

农药残留现场检测技术与应用探析

刘顺宇, 廖远东*, 钟秀君, 陆俊辉, 林双娣, 郭淑贞, 赖秀桃, 余其峰

(清远市清新区农产品质量安全监督检测中心, 清远 511800)

摘 要: 种养环节农药的不科学使用, 会造成食用农产品中农药残留存在安全隐患, 对人们的身体健康产生威胁。人们日常食用的蔬果中的农药残留问题已经引起了各界广泛关注, 农药残留检测技术发展十分迅速。农药残留现场检测是农药残留检测不可或缺的补充, 在基层一线应用广泛, 对农残检测发挥了积极作用。本研究简述了目前主流3大农药残留现场检测技术原理、优劣势, 并进行简要分析和讨论, 以期在实际选用和改良农药残留现场检测技术提供参考。

关键词: 农药残留; 现场检测; 应用探析

Analysis and application of field detection technology of pesticide residues

LIU Shun-Zi, LIAO Yuan-Dong*, ZHONG Xiu-Jun, LU Jun-Hui, LIN Shuang-Di,
GUO Shu-Zhen, LAI Xiu-Tao, YU Qi-Feng

(Agricultural Product Quality Safety Supervision and Testing Center of Qingxin District, Qingyuan 511800, China)

ABSTRACT: The unscientific use of pesticides in the breeding and breeding process will cause the hidden safety problems of pesticide residues in edible agricultural products, which will pose a threat to people's health. Pesticide residues in fruits and vegetables have attracted wide attention from all walks of life, and pesticide residue detection technology develops rapidly. Field detection of pesticide residues is an indispensable supplement to pesticide residues detection, which is widely used in the grass-roots level and plays a positive role in the detection of pesticide residues. This paper briefly described the principle, advantages and disadvantages of the 3 mainstream pesticide residues on-site detection technology, and analyzed and discussed these technologies, so as to provide references for the actual selection and improvement of the pesticide residues on-site detection technology.

KEY WORDS: pesticide residues; field detection; application analysis

1 引言

目前由于习惯、观念、认知能力及利益驱动等原因, 种植环节农药的精准化使用推广依然存在较大的困难^[1]。在种植环节、流通环节或餐饮环节进行农药残留检测, 是当前监控食用农产品农药残留最重要的途径和手段。农药残留检测可分为实验室检测和现场检测2大类别^[2]。农药残留现场检测技术主要是指利用检测场所方便应用的方法对种植农产品开展快速定性及半定量的检测^[3]。农药残留

现场检测技术与成熟的色谱、质谱等技术相比具有更加简便、快速、便捷、便宜等特点, 在农产品生产种植产地、农贸市场、农产品超市、学校、酒店等场所以及农产品安全事故应急处置中广泛应用^[4,5]。目前种植农产品中农药残留信息披露以政府为主, 面对散、小、多、乱的农产品生产经营主体, 优质优价的市场竞争机制并未完全形成, 政府部门农药残留监测任务十分繁重^[6]。虽然农药残留现场检测技术也有自身的劣势, 其检测结果仅仅供评价样品安全性做参考, 但其作为快筛快检、及时发现问题和锁定目

*通讯作者: 廖远东, 助理工程师, 主要研究方向为食品添加剂研究及食用农产品检测。E-mail: 1797962973@qq.com

*Corresponding author: LIAO Yuan-Dong, Assistant Engineer, Agricultural Product Quality Safety Supervision and Testing Center of Qingxin District, Qingyuan, No.12, Chaoyang Road, Qingxin District, Qingyuan 511800, China. E-mail: 1797962973@qq.com

标具有不可替代的地位^[7]。本研究对目前主流3大农药残留现场检测技术原理、优劣势,并进行简要分析和讨论,以期在实际选用和改良农药残留现场检测技术提供参考。

2 农药残留现场常见检测技术

2.1 酶抑制法现场检测农药残留

2.1.1 酶抑制法的检测原理

酶抑制法是根据有机磷类农药与氨基甲酸酯类农药2大类的毒性开发的一种农药残留速测方法^[8,9]。通过乙酰胆碱酯酶与果蔬样品提取液反应后进行判断,如果果蔬样品提取液中农药残留量较高,将抑制乙酰胆碱酯酶的活性,反之将不会抑制,酶活性被抑制的程度与样品提取液中农药残留的浓度成正相关^[10]。

