

# 食品快速检测方法的评价及其贝叶斯推断

宁霄<sup>1</sup>, 贺鑫鑫<sup>1</sup>, 金绍明<sup>1</sup>, 曹进<sup>1\*</sup>, 路勇<sup>1</sup>, 张峰<sup>2\*</sup>

(1. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050; 2. 中国检验检疫科学研究院, 北京 100176)

**摘要:** **目的** 探讨我国快检方法的评价管理模式及应用效果。**方法** 在梳理和比较国内外相关食品快速检测方法和产品的技术评价规范及标准的基础上, 采用贝叶斯推断, 将快速检测所获得的数据与食品安全监管中所使用的实验室方法检测数据相结合。**结果** 基于贝叶斯推断, 将快速检测筛查和实验室确证相关联进行评价, 能够在较大程度上提高快检方法的理论有效性。有必要将快速检测与实验室确证检测相结合, 有针对性地设定相应的快检出限值及假阳/阴性率, 提高检测结果的准确性。**结论** 在实际应用中, 应结合实验室方法检测数据对快速检测所获得的筛查结果进行评估, 以提高风险筛查效能。在此基础上, 有必要进一步规范食品快速检测方法及其产品的评价标准, 完善科学的评价方法及评价体系, 以保障我国食品安全及快速检测行业的健康发展。

**关键词:** 食品安全; 快速检测; 评价方法; 贝叶斯推断

## Evaluation of food rapid detection methods and their Bayesian inference

NING Xiao<sup>1</sup>, HE Xin-Xin<sup>1</sup>, JIN Shao-Ming<sup>1</sup>, CAO Jin<sup>1\*</sup>, LU Yong<sup>1</sup>, ZHANG Feng<sup>2\*</sup>

(1. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China; 2. Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the evaluation management mode and application effect of fast inspection method in China. **Methods** On the basis of combing and comparing the relevant food rapid detection methods and product technical evaluation specifications and standards at home and abroad, using Bayesian inference, the data obtained from rapid test with the test data of laboratory method used in food safety supervision was combined. **Results** Based on Bayesian inference, the theoretical validity of the rapid detection method could be improved to a great extent by combining the rapid detection with laboratory confirmation. It is suggested that the rapid detection should be combined with laboratory confirmatory testing, and the corresponding detection limit and false positive/negative rate should be set to improve the accuracy of the test results. **Conclusion** In practical application, the screening results obtained by rapid detection should be evaluated in combination with the laboratory method test data, so as to improve the risk screening. On this basis, it is necessary to further standardize the evaluation standards of food rapid detection methods and product, and improve the scientific evaluation methods and evaluation system, so

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1601300)

**Fund:** Supported by the National Key Research and Development Project (2017YFC1601300)

\*通信作者: 曹进, 研究员, 主要研究方向为食品安全。E-mail: caojin@nifdc.org.cn

张峰, 研究员, 主要研究方向为食品安全。E-mail: zhangfeng@126.com

\*Corresponding author: CAO Jin, Professor, National Institutes for Food and Drug Control, National Institutes for Food and Drug Control, No.2, Tiantan Road, Dongcheng District, Beijing 100050, China. E-mail: caojin@nifdc.org.cn

ZHANG Feng, Professor, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, No.11, Ronghua South Road, Yizhuang Economic and Technological Development Zone, Beijing 100176, China. E-mail: zhangfeng@126.com

as to ensure the food safety and healthy development of rapid detection industry in China.

