

# 食品安全检验中计量溯源的替代方法研究

金绍明<sup>1</sup>, 贺鑫鑫<sup>1</sup>, 宁霄<sup>1</sup>, 赵梅<sup>1</sup>, 曹进<sup>1\*</sup>, 钮正睿<sup>1</sup>, 赵云峰<sup>2\*</sup>

(1. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050; 2. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022)

**摘要:** 食品安全检验中的计量溯源性是保证检验结果准确可比、验证有效的基础, 一般可以按照实际操作实现定义的测量单位、包含非序数量的测量单位的测量程序、测量标准 3 种参考对照途径进行, 在实际食品安全检验过程中, 由于参考物质的缺失或者结果并不与国际单位相关等原因, 需要综合考虑参考对照体系的构建过程, 通过对固定化检测程序的评价, 形成相应的测量程序, 并通过定量转化关系确定溯源的目标, 在形成检验共识性目标的基础上, 通过替代的关系, 建立较为完整的溯源链条, 用于实际检验的溯源。本研究分析了食品安全检测过程中的计量溯源问题, 提出了几种不同的替代实验方案, 为食品安全检验的计量溯源性问题提供了满足检测要求的解决方案。

**关键词:** 计量溯源; 共识性检验; 替代方法

## Study on alternative methods of metrological traceability in food safety inspection

JIN Shao-Ming<sup>1</sup>, HE Xin-Xin<sup>1</sup>, NING Xiao<sup>1</sup>, ZHAO Mei<sup>1</sup>, CAO Jin<sup>1\*</sup>,  
NIU Zheng-Rui<sup>1</sup>, ZHAO Yun-Feng<sup>2\*</sup>

(1. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China;  
2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

**ABSTRACT:** The metrological traceability in food safety inspection is the basis for ensuring the accuracy comparability and validity of inspection results. Generally, it could be carried out in accordance with 3 kinds of reference control pathway, including the actual operation realizes the defined measurement unit, measurement procedures including measurement units of non-ordered quantities, and measurement standard. In the actual food safety inspection process, due to the lack of reference materials or the results are not related to international units and other reasons, it is necessary to comprehensively consider the construction process of reference control system. Through the evaluation of the immobilized testing procedures, the corresponding measurement procedures are formed, and the traceability targets are determined through quantitative transformation relationships. A relatively complete traceability chain can be established on the basis of the formation of a consensus goal of inspection and through the substitution relationship, which can be used for the traceability of the actual inspection. This paper

基金项目: 科技部重点研发计划项目(2017YFC1601300)

**Fund:** Supported by the Key R & D Plan of the Ministry of Science and Technology (2017YFC1601300)

\*通信作者: 曹进, 研究员, 主要研究方向为食品检测新技术。E-mail: caojin@nifdc.org.cn

赵云峰, 研究员, 主要研究方向为食品化学污染物检测技术。E-mail: zhaoyf@cfsa.net.cn

\*Corresponding author: CAO Jin, Professor, National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China. E-mail: caojin@nifdc.org.cn

ZHAO Yun-Feng, Professor, China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China. E-mail: zhaoyf@cfsa.net.cn

analyzed the problem of metrological traceability in the food safety inspection process, and proposed several different alternative experimental schemes, so as to provide solutions to meet the testing requirements for the problem of metrological traceability in food safety inspection.

**KEY WORDS:** metrological traceability; consensus test; alternative methods

## 0 引言

食品安全检验按照检测目的, 在国家监督抽检和监测活动中主要分为质量检验和安全性检验两类, 其中质量检验是以产品卫生标准或者质量标准为依据进行的规格符合性检验, 主要体现食品在监管质量评价活动中的质量安全和稳定性问题, 检测结果主要用于判定食品产品的质量是否符合产品标准规定, 产品固有的风险指标是否超出国家规定限值的水平等问题; 安全性检验主要是指对产品部分固有的衍生性指标、污染物、添加物和引入的风险物质等进行检验的过程, 可筛查确认食品中是否存在对消费者有急性或潜在危害的物质, 主要用于评估食品本身是否具有即时可现的风险及其状态。在相关的食品安全计划和数据管理中<sup>[1]</sup>, 都存在数据溯源的要求, 这里的溯源实际上与计量意义上的溯源还存在一定的差异, 主要是指在管理体系、管理软硬件要求、数据的处理和处置上有一定的额外要求。检验活动和检验结果要求中的数据溯源主要是指计量溯源(metrological traceability), 即检验或者测试结果的一个必备属性, 该结果可通过一个程序化或者标准化的完整校准链条, 在测量不确定性的范围下, 与对照参比进行直接比较<sup>[2]</sup>。在实际检验过程的相关文件<sup>[3]</sup>中, 还存在诸如样品溯源、文件溯源、体系溯源、仪器溯源、物料溯源等与溯源相关的名词。不过, 在整体针对数据管理的要求上, 所达成的共识均可以统一于计量溯源的概念中。

