

我国食用农产品污染物快速检测标准分析

赵洁^{1,2}, 刘雯雯^{1,2}, 王艳³, 胡祥娜⁴, 王富华^{1,2}, 王旭^{1,2*}

- (1. 广东省农业科学院农产品公共监测中心, 广州 510640;
2. 农业农村部农产品质量安全检测与评价重点实验室, 广州 510640;
3. 农业农村部农产品质量安全中心, 北京 100020; 4. 深圳市农产品质量安全检验检测中心, 深圳 518040)

摘要: 快速检测技术在食用农产品质量控制和安全保障中发挥了重要作用。本文介绍了我国食用农产品涉及的主要污染物及对应的快速检测标准体系, 概述了我国食用农产品速测标准的常用技术及其优缺点。结合我国食用农产品的速测标准现状, 提出速测标准存在老化现象突出、标准应用范围有限及部分速测标准水平不高等问题, 并以污染物速测标准现状为依据, 针对性地提出了完善我国食用农产品质量安全的速测标准体系的建议, 重点在于更新标准内容和标准覆盖范围。

关键词: 食用农产品; 快速检测; 标准

Analysis on the rapid detection standards for pollutants of edible agricultural products in China

ZHAO Jie^{1,2}, LIU Wen-Wen^{1,2}, WANG Yan³, HU Xiang-Na⁴, WANG Fu-Hua^{1,2}, WANG Xu^{1,2*}

- (1. *Public Monitoring Center for Agro-product of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China*; 2. *Key Laboratory of Testing and Evaluation for Agro-product Safety and Quality, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Guangzhou 510640, China*; 3. *Center for Agri-Food Quality and Safety, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Beijing 100020, China*; 4. *Agricultural Product Quality and Safety Inspection and Testing Center of Shenzhen, Shenzhen, 518040, China*)

ABSTRACT: Rapid detection technology and standards play an important role in the quality and safety control of edible agricultural products. This paper introduced the main pollutants in edible agricultural products and the corresponding rapid detection standard system, and made a summary about common techniques of rapid detection standards for edible agricultural products in China, advantages and disadvantages was included. Combined with the status of the rapid detection standards of edible agricultural products in China, several problems had been proposed, such as outdated rapid detection standards was an outstanding phenomenon, the application scope of standards was limited and some standards' technology was poor. Based on the current status of rapid detection standards for pollutant, we put forward a proposal to improve the rapid detection standards for the quality and safety of edible agricultural products in China, the critical thing was that the standard should update content and applied rang in time.

基金项目: 国家重点研发计划-华南特色蔬菜质量安全保障技术应用及示范项目(2019YFC1605602)、国家特色蔬菜水果标准化区域服务与推广平台项目(NBFW-5-2018)、广州农业高新技术产业示范区关键技术平台建设及农村科技特派员工程-华南特色农产品营养与食品安全关键技术研究平台项目(2069999)

Fund: Supported by the National Key R&D Program of China (2019YFC1605602), National Standardization Regional Service and Promotion Platform for Characteristic Vegetable and Fruit (NBFW-5-2018), Key Technology Platform Construction of High-tech Agricultural Industry Demonstration Zone of Guangzhou & Rural Science and Technology Commissioner Project (2069999)

***通讯作者:** 王旭, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: wangxuguangzhou@126.com

***Corresponding author:** WANG Xu, Ph.D, Professor, Innovation Building NO.20 Jinying Road, Tianhe District, Guangzhou 510640, China. E-mail: wangxuguangzhou@126.com