2.1.2 酶抑制法现场检测农药残留的优势

1) 速测卡法

乙酰胆碱酯酶与靛酚乙酸酯分别固化后加载在滤纸条上,形成一张可以沿中央线对折的小卡片^[11]。20片(次)装包装只有火柴盒大小,且含有洗脱液,携带非常方便,操作简单,耗时短,无需配制试剂,无需专业培训,无场地要求和贵重仪器设备,根据卡片颜色即可判定农药残留情况^[12]。为了提供酶反应最佳活性的温度,不少厂家已配制农药残留速测速测箱,箱内附带了检测所需用具、器皿和恒温计时装置等,使用更加简便,检测更加准确^[13]。宜用于最简单的叶菜类初步检测。欧美等国家也开发出了农残速测卡,由于农业集中化和规模化程度高,使用较常见^[14]。

2) 比色法

碘化硫代乙酰胆碱在酶的催化作用下生成的碘化硫代胆碱与5,5-二硫代-2,2-二硝基苯甲酸反应,生成黄色的5-巯基-2-硝基苯甲酸,通过测定5-巯基-2-硝基苯甲酸在一定时间内吸光值的变化程度,通过回归方程计算农药残留量^[15]。比色法样品的前处理操作简单、测试速度较快、无需贵重仪器设备、简单培训即可上岗、检测结果实现自动打印,打印出的纸质检测报告较易保存,同时仪器也可以存储大量检测数据,还可进行数据共享和上传,并可自行判断检测结果^[16]。大部分厂家已配制农药残留速测速主机箱和配件箱,附件箱内附带了检测所需用具、器皿等,携带轻巧方便,既可使用干电池或充电电池,还可外接电源。有的仪器还增加了二极管光源,有利于仪器稳定性,减少了仪器预热步骤^[17]。广泛应用于叶菜、瓜类、水果等种类中农药残留检测^[18]。一般仪器均设计了多个样品检测槽,可一次性检测几个或几十个样品,检测普比较广,适合多残留检测,上机后可实现检测自动化,使用最为广泛。

3) 传感器法

通过有机磷类或氨基甲酸酯类农药生物传感器与智能电子接口联用,识别作用产生的信号与浓度存在定量关

系,从而实现现场快速检测有机磷类或氨基甲酸酯类农药残留情况^[19]。具有便携、轻巧、自动化程度高、价格低廉、灵敏度高和选择性好等优势^[20]。前处理很简单,或无需前处理,不用或很少用其他试剂,仪器体积小,用4节7号电池即可提供电源,工作电流只需要7 mA,而且可以实现在线检测。需要样品量比较少,可以反复使用,无需试剂耗材,成本较低,容易推广使用^[21]。宜用于特定的叶菜和瓜果类等种类农药残留现场快速筛查检测^[22]。

2.1.3 酶抑制法现场检测农药残留存在的问题

酶抑制法只适用于蔬果中有机磷类和氨基甲酸酯类两大类农药的残留量检测^[23]。由于使用的酶结构复杂和多样,且具有生物活性,长时间保存需提供低温环境。同时,如果检测环境温度过低,或将影响酶的活性,从而影响检测结果的准确性。不同批次均存在一定差异性,同一批次对不同农药种类的农药也存在差别^[24]。有些种植农产品样品中含有植物次生物质等干扰物质,检测结果容易出现假阴性或假阳性的现象,可能会造成检测现场对农产品样品的误判的情况^[25]。对于有机磷类和氨基甲酸酯类之外的农药无法检测,存在检测盲区^[26]。另外其检测限、精确度、重复性均需进一步提升。农药残留仪器厂家众多,目前没有仪器生产标准,仪器质量良莠不齐,试剂与仪器匹配度需要验证,也有待提高。生物传感器在实际检测过程中不是特别受欢迎,主要是其稳定性与精确度不高,且电极需要再生,提高了使用成本^[27]。