本研究分析了食品安全检验过程中计量溯源存在的问题, 分析了这些问题产生的原因以及当前状况下解决这些问题的对策, 并以具体的示例阐明了使用替代性方法解决计量溯源的问题的几种不同策略, 为食品安全检测的计量溯源提供了满足检测要求的解决方案。

## 1 实际检验中的计量溯源

现有的标准计量溯源过程是围绕测量不确定度展开的<sup>[4]</sup>, 以期能较为完善地符合计量溯源的定义要求。实现溯源性的要求和过程在中国合格评定国家认可委员会、国际实验室认可合作组织互认协议颁布的相关文件<sup>[5-6]</sup>中均有所显示, 其参照对象主要包含以下 3 类: 可按照实际操作实现定义的测量单位、涵盖非序数量的测量单位的测量程序和测量标准。在实际的食品安全检验中, 大部分测量是相对测量, 也就是结果并不能直接溯源到国际单位或者存在与国际单位不相关的情况, 如食品中合成着色剂的测

定(GB/T 5009.35—2016《食品安全国家标准 食品中合成着色剂的测定》), 其在实际检验过程中, 着色剂物质并不能完全符合质量或者容量相关性的要求从而溯源到相应的质量或者容量单位, 但是按照比较和共识性要求, 通过对结果进行比较相对溯源到参考物质(或有证参考物质)。该类着色剂的参考物质在检验中虽为多家单位使用的共性基础, 符合一定相对基准的要求, 但并不符合绝对意义上的测量单位参照要求, 即使利用纯物质核磁测量的方式, 各家的参考物质也存在 2%~3% 的差异, 不过因在测量过程中存在 10%~15% 的相对偏差(微量水平), 远大于上述参考物质基准的差异, 故在实际检测中, 常作为相对比较性的对照进行溯源。

上述提到的相对, 实际上是因为在食品检测中, 较多标准使用参考物质时未对所用测定方法进行不确定的测量。此外, 在方法的实际使用过程中, 存在参考物质和样品中待检物质运行方法相互偏离的情况, 即存在引入不同测量不确定度分量的因素, 如在气相色谱方法中常用的衍生化方法, 有部分标准(GB/T 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》)使用的参考物质直接是衍生化后的产品, 而不是依据方法产生的衍生化产物, 在此种比较过程中, 就存在参考物质和样品中目标物质测量过程差异的不确定度。

以液相色谱质谱方法(不包含提取, 仅以检测说明)为例说明在日常检测中的计量溯源。常规的液相色谱质谱联用测定是参考物质与样品并行检测的过程, 其检测结果是以食品安全检测中单位质量样品中含多少质量目标物质来表示<sup>[7]</sup>。在液质测定的整体过程中, 首先需要对仪器进行操作认证(operation qualification, OQ)和日常随行的维护记录进行确认, 以确保仪器具有良好的性能; 其次在测定过程中必须包含相应随行的质量控制样品, 以及使用参考物质的测定应该满足为检测目的设定的要求(仪器参数满足、信号满足等); 对于参考物质, 不仅需要获得因物质本身特性(如纯度)同时符合液质测定要求附带的测量不确定度, 还需要获得参考物质在符合测定方法过程中针对操作(称量、稀释、转移)产生的不确定度, 这些对于无证参考物质尤为重要。

最后是在测定过程中对样品的要求, 由于检测结果需要报告单位原始样品中检测目标的量, 因此, 称量设备是样品最主要的设备方面的要求, 故天平的使用及偏差需要进行追溯。而对于样品净化、富集、稀释、复溶等涉及容量相关的步骤使用的器具也需要进行溯源, 因此液质测

