功能食品安全检测的技术现状与对策

杨子辉^{①†}, 程雨晴^{②†}, 郭宾^{①②*}, 陈应庄^①, 马铭^①, 陈波^{①②*}

① 植化单体开发与利用湖南省重点实验室, 湖南师范大学化学化工学院, 长沙 410081

② 化学生物学及中药分析教育部重点实验室, 湖南师范大学化学化工学院, 长沙 410081

†同等贡献

*通讯作者, E-mail: binguo@hunnu.edu.cn; dr-chenpo@vip.sina.com

收稿日期: 2015-10-21; 接受日期: 2016-01-14; 网络出版日期: 2016-02-18

国家自然科学基金(编号: 21575040, 81274178, 21275049)和福建省“海西食品安全检测与监控 2011 协同创新中心”资助项目

摘要 人们对功能食品需求的日趋旺盛反映了当代人类对食药同源的营养干预理念的回归; 但同时, 功能食品的安全性也日益引发关注, 其中外源性违禁添加和内源性功效成分不明是普遍存在的突出问题. 如何从复杂食品体系中探明和鉴别各类滥用活性成分是保障功能食品安全的关键手段. 本文就近年来功能食品的违禁添加特点、检测方法现状与挑战、技术发展趋势特别是“非目标”质谱筛查策略进行了系统评述.

关键词 功能食品, 食品安全, 违禁添加, 检测方法

1 引言

功能(或保健)食品, 是指一类具有一般食品的共性, 但适于特定人群食用、能调节人体机能、不以治疗疾病为目的的特殊食品^[1], 其内涵包括 3 个属性: 食品属性、功能属性和非药属性^[2]. 因此, 功能(保健)食品与一般食品的共性是二者都能提供人体生存必需的基本营养功能(食品的第一功能), 都具有特定的色、香、味、形感官功能(食品的第二功能); 区别在于功能食品还具有能调节人体机能促进健康的特定功能(食品的第三功能), 以及有特定的食用范围(特定人群). 但功能食品也区别于药品: 药品是治疗疾病的物质, 而功能食品不以治疗为目的, 本质上仍是食品. 可见, 普通食品为一般健康人食用以维持营养, 药品为病人使用以治疗疾病, 而功能食品则可利用

生理调节功能以改善人体亚健康状况.

近年来世界各国功能食品发展迅速, 我国功能食品兴起于 20 世纪 80 年代, 自 2003 年以来通过国家批准注册的保健食品每年约 1300 余种, 年销售额超过 1000 亿元, 年均增长率大于 12%^[3,4]. 但同时, 食品安全性日益引发关注. 食品产品的安全保障是一项系统工程, 涵盖食品研发、加工、包装、储存、流通等各个环节^[3,5]. 据世界卫生组织统计, 每年约 200 万人死于与不安全食品相关的 200 多种食源性疾病^[6]; 如在美国, 每年约有 23000 急诊科病例涉及功能食品的不良反应^[7].

基于功能食品的属性, 功能食品不仅存在普通食品面临的安全问题, 即应满足一般食品的感官特性和通用卫生标准(包括食品添加剂、农药、兽药及生物毒素残留限量、放射性物质限量、有害金属、微生物

引用格式: 杨子辉, 程雨晴, 郭宾, 陈应庄, 马铭, 陈波. 功能食品安全检测的技术现状与对策. 中国科学: 化学, 2016, 46: 257–262
Yang ZH, Cheng YQ, Guo B, Chen YZ, Ma M, Chen B. Dietary supplements: food safety issues and detection strategies. *Sci Sin Chem*, 2016, 46: 257–262, doi: 10.1360/N032015-00210

限量等类属食品理化 and 常规卫生要求), 还存在其特殊问题, 如违禁(功效)成分滥用以提高所谓食品第三功能. 本文就近年来功能食品安全检测技术现状、发展趋势及分析策略作简要评述.

2 功能食品安全检测的现状及技术挑战

作为保障食品安全的重要手段, 食品检测研究一直受到各国科研工作者的的高度重视. 对功能食品而言, 除了常规食品的安全性问题外, 影响产品安全性的突出问题集中表现在其功效成分(功能因子或添加药物)的不规范使用上.

