

文章编号: 1674-7054(2016)03-0395-07

食品中重要有害物残留快速检测技术的研究进展

姚闰娜¹ 杨旭¹ 孙远明² 雷洪涛² 陈清爱¹ 庞杰¹

(1. 福建农林大学 食品科学学院, 福州 350002; 2. 华南农业大学 食品学院/广东省食品质量安全重点实验室/农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估重点实验室, 广州 510640)

摘要: 对酶抑制技术、免疫技术、化学发光免疫分析法、时间分辨荧光分析法、荧光偏振分析法快速检测技术和样品前处理新方法在食品中主要有害残留快速检测的研究、应用情况和在食品安全控制上的发展趋势进行了综述, 并对其发展前景进行了展望。

关键词: 有害残留; 快速检测; 前处理新方法; 研究应用

中图分类号: O 658

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2016.03.021

近年来, 随着农药、化肥在食品原材料制造中的滥用、工业生产中的有害污染物排放对环境的影响巨大、食品添加剂及很多非法添加物在食品生产加工过程中的广泛应用, 食品污染日益严重, 极大地影响了人们的健康, 人们愈来愈关心食用含有害残留的食品带来的安全问题。高效、简洁的快速食品有害残留物检测技术对食品安全极其重要。在我国, 重大的食品安全问题主要存在于病原体、重金属和硝酸盐污染以及农药残留和食品掺假这几方面^[1]。常规食品中的有害残留的检测方法有微生物学方法、光谱法、色谱法、色谱-质谱联用等^[2]。这些方法特异性强、灵敏度高, 但往往需要繁琐的前处理和昂贵的仪器, 费用高, 耗时长, 不适合现场进行快速检测^[3]。因此, 很多快速检测技术顺势产生, 使用频率较高的快速检测方法主要是酶抑制技术、生化检测技术、免疫技术、ATP生物发光等^[4]。传统的前处理方法有固相萃取、固相微萃取、超临界萃取、分子印迹技术、凝胶渗透色谱^[5]等, 这些方法存在自动化程度低、提取净化的效率低、成本高、劳动强度大、试剂消耗大、环境污染严重等问题^[6-7]。提升现有快速检测技术(酶抑制技术、免疫技术; 开发新型快速检测方法: 化学发光免疫分析法^[10]、时间分辨荧光分析法^[11]、荧光偏振分析法^[8-13]) 在食品快速检测发展中显得十分重要。笔者对我国现有的食品快速检测技术、开发新的快速检测技术和样品前处理方法在食品安全控制上的研究应用现状和发展趋势进行了综述, 为相关部门提供参考。

1 优化现有快速检测技术

1.1 酶抑制技术 酶抑制技术(EI)机理: 有机磷和氨基甲酸酯能够方向性地遏制动物体内的乙酰胆碱酶的活性, 于乙酰胆碱酶和其底物共存的情况下, 加入适量待测农产品样品提取液以及指示剂, 由乙酰胆碱酶活性能否受到抑制, 指示剂显色情况, 从而推断样品中是否含有有机磷以及氨基甲酸酯类农药^[14]。按照此原理, 国内外已经研发出很多方法, 比如速测卡法、比色法、电化学等^[15]。李艳莉^[16]使用酶抑制原理制造的 CL-B III 残留农药测定仪快速检测果菜、花菜、食用菌类 3 类蔬菜中有机磷和氨基甲酸酯类农药残留; 罗辉泰^[17]采用电喷雾质谱, 通过测定乙酰胆碱酯酶的抑制率, 建立了蔬菜中氨基甲酸酯类农药残留

收稿日期: 2016-03-10

基金项目: 福建省科技计划重点项目(2012Y0003)

作者简介: 姚闰娜(1977-), 女, 副教授, 研究方向: 食品工程. E-mail: girl2-9@163.com

通信作者: 庞杰(1965-), 男, 教授, 研究方向: 天然大分子物质结构与活性. E-mail: pang3721941@163.com

的快速筛查方法;朱秋兵等^[18]将酶抑制法应用于果蔬中农残检测并综述前处理和操作过程的注意事项;Rami Akkad^[19]建立高效薄层色谱法和多酶抑制法联用检测果汁和水样中的有机磷杀虫剂残留,对苹果汁和饮用水的样品掺入氧磷($0.001 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、硫磷($0.005 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、毒死蜱($0.500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)平均回收率为71%~112%标准偏差为2.0%~18.3%;谢俊平^[20]介绍了与脲酶、葡萄糖氧化酶、蛋白酶和磷酸酯酶等检测用酶相结合的酶传感器、试纸条、量热计、比色法等重金属快速检测新技术。