KEY WORDS: edible agricultural products; rapid detection; standard

1 引言

快速检测技术以其检测周期短、成本低、可操作性强的特点,被广泛应用于食用农产品生产、储存、运输及销售各个环节,较好地满足了食用农产品中有害物质检测的需求,在食用农产品质量控制和安全保障中发挥了重要作用^[1]。食用农产品污染物速测标准是基层监管机构和生产经营企业开展检测技术工作的主要依据。我国食用农产品污染物速测技术在近十年发展较为迅速,发布了一系列国家、行业和地方速测标准。本研究通过对我国速测标准的现状和食用农产品污染物快速检测技术标准进行分析和梳理,有针对性地提出我国食用农产品污染物速测标准存在的问题和建议,旨在推动我国标准体系完善和提高保障我国食用农产品质量安全水平。

2 我国食用农产品污染物及其速测标准概况

目前食用农产品涉及的污染物主要包括农药残留、兽药残留、重金属、自然污染物和化学非法添加物。农药残留按照化学结构分为有机磷类(如甲胺磷、敌百虫、毒死蜱等)、氨基甲酸酯类(如涕灭威、克百威、丁硫克百威等)、有机氯类和拟除虫菊酯类(如六六六、滴滴涕、联苯菊酯等)、杂环类(如腐霉利、烯酰吗啉、氟虫脲等)、烟碱类(如吡虫啉、噻虫嗪、啶虫脒)和苯甲酰胺类(如灭幼脲、除虫脲、异菌脲等)农药。兽药残留包括青霉素类、头孢霉素类、喹诺酮类等抗生素药物,利巴韦林、盐酸金刚烷胺、吗啉胍等抗病毒药物,阿维菌素、伊维菌素、芬苯达唑等抗寄生虫类药物,以及我国禁止在饲料和动物饮用水中使用的莱克多巴胺、盐酸克仑特罗、沙丁胺醇等瘦肉精,己烯雌酚、雌二醇、决诺醇等性激素,苯丙酸诺龙及苯丙酸诺龙等蛋白同化激素,氯丙嗪、地西洋等药品。重金属一般涉及铅、镉、砷、汞、铬等金属污染物。还有一些是自然条件下非人为添加但对人体产生危害的物质,比如生物毒素(如黄曲霉毒素、玉米赤霉醇、赭曲霉毒素 A、脱氧雪腐镰刀菌烯醇等)、微生物(大肠杆菌和致病菌等)、硝酸盐和亚硝酸盐、豆角皂苷和龙葵素等生物碱,称之为自然污染物。另外还有一些为了达到某些目的非法添加的二氧化硫、孔雀石绿、三聚氰胺等化合物。

据标准查新,我国现行有效的食用农产品污染物速测标准共计 99 项,具体情况见表 1。农药残留速测标准共 7 项,其中国家标准 4 项、农业行业标准 2 项,检测项目包括有机磷类和氨基甲酸酯类农药,检测对象涉及蔬菜、茶叶和肉类,且机械行业标准对快速检测仪和胆碱酯酶做了规定。兽药残留速测标准共 53 项,主要以行业标准和地方标准为主,不仅农业农村部、原国家质量监督检验检疫总

局、商务部等行业主管部门发布了行业标准,安徽、广西、山东、吉林等省份也发布了兽残速测方法的地方标准。检测的兽药残留涵盖四环素类、氯霉素、磺胺类、氟喹诺酮类、硝基呋喃及其代谢物、沙星类、己烯雌酚、沙丁胺醇等类型,检测对象涉及肉类、水产品、蜂产品、饲料、动物排泄物等。重金属方面仅粮食局发布了 2 项稻米中镉含量的快速检测标准。自然污染物的速测方法共 23 项,其中涉及生物毒素的 13 项,涉及微生物的 9 项,其他自然污染物的 1 项。发布形式以行业标准为主,原国家质量监督检验检疫总局、国家粮食局、农业农村部等行业主管部门均发布了速测标准,主要涉及黄曲霉毒素、玉米赤霉醇、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、赭曲霉毒素 A、硝酸盐和亚硝酸盐以及部分致病菌的快速测定,检测对象主要是容易滋生微生物产生生物毒素的粮食、乳制品、饲料和鲜食农产品。已发布的非法添加物速测标准有二氧化硫、荧光增白剂、孔雀石绿及其代谢物等指标,检测对象为涉及问题较为普遍的食用农产品,如可能使用二氧化硫熏蒸的枸杞,可能使用荧光增白剂的白色蘑菇,可能添加孔雀石绿的水产品,以及为了蛋白质达标而非法添加三聚氰胺的乳品。