定所获得的结果是以国际单位质量或者容量下的参考物质为溯源基准的。

## 2 实际检验中存在的问题

### 2.1 替代和共识性检验概念的引出

对于以上常规的液质检测溯源而言,其在实际的检测使用过程中尚不全面,例如在针对参考物质和样品测定的并行关系上,最终供测定溶液中参考物质和样品中目标物质之间所处的基体环境有较大的不同。因此,在实际的检测过程中并不是实际意义上的并行比较,为消除该检测的影响,有不少食品安全标准方法(GB/T 23200.8—2016《食品安全国家标准 水果和蔬菜中 500 种农药及相关化学品残留量的测定 气相色谱-质谱法》)会建议采取掺有阴性基质的溶液来配置参考物质溶液,并进行基质效应评价。虽然质谱检测本身在检测原理上是离子通用型检测方式,但由于离子喷雾中共存离子的竞争,离子淬灭物质的存在,各种离子动势能间的差异等均造成离子迁移存在一定的歧视和非特异性选择,且由于系统的漂移和长期测定时的污染记忆,无法利用上述方式降低污染或进行评价,使得测量的不确定度本身也存在时间上和批次上的波动,即不确定度本身也存在稳健性的挑战。

综上,在某种程度上,获得的不确定度是基于时间和空间 2 个维度上的,实际检测要求的所谓准确检测结果是在相对稳定的不确定度范围内的显示,而当在实验室间或者方法使用群体中,使用某个方法测定食品中某种物质的时候,最后的实现是对结果的共识性认可,而不完全是上文提到的溯源到单位质量或者容量下的某种参考物质的量,因此该种随机产生的波动造成的偏差,使得通过单次或者建立方法时特定验证实验下获得的不确定度存在波动,特别是在检测方法中存在参考物质和样品处理及测定过程中存在非并行关系的情况下。

然而,虽强调了上述随机波动造成的溯源准确性的潜在隐患,但在食品安全实际检测中,参考物质大多来自于合成的单一化学成分或其混合物,标准中的纯度要求和方法适应下所造成的不确定度与整体方法的不确定度相比非常小。在正常的操作情况下,参考物质与样品待检测物质之间的差异也以一种固定化的形式进行了表达,因而,各个实验参与方所执行的一定标准方法得到的实验结果是计量溯源性中国际单位和非序量标准过程的融合,而不仅仅是单纯概念意义所指的溯源,这也说明在实际检验活动中所要求的溯源实际上是建立在达成一定共识的基础上所获得的结果。因此,有必要在这里对共识性检验和替代进行概念的厘清。共识性检验实际上是指在一个系统检测体系中,在经标准程序和一定来源的参考物质所形成的参考对象的基础上进行多次(实验室多个检验活动或者实验室间的检验活动)检验测定下认可的符合标准方法设定的不

确定度或者重现性限定条件的结果的检验活动。共识性检验在实践中涵盖了大量无法溯源到国际单位或者与国际单位无关的情况,其主要的共识基础是,对于在最终测量相对偏差 1/3 或者更低的水平下引入的不确定度在检验中是可以按照本底或者基础化学噪音的情况予以对待,符合  $3\delta$  的质量要求即可。而上述所指的替代是针对无法直接溯源到参考物质,但可以通过标准固化的方式建立参考对照的检验情形。

### 2.2 替代实验存在的情况和问题

替代性实验的提出并不是完全回避在实际检验过程中无法溯源的情形,而是直接以一种固化程序代替溯源要求的参考对照。它必须依照计量溯源性的基本要求,在其规定的 3 种类别下,进行参考对照体系的再构。其在日常食品检验中存在的具体情形及问题总结如下。

#### 2.2.1 大分子物质的标志物检测

食品产品中常添加有各种大分子物质,如食用胶、蛋白、多糖等<sup>[8]</sup>,在许多食品类别中,这些大分子添加物的选择性检测较难实现,同时其物质本身也很难存在参考物质,造成了其检测无法溯源的现状。

#### 2.2.2 同系物的预测性检验

在食品检测中存在物质及其同系物的检测,如在采用气相色谱对芳烃物质进行检测时<sup>[9]</sup>,常利用相对保留指数进行鉴别和归一化定值,而在对一些非法添加物质的检测中<sup>[10]</sup>,常利用母体结构判别的方式来预测存在的类似或相似的物质,这些情况都需建立在存在相应的参考物质参照的情况下,而不是传统意义上的溯源。