2.1 检测技术现状

目前, 功能食品中非法添加化学药物的常用检测技术主要包括理化鉴别、薄层色谱(TLC)、酶联免疫(ELISA)、高效液相色谱(HPLC)、毛细管电泳(CE)、气相色谱-质谱联用(GC-MS)、液相色谱-质谱联用(LC-MS)、毛细管电泳-质谱联用(CE-MS)以及红外光谱(IR)等^[4,6,8]. 按检测特点, 这些技术类型大体可以分为3种^[9]: 专一性探测、分离型测量和整体性表征(表1). 已有的分析方法大多属于已知目标物的筛查或测定. 其中, LC-MS/MS技术将HPLC的高效分离与高灵敏度、强专属性的串联质谱如三重四极杆相结合, 增强了复杂体系中多成分的准确定量和结构确证能力, 已成为检测食品添加物最常用的手段^[8,10,11].

2.2 功能食品安全问题对分析化学的挑战

基于目前功能食品的违禁添加特点, 安全检测技术的最大难点来自两个方面: (1) 食品样品复杂, 特别

是一些中成药保健品多采用传统中草药, 基质干扰严重、内源性成分检测困难; (2) 外源性添加物来源不明, 目前缺乏未知添加成分筛选方法, 给检测、确证带来巨大挑战.

2.2.1 内源性功效成分不明

功能食品中的生理活性物质是发挥功效的关键所在, 也是产品质量的主要指标. 保健食品中的功能因子是通过提取、分离、浓缩(或是添加了高纯度的某种生理活性物质), 使其在人体内达到发挥作用的浓度, 从而具备了食品的第三功能.

由于食品原料复杂, 目前难以对其中所有内源性功能因子进行深入系统研究, 尚未解决功效成分加工(浓缩、提取)后的用量安全性、内源性毒性、生理剂量与药理剂量的差异、产品中成分相互作用等问题^[3].

2.2.2 外源性违禁添加类型多样

在功能食品安全方面最主要的问题是违禁成分滥用. 在利益驱动下, 一些不法厂商为突显产品疗效, 在中成药、保健食品中非法添加减肥药、壮阳药、降糖药等化学成分来掩盖食品真相的现象(掺伪)非常普遍^[2,3]. 根据近年来产品监测及文献报道, 目前功能食品中违禁添加内容和形式呈现出以下特点^[4].

非法添加成分种类包括: (1) 临床上正在使用的治疗药物或处方药, 此类情况最为普遍. 近年被查处的壮阳类、抗疲劳类保健食品常添加伟哥类药物, 如西地那非等; (2) 临床上已被淘汰的药物, 如酚酞、西布曲明等具有显著的减肥功效, 但因严重的毒副作用而被停用; (3) 添加治疗用药的结构类似物. 一些不法厂商在已有药物结构基础上稍加修饰, 改造成药物前体或衍生物(如去甲基西布曲明), 以获得相似的临床作用却可逃避监管; (4) 尚未获得批准的新型药物或先导化合物; (5) 药物的化工合成品或兽药的粗原料以降低成本; (6) 非药食同源^[12]的天然产物, 如麻黄碱、河豚等.

非法化学添加的形式主要有: (1) 单一成分随意剂量添加, 如一些补肾抗疲劳保健品中西地那非的检出量为0.84~780 mg g⁻¹^[13]; (2) 多成分复合添加, 有意识地同时添加低剂量水平的多种药物, 降低违禁添加含量加大了检测难度但同样可达到效果^[14]; (3) 在制剂的辅料或包装材料中添加, 如利用剂型的特点将违禁药物添加到胶囊壳中, 存在一定的隐蔽性, 可躲避

表1 常用功能食品安全检测技术的分类、特点及其应用

类别	名称	特点	应用
专一性探测	理化鉴别、化学分析、生物法(酶、免疫法)	专一、快速; 单组分、低灵敏度	常(微)量、初筛
	薄层色谱(TLC)	简单、快速; 干扰大	初筛、定性
分离型测量	高效色谱法(HPLC、UPLC、CE)	准确、多组分; 需前处理	定量
	色谱-质谱联用(LC-MS、GC-MS、CE-MS)	灵敏准确、多组分; 需前处理	确证、定量
整体性表征	光谱法(IR、RS、NMR)	快速、无损、广谱; 低灵敏度、低专属性	筛查、鉴别