**KEY WORDS:** food safety; rapid detection; evaluation method; Bayesian inference

## 0 引言

食品安全检测是保障食品安全的重要技术手段,在近年来的国家食品安全保障和监管中起到了关键性的作用。但随着食品工业的发展、人们需求的延伸、食品生产和消费新业态的产生,食品安全检测的内涵随之产生了较大的变化,对检测方法科学性、及时性和有效性的要求也在不断提高。食品安全快速检测作为及时发现产品风险的一类科学监管手段,既是食品安全日常检验的重要补充,也是加快食品检测普及化的有效支撑,更是增加食品安全探查深度和广度的科学手段。食品安全快速检测通常是一类能够在短时间内出具较准确检测结果的行为<sup>[1]</sup>,它所依赖的快速检测技术,首先要能够缩短检测时间,其次是能够简化样品前处理过程以及实现检测仪器自动化。因此,快速检测技术应具备以下4个方面的特点:(1)实验流程简化和固定化;(2)对操作人员技术水平要求较低;(3)能够在短时间内给出测试结果;(4)环境友好成本低廉<sup>[1-3]</sup>。按照应用场合和检测时间的不同,食品安全快速检测方法可分为实验室快速检测和现场快速检测2种方法。实验室快速检验方法是指包括样品制备在内的能够在2 h以内出具检验结果的理化检验方法或能够大幅度缩短检验时间(相比传统检验方法缩短1/2或1/3检验时间)的微生物检验方法<sup>[4-5]</sup>;现场快速检验是指可用于现场并且在30 min内可出具检验结果的方法,其中,能够在十几分钟甚至几分钟内出具检验结果的则为比较理想的现场快速检验方法<sup>[6-8]</sup>。从筛查和定量的角度来看,食品安全快速检验又可分为定性检测、半定量检测和定量检测。前两者常用于现场检测,对半定量检测难以确定的结果,需送实验室进一步检验;对于定量检测,一般需要在实验室进行。然而,随着应用技术的延伸和拓展,原有实验室中的大型检测设备也逐渐趋于小型化和便携化,以适应移动实验室检测或现场快速仪器检测的需求。

因此,现有的快速检测方法实际上分为2部分:一部分是基于免疫、生物传感器、显色、化学发光、生物芯片等进行检测的方法,包括试剂盒、读数读卡设备、显色卡、芯片、小型紫外检测等;另一部分主要是基于小型仪器,如质谱、离子迁移、荧光分析、PCR仪、拉曼、近红外光谱、小型液相或气相等及相关试剂耗材的检测方法<sup>[9-12]</sup>。按照现有状况,国内快速检测方法主要关注前者,而国外的发展则重点是后者。但是目前相关方法及产品在我国实际监管中的应用效果有待提高,有必要进一步规范食品快速检测方法及产品的评价标准,完善科学的评价方法及评

价体系,以保障我国食品安全及快速检测行业的健康发展。本文在梳理和比较国内外相关食品快速检测方法和产品的技术评价规范及标准的基础上,采用贝叶斯推断,将快速检测所获得的数据与食品安全监管中所使用的实验室方法检测数据相结合进行分析。为在实际应用中兼顾提高检测结果准确性和风险筛查效能提供建议,以期为进一步完善科学的评价方法及评价体系提供理论参考,从而保障我国食品安全及快速检测行业的健康发展。

## 1 国外快检方法的评价及使用

近年来,美国、韩国等国家相继加大投入力度,用于研发试剂盒、速测卡等快检产品及便携式或车载检测仪器<sup>[13-18]</sup>,如疯牛病污染快检方法、酒精中甲醇的快速检验方法等。快速检测技术的研究更多地着眼于控制食品生产关键环节及致病菌、转基因的快速检测,注重快速检测的准确性,以及实验室大型仪器的小型化、便携化、自动化改进。

从食品安全现场快速检验技术而言,各国依照其国情的不同,关注焦点也不尽相同。有些是各国共同关注的,如微生物污染、农药残留、金属污染物、亚硝酸盐等<sup>[19-22]</sup>。有些则是依其国情对某些易发生的食品安全问题而开展的研究项目,如牛肉中疯牛病因子的快速检验是一些发达国家研发的重点。实验室快速检验与筛查的技术和仪器设备,如色谱-质谱联用仪,则主要用于进出口检验、定期监测及食品安全事件的应急检验与分析等。显然,对此不仅要求准确的定性和定量分析,而且要实现高通量的检测。另外,在发达国家,由于食品生产规模化程度高,对生产现场质量控制技术与仪器需求大,所以在线质控技术与设备在发达国家颇受重视,通常将其视为建立食品良好生产规范(good manufacturing practice, GMP)和危害分析与关键控制点(hazard analysis critical control point, HACCP)的重要环节和措施。

