

食品中微生物限量要求及检测技术发展趋势

姬莉莉*, 闫雪

(北京市怀柔区疾病预防控制中心, 北京 101400)

摘要: 近几年国家食品安全抽检不合格情况的汇总分析和中国大陆食源性疾病爆发监测的数据显示, 微生物性因素导致不合格问题以及食源性疾病一直居于首位。我国的食品安全监管模式正逐步与国际接轨, 从注重终产品检测转变为注重过程控制。食品微生物检测作为食品的卫生管理和安全性评价的指标越来越受到重视。本文综述了目前国内外食品中微生物的限量要求及标准体系的变化, 并介绍了食源性微生物检测及鉴定技术的应用及相关产品的应用情况, 包括: 显色培养基、测试片、ATP 荧光法、PCR 技术、生物芯片、质谱、测序技术等。在此基础上, 分析讨论我国标准体系及检测技术的应用面临的问题、挑战及发展趋势。

关键词: 食源性微生物; 检测; 鉴定; 限量标准; 食品安全

Requirements of microbial limit and development trend of detection technology

Ji Li-Li*, Yan Xue

(Beijing Huairou District Center for Disease Control and Prevention, Beijing 101400, China)

ABSTRACT: In recent years, the summary analysis of the unqualified situation in national food safety sampling inspection and the monitoring data of foodborne disease outbreak in mainland China show that the unqualified problem caused by microbial factors and foodborne disease are always in the first place. China's food safety supervision model is gradually in line with the international standards, changing from focus on end product testing to process control. And as an index of food hygiene management and safety evaluation, food microbiological detection has been paid more and more attention. This paper reviewed the changes of limitation requirements and the standard system of microorganism in food at home and abroad, and introduced the application of foodborne microorganism detection and identification technology and related products, including chromogenic medium, test tablet, ATP fluorescence method, PCR technology, biochip, mass spectrometry, sequencing technology and so on. On this basis, it analyzed and discussed the problems, challenges and development trends of the application of our standard system and testing technology.

KEY WORDS: food-borne microorganism; detection; identification; limited quantity standard; food safety

0 引言

食品安全关系到广大人民群众的身体健康和生命安全, 食品安全已成为衡量人民生活质量、社会管理水平和

国家法制建设的一个重要方面^[1-3]。近几年国家食品安全抽检不合格情况的汇总分析可以看出, 我国食品安全主要的问题集中于微生物、农药兽药、重金属、食品添加剂、生物毒素、有机物污染等几个方面^[4-8]。近几年中国大陆食源

*通信作者: 姬莉莉, 主管检验师, 主要研究方向为微生物检测及鉴定。E-mail: hrcdc@126.com

*Corresponding author: Ji Li-Li, Competent Examiner, Beijing Huairou District Center for Diseases Control and Prevention, 23 Fule Beili, Huairou District, Beijing 101400, China. E-mail: hrcdc@126.com

性疾病爆发监测的数据中可以看到,微生物性因素导致的食源性疾病一直居于首位,2015年大陆食源性疾病爆发监测结果显示^[1],微生物性因素所致的发病率占51.5%。我国的食品安全监管模式正逐步与国际接轨,从注重终产品检测转变为注重过程控制^[9]。食品微生物检测作为食品的卫生管理和安全性评价的指标越来越受到重视^[10-13]。尤其是2020年“新冠病毒”疫情爆发后,食品在生产过程、流通、餐饮等环节,更加注重微生物的监控。不同类产品中关于微生物限量要求的标准也在逐渐更新、完善,一般指示菌会在产品标准中做出要求,致病菌限量有单独的标准,目前现行有效的标准是GB 29921—2013《食品安全国家标准食品中致病菌限量》,本标准正在重新修订。GB 4789系列标准主要规定了微生物的检验方法^[14-17]。

目前,微生物的检验方法是以培养法作为标准,通过对食品样品预增菌、选择性增菌、分离培养、生化鉴定、血清分型等手段,实现食品中致病微生物定性和定量检测,检验流程通常为3~7 d^[18-21]。但此类方法操作烦琐、耗时长,企业实际样本检测中,大部分食品样本尤其是预包装食品检测结果几乎都是阴性,因为需要一种简单、快速、方便、低成本的检验方法进行初筛,出现阳性、疑似阳性再进一步用培养法进行分类鉴定,提高检测效率^[22-24]。近些年,随着国际交流合作的开展,标准的进步,我国科研水平的提高,相继出现了许多快速检测及鉴定技术和产品。本文综述了目前国内外食品中微生物的限量要求及标准体系的变化,以及食源性微生物检测鉴定技术及相关产品的应用情况,并探讨了我国标准体系及检测技术的应用面临的问题、挑战及发展趋势,以期为我国食品中微生物限量要求及检测技术发展趋势的了解和掌握提供相应技术参考。