#### 2.2.3 非靶向筛查检测

非靶向筛查检测在很大程度上用于风险物质的发现,在一些监督和监测场景中需要进行物质的鉴别和辅助确认。在这种情况下,若要对目标物质进行大致的物质分类筛查可基本通过“2.2.2”中同系物预测方法、高分辨质谱鉴别和选择性捕集等方式进行,但在较多情况下较难得到参考物质本身的溯源<sup>[11]</sup>。

#### 2.2.4 物质的转化

在一些食品安全检测中,存在待测物质在样品处理过程中的转化,或参考物质自身存在化学合成和生物合成来源的不同。此种情况下,通常选择参考物质在检测过程中转化或者构型变化的物质为目标检测物质,例如有机磷物质在检测时会在气相色谱柱中或者进样口部位存在明显的物质热降解,此时就会存在所用参考物质和样品中待测物质降解的不同<sup>[12]</sup>;在洛伐他汀的检测中,存在内酯型和酸型的结构转化<sup>[13]</sup>;在金霉素的测定中,则会存在基于实验过程的差向异构化现象等<sup>[14]</sup>。

#### 2.2.5 物质目标的不同

这种情况主要是指待测物质在检验目的上存在目标

的差异或者不一致, 例如在色素和色淀的检测中, 通常方法标准检测的是游离色素的响应结果, 色淀基本上没有相应的参考物质存在, 故必须通过转化变成游离色素后供检测<sup>[15]</sup>; 另外在气相或者液相常见的衍生化检测中, 也存在衍生化产物与参考物质本身或相应衍生化产物不一致的情况<sup>[16]</sup>。

### 3 替代方法及其溯源示例

以上对食品安全检验中常见的替代检验情况进行了初步分析, 所谓替代在上文中也做了部分解释, 即建立在共线性检验基础上的方法固化和规范化的检验过程, 从计量溯源性的要求上来看, 参考对照可以建立在单纯的参考物质基础上, 也可以建立在参考物质和标准过程的基础上, 因此, 在食品安全检测实践中, 利用本文所述替代方法进行检验的过程中, 相关的步骤必须以定量转移或者转化为基础, 即将所操作的步骤引起的不确定度, 减少在可控和检测结果共识的范围之内。例如在常规检验中, 定量转移一定是建立在均匀转移的基础上, 液体样品是在加入一定体积提取液混合均匀后再定容至某个固定体积; 而对于固体样品是加入一定量溶液, 经均匀提取离心后, 取上清液净化, 后富集定容或者定量取出部分后定容; 定量转化则需要与参考物质进行并行比较, 将在实验过程中的步骤转化进行定量化, 同时参考物质转化和样品中待测物质转化可以固定并行比较。

#### 3.1 卡拉胶的检测

卡拉胶是红藻类海草中提取出来的一种亲水性胶体物质, 由半乳糖及脱水半乳糖所组成的多糖类硫酸酯的钙、钾、钠、铵盐, 在食品中以乳化剂、稳定剂或者增稠剂的形式存在<sup>[17]</sup>。其作为添加剂进行检测时, 通常是经水解后测定终产物硫酸钡的重量。在食品安全监管中, 存在以卡拉胶作为黏合剂进行肉类粘合, 充当肉排(非调制)等不允许添加胶类物质的产品进行销售的违法行为, 因此有必要对其中所含卡拉胶进行鉴别和相对定量检测。在前期补充检验方法 BJS 201804—2018《食品补充检验方法 畜肉中的卡拉胶测定》畜肉中的卡拉胶测定中, 利用液质法对卡拉胶标志物进行测定, 可以实现鉴别和相对定量检测。在这个过程中由于卡拉胶不存在参考物质, 而卡拉胶是半乳糖和脱水半乳糖形成的硫酸酯类物质, 且在常见的畜肉中, 并不存在相应的硫酸酯糖成分。此补充检验方法利用限制性水解的方式, 形成了卡拉胶水解标志物, 即二糖、三糖和四糖系列的硫酸酯产物, 其在固定水解方式下, 可以稳定出现, 且当卡拉胶在畜肉中的含量为 1% 左右及以上时, 产物得率(以液相色谱质谱测定结果推算)相对偏差小于 2%, 因此, 其水解产物可以作为标志物进行卡拉胶的鉴别和相对定量(卡拉胶占畜肉的质量比), 该项测定主

要是通过标准化的过程, 比较 GB 1886.169—2016《食品安全国家标准 食品添加剂 卡拉胶》测定食品添加剂卡拉胶的结果, 获得推算的每百分单位畜肉中含卡拉胶的量作为测定结果。