### 1.1 快检方法的评价

发达国家在食品相关快速检测方面的评价主要涉及的产品是试剂盒。各国官方主要对用于医疗、药物临床等方面的试剂盒实行注册管理。而商业化食品快速检测试剂盒大多由各国权威的组织或学会进行评价,例如美国分析化学家协会(Association of Official Analytical Chemists, AOAC)、法国标准化协会(Association Francaise de Normalisation, AFNOR)等组织,已获得其市场的认可。

AOAC将商业化试剂盒作为一种快速检测方法进行

评价,其工作重点是针对采用试剂盒方法的技术性能指标进行验证,现有的评价范围包括化学与微生物试剂盒,主要的依据是其制订的试剂盒性能评价方法与其参考分析方法之间的一致性比较结果。评价证书的有效期一般为1年。

AFNOR 主要开展食品与水质中微生物检测试剂盒的技术评价工作。主要的依据是(EC) No 2073/2005<sup>[23]</sup>中关于食品微生物标准法规的第5条的规定:当分析方法依据附件I中列出的参比方法进行了确认,且若该方法由第三方按EN/ISO 16140标准提出的方法或其他国际公认的方案进行了认证,则该方法可作为替代分析方法使用。因此在欧盟法律框架下,试剂盒评价应视为强制要求进行开展。在AFNOR的评价中,应依据法规要求(一个试剂盒由10家实验室进行协同实验),同时利用参考方法进行验证,如不存在参考方法,则建议使用官方方法或被广泛认可的文献方法进行参比验证。评价主要从2个方面进行,一个是本身的技术指标要求,要符合法规要求,具备与参比方法的一致性;另一个是对试剂盒生产商的质量保证进行能力评价。

除了以上2家协会的评价,还有NordVal评价,2007年NordVal秘书处由北欧食品分析委员会接管,因此该项评价是在该委员会框架下进行的,主要针对的是微生物学可选方法的确认工作。NordVal制订了一系列可选微生物方法确认方案,用于指导食品、水、动物粪便、饲料、设备和加工场地样品、环境样品中微生物分析方法确认工作的进行;作为欧洲方法确认和体系认证组织之一的MicroVal也对微生物试剂盒进行评价,并与标准方法进行比较,用于评价相关生产上的质量体系等;此外,在美国农业部制定了对霉菌毒素定性及生物技术快速检测方法试剂盒性能检测的程序性评价验证文件,对快速检测试剂盒的检测性能指标、生产信息、温度强化、样品强化试验等进行了要求。由美国农业部下属机构—谷物检验、批发及畜牧场管理局(Grain Inspection, Packers and Stockyards Administration, GIPSA)承担相关评价工作,费用由申请者承担。与美国农业部批准的其他一些诊断试剂(盒)不同,这些毒素相关试剂盒经过评价认定后,并没有获得强制性批准用于官方检测,而是可以被选择使用。

## 1.2 快检方法的使用

快速检测方法很大程度上被用于监测、日常巡查以及过程检查方面,致力于筛查和发现可能的风险,例如英国要求贝类水产品需要加大海洋毒素的检查力度。因此,检查人员越来越迫切寻求快速检测产品以用于日常检查。为此,英国食品标准局对全国8个主要厂商的产品进行了评价,并提出了相关评价依据。与美国农业部相似,快速检测方法主要用于现场的问题筛查,在经过指标和性能评价后,该产品可以用于执法,但是如果产品中明示需要进行