1 国内外食品微生物限量标准体系

1.1 我国食品中主要微生物指标及限量设置现状

食品样本中,38类(种)食品规定了菌落总数限量要求,49类(种)食品规定了大肠菌群限量要求,18类(种)食品规定了霉菌限量要求,8类(种)食品规定了霉菌限量要求,13类食品中规定了致病菌限量要求^[25]。

评价食品品质的指示菌,通常可间接地表示食品腐败变质及劣化程度。我国最常用的是菌落总数、霉菌和酵母计数、大肠菌群和肠杆菌科等指标。评价食品安全性的致病菌,常见的是一些重要的食源性致病菌,如沙门氏菌、志贺氏菌、单增李斯特氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌等。目前我国食品安全国家标准基础标准和产品标准中的致病菌指标主要包括沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌、大肠埃希氏菌 O157:H7、单核细胞增生李斯特氏菌、阪崎肠杆菌等。评价食品的质量和

安全性两方面的指示菌,主要包括肠杆菌科、大肠埃希氏菌(大肠杆菌)、大肠菌群、粪大肠菌群等,在我国最常用的是大肠菌群。

GB 29921—2013《食品安全国家标准食品中致病菌限量》^[26]是目前我国食品中主要的致病菌限量标准。该标准适用于预包装食品,不适用于罐头类食品,标准规定了食品中致病菌指标、限量要求和检验方法。2019年发布了新版 GB 29921《食品安全国家标准预包装食品中致病菌限量》及《散装即食食品中致病微生物限量》的征求意见稿,将进一步对食品中致病菌的限量要求进行细化,指标设置将更科学^[26-28]。

1.2 我国检验方法标准现状及变化

国家食品安全标准(GB 4789)是微生物建议方法的强制标准,共有44个标准,包含了总则、培养基验收、菌落总数、大肠菌群、霉菌酵母、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、致泻大肠埃希氏菌、单核细胞增生李斯特氏菌检验等微生物的检验方法流程要求,以及部分食品的采样及前处理要求等。2020年10月13日,新增发布了GB 4789.44—2020《食品安全国家标准食品微生物检验创伤弧菌检验》^[29]创伤弧菌检验方法标准,首次将PCR技术应用于样本快速筛查;同时还发布了GB 4789.29—2020《食品安全国家标准食品微生物学检验唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(椰毒假单胞菌酵米面亚种)检验》椰毒假单胞菌酵米面亚种检验方法标准^[30]。截止2020年10月,其他标准的修订状态如下:GB 4789.2 菌落总数检验方法标准在征求意见稿中,GB 4789.4 沙门氏菌和GB 4789.40 克罗诺杆菌属(阪崎肠杆菌)检验标准、GB 4789.28 培养基和试剂的质量要求标准在修订状态,GB 4789.17—GB 4789.25 各类食品中微生物检验操作流程标准即将开始征求意见,GB 4789.3 大肠菌群计数标准、GB 4789.16 单核细胞增生李斯特氏菌检验标准、GB 4789.42 诺如病毒检验标准成功立项修订,即将启动标准修订^[31]。

1.3 卫生标准操作规范

卫生标准操作规范的概念最早来源于美国水产品 HACCP 法规。根据《中华人民共和国食品安全法》和《食品安全国家标准管理办法》规定,经食品安全国家标准审评委员会审查通过,现发布食品安全国家标准 GB 14881—2013《食品生产通用卫生规范》^[32-34]。随后相继建立了各不同行业的卫生规范标准,如包装饮用水、速冻食品、乳制品、婴幼儿配方食品、调味品、糕点、畜禽屠宰、饮料、肉与肉制品、水产品、蛋与蛋制品等近30个行业的生产卫生规范。

1.4 国外相关微生物标准体系介绍

与我国相比,欧盟、美国等地方在检验方法上不做限制,国外主要食品微生物检测体系有:国际标准化组织

(International Organization for Standardization, ISO)、美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)、美国官方分析化学师协会(Association of Official Analytical Chemists, AOAC)、美国农业部(United States Department of Agriculture, USDA)、加拿大健康署(Hearth, Patio & Barbecue Association of Canada, HPBAC)、美国公共卫生协会(American Public Health Association, APHA)、北欧食品分析委员会(Nordisk Metodikkomiteé for Naringsmidler, 简称为 NMKL)、法国标准协会(Association Francaise de Normalisation, AFNOR)标准、英国国家标准(British Standards, BS)、日本国家标准(Japanese Industrial Standards, JIS)、韩国国家标准(Korean Industrial Standards, KS)等。国外在食品指示菌检验时,常常需要根据不同的食品种类采取不同的前处理和检验程序及方法。例如,国外对不同食品(热加工食品、植物性食品等)菌落总数定量测试设置的培养条件就有所不同^[35]。