监督检测^[8,15]; (4) “证后”添加, 即在取得保健食品批文后再在上市产品中违法加入。

3 功能食品安全检测新策略

近年来, 国内外报道了大量的功能食品中违禁药物的检测方法, 但大部分仅针对少数几种甚至一种目标成分, 给不法厂商以可乘之机; 此外, 出于不法厂商的主观规避, 层出不穷的新型结构类似物被设计出来并掺入产品中(如仅那非类的替代衍生物就发现已达 50 余种)^[8,16~18], 因此, 有必要建立一个“非目标”筛查的方法以提高违禁添加药物的发现率^[19]。由于目前常规的分析手段难以全面探测、准确定量和可靠鉴别所有的违禁添加药物, 扩大添加成分的检测范围和提高筛查通量已成为食品安全分析领域的热点之一。

3.1 质谱检测的高通量化策略

传统的 LC-MS/MS 采用多反应监测(MRM)技术在定量及确证方面功能强大, 但受自身分析器的低分辨率、低扫描速度的限制, 仅限于分析已知结构的目标化合物。最新统计表明, LC-MS 技术在功能食品中违禁添加药物的检测中占有主导地位(图 1)^[20]。

鉴于功能食品中违禁使用各类添加物的现象十分普遍, 迫切需要建立在不使用标准对照品的情况下也能准确定性筛查与确定的方法。近年来发展的一些质谱新方法通过多种形式的高通量化, 以尝试实现对标准检测范围之外的外源添加物的发现与快速鉴别。

图 1 近 15 年(1997~2014)应用于功能食品中外源添加物检测的质谱技术类型及其使用率统计

3.1.1 同族体靶向定量谱分析

面对复杂食品基质中低含量结构类似物筛查分析的难点, 对策之一是基于“部分穷尽”思路, 针对特定分析对象发展类别选择性的高效分析方法。为扩展常规 MRM 技术的检测范围(容量), 本研究组^[21~23]近期利用三重四极杆和串联四极杆复合线性离子阱(QTrap)的多功能扫描模式发展了一种针对外源药物同族体(即含相同官能团或结构区的结构类似物及其代谢物、衍生物等)的靶向定量谱分析技术(Homolog-targeted profiling)。该方法可同时对多个目标化合物进行准确定量或类别扩展至未知结构类似物的分类搜索, 因此是一种“高容量”多反应监测技术。基于 MRM 模式的同族体靶向定量代谢组学分析新策略既不同于传统的 LC-MRM 低通量精确定量, 也异于常规代谢组学“一锅法”全分析, 成为沟通从已知、靶向单成分分析迈向非目标、无偏全分析的重要桥梁^[23~25]。

3.1.2 高分辨质谱广谱鉴定

对完全未知的外源添加成分分析, 低分辨质谱已显得无能为力, 但快速发展的现代高分辨质谱(HRMS), 如飞行时间质谱(TOF)、傅里叶变换离子回旋共振(FTICR)和静电场轨道阱(Orbitrap)等具有在超高分辨率下(1~100 万 FWHM)测定化合物精确分子量(0.1~10 ppm)的能力, 并能借助同位素离子的丰度比来推断化合物的元素组成(分子式)。HRMS 非目标分析的优势在于: (1) 高灵敏度、快速的全扫描分析, 理论上分析物的数目及分子量不受限制; (2) 不需预先设定待测物的分子量等相关信息, 不需对照品对特定化合物进行质谱参数优化; (3) 所采集数据具有可回顾性, 可对历史数据进行重新分析, 一次进样可获取大量的目标和非目标化合物的信息。