确证实验或者依据申请进行确证实验,则仍然需要进行实验室确证性检测。

在美国,以国家牛奶中药物残留检测计划为例,美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)在此计划中认可2种方法,一种是将经过FDA评价授权的快速检测条(品牌名称为CHARM)作为筛查和初检的方法;另一种是复检方法,即标准或者相关组织提供的FDA认可的实验室参比方法。在美国的食品安全日常检查中,均使用快速检测方法进行检测,但现场抽检的样品也同样要转运至州实验室进行测定,方法采用筛查方法进行,另外每周会有3个州在其日常检测的样品中选择5个转移至联邦实验室(丹佛)进行检测,方法使用实验室方法;对于筛查方法出现超出阈值或者安全限值的产品需要全部送到联邦实验室进行复核检测(复检),政府依据复检结果进行执法,与此同时,实验室会保留一份样品用于确证。

## 2 国内快检方法的评价及使用

我国《中华人民共和国食品安全法》以及《中华人民共和国农产品质量安全法》中对食品、初级农产品和食用农产品的快速检测方法有着不同程度上的定义<sup>[24-25]</sup>。监管部门应依据相关规定对快速检测方法及其应用进行规范的管理,以保障其有效的使用,这在食品检验检测方面也是一个逐步推进标准化的过程。

### 2.1 快检方法的评价

我国现有的针对食品检测试剂盒(快速检测方法的一类)的管理状态存在以下2种,一个是农业农村部对兽药残留检测试剂盒进行备案管理,另一个是国家认证认可监督管理委员会对商品化的食品检测试剂盒进行的评价试点工作<sup>[26-27]</sup>。

#### 2.1.1 农业农村部管理办法

2005年,农业部《关于加强兽药残留检测试剂(盒)管理的通知》(农办医[2005]3号)要求<sup>[28]</sup>:兽药残留酶联免疫检测试剂盒需向农业部备案,获得备案号。在同步发出的农办医[2005]17号文中<sup>[29]</sup>,包含兽药残留酶联免疫试剂(盒)备案审查技术资料要求和兽药残留酶联免疫试剂(盒)备案参考评判标准。前者是产品本身的要求,后者是对评价方法学技术指标的要求。最终公布获得批准的试剂盒名称、研制单位及其备案号。

#### 2.1.2 国家认证认可监督管理委员会管理办法

2011年2月国家认证认可监督管理委员会在《关于开展检验检疫行业标准中商品化检测试剂盒试点评价工作的通知》(国认科[2011]11号)中<sup>[30]</sup>,要求启动检验检疫行业标准中所涉及食品检测商品化试剂盒的试点评价工作,评价工作的主要依据是SN/T 2775—2011《商品化食品检测试剂盒评价方法》<sup>[31]</sup>。在参考国际上相关标准的基础上,

如 ISO 16140:2003《食品与饲料微生物检测方法-替代方法验证程序》<sup>[32]</sup>、《AOAC 分析方法技术参数验证的协同实验指南》<sup>[33]</sup>等,监管部门制订了相关评价流程,包括评价工作专家委员会、秘书处、评价机构职责、评价工作程序等内容。

## 2.2 快检方法的使用

### 2.2.1 我国食品快速检测发展

为推进食品安全快速检测技术应用研究的深入发展,从我国十五科技相关项目开始,在各个五年计划的科技支撑中均有所部署,期间发展了大量的食品快速检测技术和方法,从一般的理化到生物传感检测方法,甚至设备研发均有所涉及<sup>[34]</sup>,但是大量的科研成果在实际应用中因食品监管的分散并没有进行合理的配置和应用推广。据不完全统计,相关程度转化率一直低于 20%,仅在小型光谱、颜色反应、免疫抗体等检测方向上有所使用,使用的主要对象也局限于企业和少数具有食品监管的职能部门。自 2009 年我国食品安全法颁布以来,原食品药品监督管理局、原食品药品监督管理总局对食品快速检测进行了专项研究,并在相关规划中,部属使用了以快速检测车为主要载体的快速检测集合,其中包括可以现场检测的免疫、颜色反应和小型光谱设备。2015 年,在新颁布的食品安全法和机构整合的情况下,国务院食品安全委员会牵头部门—国家市场监督管理总局对食品安全快速检测工作进行了进一步梳理,成立了相关方法秘书处,对食品安全快速检测从管理机制、评价机制以及使用建议等方面进行了要求和规范,对食品安全快速检测应用和评价机制进行了重点探讨,以期在今后的食品安全监管中高效发挥快速检测的作用。