目前,国外及中国香港、澳门涉及到即食食品、街头食品、预包装食品和非预包装食品相关标准主要有: CAC/GL 61—2007《guidelines on the application of general principles of food hygiene to the control of listeria monocytogenes in foods》国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)、《essential safety requirements for street-vended foods》世界卫生组织(World Health Organization, WHO)、《standards and guidelines for microbiological safety of food》(加拿大)、《guidelines for assessing the microbiological safety of ready-to-eat foods placed on the market》(英国)、《USA food code 2013》(美国)、《standard 1.6.1 microbiological limits in food》(澳新)、《standard 3.2.2 food safety practices and general requirements》(澳新)、《listeria recall guidelines for ready-to-eat foods》(澳新)、No 2073/2005《commission regulation(EC)》(欧盟)、《food code》(韩国)、《食品微生物含量指引》(中国香港)、《即食食品微生物含量指引》(中国澳门)等。

卫生规范标准方面,应用较多的主要有, CAC 的 CAC/RCP 40-1993, 无菌加工和包装低酸食品卫生操作规范、CAC/RCP 57-2004, 乳及乳制品卫生规范、CAC/RCP 66-2008, 婴幼儿配方粉生产卫生规范。美国的 21 CFR PART 106, 美国良好生产规范、21CFR part 110, 现行的食品良好操作规范在生产包装和贮存上的应用、21CFR part 113, 在密封容器中包装的低酸性热加工食品。以及欧盟的(EC)No 852/2004, 食品卫生法规、(EC)No 853/2004, 供人类消费的动物源性食品具体卫生规定、(EC)No 178/2002, 食品法规的基本原则和要求等。

我国食品安全国家标准制订的依据和新一届委员会的工作程序及要求, 强调标准从立项、计划项目的组织实施、两次专业委员会审查、公开征求意见、技术总师会议审查等层层把关才能得以批准与发布, 目的就是为了建立

“最严谨的标准”, 强化食品安全标准的深度和可执行性, 最大限度消除不安全风险, 不断增强人民群众的安全感和满意度。

2 食品微生物检验技术的现状

近几年, 随着国际交流合作的开展、标准的进步以及我国科研水平的提高, 相继出现了许多快速检测及鉴定技术和产品, 食品微生物检测及鉴定技术也取得了较大的进展, 主要体现在两大类方面, 一类是在传统微生物培养基基础上进行改进, 如以酶底物显色法为原理的显色培养基、测试片、全自动微生物检测鉴定仪等; 另一类是基于抗体和核酸的快速检测技术以及围绕这两大类技术配套开发了自动化检测仪器, 通过缩短检测时间、提高检测效率等方式进一步提高食品中微生物的检测准确性和效率^[36-37]。

2.1 微生物测试片法

测试片主要由培养基、冷水可凝胶、显色剂等组成。显色剂由微生物代谢物质、显色基团组成, 微生物生长过程中的代谢产生的酶与显色底物发生反应而显色。与显色培养基原理一致。目前测试片的形式有以冷水凝胶为载体的, 有以无纺布为载体的, 有以滤纸为载体的几种形式^[38]。此方法检测项目包括: 菌落总数、大肠菌群、霉菌酵母、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、沙门氏菌、环境李斯特菌等。测试片具有操作简单、判读清晰、降低误差、提高效率等优势, 检测过程无需配置试剂, 提高工作效率并有效降低实验误差, 可以在 24~48 h 内完成检测; 结果判读以菌落显色为依据, 相比传统培养基更容易计数, 很适合实验室使用。目前市场上主要品牌有 3M(美国)、美正生物(中国)、陆桥(中国)、DNP(日本)、环凯(中国)、检易(中国)。

2.2 全自动快速培养及鉴定系统

随着自动化、高通量需求的提出, 微生物检测技术逐步从传统人工操作向自动化的检测系统集成, 包括仪器、试剂、分析软件等。全自动微生物检测系统目前市场上主要分为快速筛查、鉴定 2 个方向, 也是基于传统微生物培养和鉴定的原理。

例如, 纽勤的 Soleris 系统由实时光电检测仪、分析软件以及配套的检测试剂盒组成^[39]。Soleris 检测系统的核心是即检即用的测试瓶, 通过监控微生物生长代谢带来的 pH 值改变及其他生物学反应来进行检测和判断的。微生物的代谢产物使培养基的化学特性及试剂颜色发生改变, Soleris 光学系统对上述化学变化产生的光度改变进行实时监控, 微生物含量越高, 检出时间越快。