然而, 在复杂的功能食品基质中, HRMS 尚需与色谱或其他质谱如四极杆(Q)或离子阱(IT)串联以提高鉴定信度^[8,10,26~28]。最近, 本研究组^[29]运用 IT-TOF 独特的高质量精度的多级质谱功能和正负离子快速切换技术建立了一种 LC-IT(MSⁿ)/TOF 的广谱筛查新方法, 通过谱库自动检索保留时间、质量精确度、同位素分布、特征碎片离子以及多级裂解信息的多参数匹配, 可以实现功能食品中各类目标添加药物、数库内预期分析物(有谱库信息、无标准品)和可疑未知成分

(无谱库信息、无标准品)的发现与鉴别。这种基于目标发现的质谱检测方法,还可以与更普适的紫外光谱联用以进一步扩展筛查范围,或利用替代对照品法进行快速检索和相对定量^[30-32]。

3.1.3 直接离子化快速表征

加快样品检测速度也是提高质谱分析通量的重要途径。近期出现的新型质谱技术,如流动注射^[33-35]、离子迁移谱^[36-39]、敞开式离子化^[40-44]等,因无需样品前处理、免色谱分离的特点可实现功能食品的直接实时分析、现场快速检测或整体全貌表征^[8,33-44]。

流动注射质谱(FI-MS)是将样品在流动注射下直接进入质谱快速分析,以免去耗时的色谱柱分离过程^[45],其特点是快速和更能反应样品溶液的整体性质。近几年来,基于 FI-MS 指纹(fingerprinting)的代谢组学技术为功能食品的违禁添加成分检测^[33,34]及产品质量鉴别^[46]提供了一种新的分析手段。

离子迁移谱(IMS)是一种气相环境下的电泳技术,它是根据分析物分子质量、电荷和碰撞截面,基于气相离子在弱电场中的迁移率来分离和辨别分析物。它被称为等离子色谱或作为一种无需真空、低成本的常压质谱,具有简单、轻便的特性和突出的灵敏度与分离速度、无需溶剂、绿色环保的优点。在功能食品检测领域,Dunn 等^[36,37]建立了快速鉴别减肥食品中西布曲明等多种违禁药物的 IMS 定性筛查方法。IMS 还可以与 ESI 或 MALDI 耦联组合于现有分析器之中,相当于新增了一种分离维度。Aqai 等^[39]发展了 UPLC-IM-Q/TOF 质谱技术,对功能食品中的雌激素进行了有效鉴别与测定。

能在开放环境下运行的新型离子化(ambient ionization)技术的研制是近年来质谱学领域备受关注的前沿课题^[47]。其中有两种常压敞开式质谱——直接实时分析(DART)和解吸附电晕束电离(DCBI)质谱开始应用于功能食品中外源添加药物的快速检测^[20]。本研究组已运用自制 DCBI 源结合离子阱质谱成功建立了一系列在无需复杂样品前处理条件下,保健食品及中成药中 PDE-5 抑制剂、 β 受体阻断剂、降糖药等多种非法添加药物的快速定性和半定量分析方法^[42-44]。

3.2 非目标筛查方法及发展趋势

按 2002/657/EC 定义^[48],筛查方法是一种用于检测大量样品、快速判定其中是否存在某种(类)化合物,并将样品区分为阴性或阳性的高通量分析手段。

3.2.1 筛查技术的分类

筛查方法从检测方式上可分为化学法(理化鉴别法、容量分析等)、生物法(酶法、免疫法、微生物法、生物传感等)和仪器法(光谱、波谱、色谱等);从分析特性角度可分为专一性探测、分离型测量和整体性表征 3 种类型(表 1)。一般地,化学法与生物法具有高特异性、简便、快速的特点,但分析物容量和灵敏度都较低;光(波)谱法的优点是快速、整体性好(组分量较大),但特异性、灵敏度和准确度较低;基于色谱分离的仪器法的优势是准确、灵敏,但缺点是分析速度和容量较低。因此最理想的筛选方法应满足技术在分析速度(样品数目/时间)、分析容量(组分数目/样品)和分析信度(信息量/组分)3 个方面的要求。

目前国内外报道的筛查技术主要有两种情况:(1)特定目标分析物的筛查,即确定待筛查的对象,通过高选择性的分析手段确定待筛查物是否存在于样品中,这类技术的检测专一性高、速度也快,但不能用于广谱筛查和发现新分析物;(2)非特定目标物筛查,目前主要依靠高容量的广谱分析技术如现代光(波)谱、高分辨质谱等仪器并结合数据处理系统,实现对非特定目标或未知分析物的鉴定分析。