#### 3.2 西地那非类似物的检验

西地那非的非法添加一直是缓解体力疲劳类保健食品及相关食品的重要问题, 在近年的监督抽检中屡有检出。随着打击力度的加大, 该类物质的非法添加逐渐演变为添加其类似物或者具有相似母核的化学物质, 以规避检测。针对西地那非及其类似物的检测, 出现了食品中那非类成分(BJS201805—2018 食品补充检验方法 食品中那非类物质的测定)的检测方法, 涉及了 90 种物质的检测。由于在实际检测中很难获得全部的参考物质, 因此, 在方法的研制中考虑了以类似母核碎片的检测为主, 用于鉴别, 同时比较了与西地那非的响应信号之间的关系, 进行了相对量的溯源比较。该方法利用质谱检测器的碎裂和裂解结构推断的能力, 对过程进行了溯源比较, 在与西地那非参考物质比较的基础上进行了化合物的鉴别和溯源, 满足了检验的需求。

#### 3.3 大容量农药残留筛查检测

由于食品安全的风险来自于方方面面, 因此在食品安全检测方法的发展中, 重点关注了其在风险发现方面的需求, 如大容量(多组分)农药残留筛查和确证等类似方法的研制和推广。对于该类型的方法, 在计量溯源方面的难点在于全部参考物质的获得和测定上, 在日常的检测中由于该类方法的维持, 需要保持大量单一或混合标准物质, 以满足溯源的要求, 但这无论是在核查要求还是日常检测中, 均很难进行全检测目标的参考对照。因此, 该类方法一般是实验室在按照检测目标化合物的结构和理化性质进行分类的基础上, 选择典型物质进行方法的期间核查。而大部分的物质主要通过高低分辨质谱检测器交叉检测、或者质谱碎裂验证、与典型物质响应比等可量化比较的方式进行溯源, 这点也满足了计量溯源中对不间断校准链条的基本概念要求<sup>[18]</sup>。

#### 3.4 生物来源洛伐他汀的检测

洛伐他汀做为非法添加物通常是针对降脂类保健食品, 一般添加的均是曲霉发酵的原料。由于生物合成的因素, 原料中常存在有洛伐他汀及其类似物, 检测时发现洛伐他汀在通过生物合成的方式进行合成时会存在内酯型和酸型 2 种构型, 而在通常测定洛伐他汀的方法中, 由于酸型的不稳定, 故采用的参考物质是内酯型洛伐他汀(可化学合成)<sup>[19]</sup>。在对保健食品中洛伐他汀的检测中, 存在部分内酯型和酸型的转化, 研究认为作为非法添加物的检测结果应该进行总和的报告, 但是由于参考物质的限制, 检测

过程必须控制内酯和酸型的转化,同时对于酸型应该以内脂型进行换算,这样才能获得总量的结果,这点实际上是符合了计量溯源性中建立在定量转化关系(过程)中的溯源性要求<sup>[20]</sup>。

### 3.5 色淀的检测

色淀一般是可溶性的染料或者合成着色剂利用无机碱(例如氧化铝)进行沉淀后获得的不溶性颗粒,在食品工业中常用于物理性调色。在食品添加剂的使用中,色素和色淀均可以用作着色,且在部分食品中存在二者共存的情况,但现有的合成着色剂的检测(GB 5009.35—2016《食品安全国家标准 食品中合成着色剂的测定》)方法仅是针对游离色素进行检测,并没有对色淀进行测定。在对该方法进行优化的过程中,有研究对样品前处理步骤进行了酸化或碱性处理,可以将色淀进行转化,游离出色素后进行测定<sup>[21]</sup>。但是,在实际验证过程中,由于没有色淀的参考物质,因此有专家认为色淀的溯源存疑,而实际上,通过酸或碱处理将着色剂均定量转化为游离色素,以色素参考物质作为溯源目标,是符合计量溯源性的要求的。在这里也可以通过红外光谱指纹分析,对样品中的游离铝(通常为铝色淀)、铝的总量、络合铝的量、游离色素、结合色素、总游离色素的量等进行比较分析,就可以完全说明铝色淀向游离色素的完全转化,并可以控制在较小的转移率不确定度范围内。