酶抑制技术在食品检测中已有初步应用,酶抑制技术检测食品中的农药残留时,仅仅对有机磷以及氨基甲酸酯类农药检测,可能会产生假阴性,同时,不能得到确切的定量结果^[21]。在传统酶抑制技术的基础上,优化此方法:采用冷冻离心法提取,亲和柱层析纯化,PAGE电泳鉴定纯度,酶终点法测定比活力,对比筛选出更为高效稳定的胆碱酯酶酶源;测定底物特异性、反应动力曲线、最适温度和pH、对农药抑制灵敏度等;底物和显色剂溶解性、稳定性的比较,显色比例的确定。

1.2 免疫吸附技术

1.2.1 酶联免疫吸附技术 酶联免疫吸附技术(ELISA)是一种把抗原抗体发生反应所需要的高度特异性以及酶的高效催化特性相互融合而产生的免疫分析方法^[22-23]。主要因为其抗原、抗体能被吸附到固相载体的表面与此同时维持免疫活性,抗原、抗体和酶产生的酶结合物依然具有免疫活性以及酶催化活性。如今ELISA分类方法很多,重要的技术类型为:夹心法、直接法、捕获法、间接法^[24]。酶联免疫吸附技术中抗体制备比较困难,不能肯定试样中准确度、定量,有一定的盲目性,易出现假阴、假阳性现象^[25]。陈爱华^[26]运用酶联免疫吸附技术检测食品中微生物残留;何方洋^[27]用于检测动物性食品中药物残留;林壮森^[28]研究了酶联吸附技术检测食品中的细菌毒素、真菌毒素、植物毒素残留;Panda Rakhi^[29]建立酶联免疫吸附技术检测食品中荞麦残留;张国龙^[30]还将此方法用于检测抗营养素因子如大豆及其制品中的胰蛋白酶抑制因子。

1.2.2 胶体金免疫 免疫胶体金技术(GICT)是用胶体金当作示踪标志物使用在抗原抗体中的新式免疫识别技术^[31]。胶体金主要是氯金酸在还原剂的强烈作用下,聚合之后变成特定尺码的金颗粒,而且因为静电作用产生的一种稳固的胶体结构^[32]。弱碱环境条件下,胶体金呈现负电荷,能够和蛋白质分子所带的正电荷基团坚实地融合在一起。根据胶体金的一些物理性状,结合物所产生的免疫以及生物学特质,从而让GICT普遍在免疫学、细胞生物学、病理学等领域使用,但是几乎没有在食品安全领域中的应用^[33-34],所以,GICT在食品安全检测领域仍然有深入研究的空间。张燕^[35]建立优化渗滤式和侧流式两种金标记免疫竞争快速筛选方法:通过改善样品前处理方法,消除了基质影响,成功用于猪肉、鸡肉和鳕鱼样品中痕量氯霉素残留的快速检测;CHEN Yiqiang^[36]使用单克隆抗体,胶体金吸附快速检测猪肉组织中的卡拉霉素和妥布霉素,酶联免疫吸附定量;LEI Wang^[37]进行胶体金吸附和酶联免疫吸附交叉试验,这2种方法获得良好的相关性,可以快速测试动物源食品中14种磺酰胺残留。

优化之后的免疫吸附技术,最终将会各方面深化免疫吸附技术于食品安全检测,主要从以下几个方面着手:优化抗原或抗体的包被方法(包被抗原选择、包被浓度、包被温度、时间、缓冲液等),提高包被效率;优化封闭方法(封闭液、封闭条件等),降低非特异性吸附;优化胶体金试纸抗原抗体在硝酸纤维素膜上的固定方法(包被液、膜材选择、包被条件等)。研究反应体系中离子浓度、pH变化、无关蛋白、微生物等对免疫反应的近期和远期影响,确立反应缓冲体系的组成与配方,提高试剂盒及试纸的灵敏度、抗干扰能力、保存期等。