### 2.2.2 我国食品快速检测使用效果

在 2010 年以来的食品快速检测实际应用中,针对企业的过程控制方面,特别是对原料和中间品的快速分析上,快速检测得到了一定程度的应用,但是相对而言较为局限,主要集中于在过程质量指标和风险化学品检测方面的使用。整体快检产品的使用率,科技成果转化率小于 20%,快检产品种类也局限于免疫学、颜色反应和小型波谱设备上。在实际监管中,随着快检车的普及和区域检查的加强,快速检测也在有限的范围内进行使用且在全国范围内分布非常不均衡。通过各省发布的检测年度报告可见,在东海和南海沿线省区应用较多,其他地域则使用较少;从使用率来看,快速检测小于整体检测的 30%;从用于监管筛查的检测效率看,即使在广东深圳等发达省市,其检测样品量与抽检监测(使用实验室确证方法进行检测)的数量相匹配,但是问题发现率远小于抽检监测的问题率,呈现出筛查和确证问题发现率倒挂的悖论。这给公众带来了快检无用的印象,也产生了科学研究证明与实际应用效果严重矛盾的主流思维。

## 3 食品快速检测的贝叶斯推断

如何破解上述悖论,更加合理地评价食品快速检测方法,并在实际应用中真正实现转化,是目前需要进行规划和思考的重要方面。

### 3.1 依据真实快速检测结果的推断

贝叶斯推断(Bayesian inference)是一种统计学方法,用来估计统计量的某种性质。贝叶斯推断是建立在先验经验或者结果上的推断方式,可以在理论上对某种情境提供一个估计值,然后在实际结果的不断修正下,最终获得一个合理的表达或估计<sup>[35]</sup>。一般而言,当分析样本大到接近总体数量时,样本中事件发生的概率将接近于总体中事件发生的概率。贝叶斯法是关于随机事件 A 和 B 的条件概率和边缘概率的推断,以  $P(A|B)$  表示在 B 发生的情况下 A 发生的可能性,即概率。其全概率的计算公式如式(1):

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{\sum_j P(B|A_j)P(A_j)} \quad (1)$$

其中  $P(A)$  是 A 的先验概率或边缘概率,所谓"先验"是因为它不考虑任何 B 方面的因素。 $P(A|B)$  是已知 B 发生情况下 A 的条件概率,也由于需要得知 B 的取值而被称作 A 的后验概率。 $P(B|A)$  是已知 A 发生情况下 B 的条件概率,也由于需要得知 A 的取值而被称作 B 的后验概率。 $P(B)$  是 B 的先验概率或边缘概率,即标准化常量。根据公式(1),贝叶斯法则按照常规理解可以表述为:后验概率=(或然率×先验概率)/标准化常量,即后验概率与先验概率和或然率的乘积成正比。另外,  $P(B|A)/P(B)$  也有时被称作标准或然率,即后验概率=标准或然率×先验概率。依据贝叶斯推断的含义,对于某种事件可先预估一个"先验概率",然后加入实验结果,可知该实验是增强还是削弱了"先验概率",由此得到更接近事实的"后验概率"。在这里,如果"标准或然率" $P(B|A)/P(B)>1$ ,意味着"先验概率"被增强,事件 A 发生的可能性变大;如果"标准或然率" $=1$ ,意味着 B 事件无助于判断事件 A 的可能性;如果"标准或然率" $<1$ ,意味着"先验概率"被削弱,事件 A 的可能性变小。因此,实际上可以利用上述推断方式,对实际监管过程中的食品快速检测的有效性进行评估。例如可设置如下命题:按照部分省市目前快速检测测定样品结果合格率为 99%,即不合格率为 1%,设为 A 事件的概率,其补集是 A',快速检测按照相关研究规范验证的正确率是 90%,即获得检测结果为阳性(不合格)的概率,设为 B 事件的概率。那么,如果一个样品检测结果为阳性(不合格),其样品合格或不合格的概率是多少?根据公式(1)和假设计算,获得的结果是 8.3%,也就是快速检测结果为阳性,其真实样品的不合格概率为 8.3%。该结果是针对现有统计数据获得的一个效应推断,是在现有应用情况和方法评价情况下所获得的一个结果。