## 4 结 论

计量溯源性是检验检测的基本要求,但是理论上的溯源性在实际的食品安全检测中并不能完全按步骤实现,需要对实际的检验进行一定的分析和对相关的检测方式达成共识,在利用可具备一定溯源性的参考物质和标准过程相互结合形成的参考对照的基础上,可以形成满足检测要求,实现其特定检验目的的替代性方法,用于实际的检测,并为检测结果的判别和准确定量提供参考。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十三五”国家食品安全规划和“十三五”国家规划的通知 [EB/OL]. [2007-02-14]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/21/content\\_5169755.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/21/content_5169755.htm). State Council of the People's Republic of China. Notice of the State Council of the people's Republic of China on printing and distributing the 13th five year national food safety plan and the 13th five year national drug safety plan [EB/OL]. [2007-02-14]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/21/content\\_5169755.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/21/content_5169755.htm).
- [2] 蒲瑞丰, 萧懿群. 食品安全检测的溯源性研究[J]. 食品科学, 2007, (10): 628–632. BO RF, XIAO YQ. Traceability of food safety testing [J]. Food Sci, 2007, (10): 628–632.
- [3] 冯静, 赵新颖. 基于飞行时间质谱的快速肉类溯源检测方法[C]. 第四

届中国北京国际食品安全高峰论坛, 2011.

FENG J, ZHAO XY. Fast meat traceability detection method based on time of flight mass spectrometry [C]. The 4th China Beijing International Food Safety Summit Forum, 2011.

- [4] 杨娟, 杨晓云, 钟昕, 等. 测量不确定度在食品检验检测中的应用及研究进展[J]. 食品安全导刊, 2019, (18): 93–95. YANG J, YANG XY, ZHONG X, *et al.* Application and research progress of measurement uncertainty in food inspection [J]. China Food Saf Magaz, 2019, (18): 93–95.
- [5] CNAS-CL01 检测和校准实验室能力认可准则[Z]. CNAS-CL01 Accreditation criteria for the competence of testing and comparison laboratories [Z].
- [6] ILAC P10 policy on the traceability of measurement result [Z].
- [7] 曲斌, 陈蓉, 耿士伟, 等. 液质联用技术在兽药多类别、多组分残留分析中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, (5): 140–146. QU B, CHEN R, GENG SW, *et al.* Liquid chromatography-mass spectrometry in applications of veterinary drugs multi-class and multi-residues analysis [J]. J Food Saf Qual, 2015, (5): 140–146.
- [8] 高雅馨, 于有强, 朱巧莎, 等. 天然生物大分子及其复合物在食品微凝胶传递体系中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(15): 323–329. GAO YX, YU YQ, ZHU QS, *et al.* Advances in the application of natural macromolecules and their complexes in food microgel delivery systems [J]. Food Sci, 2019, 40(15): 323–329.
- [9] 田靖. 顶空/气相色谱法测定土壤中挥发性芳烃[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(11): 125–128. TIAN J. Determination of volatile aromatic hydrocarbons in soil by headspace/gas chromatography [J]. Environ Sci Manag, 2007, 32(11): 125–128.
- [10] 孙晶, 曹玲, 冯有龙, 等. 液质联用法筛查降压类中成药和保健食品中添加的 54 种化学药物[J]. 药物分析杂志, 2018, 38(11): 139–151. SUN J, CAO L, FENG YL, *et al.* Screening 54 kinds of chemical drugs added in antihypertensive Chinese patent medicine and health food by LC-MS [J]. J Pharm Anal, 2018, 38(11): 139–151.
- [11] 周秀锦, 陈宇, 杨赛军, 等. 超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱法非靶向快速筛查进口粮谷中未知的农药残留[J]. 色谱, 2017, 35(8): 787–793. ZHOU XJ, CHEN Y, YANG SJ, *et al.* Non targeted rapid screening of unknown pesticide residues in imported grains by ultra performance liquid chromatography quadrupole time of flight mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2017, 35(8): 787–793.
- [12] 白国涛, 张春艳, 卢华卫, 等. 凝胶渗透色谱-气相色谱法测定葵花籽中 55 种有机磷农药残留量[J]. 理化检验: 化学分册, 2013, (7): 835–839. BAI GT, ZHANG CY, LU HW, *et al.* Determination of 55 organophosphorus pesticide residues in sunflower seeds by gel permeation chromatography and gas chromatography [J]. Phys Chem Anal Part B: Chem Anal, 2013, (7): 835–839.
- [13] 李建平, 渠志华, 王辰, 等. 超高效液相色谱法测定保健食品中总洛伐他汀含量[J]. 中国卫生检验杂志, 2016, 26(17): 2471–2472, 2476. LI JP, QU ZH, WANG C, *et al.* Determination of total lovastatin in health food by ultra performance liquid chromatography [J]. Chin J Health Lab Technol, 2016, 26(17): 2471–2472, 2476.
- [14] 王冉, 魏瑞成, 葛峰, 等. 畜禽粪便和污水中金霉素及其代谢物的液质