2 开发新型快速检测方法

2.1 化学发光免疫分析法 化学发光免疫分析法(CLIA)主要是把化学发光以及免疫反应相互融合,由于化学发光能够有荧光,与此同时不用激发光,从而避免荧光分析中激发光所产生的杂散影响^[38]。首先筛选出不同化学发光物质(吖啶酯类、鲁米诺类)用作标记物,标记、色谱柱纯化;然后针对不同检测对象,研究确定免疫反应模式、检测反应条件(时间、温度、标记物工作浓度等)、工作液(包被液、封闭液、缓冲液、增强液、洗涤液)的配方及使用条件等;最后从确定灵敏度(IC_{50} 、检测限)、准确性、回收率等方面来确

定方法。

由于 CLIA 特异性强、稳定、灵敏度好、检测范围广、操作简单、不会产生放射性污染、比较容易实现自动化等特性^[39], 已普遍使用于食品中快速检测: 郑国金^[40] 创立使用化学发光免疫分析法检测玉米中黄曲霉毒素 B₁ 含量, 标准曲线线性范围为 0.05 ~ 5.00 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 检测限为 0.02 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 标准偏差小于 9%; YUAN Kaiwang 等^[41] 通过同位素标记进行信号放大, 建立新型化学发光免疫分析法检测玉米中玉米赤霉烯酮, 检出限为 0.008 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 线性范围为 0.002 ~ 0.510 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 标准偏差 < 10%; FEI Yu^[42] 建立了化学发光免疫分析法快速检测食品中恩诺沙星残留, 线性范围为 0.35 ~ 1.0 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 检出限为 0.03 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 相对偏差为 9.4% ~ 13.0%, 在牛奶、鸡蛋、蜂蜜中的回收率为 92.4% ~ 105.0%; Minghui Yang^[10] 应用于葡萄球菌肠毒素检测以及 Xu C L^[43] 使用于转基因食品等的快速检测。CLIA 依照标记物的不同能够分成放射物、荧光、酶免疫以及超顺磁微粒标记分析^[44]。CLIA 方法作为一种高选择、高灵敏度检测方法, 为食品安全检测给与了一种痕量的免疫检测方法, 于食品有害残留检测领域获得广阔的应用前景。

2.2 时间分辨荧光分析法 时间分辨荧光分析法(TRFIA) 利用了具有独特荧光特质的镧系元素和它的螯合物当作示踪物, 以此来标识抗体、抗原、和多肽、核酸探针以及生物细胞等, 用来替换常用的荧光物质、酶、同位素等^[11]。运用时间分辨荧光免疫分析检测仪来测定反应体系中的荧光强度, 依照产物荧光强度以及相对荧光强度比值, 精确快速的测定反应体系中样品的浓度。首先从不同的镧系元素标记物(铕 Eu^{3+} 、钐 Sm^{3+} 、铈 Ce^{3+} 等) 中试验筛选标记物; 从 N-(P-异硫氰基苄基)-DDTA、氨基苄基-EDTA、氨基苄基-四氮杂环十二烷四乙酸等螯合剂中, 试验筛选标记率高、产物稳定、亲和性强、方法简单、价格便宜的螯合剂; 然后通过调整反应物投料比与反应条件, 控制标记比率, 对抗体或抗原进行高效标记, 凝胶柱层析纯化标记物, 综合波谱分析鉴定来改进标记方法; 由 β -二酮体、三辛基氧化膦、TritonX-100、醋酸和邻苯二甲酸氢钾配制荧光增强液, 优化确定配方; 优化反应模式与条件的选择: 反应体系理化因素、反应时间等因素的筛选; 最后从确定灵敏度(IC_{50} , 检测限)、准确性、回收率等方面来确定方法。

TRFIA 是一种灵敏度高、特异性强、简洁的超微量测定方法, 如今已普遍使用于临床医学方面, 同时也在食品安全方面崭露头角。徐重新等^[45] 建立间接竞争时间分辨荧光免疫分析方法, 用于稻米中 Cry1C 毒素的残留检测, 其灵敏度为 0.074 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 中抑制浓度为 60.16 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 线性检测范围为 0.96 ~ 1633.60 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 回收率为 84.53% ~ 107.12%; 王超等^[46] 建立时间分辨荧光分析法检测食品中莱克多巴胺, 分析灵敏度为 0.01 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 回收率为 91.6% ~ 110.0%, 相对标准偏差为 2.38% ~ 3.90%; Francesco Secundo 等^[47] 研究时间分辨荧光分析法检测牛奶中己烯雌酚, 使用特定的多克隆抗体进行检测, 牛奶中己烯雌酚回收率为 96% ~ 104.2%。此方法可直接适用于原料乳样品中。随着检测设备的普遍使用以及各种检测试剂盒的持续研发, TRFIA 最终会在食品安全领域施展其更大的作用。