3.2.2 广谱筛查新型技术

基于样品无损和整体分析的现代光谱技术在高通量非目标筛查上具有先天优势,但仍需解决低灵敏度和低准确度的问题^[8,15]。最近,¹H NMR 被成功应用于草药补充剂中 PDE-5 抑制剂的鉴定和定量分析^[49];新近推出的无需制冷剂的台式低场 NMR (60 MHz)可快速鉴别功能食品中的违禁添加药物^[50]。表面增强拉曼散射(SERS)可显著提高传统 RS 的灵敏度,最近发展的 TLC-SERS 联用技术被成功应用于功能食品中药物结构类似物的快速、灵敏和准确鉴定^[51,52]。

对于检测专一、快速的传感器方法来说,提高分析容量是主要发展方向。目前出现的生物芯片已显著扩大靶分子的筛查范围;基于多功能传感阵列的人工智能识别系统,如电子眼、电子鼻、电子舌等将大大

增强食品安全检测能力^[6]. 对于基于组分分离的筛查方法, 提高分离效率和检测速度是关键^[33-35,53].

快速全扫描的高分辨率质谱具有准确测量和非目标检测的潜力, 敞开式离子化技术的发展为高灵敏度、高分辨质谱的整体样品广谱筛查和精细成像分析提供了可能^[17]. 高分辨率质谱成像(MSI)将是食品检测领域质谱技术的未来发展方向^[54-56]. 基于目标发现的分析策略, 构建一个食品组学大数据依赖的功能食品筛查方法, 通过动态谱库多参量匹配和信息挖掘可提高未知物筛查的成功率^[19]. 总之, 新型功能食品检测技术逐渐向预警发现型、集成微型、智能型的趋势

发展.

4 结束语

功能保健食品的安全性问题既包括常规食品的安全性要求, 又突出体现为其功效成分(内源性功能因子或外源添加药物)的不规范使用. 因此, 针对目前功能食品安全检测面临着的样品复杂、功效成分不清、添加物来源不明的技术挑战, 开展面向功能食品中违禁添加药物及活性成分的新型检测技术的研究在保障功能食品安全方面具有重要的意义.