3 速测标准涉及的检测方法及应用情况

从我国食用农产品污染物速测标准方法的类型上来看(表 1),目前我国比较成熟的快速检测方法有酶抑制法、酶联免疫分析法(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)、免疫胶体金法和聚合酶链式反应法(polymerase chain reaction, PCR)等,分别占速测标准总数的 7%、40%、38%和 7%。其中酶抑制法和 PCR 法的标准数量虽然不多,但在食用农产品的农药残留和微生物速测中应用非常广泛。这些方法由于其原理不同有着各自的特点,在食用农产品的快速检测中应用不同。

3.1 酶抑制法

酶抑制法是利用有机磷与氨基甲酸酯类农药可特异性地抑制乙酰胆碱酯酶的活性原理,根据乙酰胆碱酯酶活性受到抑制的情况判断农药的含量。此类方法相对较为成熟,是一种定性或半定量的检测方法,但是仅限于有机磷与氨基甲酸酯类农药的快速测定^[2]。现有 7 项酶抑制法标准,检测对象涉及蔬菜、水果、茶叶和肉。该法操作简便、易行、成本低、前期投入少,不需昂贵的仪器、易于掌握推广,特别适合于蔬菜、水果中有机磷和氨基甲酸酯类农药残留现场检测以及大批样品的筛选。但现有标准也存在以下不足:目前选用的酶仅限于胆碱酯酶,只适用于检测有机磷和氨基甲酸酯类农药残留,不适用于检测其它有害物质;不同来源的酶其灵敏度差异较大,容易造成误判;针对某些蔬菜,由于基质干扰,可能会出现假阳性或假阴性结果。

表 1 食用农产品污染物快速检测方法标准汇总表
Table 1 Summary table of the rapid detection standards for edible agricultural products

类别	发布形式	检测项目	适用产品	方法	标准数量小计	标准数量总计
农药 残留	国家标准(4)、 行业标准(3)	有机磷类、氨基甲酸酯类农药	蔬菜、肉类、 茶叶、方法配套	酶抑制法	7	7
兽药 残留	国家标准(1)、 行业标准(36)、 地方标准(16)	四环素类药物、 β -内酰胺类、 三聚氰胺、氯霉素、磺胺类药物、 氟喹诺酮类药物、硝基呋喃及其代 谢物、沙星类药物、己烯雌酚、 瘦肉精(包括盐酸克仑特罗、 莱克多巴胺、沙丁胺醇)	动物产品	酶联免疫法 免疫胶体金法	30 23	53
重金属	行业标准(2)	镉	稻米	固体进样 原子荧光法 X 射线荧光 光谱法	1 2	2
生物 毒素	国家标准(1)、 行业标准(11)、 地方标准(1)	黄曲霉毒素、玉米赤霉醇、 脱氧雪腐镰刀菌烯醇、 赭曲霉毒素 A	乳制品、 饲料、粮食	免疫胶体金法 酶联免疫法	10 3	13
微生物	国家标准(2)、 行业标准(7)	食源性致病菌(沙门氏菌、 肠出血性大肠埃希氏菌 O157、 单核细胞增生李斯特氏菌、 副溶血性弧菌、霍乱弧菌、 蜡样芽胞杆菌等)	鲜食农产品、 食品、水、 乳制品	PCR 法 酶联免疫法 酶底物法	7 1 1	9
其他自然 污染物	行业标准(1)	硝酸盐、亚硝酸盐	蔬菜	化学比色法 酶联免疫法	1 7	1
非法 添加物	行业标准(7)、 地方标准(7)	二氧化硫、荧光增白剂、 孔雀石绿及其代谢物、 三聚氰胺	枸杞、蘑菇、 水产品、 乳制品、饲料	免疫胶体金法 拉曼光谱法 物理法 化学比色法	5 2 1 1	14
总计						99