2.3 荧光偏振分析 荧光偏振分析(FPIA) 与另外对准小分子免疫分析方法类似, 均是竞争性类型的免疫分析方法, FPIA 是利用检测荧光标记抗原以及特异性抗体通过竞争性结合前后, FP 值所产生的变化, 来定量计算小分子待测物的含量^[48]。FPIA 反应系统全部在溶液中, 不用分离结合以及未结合的抗体。实验过程十分简洁, 只是将抗体、Tracer 和抗原掺进于反应杯, 通过短时间的反应就可以直接衡量, 快速获得样品的浓度。将异硫氰酸荧光素等有机荧光物质通过活泼酯法等标记半抗原, 获得荧光示踪物, 薄层色谱纯化, 质谱与核磁共振波谱鉴定; 优化反应模式与条件的选择: 反应体系理化因素、反应时间等因素的筛选; 最后从确定灵敏度(IC_{50} , 检测限)、准确性、回收率等方面来确定方法。

荧光偏振免疫分析集 ELISA 以及胶体金试纸条的优点于一身, 具备高通量、迅速、操作方便、检测成本低以及能够定量等特性, 尤其是使得大量样本的快速筛选更加便利^[49]。FPIA 最大的优势在于实验时间只受加样时间的影响。首次用该方法检测动物源食品中的有害残留是 Eremin 等^[50] 创立了荧光偏振免疫分析方法检测猪肉中磺胺二甲嘧啶的残留。FPIA 技术在中国的研究起步较晚, 目前 WANG Zhanhui^[51] 已建立了 FPIA 检测动物源食品中盐霉素, 使用单克隆抗体, 荧光标记示踪, 薄层色谱纯化, 检出限为 0.08

$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,与其他药物没有显著交叉反应; Linlin Ren 等^[52]建立多克隆抗体荧光偏振免疫法检测食品中苯甲酸钠,检出限为 $0.26 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,能量饮料、糖果、棒冰、鸡尾酒中苯甲酸钠回收率分别为 $96.7\% \sim 106.6\%$, $95.8\% \sim 100.8\%$, $86.9\% \sim 102.7\%$, $103.5\% \sim 109.7\%$; Sánchez Martínez 等^[53]建立了 FPIA 检测阿米卡星,检出限为 $0.1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,标准偏差 $<5\%$; ZHAN huiwang 等^[54]开发和优化了荧光偏振免疫检测食品中马杜霉素残留方法,检出限为 $0.002 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,鸡肉组织、猪肉、鸡蛋中马杜霉素回收率为 $82\% \sim 130\%$ 。考虑到 FPIA 具有高通量、高速度和低成本等特点,反应全部在均相溶液系统内进行,方便自动化,具有重要的商业研发价值。在不久的将来 FPIA 可能会成为食品快速检测的主要技术之一。

3 样品前处理新方法

3.1 免疫亲和层析 免疫亲和层析(IAC)是运用生物体所固有的抗原和抗体之间特殊的亲和力进一步分离的方法^[55]。一般来说抗原、抗体间亲和力可能会比较强,洗脱可能会很困难,一般需要用较强的洗脱条件。比如可采取一些方法改变抗原以及抗体种类或者运用类似物等以致可以降低二者亲和力,来方便洗脱。免疫亲和层析步骤一般为,固定相介质预处理、与抗体溶液偶联、混合凝胶、老化、装柱、洗涤,制备出目标化合物的免疫亲和柱,优化 IAC 柱的制备条件。应用于目标有害物的分离提取,王勇^[56]创立了免疫亲和层析清除荧光光度法检测鸡饲料中黄曲霉毒素含量。此方法的检出限为 $2.0 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准偏差小于 10% ,平均回收率 $85\% \sim 90\%$;潘迎芬^[57]建立一种花生的前处理方法,通过高效液相色谱法检测黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂ 和赭曲霉毒素 A ,花生中黄曲霉毒素 G₁、B₁ 和赭曲霉毒素 A 的检出限均为 $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,黄曲霉毒素 B₂、G₂ 的检出限均为 $0.175 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。研究优化平衡、上样和洗脱条件,并从柱容量、回收率等方面测试其最佳性能。

