, 装备了试纸条、试纸盒等快速检测设备和色谱、液谱等高端仪器的移动实验室, 这一新的筛查模式也将成为现场快速检测的发展方向<sup>[53]</sup>。

### 参考文献

- [1] 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 QY, Ji QX, Xu LY. Rapid detection technology and application of food safety [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [2] 温振东. 流通环节食品快速检测技术应用现状与发展建议[J]. 食品安全导刊, 2011,12: 24.  
Wen ZD. Status and developed proposals of rapid detection technology for Circulation the food [J]. China Food Satety, 2011,12: 24.
- [3] 王荭晖, 姚玲. 实验室快速筛查的思考与实践[J]. 中国药事, 2010, 24(2): 173.  
Wang HH, Yao L. Thinking and practice on the laboratory's rapid screening [J]. Chin Pharm Affairs, 2010, 24(2): 173.
- [4] Bak SA, Hansen M, Krogh KA, *et al.* Development and validation of an SPE methodology combined with LC-MS/MS for the determination of four ionophores in aqueous environmental matrices [J]. Inter J Environ Anal Chem, 2013, 93(14): 1500-1512.
- [5] Cao XJ, Chen JY, Ye XM, *et al.* Ultrasound-assisted magnetic SPE based on Fe3O4-grafted graphene for the determination of polychlorinated biphenyls in water samples [J]. J Sep Sci, 2013, 36(21-22): 3579-3585.
- [6] Li J, Zhang XB, Liu YX, *et al.* Preparation of a hollow porous molecularly imprinted polymer using tetrabromobisphenol A as a dummy template and its application as SPE sorbent for determination of bisphenol A in tap water [J]. Talanta, 2013, 117: 281-287.
- [7] Nakov N, Mladenovsk AK, Labacevski N, *et al.* Development and validation of automated SPE-LC-MS/MS method for determination of indapamide in human whole blood and its application to real study samples [J]. Biomed Chromatogr, 2013, 27(11): 1540-1546.
- [8] Nebot C, Regal P, Manuel Miranda J, *et al.* Rapid method for quantification of nine sulfonamides in bovine milk using HPLC/MS/MS and without using SPE [J]. Food Chem, 2013, 141(3): 2294-2299.
- [9] Su RY, Liu QW, Fan SJ, *et al.* Application of polymer monolith microextraction to the determination of triazines in cereal samples combined with high-performance liquid chromatography [J]. Food Anal Method, 2011, 5(5): 1040-1046.
- [10] Li WJ, Zhou X, Tong SS, *et al.* Poly(N-isopropylacrylamide-co-N, N'-methylene bisacrylamide) monolithic column embedded with gamma-alumina nanoparticles microextraction coupled with high-performance liquid chromatography for the determination of