3.2 酶联免疫法

酶联免疫法, 是采用抗原与抗体的特异反应将待测物与酶连接, 然后通过酶与底物产生颜色反应的快速定量方法。测定的对象可以是抗体也可以是抗原。该方法灵敏度高、特异性好, 同时由于其特异性, 一种抗原或者抗体所能检测的对象缺少广谱性, 适用于开展某专项的检测^[3]。从现有标准方法来看, 检测对象均为动物产品和水产品, 共 41 项标准采用酶联免疫法针对兽药残留和生物毒素开展快速检测, 且每一类兽药有单独的检测标准。该标准存在的问题在于, 由于抗体制备存在一定难度, 目前可用的抗体种类还较少, 在不能确定样品中的待测物的情况下, 使用 ELISA 法检测具有一定的盲目性。从标准的内容上来看, 对操作者的要求和条件相对较高, 因此应用范围受到限制。

3.3 免疫胶体金法

免疫胶体金法, 是以胶体金作为示踪标志物, 以免疫学的高度特异性的抗原抗体反应作为反应基础的免疫标记技术, 是免疫层析法应用最为广泛的方法。相对 ELISA 法, 它操作上更加简便, 基本无需检测仪器, 同时灵敏性也适当降低^[4]。现有 38 项标准采用免疫胶体金法, 主要涉及兽药残留和生物毒素的检测, 涉及的检测对象包括动物产品、水产品、粮食产品。与酶联免疫法相同, 该法的抗体制备难度较大、抗体有特异性, 因此, 现行标准基本为针对某一类产品的单一物质的检测分析。

3.4 聚合酶链反应(polymerase chain reaction, PCR)法

PCR 法, 是一种体外扩增特异 DNA 片段技术, 具有特异性强、灵敏度高等特点。我国共发布了 7 项采用 PCR

法测定食用农产品中的食源性致病菌等微生物的速测标准。但是许多食品基质、培养基、核酸提取试剂都可能会对 PCR 有抑制作用, 导致可能出现假阴性结果。

3.5 其他方法

除了上述技术之外, 还有一些速测标准涉及化学比色法和光谱法等方法。其中化学比色法是被检成分与相关试剂发生化学反应显色, 通过颜色的深浅判定样品中的被检成分, 其原理等同于分光光度法, 在识别上采用比色卡肉眼识别使其更加便捷。我国发布了亚硝酸盐、二氧化硫、三聚氰胺、孔雀石绿等有害物的化学比色法速测标准。速测标准中应用光谱法的包括原子荧光法、X 射线荧光光谱法和拉曼光谱法, 检测范围为稻米中的镉、水产品用水的孔雀石绿和牛奶中的三聚氰胺。

4 速测标准存在的问题

采用速测标准检测可以及时发现可疑问题, 迅速采取相应措施, 这对提高监管工作效率和力度, 保障食品安全有着重要的意义, 是实验室常规检测的有益补充。然而, 我国的食用农产品污染物快速检测技术大部分还处于研究阶段, 缺乏有效应用, 标准体系也不够完善^[5]。经对比分析, 现有速测标准方法存在以下不足。

4.1 速测标准老化现象突出

经标准查新和分析, 99 项现行有效的食用农产品速测标准平均“标龄”为 8.2 年, 远高于《标准化法》建议的 5 年标准复审周期。由图 1 可知, 近五年共发布标准 23 项, 仅占全部标准的 23%, 77% 为 2014 年及此前发布的标准, 38% 为 2009 年及此前发布的标准, 发布年限最长且现行仍在使用的速测标准为 2001 年发布的《蔬菜上有机磷和氨基甲酸酯类农药残毒快速检测方法》(NY/T 448-2001), “标龄”长达 18 年。从检测项目来分析, 现行农药的速测标准均为 2006 年及此前发布, 十几年来未更新标准; 兽药中己烯雌酚、瘦肉精等均为 2012 年及此前发布的速测标准; 微生物的速测标准大部分为 2014 年之前发布; 二氧化硫、荧光增白剂、孔雀石绿等均为 2011 年及此前发布的速测标准。由此可见, 速测标准老化现象较为突出。