法国生物梅里埃公司在酶联免疫吸附测定(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)试剂盒的基础上研制了一种全自动免疫荧光酶标仪自动酶联荧光免疫测试, 是集固相吸附、酶联免疫、荧光检测和乳胶凝集诸方法优点

于一体的综合性检测系统,可用于检测食品及环境样本中的致病菌,其原理即是利用夹心 ELISA 方法,将抗体提前包被在固相接受器上,其他试剂固定在试剂条上,形成即用型试剂,插入仪器中,然后由机器分担所有工作,直至打印报告。一般经 48 h 增菌过程后,多数检测可在 50 min 内完成^[40]。

2.3 免疫检测方法

免疫检测法的原理是基于抗原抗体的特异性反应对微生物进行快速检测的,主要分为胶体金检测卡和酶联免疫试剂盒 2 类。2 种技术都已经非常成熟,国内主要用于农兽药残留、非法添加等检测,而微生物检测的产品相对较少。

胶体金检测卡应用“双抗体夹心法”的原理,目标致病菌和金标记的特异性单克隆抗体结合及预包被于 NC 膜 T 线位置的特异性多克隆抗体结合,金颗粒的聚集而显示明显的红线。通过肉眼直接观察是否出现 T 线,判断样品中是否含有目标菌^[41]。检测时,滴加增菌液 10 min 左右即可进行结果判读,适合用于大量样本快速筛查。国内市场上主要有 Romer、美正生物、默克等品牌,主要包括沙门氏菌、大肠杆菌 O157、李斯特菌等检测项目。

ELISA 试剂盒技术比较成熟,只要获得微生物特异性抗原抗体便可以开发快速检测 ELISA 试剂盒,微生物检测一般采用夹心模式,因此具有较好的灵敏度和特异性^[42]。国内市场主要包括拜发、梅里埃、美正生物等品牌。

2.4 ATP 荧光检测法

20 世纪 80 年代,英国人首先研制出 ATP 检测仪,随后发展到欧洲、美国和日本。20 世纪 90 年代,开始普遍应用于食品加工行业,应用范围涉及食品加工、超市和餐饮行业,ATP 检测对象为微生物和食品残渣。

ATP 存在于所有生物体中,通过检测 ATP 可以间接地证明生物体的存在。基于萤火虫发光原理,利用“荧光素酶—荧光素体系”快速检测三磷酸腺苷(ATP)^[43],用于判断卫生状况。可用于食品加工过、餐饮、酒店、医院、养殖业等环境监控以及医疗系统和卫生监督机构即时采样监测^[9-10]。然而由于所有生命的生物体都可产生 ATP,所以 ATP 法只能用来检测洁净度,通过实验测试估算微生物含量,而不能判定微生物是否存在或者含量。国内市场主要品牌有 Hygiena、3M、Charm、西安天隆、Biocontrol、龟甲万等。

2.5 PCR 检测法

PCR 技术已经广泛应用于医学领域、公安系统、农业、食品等领域^[44],其中我国在 GB 4789 微生物检验标准中,建立了致泻大肠埃希氏菌、诺如病毒、大肠杆菌 O157、创伤弧菌、肉毒梭菌等检测 PCR 鉴定方法。根据核酸扩增和

检测方式的不同,可以分为:荧光定量 PCR 技术、等温 PCR 技术、数字 PCR 技术、免疫 PCR、核酸杂交技术、微流控芯片技术等,其中主要应用于食品检测的是荧光定量 PCR 技术和等温 PCR 技术,下面主要介绍这 2 种方法。

荧光定量 PCR 技术,是在 PCR 扩增过程中,通过荧光信号,对 PCR 进程进行实时检测。由于在 PCR 扩增的指数时期,模板的 C_t 值和该模板的起始拷贝数存在线性关系,成为定量的依据。与传统 PCR 相比,荧光定量 PCR 产物无需电泳即可实时观察定量,反应快速,灵敏度高^[9],目前已经在医疗诊断领域获得广泛应用,食品安全领域近些年刚起步,主要用于食源微生物、食品过敏源、转基因等项目的检测。目前国内 PCR 仪器主要品牌有赛默飞、罗氏、伯乐、天隆、雅睿、宏石等,应用于食品检测领域的试剂盒或检测系统主要品牌有杜邦 BAX、默克、赛默飞、美正生物等品牌,试剂盒主要包括食品微生物常用的沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、克罗诺杆菌属、大肠杆菌 O157、单增李斯特菌、诺如病毒等核酸检测试剂盒。