- 联用(LC—MS/MS)检测方法研究[J]. 安全与环境学报, 2011, (3): 115—118.
- WANG R, WEI RC, GE F, *et al.* Determination of chlortetracycline and its metabolites in livestock manure and sewage by LC-MS/MS [J]. *J Saf Environ*, 2011, (3): 115—118.
- [15] 张一丁, 常翠兰, 郭启雷, 等. 食品中柠檬黄铝色淀和日落黄铝色淀的毛细管区带电泳分析[J]. 色谱, 2014, 32(4): 438—442.
- ZHANG YD, CHANG CL, GUO QL, *et al.* Analysis of lemon yellow and sunset yellow aluminum lake in food by capillary zone electrophoresis [J]. *Chin J Chromatogr*, 2014, 32(4): 438—442.
- [16] 王晓青, 黄翌磊, 孙杨, 等. 四甲基氢氧化铵参与下的中空纤维微萃取结合进样口衍生化气相色谱法同时测定啤酒中 6 种酚酸[J]. 分析化学, 2014, 42(6): 824—828.
- WANG XQ, HUANG YL, SUN Y, *et al.* Simultaneous determination of six phenolic acids in beer by hollow fiber microextraction with tetramethylammonium hydroxide and injection port derivatization gas chromatography [J]. *Chin J Anal Chem*, 2014, 42(6): 824—828.
- [17] 刘亚丽, 胡国华, 崔荣箱.  $\iota$ -卡拉胶和  $\lambda$ -卡拉胶的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2013, (S1): 196-201.
- LIU YL, HU GH, CUI RX. The present situation and development of  $\iota$ -carrageenan and  $\lambda$ -carrageenan [J]. *China Food Addit*, 2013, (S1): 196—201.
- [18] 朱峰, 于洁, 霍宗利, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-四级杆飞行时间质谱法检测青菜中 214 种农药残留[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(1): 25—31.
- ZHU F, YU J, HUO ZL, *et al.* Determination of 214 pesticide residues in vegetables by QuEChERS ultra performance liquid chromatography quadrupole time of flight mass spectrometry [J]. *Chin J Food Hyg*, 2020, 32(1): 25—31.
- [19] 李梅, 台喜生, 冯佳丽, 等. 微生物来源的洛伐他汀的研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 451—454.
- LI M, TAI XS, FENG JL, *et al.* Research progress of lovastatin from microorganism [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2011, 32(8): 451—454.
- [20] 赵珊, 殷爱玲, 孙龙, 等. UPLC-QTRAP-MS/MS 法同时测定大鼠血浆中洛伐他汀和活性代谢产物洛伐他汀酸的浓度及其药动学研究[J]. 中国现代应用药学, 2018, 35(2): 193—198.
- ZHAO S, YIN AL, SUN L, *et al.* Simultaneous quantitation of lovastatin and an active metabolite in rat plasma by UPLC-QTRAP-MS/MS and its application in the pharmacokinetic [J]. *Chin J Mod Appl Pharm*, 2018, 35(2): 193—198.
- [21] 杨奕, 张晶, 赵珊, 等. 超高效液相色谱法同时测定包衣糖果中 5 种铝色淀[J]. 中国食品卫生杂志, 2013, 25(2): 148—151.
- YANG Y, ZHANG J, ZHAO S, *et al.* Simultaneous determination of five aluminum lakes in coated candy by ultra performance liquid chromatography [J]. *Chin J Food Hyg*, 2013, 25(2): 148—151.

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



金绍明, 副研究员, 主要研究方向为食品检测新技术。

E-mail: myjackyiming@126.com

曹进, 研究员, 主要研究方向为食品检测新技术。

E-mail: caojin@nifdc.org.cn



赵云峰, 研究员, 主要研究方向为食品化学污染物检测技术。

E-mail: zhaoyf@cfsa.net.cn