参考文献

- 1 中华人民共和国国家标准. 保健(功能)食品通用标准. GB 16740-1997. 中国标准导报, 1997
- 2 戴华, 陈冬东. 功能性保健食品检测指南. 北京: 中国标准出版社, 2012
- 3 金宗谦. 食品科学技术学报, 2013, 31: 1-3
- 4 王静文, 曹进, 王钢力, 张庆生, 丁丽霞. 药物分析杂志, 2014, 34: 1-11
- 5 Borchers A, Teuber SS, Keen CL, Gershwin ME. *Clinic Rev Allerg Immunol*, 2010, 39: 95-141
- 6 孙登峰, 王顾希, 钱杉杉, 乔倩, 邹燕, 侯晓妮. 中国测试, 2015, 41: 1-7
- 7 Geller AI, Shehab N, Weidle NJ, Lovegrove MC, Wolpert BJ, Timbo BB, Mozersky RP, Budnitz DS. *N Engl J Med*, 2015, 373: 1531-1540
- 8 Patel DN, Li L, Kee CL, Ge X, Low MY, Koh HL. *J Pharm Biomed Anal*, 2014, 87: 176-190
- 9 Zhu W, Yuan Y, Zhou P, Zeng L, Wang H, Tang L, Guo B, Chen B. *Molecules*, 2012, 17: 11507-11537
- 10 Hird SJ, Lau BPY, Schuhmacher R, Krska R. *Trends Anal Chem*, 2014, 59: 59-72
- 11 Parker CH, Stuttis WL, DeGrasse SL. *J Agric Food Chem*, 2015, 63: 10303-10312
- 12 <http://www.nhfp.gov.cn/sps/s3585/201411/67ac54fb05ed46929adc63f2db31d4bf.shtml>, accessed on 2015-09-27
- 13 王美玲, 曾乐, 颜鸿飞, 李拥军, 戴华. 分析测试学报, 2014, 33: 239-247
- 14 Tang MH, Chen SP, Ng SW, Chan AY, Mak TW. *Br J Clin Pharmacol*, 2011, 71: 250-253
- 15 Lanzarotta A, Crowe JB, Witkowski M, Gamble BM. *J Pharm Biomed Anal*, 2012, 67-68: 22-27
- 16 Aqai P, Cevik E, Gerssen A, Haasnoot W, Nielen MW. *Anal Chem*, 2013, 85: 3255-3262
- 17 Venhuis BJ, De Kaste D. *J Pharm Biomed Anal*, 2012, 69: 196-208
- 18 黄朝辉, 蔡丹丹, 陈仲益, 周征. 中国药学杂志, 2015, 50: 371-374
- 19 宁霄, 张伟清, 王钢力, 曹进, 张庆生. 食品安全质量检测学报, 2015, 6: 1876-1882
- 20 Vaclavik L, Krynsky AJ, Rader JL. *Anal Bioanal Chem*, 2014, 406: 6767-6790
- 21 Wang M, Guo B, Huang Z, Duan J, Chen Z, Chen B, Yao S. *J Chromatogr A*, 2010, 1217: 2821-2831
- 22 Huang C, Guo B, Wang X, Li J, Zhu W, Chen B, Ouyang S, Yao S. *Anal Chim Acta*, 2012, 737: 83-98
- 23 Guo B, Chen B, Liu A, Zhu W, Yao S. *Curr Drug Metab*, 2012, 13: 1226-1243
- 24 Guo B, Huang Z, Wang M, Wang X, Zhang Y, Chen B, Li Y, Yan H, Yao S. *J Chromatogr A*, 2010, 1217: 4796-4807
- 25 Song Y, Zhang N, Shi S, Li J, Zhao Y, Zhang Q, Jiang Y, Tu P. *J Chromatogr A*, 2015, 1406: 136-144
- 26 Shi F, Guo C, Gong L, Li J, Dong P, Zhang J, Cui P, Jiang S, Zhao Y, Zeng S. *J Chromatogr A*, 2014, 1344: 91-98
- 27 Vaclavik L, Krynsky AJ, Rader JL. *Anal Chim Acta*, 2014, 810: 45-60
- 28 Avula B, Sagi S, Wang YH, Zweigenbaum J, Wang M, Khan IA. *Food Chem*, 2015, 178: 136-148
- 29 Guo B, Wang M, Liu Y, Zhou J, Dai H, Huang Z, Shen L, Zhang Q, Chen B. *J Agric Food Chem*, 2015, 63: 6954-6967
- 30 Zou P, Oh SS, Hou P, Low MY, Koh HL. *J Chromatogr A*, 2006, 1104: 113-122
- 31 权勤波, 王金凤, 李娜, 李俊卿, 陈金泉. 药物分析杂志, 2015, 35: 154-160
- 32 Bortolini C, Pivato A, Bogialli S, Pastore P. *Anal Bioanal Chem*, 2015, 407: 6207-6216