4.2 速测标准应用范围有限

一是速测应用范围仅限于局部行业、局部区域或部分产品。由图 2 可见, 现行有效的速测标准中发布数量最多的是商业检验行业标准(标准代号 SN, 即出入境检验检疫行业标准, 27 项), 其次是地方标准(标准代号 DB, 24 项), 这两类的标准数量占总速测标准的 52%, 检测应用范围大多针对于进出口行业的食用农产品, 或者仅适用于某省的食用农产品, 而不适用于全国范围内食用农产品的生产、销售和监管。二是检测项目具有局限性, 未涵盖大部分污

染物。例如农药残留快速检测采用酶抑制法, 仅能检测部分有机磷和氨基甲酸酯类农药, 从历年检测数据看, 蔬菜中毒死蜱、氟虫腈、多菌灵、啉虫脒等检出率和超标率都较高, 但现有速测标准却不能对这些易超标农药进行快速检测。三是检测方法有局限性, 速测标准方法仅采用几种常用方法, 较少应用荧光免疫分析法、化学发光免疫分析法、电化学免疫分析法、近红外光谱法、生物传感器等近年来研究成果较多且高灵敏度、低干扰的快速检测方法。

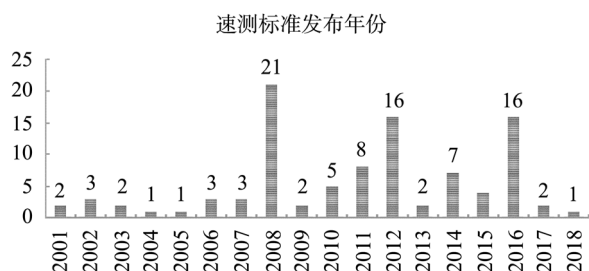
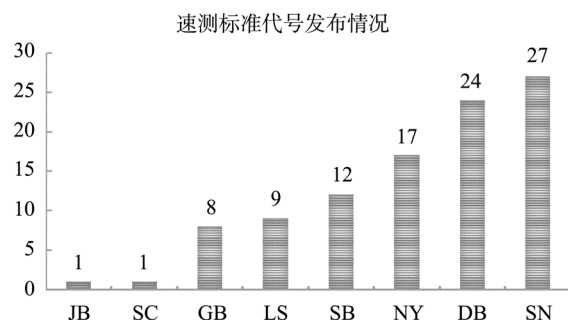


图 1 我国食用农产品速测标准发布年份

Fig.1 Year of the rapid detection standards publication for edible agricultural products



注: JB 机械; SC: 水产; GB: 国家标准; LS: 粮食; SB: 商务部; NY: 农业; DB: 地方标准; SN: 商检。

图 2 我国食用农产品速测标准代号分布情况

Fig.2 Code distribution of the rapid detection standards for edible agricultural products

4.3 部分速测标准水平不高

部分速测标准水平不高主要体现在以下几个方面: 一是现行速测标准方法存在假阳性风险。如由于基质干扰(某些农产品含有对酶有影响的次生物质)、污染物协同作用(含有 2 种以上污染物, 含量均较低, 但协同作用下可能显示超标)、对三唑磷等农药灵敏度不高等导致样品出现假阳性风险。二是由于速测方法的高检出限值造成假阴性结果, 从而导致出现结果误判, 如速测标准中水胺硫磷的检出限为 3.1 mg/kg, 但标准限量值为 0.02 mg/kg, 检出限已超出标准限量。三是缺乏高通量、多指标的速测标准。如兽药、生物毒素等标准采取的酶联免疫法和免疫胶体金法均是针对性