2.2 酶联免疫法现场检测农药残留

2.2.1 检测原理

酶联免疫法是根据蛋白抗原和抗体或小分子半抗原和抗体相互之间的特异性反应^[28]。利用抗体作为检测器对农药等化合物实行定性或定量检测的检测技术^[29]。

2.2.2 酶联免疫法现场检测的优势

现以胶体金免疫层析快检试纸条在现场农药残留现场检测中较为常见^[30]。通过在检测微孔中固定冻干金标抗体,在硝酸纤维素膜的测试线与对照线之处分别包被农药抗原与二抗^[31],通过对比测试线与对照线之间的颜色深浅即可以判定样品是否超过农药残留检出限^[32]。酶联免疫法准确度高、特异性高、检测限低(可达ng/g级)、简单方便、检测时间短、大大简化了前处理程序,不容易受农产品样品基质和次生物质代谢物的影响,也可以现场大批量地处理农产品样品^[33]。宜用于蔬菜和水果中特定农药残留的检测^[34]。无需专业技术人员和专业培训,有的有肉眼直接可以观察结果,也有需要用仪器进行检测,仪器较便宜,且可以保存大量检测数据,并具有进行共享和上传功能。

2.2.3 酶联免疫法现场检测存在的问题

农产品种植环节由于大部分品种均长期多次使用农药,且农药混配使用较为常见,所以农产品中多残留是一种常态^[35]。由于酶联免疫法主要针对单一农药进行检测,

即使建立了许多常见农药抗体,但仍只占农药种类的一小部分,如果逐项进行检测,检测费用比较高、检测时间较长、检测劳动量较大,且由于检测指标有限而容易出现假阴性^[36]。因此开发农药多残留免疫法将是研发热点和趋势^[37]。

2.3 拉曼光谱法现场检测农药残留

2.3.1 检测原理

拉曼光谱法的原理是通过分子的振动谱来识别农药分子,由于农药分子结构不同而产生的振动谱也不同的来识别样品中的农药残留情况^[38]。

2.3.2 拉曼光谱法现场检测的优势

拉曼光谱仪是因为方便和快速,越来越受现场检测人员青睐。它采用光子进行检测,免去了复杂的样品前处理,且少量样品即可以检测。拉曼光谱法是在自然与活性情况下研究分子结构及其变化,可以在线进行分析,且不会对被检样品造成损害和破坏^[39]。拉曼光谱检测法可以在接近自然状态、活性状态下来研究生物大分子结构及其变化,检测时间比较短,简单的前处理与检测过程大多 15 min 内完成,检测限在 10 $\mu\text{g/g}$ 左右^[40]。宜对蔬菜和水果进行特定农药的检测。

2.3.3 拉曼光谱法现场检测存在的问题

开发拉曼光谱法首先需要建立常见农药拉曼光谱图数据库,且可能用到色谱等仪器建模建立数学关系,需避免农产品种农药残留的损失。另外还需进行测试验证和对目标含量进行微区监测,才能实现现场快速检测。所以前期的投入巨大,需要配制电脑等配件,需要使用专业的软件,也需要进行专业培训,仪器价格比较昂贵^[41]。由于农药种类过多,容易出现检测盲区,容易出现假阴性。由于现场有太阳光等光源,荧光等可能对检测结果造成影响^[42]。

3 农药残留现场检测技术选择原则

现场农药残留检测技术是最接近民众生活的检测技术之一,也是最符合民众心理需求和期待的检测方式之一,还是民众参与农产品质量管理有效途径之一^[43]。有效选用农药残留现场检测技术主要遵循通过检测目标确定检测方法,根据检测方法确定检测仪器设备^[44]。具体体现在根据样品的特性、现场的环境、检测的指标选定检测方法,然后再考虑仪器的灵敏性和精准度、检测速度、检测复杂程度等,同时兼顾仪器费用、使用寿命、检测试剂和耗材费用和维护服务等,选用性价比高、操作便捷、检测准确、满足检测目标需求的仪器和方法。如蔬菜基地和农贸市场农药残留现场检测可优先选用检测车上的酶抑制法,其次可以选择速测卡和拉曼光谱法。如果对有农药残留使用生产记录的基地,可根据登记使用的农药种类,选用针对性