- synthetic food dyes in soft drink samples [J]. *Talanta*, 2013, 105: 386–392.
- [11] Tian MM, Feng W, Ye JJ, *et al.* Preparation of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>/graphene oxide magnetic microspheres for microchip-based preconcentration of estrogens in milk and milk powder samples [J]. *Anal Method*, 2013, 5(16): 3984–3991.
- [12] Ma HH, Mu FT, Fan SJ, *et al.* Development of a cloud point extraction method for the determination of phenolic compounds in environmental water samples coupled with high-performance liquid chromatography [J]. *J Sep Sci*, 2012, 35(18): 2484–2490.
- [13] Tong SS, Zhou X, Zhou CH, *et al.* A strategy to decorate porous polymer monoliths with graphene oxide and graphene nanosheets [J]. *Analyst*, 2013, 138(5): 1549–1557.
- [14] Li WJ, Zhou X, Ye JJ, *et al.* Development of a gamma-alumina-nanoparticle-functionalized porous polymer monolith for the enrichment of sudan dyes in red wine samples [J]. *J Sep Sci*, 2013, 36(20): 3330–3337.
- [15] 赵静. 现代仪器在食品分析中的应用(上册)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 167.  
Zhao J. Application of modern instruments in food analysis [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012, 167.
- [16] 李勤, 盛占武, 孙志高. 实时荧光定量 PCR 技术在食品微生物检测和中的应用[J]. *四川食品与发酵*, 2006, (42): 9–11  
Li Q, Sheng ZW, Sun ZG. Application of real-time fluorescent quantitative PCR for detection and research microbes in foods [J]. *Sichuan Food Fer*, 2006, (42): 9–11
- [17] 余倩, 黄梦娜. 食源性致病菌多重 PCR 快速检测研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(19):125–127.  
Yu Q, Huang MN. Research of multiplex PCR fast detection on food-borne bacterial pathogens [J]. *Food Res Dev*, 2014, 35(19):125–127.
- [18] 赵静. 现代仪器在食品分析中的应用(下册)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 258.  
Zhao J. Application of modern instruments in food analysis [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012, 258.
- [19] 胡蓉. 酶抑制法在蔬菜农药残留快速检测中的应用[J]. *辣椒杂志*, 2013, 11(4): 42–44.  
Hu R. Application on rapid enzyme inhibiting method to detect pesticide residues in vegetable [J]. *J China Capsicum*, 2013, 11(4): 42–44.
- [20] 张国范. 酶联免疫分析法在食品农药残留检测中的应用[J]. *中国医药指南*, 2013, 11(28): 595–596  
Zhang GF. Application on enzyme-linked immunoassay to detect pesticide residues in food [J]. *China Med Guide*, 2013, 11(28): 595–596.
- [21] 李晓阳. 食品安全快速检测技术的研究与探讨[J]. *食品研究与开发*, 2014, 9(18): 120.  
Li XY. The research and discussion of the food safety rapid detection technology [J]. *Food Res Devel*, 2014, 9(18): 120.
- [22] 王明珠, 徐裴, 曹慧, 等. 用于农药残留快速检测的酶生物传感器研究进展[J]. *传感器与微系统*, 2012, 31(3):4–6.  
Wang MZ, Xu P, Cao H, *et al.* Research progress on enzyme biosensors for detection of pesticide residue [J]. *Trans Micro Tech*, 2012, 31(3) :4–6.
- [23] 姚学鹏, 刘绍琴. 生物传感器用于农药残留检测的研究进展:现状,挑战及未来展望[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(1):54–58.  
Tao XP, Liu SQ. Biosensors for detection of pesticide residues: current status, challenges and future perspectives [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, 4(1): 54–58.