3.2 离子液体 离子液体(IL)是室温附近温度下呈液态的由离子构成的物质。在离子化合物之间的作用力和它们熔点呈正相关^[58]。对于一些离子化合物的体积较大,结构不紧凑,以至于相互作用力较低,从而熔点接近室温。离子液体替换传统的有机试剂存在蒸汽压较低、不易燃、稳定等特质,从而避免挥发引起的环境污染问题^[59-60]。国内外已经将离子液体和检测方法联用于食品检测中:张琰等^[61]对离子液体特质、离子液体以及分散液液微萃取形式做了详细介绍,叙述了离子液体在食品有害残留检测中的最新使用进展; Mustafa Tuzen 等^[62]建立超声波辅助离子液体微萃取,石墨炉原子吸收光谱法检测食品中无机硒残留,检出限为 $12 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,标准偏差 $<4.2\%$; Ou Sha 等^[63]用双水相系统的离子液体和高效液相色谱检测五大食品合成色素(柠檬黄、日落黄、苋菜红、胭脂红、亮蓝),提取率为 95% 以上,检出限为 $0.051 \sim 0.074 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; Hai Bao Zhu 等^[64]使用离子液体从食品中提取 3 种香料(香兰素、乙基香兰素、乙基麦芽酚),标准偏差为 $1.9\% \sim 6.3\%$,样品回收率为 $79.8\% \sim 95.8\%$ 。

4 前景与展望

对食品中的有害物质残留分析涉及到多种学科,需要分析的对象很复杂,且关系着食品安全与大众的身体健康以及食品进出口的限制^[65],因此,发展食品中有害残留的快速检测技术迫在眉睫。