特别强的方法,仅限于某一兽药或某一农产品的检测,缺少适用于同时检测多污染物的快速检测标准方法。

5 我国速测标准制修订建议

针对农药残留类的速测标准,一方面是扩大检测范围更新标准,包括应用酶联免疫吸附分析法、生物传感器、微流控芯片等检测方法的标准扩充^[6-8],对毒死蜱、氟虫腈、多菌灵、啉虫脒等常检出超标农药及有机氯类、拟除虫菊酯类农药的检测指标扩充^[9],以及对谷类、蔬果、肉制品和乳制品等检测对象的扩充。另一方面是从酶制剂、酶促反应条件、前处理方法、抑制率标准等方面进行标准更新研究,提升酶抑制法的灵敏度和精确度,降低假阳性和假阴性风险^[10,11]。

针对兽药残留类的速测标准,一是取消“标龄”过久、且与行业标准重复冲突的地方标准,结合市场上已经商业化的检测己烯雌酚、瘦肉精、磺胺类、氟喹诺酮类等的试剂盒方法,更新“标龄”过久的国家标准和行业标准。二是扩大检测覆盖面和检测限,结合文献研究开发新型标记材料、适配体、受体等免疫识别材料^[12],将速测标准覆盖至更多兽药残留,如各类抗病毒药,同时解决样品的基质干扰问题,在保留高通量优势的前提下进一步提高检测限。

在重金属方面,如何实现快速有效检测重金属污染物是急需解决的一大难题。针对现在仅有 2 项检测稻米镉含量的标准现状,应重点加强对小麦、蔬菜、水果、水产品等可能重金属超标农产品速测标准制定研究,同时将检测指标覆盖至铅、铬、汞、砷等重金属,以及采用电化学阳极溶出伏安法与 X 射线荧光光谱法,建立符合实际的农产品重金属含量快速检测方法^[13]。

在生物毒素、微生物等自然污染物检测方面,如何分离和富集农产品样品中的待测生物性污染物,以及如何提高检测的速度和准确性,同时检测多目标生物性污染物都是速测技术标准需要解决的瓶颈问题^[14]。针对多种真菌毒素同步检测的免疫亲和法、免疫胶体金法也将是毒素速测标准的重点研究内容。基于拉曼光谱法、化学比色法的高通量、快速、灵敏高效的速测标准是目前市场上针对三聚氰胺、亚硝酸盐监管的迫切需要^[15,16]。

综上,快速检测方法在实际食用农产品质量安全监管中起着不可或缺的作用。针对我国食用农产品污染物速测标准现状和存在问题,以及为了满足广大范围、高效的监管需求,我国现行的食用农产品污染物速测标准需要从技术层面进一步完善,与时俱进更新标准内容和标准覆盖范围,并制定标准化的快速检测试验方法及评价体系^[6]。

参考文献

[1] 李涛,林芳,王一欣,等. 食品安全快速检测技术存在问题分析及解决措施[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(8): 3259-3262.