- [24] 陈玉伦. 拉曼光谱仪的研制及预处理方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
Chen YL. Development of Raman spectrometer and its spectroscopy pretreatment [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [25] 赵艳皎. 便携式拉曼光谱仪技术的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2004.  
Zhao YJ. Study on the technology of portable Raman spectroscopy [D]. Suzhou: Suzhou University, 2004.
- [26] 程华, 王树志, 陈晨, 等. 新型胶体金免疫层析试纸条定量分析仪的研制[J]. *分析仪器*, 2013, (1): 7–11.  
Chen H, Wang SZ, Chen C, *et al.* Development of a new quantitative analyzer for colloidal gold test strips [J]. *Anal Inst*, 2013, (1): 7–11.
- [27] 杨春光, 王宏伟, 彭心婷, 等. 食品病原微生物快速检测技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, (1): 43.  
Yang CG, Wang HW, Peng XT, *et al.* Research advances for fast detection of food borne pathogenic bacteria [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, (1): 43.
- [28] 高红阁, 彭芳, 俞玲玲, 等. ATP 生物发光法在快速检测饮用水菌落总数中的应用[J]. *职业与健康*, 2014, 30(10):1325–1347.  
Gao HG, Peng F, Yu LL, *et al.* Application of ATP bioluminescence assay in rapid detection of total bacterial count in drinking water [J]. *Occup Health*, 2014, 30(10) :1325–1347.
- [29] 周晓丽, 张青, 黄浩, 等. ATP 生物荧光检测仪的应用分析[J]. *中国医学装备*, 2014, (11):164–165.  
Zhou XL, Zhang Q, Huang H, *et al.* Application of ATP bioluminescence detector [J]. *China Med Equip*, 2014, (11):164–165.
- [30] 斯成燕, 叶尊忠, 王一娴, 等. SPR 生物传感器快速检测大肠杆菌 O157:H7 的研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2011, 10(31): 2598–2601.  
Si CY, Ye ZZ, Wang YX, *et al.* Rapid detection of *Escherichia coli* O157:H7 using surface plasmonresonance(SPR)biosensor [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2011, 10(31): 2598–2601.
- [31] 杨向莹, 王玉梅, 张岩, 等. 分子马达生物传感器在食源性病原微生物检测中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 7(5): 2105–2106.  
Yang XY, Wang YM, Zhang Y, *et al.* Molecular motor biosensor in the detection of foodborne pathogenic microorganism [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 7(5): 2105–2106.
- [32] 武会娟, 魏玲, 伦永志, 等. 一种免疫生物传感器对单核细胞增生李斯特菌快速检测方法的初步研究[J]. *中国微生态学杂志*, 2010, 22(8): 743–745.  
Wu HJ, Wei L, Lu YZ, *et al.* The Preliminary study of a rapid detecting technology for *Listeria monocytogenes* based on immunobiosensor [J]. *Chin J Microcol*, 2010, 22(8): 743–745.
- [33] 魏玲, 李越, 李宝明, 等. F<sub>0</sub>F<sub>1</sub>-ATPase 生物传感器检测肠出血性大肠埃希氏菌 O157: H7 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(2): 433–438.  
Wei L, Li Y, Li BM, *et al.* Detection of *Escherichia coli* O157:H7 by F<sub>0</sub>F<sub>1</sub>-ATPase immune biosensors [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, 4(2): 433–438.
- [34] 仪器信息网. 生物传感器在食品致病菌生物检测中的应用[EB/OL]. <http://www.instrument.com.cn/news/20120407/076498.shtml>, 2012-04-07.  
Instrument Information Network. Biosensor applications of biological detection in food pathogens [EB/OL]. <http://www.instrument.com.cn/news/20120407/076498.shtml>, 2012-04-07.
- [35] Cady, Brown DJ. Detection of bacterial growth and antibiotic sensitivity