等温 PCR 技术是近年新发展起来,扩增只需恒定温度(例如 60 °C)就能完成扩增,具有更高的灵敏度,且操作简单,该技术更适合于现场快速检测的应用^[45]。以 3M 的 MDS 分子检测系统为例,该系统采用环介导核酸等温扩增技术^[46]和生物荧光技术,通过捕获 DNA 扩增反应过程中产生的 ATP 而发出的生物荧光,实时自动化检测 DNA 扩增产物,以图表和直观检测点 2 种形式来表示检测结果。阳性结果可以在 10~20 min 出现,阴性结果 75 min,操作简单,适合于实验室用来进行样本快速筛查。由于该方法一般对靶基因通常具有较低的检出限^[47],这对实验室的布局要求、实验设备及人员操作提出了更高、更严格的要求,实验室务必执行分子生物学检验分区要求^[48],以避免阳性结果对实验环境的污染。

2.6 质谱鉴定法

质谱是一种新型的微生物鉴定方法,可以快速对已知菌和未知菌进行鉴定,其原理是质谱仪离子源通过电离效应给予了待检测目标菌较高的能量,目标菌吸收能量后被激发,产生强烈的离子化效能^[4],之后被载气带入质谱仪,通过电压的作用加速飞行,由于各个离子间具有不同的质荷比,会按照质量数的大小被分离,被捕获后的带电粒子在检测器上产生的信号信息也各不相同,通过与质谱库中标准图谱数据信息进行比对,来实现对细菌的鉴定^[49]。MALDI-TOF 技术能够迅速有效的对于微生物的种类进行鉴定,但该技术也有一定局限性,一般依靠细菌图谱的参考对于细菌的种类进行鉴定,需要不断完善图谱数据库^[50-51]。目前国内市场上主要的品牌有布鲁克、安图、梅里埃等。

3 结论与讨论

3.1 《微生物检验方法确认和验证通则》的修订给非标方法验证提供依据

目前针对食品中微生物的快速检测方法和产品越来越多,给使用者造成了选择疑难问题,如何选择和评价一个适用于检测机构的方法或者产品成为使用者面临的主要问题。我国目前并没有针对快速检测方法和产品评价的流程和机构,国外 AOAC、ISO 等都有关于试剂盒验证评价的要求。基于微生物方法验证的需要,2019 年立项修订《微生物检验方法确认和验证通则》,为非标方法验证提供验证流程和方法的依据。

3.2 增菌环节是瓶颈,缩短增菌时间是重点研究方向

大部分食品中致病菌含量低,无需增菌步骤即能够检测食品中少量致病菌的方法很难实现,导致致病菌检测只能缩短检测时间而不能实现“快检”。在微生物的增菌环节,微生物的复苏能力、生长速度、选择性是评价一个增菌方法的条件;而特异性、检测时间及判读方式则是评价一个检测方法的必要条件。目前检测食源性致病菌都需要进行前增菌过程,但每种致病菌都有各自的生长习性和营养要求,不同的致病菌需要用不同的增菌培养基,这在很大程度上限制在实际检测中的应用,开发一种广谱快速增菌培养基是未来技术的重点方向之一。

3.3 过程控制逐渐受到重视,方法体系需要多考虑企业实际应用

基于风险分析的从农田到餐桌全过程管理是国际通用的管理理念和制标原则,我国食品安全管理方式正逐渐从“以终产品检验合格为目的”向“以过程控制为重点”的方向转变,我国的标准体系向强化基础标准和过程标准(食品生产规范、Haccp 体系)的方向转变。过程控制应用环节,企业可以建立适合的检测方法体系,使用快速检测方法,使快速检测方法得到发展。

食品企业微生物检测有几个共性的特点:样本种类多,样本量大,实验室条件方面较差,检测人员技术水平参差不齐,流动性较大。整个食品微生物检验过程中,都需检验人员具有良好的分析能力与判断能力,对于一些新兴的检测技术接受起来相对困难。所以,企业在选择微生物检测技术上会考虑这几点,操作方便性、可培训性、实验室条件是否满足准确性、成本等因素。

参考文献

- [1] 许雅欣,宋明翰,高敏,等.我国食品安全满意度调查研究流程、现存问题和改善措施[J].食品安全质量检测学报,2018,9(9):249-256.
XU YX, SONG MH, GAO M, *et al.* Research process, existing problems and improvement measures of food safety satisfaction survey in China [J].