### 3.2 根据理论预估获得的推断

在现有的食品快速检测使用中, 存在快速检测与监督抽检相互隔离的问题, 其次由于快速检测体系尚不规范, 其样品处理、方法适用性等与实际的检测结果准确性上存在较大的偏差, 最后在快速检测方法研制和方法验证参数上也存在一定的问题, 没有切合实际的食品样品检测进行参数设置, 在方法假阳性、假阴性、灵敏度和特异性的设定上存在缺陷。依据实际食品安全监管情况, 我们对一些推断参数进行了调整, 结果见表 1, 由此可以反映出一些实际问题。

表 1 理论预估的推断结果

概率	实际	假设 1	假设 2	假设 3	假设 4	假设 5
$P(A B)$	0.083	0.50	0.32	0.16	0.67	0.50
$P(A)$	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05
$P(B A)$	0.90	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95
$P(A')$	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95
$P(B A')$	0.10	0.10	0.10	0.05	0.050	0.05

表 1 中的实际即上文中所述情况, 假设 1 即实际样品不合格率为 10%, 方法的正确率为 90%的情况; 假设 2 即实际样品不合格率为 5%, 方法的正确率为 90%的情况; 假设 3 即实际样品不合格率为 1%, 方法的正确率为 95%的情况; 假设 4 即实际样品不合格率为 10%, 方法的正确率为 95%的情况; 假设 5 即实际样品不合格率为 5%, 方法的正确率为 95%的情况。其中实际样品不合格率基本符合现有监督抽检的平均情况。

由表 1 可以看到, 如果依据实际的食品不合格情况(监督抽检)计算, 获得的 3.1 中假设的概率结果分别为 32%(假设 2)和 50%(假设 5), 比实际(8.3%)提高 3.9 和 6.0 倍, 较大地提高了食品快检方法在理论上的有效性, 而在快检方法的正确率提高的基础上, 整体有效性会提高 1.6 倍; 当继续保持样品不合格率不变, 单纯提高方法正确率, 则有效性可以从 8.3%(实际)提高到 16%(假设 3); 在采用实际不合格率, 方法正确率不变的情况下, 有效性提高到 50%(假设 1); 如按照实际不合格率, 方法正确率为 95%, 有效性为 67%。这些推断结果说明, 快速检测筛查需要和 监督抽检进行配合, 以保证快速检测的效果。

## 4 结 论

综上所述, 为提升快速检测的有效性和实际筛查能力, 对快速检测评价提出一下建议: (1)快速检测需要依据实际检测的限值情况, 有针对性地设定其对应的检出限值, 提出假阳性率和假阴性率, 提高检测结果的准确性, 而不是单纯追求高灵敏度; (2)快速检测方法需要使用实验室方

法进行确证, 以保证快速检测结果的准确性, 提高风险筛查效能; (3)有必要提高确证方法与快速检测方法的关联性, 避免样品检测过程中的脱节问题; (4)快速检测方法需要根据实际检测情况, 简化样品处理和制备方式, 并规范日常检测中的质量控制。