- by monitoring changes in electrical impedance [J]. *Inter Res Comm*, 1973, 1: 37.
- [36] 胡珂文, 王剑平, 盖玲, 等. 电化学方法在微生物快速检测中的应用[J]. *食品科学*, 2007, 28(12): 526-530.  
Hu KW, Wang JP, Gai L, *et al.* Electrochemical methods for detection of microbial population [J]. *Food Sci*, 2007, 28(12): 526-530.
- [37] 王洪志, 庞小峰, 王爱华. 电阻抗法细菌药物敏感快速检测装置的研制[J]. *中国医疗器械杂志*, 2010, 34(5): 326-329.  
Wang HZ, Pang XF, Wang AH. Rapid detection device of bacteria drug-sensitivity using electrical impedance method [J]. *Chin J Med Inst*, 2010, 34(5): 326-329.
- [38] 李敏, 张琴, 马嫻, 等. 阻抗法在食品微生物快速检测中的应用[J]. *中国食物与营养*, 2014, 20(7): 34-38.  
Li M, Zhang Q, Ma Q, *et al.* Application of Impedance in rapid detection of food microorganisms [J]. *Food Nutr China*, 2014, 20(7): 34-38.
- [39] 张爱萍, 孟瑞峰, 侯式娟, 等. 阻抗法快速分析牛奶中的菌落总数[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(2): 158-164.  
Zhang AP, Meng RF, Hou SJ, *et al.* Rapid detection of total bacteria count in milk by the impedance method [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2012, 12(2): 158-164.
- [40] 陈巧燕. 阻抗法快速检测巴氏杀菌乳中菌落总数的研究[J]. *中国酿造*, 2012, 31(8): 89-91.  
Chen QY. Rapid detection of bacterial count in pasteurized milk with impedance method [J]. *China Brewing*, 2012, 12(2): 158-164.
- [41] Liu B, Zhou P, Liu X, *et al.* Detection of pesticides in fruits by surface-enhanced Raman spectroscopy coupled with gold nanostructures [J]. *Food Biopro Technol*, 2013, 6(3): 710-718.
- [42] He L, Kim NJ, Li H, *et al.* Use of a fractal-like gold nanostructure in surface-enhanced Raman spectroscopy for detection of selected food contaminants [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(21): 9843-9847.
- [43] Mecker LC, Tyner KM, Kauffman JF, *et al.* Selective melamine detection in multiple sample matrices with a portable Raman instrument using surface enhanced Raman spectroscopy active gold [J]. *Anal Chim Acta*, 2012, 733(6): 48-55.
- [44] 刘峰, 邹明强, 张孝芳, 等. 便携式三聚氰胺快速检测仪的研制与应用[J]. *分析化学*, 2011, 39(10): 1531-1536.  
Liu F, Zou MQ, Zhang XF, *et al.* Development of portable Raman spectrometer and its application for determination of melamine [J]. *Chin J Anal Chem*, 2011, 39(10): 1531-1536.
- [45] 王纪华, 韩平, 陆安祥, 等. 重金属快速测定方法与仪器研发应用[J]. *农产品质量与安全*, 2012, (1): 50.  
Wang JH, Han P, Lu AX, *et al.* Rapid determination of heavy metals and equipment research and applications [J]. *Agric Qual Standards*, 2012, (1): 50.
- [46] 栾云霞, 韩平, 陆安祥, 等. 果蔬类污染物三合一便携式检测仪的应用[J]. *农业机械学报*, 2009, 40: 146-149.  
Luan YX, Han P, Lu AX, *et al.* Detection of contamination in fruits and vegetables with a portable rapid detector [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2009, 40: 146-149.
- [47] 仪器展. 便携式食品重金属快速分析仪[EB/OL]. <http://www.instrument.com.cn/netshow/C161806.htm>.  
Instrument Exhibition. Portable fast analyzer in food heavy metal[EB/OL]. <http://www.instrument.com.cn/netshow/C161806.htm>.
- [48] 李铁虎. 电化学法可快速准确检测三聚氰胺[J]. *材料保护*, 2012, 45(7): 28.  
Li TH. Electrochemical method can detect melamine quickly and accurately [J]. *J Materials Prot*, 2012, 45(7): 28.
- [49] 仪器信息网. 聚焦分子光谱现场快速检测技术——BCEIA 2013光谱仪器评议[EB/OL]. <http://www.instrument.com.cn/news/20131104/116412.shtml>, 2013-11-04.
- [50] 乔佳, 吴曼曼, 谭国斌, 等. 在线式快速气相色谱飞行时间质谱联用仪的研制[J]. *现代科学仪器*, 2014, 10(5): 28.  
Qiao J, Wu MM, Tan GB, *et al.* Development of on-line fast gas chromatograph/ time-of-flight mass spectrometer [J]. *Mod Sci Ins*, 2014, 10(5): 28.
- [51] 杜美红, 孙永军. 低分辨核磁共振技术在食品安全分析检测中的应用[J]. *食品工业科技*, 2013, 21: 374-376.  
Du MH, Sun YJ. Application of low - field nuclear magnetic resonance technique in food safety analysis and detection [J]. *Sci Tech Food Ind*, 2013, 21: 374-376.
- [52] 冯云霞, 褚小立, 许育鹏, 等. 在线核磁共振过程分析技术及其应用[J]. *现代科学仪器*, 2013, 12(6): 5-15.  
Feng YX, Chu XL, Xu YP, *et al.* Process nuclear magnetic resonance technology and its applications [J]. *Mod Sci Inst*, 2013, 12(6): 5-15.
- [53] 王嘉滨. 浅谈移动实验室[J]. *现代测量与实验室管理*, 2013, (1): 56-57.  
Wang JB. Introduction to mobile laboratory [J]. *Adv Meas Lab Manage*, 2013, (1): 56-57.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



马向南, 硕士研究生, 助理研究员, 主要研究方向为公共安全、食品安全与快速检测。

E-mail: xiangnan811029@sina.com



杜美红, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品安全与快速检测。

E-mail: dumeihong@hotmail.com