的酶联免疫法。如果对于检测样品比较少或不适宜破坏的样本,适宜选用拉曼光谱法。

4 结论与展望

《中华人民共和国食品安全法》与《中华人民共和国农产品质量安全法》均明确了可采用快检进行农药残留监管^[45]。农药残留现场检测技术发展非常快速,呈现生物技术与理化分析不断融合发展^[46],不仅满足了轻巧、便捷、简单、环节要求低、不受电源和水源限制、甚至无损等现场检测要求,同时检测的灵敏性、准确度与速度都大幅度提升^[47]。随着农药残留检测仪器结构模块化、自动化、智能化,现场农药农残检测更加便捷高效。同时,一些车载流动实验室,仪器远程操作、智慧云平台、检测机器人、手机检测 APP 等手段为农药残留现场检测增加了新的方式,也开创了更大的空间。与此同时,各种农药残留现场检测还存在一些缺陷,需通过农产检测技术纵向的发展与横向的联用以及实际应用中逐步去完善^[48]。欧美等国家依靠强大的科技力量,积累了农药残留强大的基础技术,并形成了技术壁垒^[49],因此,研究适合我国果蔬产销特点的快速、灵敏、准确的农药残留现场检测技术和方法,形成我国的技术优势,是当前生产、销售、监管部门及人民群众所急需的^[50]。

参考文献

- [1] 周厚怡. 当前农药应用与食品安全问题研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
Zhou HY. Research on pesticide application and food safety [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2015.
- [2] 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, 35(18): 119–121.
Li XY. Research and discussion on rapid detection technology of food safety [J]. Food Res Dev, 2014, 35 (18): 119–121.
- [3] 马向南, 杜美红. 食品安全领域快速检测仪器的应用现状与展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(5): 1828–1833.
Ma XN, Du MH. Application status and prospect of rapid detection instruments in the field of food safety [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(5): 1828–1833.
- [4] 魏婷. 临朐县柳山镇农产品质量安全管理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
Wei T. Research on quality and safety management of agricultural products in Liushan town, Linqu county [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2016.
- [5] 万宇平. 快速检测技术在食品安全监管中的应用及发展新方向[J]. 北京工商大学学报, 2011, 29(4): 1–5.
Wan YP. Application and development of rapid detection technology in food safety supervision [J]. J Beijing Univ Ind Commer, 2011, 29(4): 1–5.
- [6] 曾瑞洁. 蔬菜种植户农药施用行为及影响因素研究[D]. 南京: 南京农