- J Food Saf Qual, 2018, 9(9): 249-256.
- [2] 陈斌洪,陈敏,陆琳瑜,等.探索运用社会共治模式进行食品安全监管[J].中国卫生法制,2020,28(2):79-81.
CHEN BH, CHEN M, LU LY, *et al.* Exploring the application of social co-governance model in food safety supervision [J]. China Health Law, 2020, 28(2): 79-81.
- [3] 冯殿清.食品安全管理与法规监管保障体系的有效性探究[J].现代食品,2019,(6):107-109.
FENG DQ. Research on the effectiveness of food safety management and regulatory system [J]. Mod Food, 2019, (6): 107-109.
- [4] 王赛楠,高天蓝星,智文莉,等.2018年全国食品安全监督抽检情况分析及其监管建议[J].食品安全质量检测学报,2020,11(8):2682-2688.
WANG SN, GAO TLX, ZHI WL, *et al.* Analysis and supervision suggestion on sampling inspection of national food safety supervision in 2018 [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(8): 2682-2688.
- [5] 张秀宇,王超,何涛,等.2016-2019年国家粮食加工品监督抽检结果分析[J].食品安全质量检测学报,2020,11(4):1315-1322.
ZHANG XY, WANG C, HE T, *et al.* Analysis on the results of national food safety supervision and sampling inspection of the processed grain products in 2016-2019 [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(4): 1315-1322.
- [6] 韩世鹤,高媛,刘斯琪,等.2019年国家食品安全监督抽检不合格结果分析[J].食品安全质量检测学报,2020,11(14):4886-4893.
HAN SH, GAO Y, LIU SQ, *et al.* Analysis on unqualified results of sampling inspection of national food safety supervision in 2019 [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(14): 4886-4893.
- [7] 朱平,张秀宇,何涛,等.2016-2019年国家肉制品监督抽检结果分析[J].食品安全质量检测学报,2020,11(16):5594-5600.
ZHU P, ZHANG XY, HE T, *et al.* Analysis on the results of national supervision and sampling inspection of meat products in 2016-2019 [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(16): 5594-5600.
- [8] 吕冰峰,吕卓,邢书霞.2016-2018年全国食品安全监督抽检的食品形势分析[J].食品安全质量检测学报,2019,10(15):5221-5226.
LV BF, LV Z, XING SX. Analysis of food safety situation of national food safety supervision and sampling inspection from 2016 to 2018 [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(15): 5221-5226.
- [9] 冯帅.食品安全监管国际软法变革论—食品安全全球治理的视角[J].北京理工大学学报(社会科学版),2018,20(6):133-143.
FENG S. Transformation of international soft law on food safety supervision: demands, barriers and outlets—From the perspective of global governance on food safety [J]. J Beijing Inst Technol (Soc Sci Ed), 2018, 20(6): 133-143.
- [10] 孔坚良.微生物检测技术在食品安全检测中的运用分析[J].价值工程,2020,39(14):260-261.
KONG JL. Analysis on the application of microbial detection technology in food safety testing [J]. Value Eng, 2020, 39 (14): 260-261.
- [11] 陈茵茵,李娟.质控品在食品微生物检测中的应用[J].食品与发酵科技,2019,55(6):130-135.
CHEN YY, LI J. Application of quality control products in food microbial detection [J]. Sichuan Food Ferment, 2019, 55(6): 130-135.
- [12] 赵程.食品微生物检验和检测技术[J].现代食品,2020,(15):120-122.
ZHAO C. Food microbiological inspection and testing technology [J]. Mod Food, 2020, (15): 120-122.
- [13] 顾春华. MALDI-TOF MS 技术及其在食品微生物检测方面的应用[J].