酶抑制法、酶联免疫法以及胶体金免疫法等一些快速检测技术于食品安全方面上,虽然有使用情况,但尚处于研究完善阶段。化学发光免疫分析法、时间分辨荧光分析法、荧光偏振分析法等检测技术在食品安全方面使用不多,可以深度推行使用。于原有的快速检测技术上提升与完善酶抑制法、酶联免疫法、金标免疫法三大技术体系,达到国际领先水平:降低检出限,减少检测时间,提高准确率,延长产品保存期;制备出高亲和力、高特异性的优质抗体;新建化学发光免疫分析法、时间分辨荧光分析法、荧光偏振分析法三大技术体系,达到国际先进水平:试剂盒于室温下反应一步完成,减少反应时间,检测限达到国家规定的检测要求,延长产品保存期。研究越来越深入,快速检测技术已经获得海内外的广泛关注,检测手段以及方法朝着多元性、迅速、检测灵敏、检测范围广以及简洁、高通量的方向发展,在食品中有害残留的检测中的应用将越来越广泛,对食品质量安全控制将发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] 郜海燕,于震宇,陈杭君,等. 果蔬农产品的食品安全问题[J]. 农产品加工, 2005(4): 17-19.
- [2] Nagatani N, Takeuchi A, Hossain M A, et al. Rapid and sensitive visual detection of residual pesticides in food using acetylcholinesterase-based disposable membrane chips [J]. Food Control, 2007(18): 914-920.
- [3] 张艳敏,李志军. 食品安全快速检测技术研究进展[J]. 粮油加工, 2009(8): 120-122.
- [4] 杨武英,孙远明,周杨,等. 快速检测技术在果蔬食品安全控制上的研究应用进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(1): 147-149.
- [5] 杨念东. 食品中有害物质残留分析检测技术进展[J]. 中国化工贸易, 2013(10): 270.
- [6] 陈超敏,陈继道. 浅谈食品微生物检测技术的应用[J]. 科技与企业, 2012(6): 252-252.
- [7] 何方洋,万宇平,罗晓琴. 食品安全快速检测技术现状及应用[C]//北京食品学会,北京食品协会. 第三届国际食品安全高峰论坛论文集. 北京:北京食品学会, 2010: 15.
- [8] 沈玉栋,李瑞婷. 酶联免疫吸附分析实验在食品分析教学中的实施[J]. 科技创新导报, 2013(13): 149-149.
- [9] 张海军,王英,王庆钰. 大豆异黄酮检测方法研究概述[J]. 粮食与油脂, 2011(3): 39-42.
- [10] Yang Minghui, Yordan K, Bruck H A, et al. Carbon nanotubes with enhanced chemiluminescence immunoassay for CCD-based detection of Staphylococcal enterotoxin B in food [J]. Anal. Chem., 2008, 80(22): 8532-8537.
- [11] 金晶,赖卫华,涂祖新,等. 时间分辨荧光免疫分析技术的研究进展及在食品安全领域中的应用[J]. 食品科学, 2006(27): 886-889.
- [12] 王战辉,张素霞,沈建忠. 荧光偏振免疫分析在农药和兽药残留检测中的研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(11): 2299-2306.
- [13] Wang Zhanhui, ZHANG Suxia, Murtazina Nailya R., et al. Determination of the veterinary drug maduramicin in food by fluorescence polarisation immunoassay [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43, 114-122.
- [14] 杨静,王欢,谢伟强,等. 酶抑制法速测技术在农药残留检测中的应用[J]. 现代农业科技, 2015(17): 161-162.
- [15] 林春绵,胡晓燕,张安平. 酶抑制法快速检测有机磷农药残留的方法研究[J]. 浙江工业大学学报, 2009(37): 386-391.
- [16] 李艳莉. 蔬菜中有机磷与氨基甲酸酯类农药残留酶抑制法快速检测技术[J]. 现代农业科技, 2015(11): 148.
- [17] 罗辉泰,黄晓兰,吴惠勤,等. 基于酶抑制原理的电喷雾质谱法快速筛查蔬菜中氨基甲酸酯类农药残留[J]. 分析化学, 2014, 42(11): 1561-1567.
- [18] 朱秋兵,徐鑫,季爱芳,等. 酶抑制率法快速检测蔬菜水果中农药残留技术[J]. 现代农业科技, 2011(7): 164.
- [19] Rami A, Wolfgang S. Multi-enzyme inhibition assay for the detection of insecticidal organophosphates and carbamates by high-performance thin-layer chromatography applied to determine enzyme inhibition factors and residues in juice and water samples [J]. Journal of Chromatography B, 2009, 878(17): 1337-1345.
- [20] 谢俊平,卢新. 酶抑制法快速检测食品中重金属研究进展[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(8): 220-224.
- [21] 扶继军. 酶抑制率法农残速测技术及常见问题探究[J]. 农业与技术, 2014(34): 29-32.
- [22] 石超,吕长鑫,冯叙桥,等. 酶联免疫吸附技术在食品检测分析中的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014(10): 3269-3275.
- [23] 李玉珍,林家录,肖怀秋. 酶联免疫吸附技术及其在食品安全检测中的应用研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2006(3): 108-112.
- [24] 邱伟芬. 酶联免疫吸附分析及其在食品安全检测中的应用[J]. 粮食与饲料工业, 2004(3): 44-45.
- [25] WANG Lei, WANG Shuo, ZHANG Jiayi, et al. Enzyme-linked immunosorbent assay and colloidal gold immunoassay for sulphamethazine residues in edible animal foods: investigation of the effects of the analytical conditions and the sample matrix on assay performance [J]. Anal Bioanal Chem, 2008, 390: 1619-1627.
- [26] 陈爱华,杨坚. 酶联免疫吸附(ELISA)法在食品微生物检测中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2004(14): 110.
- [27] 何方洋,罗晓琴,李静. 酶联免疫技术在食品安全与药物残留中的应用[J]. 现代农业科技, 2009(15): 353-354.
- [28] 林壮森,张焜,赵肃清,等. 食品中生物毒素的ELISA分析方法研究进展[J]. 食品科学, 2009(3): 281-283.
- [29] Rakhi P, Taylor S L, Goodman R E. Development of a sandwich enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for detection of buckwheat residues in food [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(6): 110-116.
- [30] 张国龙,李德发. 大豆蛋白酶抑制因子酶联免疫吸附测定方法的研究[J]. 动物营养学报, 1997, 9(1): 12-20.
- [31] 王劲,胡奇林,程晓霞. 免疫胶体金技术及其在禽病诊断上的应用[J]. 畜牧兽医科技信息, 2006(9): 9-11.