- 业大学, 2016.
- Zeng RJ. Study on pesticide application behavior and influencing factors of vegetable growers [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.
- [7] 蒋士强, 罗晓琴. 食品安全快速检测技术在我国的特需性及主流技术的进展[J]. 食品安全导刊, 2013, (5): 26–28.
- Jiang SQ, Luo XQ. The special needs of food safety rapid detection technology in China and the progress of mainstream technology [J]. Chin Food Saf Magaz, 2013, (5): 26–28.
- [8] 陈威, 钟国才, 王亚军, 等. 基于酶抑制的有机磷农药残留快速检测方法进展[J]. 广东农业科学, 2011, 38(23): 153–154.
- Chen W, Zhong GC, Wang YJ, *et al.* Progress in rapid detection of organophosphorus pesticide residues based on enzyme inhibition [J]. Guangdong Agric Sci, 2011, 38(23): 153–154.
- [9] 林瑾, 陈越. 蔬菜中有机磷及氨基甲酸酯类农药残留量的快速检测[J]. 广东化工, 2011, (7): 219, 262.
- Lin J, Chen Y. Rapid detection of organophosphorus and carbamate pesticide residues in vegetables [J]. Guangdong Chem Ind, 2011, (7): 219, 262.
- [10] 刘嫦. 基于两种荧光探针研究乙酰胆碱脂酶的活性及其抑制作用[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2015.
- Liu C. Study on the activity and inhibition of acetylcholinesterase based on two fluorescent probes [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2015.
- [11] 曲云鹤. 农药残留的快速检测方法和仪器的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- Qu YH. Study on rapid detection method and instrument for pesticide residues [D]. Shanghai: East China Normal University, 2010.
- [12] 李书谦, 郑立新, 杨文涛, 等. 农产品质量安全监测系统的研制[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(3): 705–709, 714.
- Li SQ, Zheng LX, Yang WT, *et al.* Development of agricultural product quality and safety monitoring system [J]. Hubei Agric Sci, 2010, 49(3): 705–709, 714.
- [13] 李书谦, 路磊, 陈福生, 等. 果蔬中有机磷类农药残留快速检测技术研究[J]. 湖北农业科学, 2004, (4): 58–59.
- Li SQ, Lu L, Chen FS, *et al.* Study on rapid detection of organophosphate pesticide residues in fruits and vegetables [J]. Hubei Agric Sci, 2004, (4): 58–59.
- [14] 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.
- Yang WY, Sun YM, Zhou Y, *et al.* Progress in research and application of rapid detection technology in food safety control of fruit and vegetable [J]. Anhui Agric Sci, 2012, 40(1): 147–149.
- [15] 张建娜, 张波, 沈京玲. 二硝基苯甲酸分异构体的太赫兹与红外光谱特性[J]. 红外与毫米波学报, 2017, 36(5): 538–542.
- Zhang JN, Zhang B, Shen JL. The optical properties of dinitrobenzoic acid isomers in the terahertz and infrared regions [J]. J Infrared Millimeter Wave, 2017, 36 (5): 538–542.
- [16] 苏明伟. 果蔬中农药残留快速测定方法的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- Su MW. Study on rapid determination of pesticide residues in fruits and vegetables [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005.