- 中国酿造, 2019, (9): 24-27.
- GU CH. MALDI-TOF MS technique and its application challenges in food microbiology detection [J]. *China Brewing*, 2019, (9): 24-27.
- [14] 郭紫娟, 洪智骏. 食品微生物检验的影响因素及质量控制方法[J]. *现代食品*, 2020, (12): 163-165, 169.
- GUO ZJ, HONG ZJ. Influencing factors and quality control methods of food microbiological inspection [J]. *Mod Food*, 2020, (12): 163-165, 169.
- [15] 董秀丽. 食品微生物检验的方法及质量控制[J]. *现代食品*, 2020, 3(5): 141-142, 147.
- DONG XL. Food microbiological inspection methods and quality control [J]. *Mod Food*, 2020, 3(5): 141-142, 147.
- [16] 刘永嘉, 单非, 齐思. 关于食品微生物检验方法的改进策略[J]. *现代食品*, 2020, (1): 177-178.
- LIU YJ, SHAN F, QI S. Improvement strategies for microbiological testing of food [J]. *Mod Food*, 2020, (1): 177-178.
- [17] 李蕊. 食品微生物检验关键环节控制讨论[J]. *现代食品*, 2020, (12), 41-43.
- LI R. Discussion on control of key links in food microbiological examination [J]. *Mod Food*, 2020, (12), 41-43.
- [18] 邱佩佩, 毋福海, 白研, 等. 纳米粒子在食源性致病菌检测中的应用进展[J]. *分析测试学报*, 2020, 39(9): 1160-1167.
- QIU PP, WU FH, BAI Y, *et al.* Progress on analytical application of nanoparticles in foodborne pathogenic bacteria [J]. *J Instrum Anal*, 2020, 39(9): 1160-1167.
- [19] 钟丽琪, 郭亚辉, 曹进, 等. 食源性致病菌检测技术的研究概述[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(13): 4387-4393.
- ZHONG LQ, GUO YH, CAO J, *et al.* Review on the detection technology of foodborne pathogens [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(13): 4387-4393.
- [20] 蔡军, 李慧, 欧静莹, 等. 3种食源性致病菌多重PCR检测体系的建立[J]. *食品科技*, 2015, 40(3): 324-329.
- CAI J, LI H, OU JK, *et al.* Establishment of multiplex PCR for the detection of three foodborne bacterial pathogens[J]. *Food Sci Technol*, 2015, 40(3): 324-329.
- [21] 钟宜科, 邹大阳, 赵彤, 等. 食源性致病菌核酸检测技术研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(12): 218-224.
- ZHONG YK, ZOU DY, ZHAO T, *et al.* Advances in nucleic acid-based methods for detecting foodborne pathogen [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(12): 218-224.
- [22] 罗心怡, 丁清龙, 周露. 两种副溶血性弧菌检测方法的比对[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(16): 5520-5523.
- LUO XY, DING QL, ZHOU L. Comparison of 2 detection methods for vibrio parahaemolyticus [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(16): 5520-5523.
- [23] 张红莉, 李勇, 许均华, 等. 4种检测方法对巧克力中亚利桑那沙门氏菌的检测结果比较[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(09): 172-176.
- ZHANG HL, LI Y, XU JH, *et al.* Comparison of the detection results of *Salmonella arizona* in chocolate by four methods [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(9): 172-176.
- [24] 张秀宇, 何涛, 尹华涛, 等. 饮用水生物性污染物快速检测技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(21): 7253-7259.
- ZHANG XY, HE T, YIN HT, *et al.* Research progress of rapid detection technology of biological contaminations in drinking water [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(21): 7253-7259.
- [25] GB 29921—2013 食品安全国家标准食品中致病菌限量[S].
- GB 29921—2013 National food safety standard—Limit of pathogenic bacteria in food [S].
- [26] GB 29921—XXXX 食品安全国家标准预包装食品中致病菌限量 (征求意见稿)[S].
- GB 29921—XXXX National food safety standard— Limit of pathogenic bacteria in prepackaged food (draft for comment) [S].
- [27] GB XXXX—XXXX 食品安全国家标准散装即食食品中致病菌限量 (征求意见稿)[S].
- GB XXXX—XXXX National food safety standard— Limit of pathogenic bacteria in bulk ready-to-eat food (draft) [S].
- [28] 陶健, 王龙霞, 陈欣欣, 等. 致病菌限量食品安全国家标准执行中存在的问题及建议分析[J]. *食品科技*, 2016, 41(11): 287-290.
- TAO J, WANG LX, CHEN XX, *et al.* The improvement of the food-borne pathogenic microorganisms limits standard [J]. *Food Sci Technol*, 2016, 41(11): 287-290.
- [29] GB 4789. 44—2020 食品安全国家标准食品微生物检验创伤弧菌检验[S].
- GB 4789. 44—2020 National food safety standard—Food microbiological examination—*Vibrio vulnificus* [S].
- [30] GB 4789. 29—2020 食品安全国家标准食品微生物学检验唐菖蒲伯克霍尔德氏菌(椰毒假单胞菌酵米面亚种)检验[S].
- B 4789. 29—2020 National food safety standard—Food microbiological examination— *Burkholderia gladioli* (*Pseudomonas cocovenenans* subsp. *farino fermentans*) [S].
- [31] 国家卫生健康委、市场监管总局联合印发 2020 年第 7 号公告, 发布 42 项新食品安全国家标准[EB/OL]. [2020]. <https://sppt.cfsa.net.cn:8086/db>
- The National Health Commission and the State Administration for Market Regulation jointly issued Notice No. 7 of 2020. Announcing 42 new national [EB/OL]. [2020]. <https://sppt.cfsa.net.cn:8086/db> standards for food safety
- [32] 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[Z]. Standing Committee of the National People's Congress. Food safety law of the people's republic of China [Z].
- [33] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准管理办法[Z]. Ministry of Health, PRC. Measures for the administration of national food safety standards [Z].
- [34] GB 14881—2013 食品安全国家标准食品生产卫生通用规范[S].
- GB 14881—2013 National food safety standard— General hygienic standards for food production [S].
- [35] 朱晨. 国内外食品卫生微生物学标准设置比较[J]. *粮食与食品工业*, 2011, 18(2): 47-49.
- ZHU C. Comparison of domestic and international microbiological standard of food hygiene [J]. *Cereal Food Ind*, 2011, 18(2): 47-49.
- [36] 王伟华, 张新武, 周靖波, 等. 食源性微生物快速检测研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2010, 27(4): 182-188.
- WANG WH, ZHANG XW, ZHOU JB, *et al.* Research progress on fast detection methods of foodborne pathogenic microbe [J]. *J Food Saf Qual*, 2010, 27(4): 182-188.
- [37] 吴泉铸, 陈丽叶, 赵超, 等. 食源性病原微生物传感器的快速检测方法及其进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013(3): 835-840.
- WU XQ, CHEN LY, ZHAO C, *et al.* Research progress on rapid detection methods of biosensors for foodborne pathogenic microorganism [J]. *J*