### 参考文献

- [1] YAO GZ, WANG WL, XIA M, *et al.* Comparison of fast detection and national standard test methods for three pathogenic bacteria [J]. *Food Sci Technol-Brazil*, 2018, 43: 358–362.
- [2] 苏敏. 食品安全监督管理工作中快速检测技术应用分析[J]. *食品安全导刊*, 2019, 254(29): 78–79.  
SU M. Application analysis of rapid detection technology in food safety supervision and management [J]. *China Food Saf Magaz*, 2019, 254(29): 78–79.
- [3] YUE QH, HUANG Y, HUANG LY, *et al.* Problems and countermeasures in the grassroots supervision of food safety fast detection technology [J]. *J Food Qual*, 2019, (10): 6356–6361.
- [4] PAN C, CHEN HJ, LIN Q, *et al.* Evaluation of the SERS-based strategy in fast and on-site food safety inspection: Qualitative and quantitative analysis of trace unexpected herbicide in complicated herbicide matrix [J]. *J Raman Spectrosc*, 2020: 1–6.
- [5] HAI HL, CHAO QS, RUO CC, *et al.* Research and application of technical specification for evaluation of rapid food safety inspection products [J]. *J Food Qual*, 2019, 10: 4036–4042.
- [6] 陈久森, 温振东. 浅谈实验室食品安全快速检测[J]. *农产品加工*, 2015, (9): 34–36.  
CHEN JS, WEN ZD. Discussion on rapid food safety testing in laboratory [J]. *Farm Prod Process*, 2015, (9): 34–36.
- [7] 朱小红. 现场快速检测在食品安全监督中的应用及展望[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(8): 303–307.  
ZHU XH. Application of on-site fast detection for food safety [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, 31(8): 303–307.
- [8] LIN WQ. Research progress on application of rapid food safety detection technology [J]. *J Food Qual*, 2020, (11): 961–967.
- [9] YAO SP, YAN R, YANG SH, *et al.* Development situation on rapid detection of food microorganism [J]. *Food Res Dev*, 2017, (38): 194–197.
- [10] GAO X, MA L, ZHENG FY, *et al.* Research progress of rapid detection technology for food safety [J]. *Food Eng*, 2020, (1): 14–19.
- [11] 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.
- [12] 黄怡淳, 丁炜炜, 张卓昊, 等. 食品安全分析样品前处理-快速检测联用方法研究进展[J]. *色谱*, 2013, 31(7): 613–619.  
HUANG YC, DING WW, ZHANG ZM, *et al.* Development of sample pretreatment techniques-rapid detection coupling methods for food security analysis [J]. *Chin J Chromatogr*, 2013, 31(7): 613–619.
- [13] COOLER WA, CLARKJK, RYDERSJ, *et al.* Evaluation of a rapid western immunoblotting procedure for the diagnosis of bovine spongiform encephalopathy (BSE) in the UK [J]. *J Comp Pathol*, 2001, 125(1): 64–70.
- [14] CHAILAPAKUL O, KORSRISAKUL S, SIANGPROH W, *et al.* Fast and