- [17] 王金斌, 谭芙蓉, 王利刚, 等. 乙酰胆碱酯酶抑制法快速检测农药残留的研究进展[J]. 上海农业学报, 2009, 25(4): 131–135.
- Wang JB, Tan FR, Wang LG, *et al.* Research progress in rapid detection of pesticide residues by acetylcholinesterase inhibition [J]. Shanghai J Agric, 2009, 25(4): 131–135.
- [18] 杜美红, 孙永军, 陈舜琮. 影响农残快检仪抑制率测定结果的因素[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 200–202.
- Du MH, Sun YJ, Chen SC. Factors that affect the determination of the inhibition rate of the agricultural disability rapid detector [J]. Food Sci, 2011, 32(4): 200–202.
- [19] 朱赫, 纪明山. 农药残留快速检测技术的最新进展[J]. 中国农学通报, 2014, (4): 242–250.
- Zhu H, Ji MS. Recent advances in rapid detection technology of pesticide residue [J]. Chin Agric Sci Bull, 2014, (4): 242–250.
- [20] 邱静. 我国主要农药残留快速检测方法及产品现状分析[J]. 农产品质量与安全, 2011, (5): 41–46.
- Qiu J. Rapid detection method and product status analysis of major pesticide residues in China [J]. Agric Qual Saf, 2011, (5): 41–46.
- [21] 关桦楠. 高效农药残留物检测酶纳米生物传感器的研制[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- Guan HN. Development of an enzyme nanobiosensor for the detection of pesticide residues [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2011.
- [22] 史晓亚, 高丽霞, 黄登宇. 快速检测技术在果蔬安全控制中的研究进展[J]. 2017, 8(3): 882–889
- Shi XY, Gao LX, Huang DY. Research progress of rapid detection technology in fruit and vegetable safety control [J]. 2017, 8(3): 882–889
- [23] 刘顺宇, 郭淑贞, 林双娣, 等. 酶抑制法在农药残留快速检测过程中的应用分析[J]. 湖南农业科学, 2017, (7): 85–87, 91.
- Liu SZ, Guo SZ, Lin SD, *et al.* Application of enzyme inhibition in rapid detection of pesticide residues [J]. Hunan Agric Sci, 2017, (7): 85–87, 91.
- [24] 李志成, 郑晓冬, 闫新焕, 等. 快速检测技术在果蔬农药残留检测中的应用[J]. 中国果菜, 2016, 36(12): 33–36
- Li ZC, Zheng XD, Yan XH, *et al.* Application of rapid detection technology in the detection of pesticide residues of fruit and vegetable [J]. Chin Fruit Veget, 2016, 36(12): 33–36
- [25] 刘召部, 李建平, 尹星懿. 蔬菜农药残留快速检测实验室内部质量控制[J]. 现代农业科技, 2018, (3): 133–136
- Liu ZB, Li JP, Yin XY. Internal quality control of the rapid detection laboratory for pesticide residues in vegetables [J]. Mod Agric Sci Technol, 2018, (3): 133–136
- [26] 刘永杰, 张金振, 曹明章, 等. 酶抑制法快速检测农产品农药残留的研究与应用[J]. 现代农药, 2004, 3(2): 25–27, 42.
- Liu YJ, Zhang JZ, Cao MZ, *et al.* Study and application of enzyme inhibition method for rapid detection of pesticide residues in agricultural products [J]. Mod Pest, 2004, 3(2): 25–27, 42.
- [27] 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]. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 2008.