- Li T, Lin F, Wang YX, *et al.* Problems analysis in food safety rapid detection and the solutions [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(8): 3259-3262.
- [2] 谢俊平,李慧琴,梁科,等. 速测卡法快速检测蔬菜中有机磷和氨基甲酸酯类农药残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(6): 1269-1274.
- Xie JP, Li HQ, Liang K, *et al.* Rapid detection of organophosphorus and carbamate pesticide residues in vegetables by test paper [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(6): 1269-1274.
- [3] 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, 5(10): 3269-3275.
- Shi C, Lu CX, Feng XQ, *et al.* Advances in food determination and analysis of enzyme-linked immunosorbent assay [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(10): 3269-3275.
- [4] 龚频,王思远,陈雪峰,等. 胶体金免疫层析试纸条技术及其在食品安全检测中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 358-364.
- Gong P, Wang SY, Chen XF, *et al.* Research progress of colloidal gold immunochromatographic test strip technology and its application in food safety testing [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(13): 358-364.
- [5] 叶秋雄,陈佩仪,叶旭琪. 快速检测技术在食用农产品安全监管中的应用[J]. 现代食品, 2018, (8): 89-91.
- Ye QX, Chen PY, Ye XQ. Application of rapid detection technology in safety supervision of edible agricultural products [J]. *Food Saf*, 2018, (8): 89-91.
- [6] 张威,张文中,郭平,等. 食用油中黄曲霉毒素 B1 快速检测试纸的评价[J]. 食品科学, 2019, <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.2206.ts.20190613.1350.032.html>.
- Zhang W, Zhang WZ, Guo P, *et al.* Evaluation of rapid inspection products for aflb1 in edible oil [J]. *Food Sci*, 2019, <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.2206.ts.20190613.1350.032.html>.
- [7] 叶嘉明,邵佳美,杨平,等. 用于农残快速检测的离心式微流控芯片研制[J]. 食品科学, 2017, 38(12): 292-297.
- YE JM, Shao JM, Yang P, *et al.* Fabrication and application of centrifugal microfluidic chip for rapid detection of pesticide residues [J]. *Food Sci*, 2017, 38(12): 292-297.
- [8] 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, 40(2): 31-35.
- Yang M, Luo FJ, Chen ZM, *et al.* Rapid determination of imidacloprid and idimidine residues in tea leaves [J]. *Chin Tea*, 2018, 40(2): 31-35.
- [9] 赵超群. 茶叶中有机磷及拟除虫菊酯类农药残留快速检测方法的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- Zhao CQ. Study on the rapid determination methods for organophosphorus and pyrethroids pesticide residues of tea [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [10] 王文,刘瑾,盛伟楠,等. 采用酶抑制法检测大蒜中农药残留的改进方法[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 135-139.
- Wang W, Liu J, Sheng WN, *et al.* An improved enzyme inhibition method for detection of peptide residues in garlic [J]. *Food Sci*, 2013, 34(12): 135-139.
- [11] 罗伟. 基于表面等离子体共振及酶抑制光谱吸收原理的农药检测方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2018.
- Luo W. Research on the detection method of pesticide based on the surface plasmon resonance sensor and spectral absorption [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2018.
- [12] 黄小林. 提高免疫学检测灵敏度的新型信号传导系统研究[D]. 南昌:

南昌大学, 2018.

Huang XL. Novel signal transduction systems for improving the detection sensitivity of immunoassay [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.

- [13] 骆谦, 李发启, 彭灿, 等. 稻谷镉含量两种快检方法与国家标准方法的比较研究[J]. 作物研究, 2018, 7(32): 123-127.

Luo Q, Li FQ, Peng C, *et al.* A comparative study on two methods of detecting cadmium content in rice and the national standard method [J]. Crop Res, 2018, 7(32): 123-127.

- [14] 吴成辉. 黄曲霉素 M1 免疫层析检测方法的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.

Wu CH. The study of Immunochromatographic assays for detection of aflatoxin M1 [D]. Nanchang: Nanchang University, 2017.

- [15] 谭佳媛. 基于表面增强拉曼光谱和超分子作用快速检测三聚氰胺[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2017.

Tan JY. Based on surface enhanced Raman spectroscopy and supramolecular function for rapid detection of melamine [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2017.

- [16] 贾丽华, 王海华, 孙宁宁, 等. 速测盒法快速测定肉及肉制品中亚硝酸盐[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(11): 2611-2615.

Jia LH, Wang HH, Sun NN, *et al.* Rapid detection of nitrite in meat and meat products [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(11): 2611-2615.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



赵 洁, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向为农产品质量安全。

E-mail: zhaojie@gdaas.cn



王 旭, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。

E-mail: wangxuguangzhou@126.com