- Food Saf Qual, 2013(3): 835–840.
- [38] 刘振宇. 食品中病原微生物快速检测技术的研究进展[J]. 广州化工, 2014, 42(16): 32–33, 53.
- LIU ZY. Research progress of technologies for rapid detection of food-borne pathogens [J]. Guangzhou Chem Ind, 2014, 42(16): 32–33, 53.
- [39] http://www.neogen.com/FoodSafety/S_Index.html. [Z].
- [40] HOU HM, DING J, ZHANG GL, *et al.* Bacterial flora in turbot *Scophthalmus maximus* cultured in deepwell seawater of Liaodong Peninsula [J]. J Aquatic Food Prod Technol, 2014, 23(6): 530–541.
- [41] 王杨. 关于食品微生物快速检测技术的研究进展[J]. 农家顾问, 2014, (11): 75.
- WANG Y. Research progress on rapid detection technology of food microorganisms [J]. Agric Consultant, 2014, (11): 75.
- [42] 陈爱亮. 食源性病原微生物快速检测技术应用现状与发展趋势[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(1): 173–186.
- CHEN AL. Application status and development trend of foodborne pathogenic microorganisms rapid detection technology [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(1): 173–186.
- [43] 李利霞, 常超, 伍金娥. ATP 生物荧光法及其应用的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2010, (9): 394–397.
- LI LX, CHANG C, WU JE. Research progress in the ATP bioluminescence assay and its applications [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, (9): 394–397.
- [44] HILL WE, SUHALIM R, RICHTER HC, *et al.* Polymerase chain reaction screening for Salmonella and enterohemorrhagic *Escherichia coli* on beef products in processing establishments [J]. Foodborne Pathog Dis, 2011, 8(9): 1045–1053.
- [45] 马丽敏, 卢亦愚. 核酸等温扩增技术研究进展[J]. 浙江预防医学, 2013, 25(1): 24–27.
- MA LM, LU YU. Research progress of nucleic acid Isothermal amplification [J]. Zhejiang J Prev Med, 2013, 25(1): 24–27.
- [46] 吴清平, 叶应旺, 郭伟鹏, 等. 阪崎肠杆菌的生物学特性及其检测技术 [J]. 微生物学通报, 2006, (6): 102–106.
- WU QP, YE YW, GUO WP, *et al.* Biological characteristics and detection technology of *Enterobacter sakazakii* [J]. Microbiol Bull, 2006, (6): 102–106.
- [47] Tsugunori M, Hiroto O, Harumi M, *et al.* Loop-mediated isothermal amplification of DNA [J]. Nucleic Acids Res, 2000, 28(12): 63.
- [48] GB/T 27405—2008 实验室质量控制规范食品微生物检测[S]. GB/T 27405—2008 Criterion on ualit control of laboratories—Microbiological testing of food [S].
- [49] 杜美红, 赵瑞雪, 李静雯. 基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱分析技术在微生物检测与鉴定中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 12(6): 31–37.
- DU MH, ZHAO RX, LI JW. Application of matrix assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry in microbial detection and identification [J]. J Food Saf Qual, 2017, 12(6): 31–37.
- [50] 韩志勇, 刘媛媛. 质谱技术在临床微生物实验室的应用进展[J]. 实用检验医师杂志, 2017, 12(1): 48–52.
- HAN ZY, LIU YY. Advances in the application of mass spectrometry in clinical microbiology laboratories [J]. J Practical Lab Phy, 2017, 12(1): 48–52.
- [51] 张厚森, 潘晓飞, 杨宏朋, 等. 质谱法检测食源性致病菌技术研究进展 [J]. 微生物学杂志, 2018, 38(4): 92–96.
- ZHANG HS, PAN XF, YANG HP, *et al.* Progress in the detection of foodborne pathogenic bacteria by mass spectrometry [J]. J Microbiol, 2018, 38(4): 92–96.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



姬莉莉, 主管检验师, 主要研究方向为微生物检测及鉴定。
E-mail: hrcdc@126.com