- [32] Wang X H1 , Liu T , Xu N , et al. Enzyme-linked immunosorbent assay and colloidal gold immunoassay for ochratoxin A: investigation of analytical conditions and sample matrix on assay performance [J]. *Anal Bioanal Chem* , 2007 , 389 (3) : 903 – 911.
- [33] 刘爱玲 张少东 唐丽. 免疫胶体金技术的原理与应用技术 [J]. *浙江畜牧兽医* 2010 , 35 (3) : 14 – 15.
- [34] 林翀 苏应仙 林明冠 等. 胶体金法检测在判定耐甲氧西林金黄色葡萄球菌中的价值探讨 [J]. *中国医药导报* 2012 , 9 (13) : 96 – 97.
- [35] 张燕 王玮 刘俊伟 等. 免疫胶体金法快速检测动物源性食品中氯霉素残留的研究 [J]. *中国食品学报* 2009 , 9 (1) : 196 – 200.
- [36] Chen Yiqiang , WANG Zhiqin , WANG Zhanhui , et al. Rapid enzyme-linked immunosorbent assay and colloidal gold immunoassay for kanamycin and tobramycin in swine tissues [J] *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , 2008 , 56 (9) : 2944 – 2952.
- [37] Wang Lei , WANG Shuo , ZHANG Jiayi , et al. Enzyme-linked immunosorbent assay and colloidal gold immunoassay for sulphamethazine residues in edible animal foods: investigation of the effects of the analytical conditions and the sample matrix on assay performance [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* , 2008 , 390 (6) : 1619 – 1627.
- [38] 张燕 杨金易 曾道平 等. 化学发光免疫分析技术及其在食品安全检测中的研究进展 [J]. *食品安全质量检测学报* , 2013 (5) : 1421 – 1427.
- [39] Fan A , Cao Z J , Li H , et al. Chemiluminescence platforms in immunoassay and DNA analyses [J]. *Anal. Sci.* , 2009 , 25 (5) : 587 – 597.
- [40] 郑国金 陈惠 应希堂 等. 管式磁微粒化学发光免疫分析法测定玉米样品中的黄曲霉毒素 B₁ [J]. *中国科学: 化学* , 2011 (7) : 1177 – 1183.
- [41] Yuan Kaiwang , YA Xianyan , WEN Huiji , et al. Novel chemiluminescence immunoassay for the determination of zearalenone in food samples using gold nanoparticles labeled with Streptavidin-Horseradish Peroxidase [J]. *Agric. Food Chem* , 2013 , 61 , 4250 – 4256.
- [42] Yu Fei , YU Songcheng , YU Lanlan , et al. Determination of residual enrofloxacin in food samples by a sensitive method of chemiluminescence enzyme immunoassay [J]. *Food Chemistry* , 2014 , 149 (8) : 71 – 75.
- [43] Xu C L , Peng C F , Liu Y B. Chemiluminescence enzyme immunoassay (CLEIA) for the determination of chloramphenicol residues in aquatic tissues [J]. *Luminescence* , 2006 , 21 : 126 – 128.
- [44] 邱云青 李凤琴. 化学发光免疫分析技术在食品有害因素检测中的应用 [J]. *国外医学(卫生学分册)* , 2009 , 36 (6) : 373 – 374.
- [45] 徐重新 杨晶祎 陆梦晓 等. 时间分辨荧光免疫分析法对稻米中 Cry1C 毒素的检测研究 [J]. *南京农业大学学报* , 2014 , 37 (6) : 44 – 48.
- [46] 王超 李志雄 林冠峰 等. 时间分辨荧光免疫分析法测定莱克多巴胺 [J]. *中国食品卫生杂志* , 2011 , 23 (5) : 438 – 441.
- [47] Francesco S , Maria A. Bacigalupo , et al. Rapid time-resolved fluoroimmunoassay for diethylstilbestrol in cow milk samples with a highly luminescent Tb³⁺ chelate [J]. *Journal of Food Composition and Analysis* , 2012 , 25 (2) : 221 – 225.
- [48] 王战辉 米铁军 沈建忠. 荧光偏振免疫分析检测粮食及其制品中的真菌毒素研究进展 [J]. *中国农业科学* 2012 , 45 (23) : 4862 – 4872.
- [49] Smith D S , Eremin S A. Fluorescence polarization immunoassays and related methods for simple , high – throughput screening of small molecules [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* , 2008 , 391 (5) : 1499 – 1507.
- [50] Eremin S A , Landon J , Smith D S , et al. Development of a polarization fluoroimmunoassay for sulfamethazine using an automated analyser [J]. *Analyst* , 1994 , 119 (12) : 2723 – 2726.
- [51] Wang Z H , Cheng L L , Shi W M , et al. Fluorescence polarization immunoassay for salinomycin based on monoclonal antibodies [J]. *Science China Chemistry* , 2010 , 53 (3) : 553 – 555.
- [52] Ren L , Meng M , Wang P , et al. Determination of sodium benzoate in food products by fluorescence polarization immunoassay [J]. *Talanta* , 2014 , 121 : 136 – 143.
- [53] María Lourdes S M , María Paz A C , Agustina G H. Long-wavelength fluorescence polarization immunoassay: determination of amikacin on solid surface and gliadins in solution [J]. *Analytical Chemistry* , 2007 , 79 (19) : 7424 – 7430.
- [54] Wang Zhanhui , ZHANG Suxia , Murtazina N R. , et al. Determination of the veterinary drug maduramicin in food by fluores-