- Min H. Rapid determination of pesticide residues in vegetable foods and instrument research [D]. Shanghai: China Normal University, 2008.
- [28] 王尧尧. 功能食品中西地那非酶联免疫检测方法的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2009.
- Wang YY. Study on enzyme-linked immunosorbent assay for sildenafil in functional foods [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2009.
- [29] 侯瑾, 李迎秋. 酶联免疫吸附技术在食品安全检测中的应用[J]. 中国调味品, 2017, 42(6): 165–169.
- Hou J, Li YQ. Application of enzyme-linked immunoabsorption technology in food safety detection [J]. China Condiment, 2017, 42(6): 165–169.
- [30] 李琼, 李俊惠. 农产品农药残留快速检测方法[J]. 农业开发与装备, 2018, (2): 84, 107.
- Li Q, Li JH. Agricultural pesticide residue rapid detection method [J]. Agric Dev Equip, 2018, (2): 84, 107.
- [31] 杨梅, 罗逢建, 陈宗懋, 等. 茶叶中吡虫啉与啉虫脒农药残留速测技术研究[J]. 中国茶叶, 2018, (2): 31–35.
- Yang M, Luo FJ, Chen ZM, *et al.* Rapid determination of imidacloprid and acetamiprid pesticide residues in tea [J]. Chin Tea, 2018, (2): 31–35.
- [32] 申惠敏, 贾秀珍. 生鲜乳快速检测技术及常用方法[J]. 中国乳业, 2014, (7): 54–55.
- Shen HM, Jia XZ. Rapid detection technology and common methods of fresh milk [J]. China Dairy Ind, 2014, (7): 54–55.
- [33] 梁攀, 董萍, 王洋, 等. 免疫学技术在食品安全快速检测中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(9): 2085–2089.
- Liang P, Dong P, Wang Y, *et al.* Research progress in the application of Immunology technology in rapid detection of food safety [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(9): 2085–2089.
- [34] 杨东英. 农产品三类农药残留检测方法研究进展[J]. 广西农学报, 2018, 33(3): 41–43, 56.
- Yang DY. Research progress on three types of pesticide residue detection methods for agricultural products [J]. Guangxi J Agric, 2018, 33(3): 41–43, 56.
- [35] 杨桂玲. 农产品中农药多残留联合暴露风险评估方法研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- Yang GL. Study on the risk assessment method of pesticide residues in agricultural products [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017.
- [36] 杨海. 环境与食品安全快速检测技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- Yang H. Research on environmental and food safety rapid detection technology [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [37] 王姝婷. 农药多簇人工抗原的免疫特异性及多残留免疫金技术[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- Wang ST. Immune specificity and residual immune gold technique of cluster artificial antigens of pesticides [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [38] 魏晓晖, 衣淑娟, 秦雯. 基于拉曼光谱的苹果表皮残留敌百虫的检测[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2015, (2): 100–103.
- Wei XH, Yi SJ, Qin W. Detection of trichlorfon residues in Apple epidermis based on Raman spectroscopy [J]. J Heilongjiang Bayi Agric Reclam Univ, 2015, (2): 100–103.
- [39] 张文强, 李容, 许文涛. 农药残留的表面增强拉曼光谱快速检测技术研究现状与展望[J]. 农业工程学报, 2017, 33(24): 269–276.
- Zhang WQ, Li R, Xu WT. Research status and prospect of rapid detection technology of surface enhanced Raman spectra for pesticide residues [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2017, 33(24): 269–276.
- [40] 何蔚, 孙贤君. 拉曼光谱应用技术研究[J]. 标准科学, 2018, (3): 70–75.
- He W, Sun XJ. Raman spectroscopy applied technology research [J]. Standard Sci, 2018, (3): 70–75.
- [41] 高嵩. 拉曼光谱相对强度的校正研究及应用[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- Gao H. Research and application of the relative strength of Raman spectroscopy [D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [42] 孙旭东, 郝勇, 刘燕德. 表面增强拉曼光谱法检测农药残留的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(5): 421–426.
- Sun XD, Hao Y, Liu YD. Progress of detection of pesticide residues by surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. J Food Saf Qual, 2012, 3(5): 421–426.
- [43] 陈文艺, 罗小珍. 农产品质量安全公众教育缺失的评价与构建路径[J]. 广东农业科学, 2012, 39(23): 234–236.
- Chen WY, Luo XZ. Evaluation and construction path of lack of public education on quality and safety of agricultural products [J]. Guangdong Agric Sci, 2012, 39(23): 234–236.
- [44] 王璇. 基于光子晶体编码微球的农药多残留检测技术构建与应用[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- Wang X. Construction and application of pesticide multi-residue detection technology based on photonic crystal encoding microspheres [D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [45] 刘欢, 吴立冬, 李晋成, 等. 农产品质量安全快速检测产品管理评价研究[J]. 农产品质量与安全, 2016, (4): 41–46.
- Liu H, Li Wu LD, Li JC, *et al.* Agricultural product quality and safety rapid inspection product management evaluation study [J]. Qual Saf Agric Prod, 2016, (4): 41–46.
- [46] 华修德. 有机磷农药单残留及多残留免疫分析方法的建立与应用[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- Hua XD. Establishment and application of immunoassay for single and multiple residues of organophosphorus pesticides [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [47] 于杨. 水源水库中含硫致嗅物质的产生及溶解氧对其影响的研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学硕, 2016.
- Yu Y. Study on the production of sulfur-containing olfactory substances in Shuiyuan Reservoir and the effect of dissolved oxygen on them [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016.
- [48] 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, (4): 42–44.

Hu R. Application of enzyme inhibition method in rapid detection of pesticide residues in vegetables [J]. Chili Magaz, 2013, (4): 42–44.

- [49] 成长玉, 张敏, 曹进, 等. 食品快速检测方法在国内外的应用与管理比较[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(4): 401–404.

Cheng CY, Zhang M, Cao J, *et al.* The application and management comparison of food rapid detection methods at home and abroad [J]. Chin J Food Hyg, 2018, 30(4): 401–404.

- [50] 岳宁. 基于食品贸易发展的中国进出口食品安全科技支撑体系研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010.

Yue N. Research on China's import and export food safety science and technology support system based on the development of food trade [D].

Wuxi: Jiangnan University, 2010.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



刘顺字, 硕士, 高级农艺师, 主要研究方向为农产品质量安全监督检测。

E-mail: liushunzi100@163.com



廖远东, 助理工程师, 主要研究方向为食品添加剂研究及食用农产品检测。

E-mail: 1797962973@qq.com