- simultaneous detection of heavy metals using a simple and reliable microchip-electrochemistry route: An alternative approach to food analysis [J]. *Talanta*, 2008, 74(4): 683–689.
- [15] WU XL, HE WY, KUNMEI J, *et al.* A simple and fast detection method for bovine milk residues in foods: A 2-site monoclonal antibody immunochromatography assay [J]. *J Food Sci*, 2013, 78(3): 452–457.
- [16] TAKUJI Y, YUKO UK, TAKASHI Y, *et al.* Sensitivity and specificity of a commercial BSE kit for the detection of ovine scrapie [J]. *Anim Sci J*, 2013, 84(6): 508–512.
- [17] HAGIWARA K, IWAMARU Y, TABETA N, *et al.* Evaluation of rapid post-mortem test kits for bovine spongiform encephalopathy (BSE) screening in Japan: Their analytical sensitivity to atypical BSE prions [J]. *Prion*, 2017, 11(2): 113–127.
- [18] FEI L, LANHAN Y, JIYU P, *et al.* Fast detection of copper content in rice by laser-induced breakdown spectroscopy with uni- and multivariate analysis [J]. *Sensors*, 2018, 18(3): 1–15.
- [19] Regulation (EC) No 2073/2005 Food microbiological standards [S].
- [20] MARCIN P. Heavy metals in notifications of rapid alert system for food and feed [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15(2): 1–13.
- [21] KYUNG-A A, YUNHEE J, KASHIF A, *et al.* Assessment of microbial contaminations in commercial frozen duck meats and the application of electron beam irradiation to improve their hygienic quality [J]. *J Sci Food Agric*, 2018, 98(14): 5444–5449.
- [22] MUSTAPHA FA, JALLOW, DAWOOD G, *et al.* Monitoring of pesticide residues in commonly used fruits and vegetables in kuwait [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, 14(8): 1–12.
- [23] 周毅文, 黄世杰, 吴俊星, 等. 食品中亚硝酸盐的测定方法研究进展 [J]. *广州化工*, 2019, 47(20): 29–31.  
ZHOU YW, HUANG SJ, WU JX, *et al.* Research progress on determination methods of nitrite in food [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2019, 47(20): 29–31.
- [24] 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]. [1995-10-30].  
[http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/1995-10/30/content\\_1481321.htm](http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/1995-10/30/content_1481321.htm)  
The Standing Committee of the National People's Congress. Food safety law of the People's Republic of China [EB/OL]. [1995-10-30] [http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/1995-10/30/content\\_1481321.htm](http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/1995-10/30/content_1481321.htm)
- [25] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国农产品质量安全法 [EB/OL]. [2018-10-26]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c12435/201811/a68f062241a246cd9e185bc568b922fa.shtml>  
The Standing Committee of the National People's Congress. Law of the People's Republic of China on the quality and safety of agricultural products [EB/OL]. [2018-10-26]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c12435/201811/a68f062241a246cd9e185bc568b922fa.shtml>
- [26] 黄晓蓉. 食品检测试剂盒评价[J]. *检验检疫学刊*, 2013, 23(3): 1–3.  
HUANG XR. Validation of commercial food testing kits [J]. *J Ins Quar*, 2013, 23(3): 1–3.
- [27] 张威, 胡重怡, 吕小丽, 等. 食品安全快速检测产品评价[J]. *食品安全导刊*, 2018, (28): 74–78.  
ZHANG W, HU ZY, LV XL, *et al.* Evaluation of food safety rapid detection products [J]. *China Food Saf Magaz*, 2018, (28): 74–78.
- [28] 中华人民共和国农业部. 关于加强兽药残留检测试剂(盒)管理的通知 [Z].  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Notice on strengthening the management of veterinary drug residue detection kits [Z].
- [29] 中华人民共和国农业部. 兽药注册评审工作程序[Z].  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Procedures for veterinary drug registration and review [Z].
- [30] 国家认证认可监督管理委员会. 关于组织开展检验检疫行业标准中商品化检测试剂盒试点评价工作的通知[Z].  
Certification and Accreditation Administration of the People's Republic of China. Notice on organizing and carrying out pilot Evaluation of Commercial Testing Kits in inspection and quarantine industry standards [Z].
- [31] SN/T 2775—2011 商品化食品检测试剂盒评价方法[S].  
SN/T 2775—2011 Evaluation method of commercial food test kit [S].
- [32] ISO 16140:2003 食品与饲料微生物检测方法-替代方法验证程序[S].  
ISO 16140: 2003 Microbiology of food and animal feeding stuffs-Protocol for the validation of alternative methods [S].
- [33] 岳振峰. 国外食品安全化学分析方法验证指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 2015.  
YUE ZF. Guidelines for validation of chemical analysis methods for food safety in foreign countries [M]. Beijing: China Standard Press, 2015.
- [34] CHEN ST, XIA FY, CAO HL. Comparison of rapid detection methods of pesticide residues in fruits and vegetables and research on its impact factors [J]. *Food Ind*, 2019, (10): 196–200.
- [35] 王丽. 浅析贝叶斯公式及其在概率推理中的应用[J]. *科技创新导报*, 2010, (24): 136–136.  
WANG L. Analysis of Bayes formula and its application in probability reasoning [J]. *Sci Technol Innov Herald*, 2010, (24): 136–136.

(责任编辑: 张晓寒)

## 作者简介



宁 霄, 硕士, 副主任药师, 主要研究方向为食品安全。  
E-mail: 506612164@qq.com



曹 进, 研究员, 主要研究方向为食品安全。  
E-mail: caojin@nifdc.org.cn



张 峰, 研究员, 主要研究方向为食品安全。  
E-mail: zhangfeng@126.com