- cence polarisation immunoassay [J]. *International Journal of Food Science and Technology* 2008 ,43 ,114 – 122.
- [55] 温立斌, 何孔旺, 解建平, 等. 免疫亲和层析纯化类猪圆环病毒 P1 [J]. *华北农学报* 2013(S1): 397 – 399
- [56] 王勇, 陈定虎, 张宪臣, 等. 免疫亲和层析净化荧光光度法快速检测鸡饲料中黄曲霉毒素 [J]. *粮食与饲料工业* 2013 , 11(17): 62 – 64.
- [57] 潘迎芬, 郝育莉, 方成俊, 等. 免疫亲和层析净化 – 高效液相色谱法同时检测几种食品中黄曲霉毒素和赭曲霉毒素 A [J]. *福建分析测试* 2013 22(4): 12 – 17.
- [58] 郭京波, 吴昊, 王婕燕, 等. 离子液体自分散液 – 液微萃取测定食品中的柠檬黄与亮蓝 [J]. *分析测试学报* 2012 31 (12): 1499 – 1504.
- [59] 张琰, 张耀海, 焦必宁. 离子液体 – 分散液液微萃取在食品及环境污染物检测中的应用 [J]. *食品科学* 2014 30(7): 10.
- [60] 娜斯曼·吐尔逊, 努丽燕娜, 赵青松, 等. 咪唑类离子液体中镁的可逆沉积 – 溶出性能 [J]. *中国有色金属学报* 2012 (9): 2648 – 2655.
- [61] 张琰, 张耀海, 焦必宁. 离子液体 – 分散液液微萃取在食品及环境污染物检测中的应用 [J]. *食品科学* 2015 36(5): 250 – 259.
- [62] Tuzen M , Pekiner O Z. Ultrasound-assisted ionic liquid dispersive liquid-liquid microextraction combined with graphite furnace atomic absorption spectrometric for selenium speciation in foods and beverages [J]. *Food Chemistry* , 2015 , 188: 619 – 624.
- [63] Sha O , Zhu X , Feng Y , et al. Aqueous two-phase based on ionic liquid liquid-liquid microextraction for simultaneous determination of five synthetic food colourants in different food samples by high – performance liquid chromatography [J]. *Food Chemistry* , 2015 , 174: 380 – 386.
- [64] Zhu Haibao , FAN Yunchang , QIAN Yaling , et al. Determination of spices in food samples by ionic liquid aqueous solution extraction and ion chromatography [J]. *Chinese Chemical Letters* , 2013 25(3): 465 – 468.
- [65] 鲁满新. 现代检测技术在食品安全中的应用 [J]. *安徽农业科学* 2007 , 35(21): 6589 – 6590.

Advances in Development of Food Accurate Rapid Detection Technologies for Important Harmful Residues

YAO Minna¹ , YANG Xu¹ , SUN Yuanming² , LEI Hongtao² , CHEN Qing' ai¹ , PANG Jie¹

(1. College of Food Science , Fujian Agriculture and Forestry University , Fuzhou , Fujian 350002 , China; 2. Key Laboratory of Food Quality and Safety of Guangdong Province / Research Institute of Food Quality and Safety , South China Agricultural University , Guangzhou , Guangdong 510640 , China)

Abstract: The food safety issues of public concern have cropped up recently , and resulted in development of food safety rapid detection technologies for important harmful residues in food. These technologies included enzyme inhibition technology , immunology , chemiluminescence immunoassay , time-resolved fluorescence analysis , fluorescence polarization assay technique and new pretreatment methods. All these technologies and their application and development trend in food safety control were reviewed , and the prospects for development of the rapid detection technologies for the food safety control were discussed.

Keywords: harmful residues; rapid detection; new pretreatment method; research and application