- 33 Sun J, Chen P. *Anal Bioanal Chem*, 2011, 401: 1577–1584
- 34 Zhao Y, Sun J, Yu LL, Chen P. *Anal Bioanal Chem*, 2013, 405: 4477–4485
- 35 Song F, Monroe D, El-Demerdash A, Palmer C. *J Pharm Biomed Anal*, 2014, 88: 136–143
- 36 Dunn JD, Gryniwicz-Ruzicka CM, Kauffman JF, Westenberger BJ, Buhse LF. *J Pharm Biomed Anal*, 2011, 54: 469–474
- 37 Dunn JD, Gryniwicz-Ruzicka CM, Mans DJ, Mecker-Pogue LC, Kauffman JF, Westenberger BJ, Buhse LF. *J Pharm Biomed Anal*, 2012, 71: 18–26
- 38 李灵峰, 王铁松, 韩可, 徐天白, 王琦, 李鹏, 汪小知. 分析化学, 2014, 42: 519–524
- 39 Aqai P, Blesa NG, Major H, Pedotti M, Varani L, Ferrero VE, Haasnoot W, Nielen MW. *Anal Bioanal Chem*, 2013, 405: 9427–9436
- 40 Zhou Z, Zhang J, Zhang W, Bai Y, Liu H. *Analyst*, 2011, 136: 2613–2618
- 41 Huang YQ, You JQ, Zhang J, Sun W, Ding L, Feng YQ. *J Chromatogr A*, 2011, 1218: 7371–7376
- 42 吴双, 王华, 朱慧果, 赵勇, 田清青, 孙文剑, 丁力, 陈波. 分析化学, 2012, 40: 1081–1085
- 43 Wang H, Wu Y, Zhao Y, Sun W, Ding L, Guo B, Chen B. *Food Addit Contam Part A*, 2012, 29: 1194–1201
- 44 王华, 赵勇, 廖鹏, 吴双, 侯玉兰, 孙文剑, 丁力, 陈波. 高等学校化学学报, 2013, 34: 556–562
- 45 郭宾, 段俊敏, 王美玲, 王晓莹, 陈波. 分析化学, 2010, 38: 1692–1697
- 46 Lu W, Jiang Q, Shi H, Niu Y, Gao B, Yu LL. *J Agric Food Chem*, 2014, 62: 9073–9080
- 47 冯鲍盛, 白玉, 刘虎威. 中国科学: 化学, 2014, 44: 784–788
- 48 Community Reference Laboratories Residues (CRLs). Guidelines for the validation of screening methods for residues of veterinary medicines (initial validation and transfer). 20/1/2010. http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/residues/Guideline_Validation_Screening_en.pdf, accessed on 2015-10-17
- 49 Gilard V, Balayssac S, Tinaugus A, Martins N, Martino R, Malet-Martino M. *J Pharm Biomed Anal*, 2015, 102: 476–493
- 50 Pagès G, Gerdova A, Williamson D, Gilard V, Martino R, Malet-Martino M. *Anal Chem*, 2014, 86: 11897–11904
- 51 Li H, Zhu Q, Chwee T, Wu L, Chai Y, Lu F, Yuan Y. *Anal Chim Acta*, 2015, 883: 22–31
- 52 Lv D, Cao Y, Lou Z, Li S, Chen X, Chai Y, Lu F. *Anal Bioanal Chem*, 2015, 407: 1313–1325
- 53 Fanali C, Rocco A, D’Orazio G, Dugo L, Mondello L, Aturki Z. *Electrophoresis*, 2015, 36: 1073–1081
- 54 Taira S, Uematsu K, Kaneko D, Katano H. *Anal Sci*, 2014, 30: 197–203
- 55 Handberg E, Chingin K, Wang N, Dai X, Chen H. *Mass Spectrom Rev*, 2015, 34: 641–658
- 56 Nielen MW, van Beek TA. *Anal Bioanal Chem*, 2014, 406: 6805–6815

Dietary supplements: food safety issues and detection strategies

Zihui Yang^{1†}, Yuqing Cheng^{2†}, Bin Guo^{1,2*}, Yingzhuang Chen¹, Ming Ma¹, Bo Chen^{1,2*}

1 Key Laboratory of Phytochemical R&D of Hunan Province; College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

2 Key Laboratory of Chemical Biology and Traditional Chinese Medicine Research (Ministry of Education of China); College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

†Contributed equally to this work

*Corresponding authors (email: binguo@hunnu.edu.cn; dr-chenpo@vip.sina.com)

Abstract: In recent years, there has been an increasing need for dietary supplements, which reflects contemporary people’s growing attention to nutritional therapy based on the homology of medicine and food. However, dietary supplements have aroused wide concern due to the illegal adulteration with undeclared synthetic chemicals and the indeterminacy of the endogenous components in healthy foods. The detection, discovery and identification of multi-class illegal adulterants and bioactive ingredients in the complex food matrices is of fundamental importance for guaranteeing food safety and quality. This review summarized the current situation of illegal adulteration, technical challenges, detection tools, particularly mass spectrometry-based untargeted screening strategies.

Keywords: dietary supplements, food safety, illegal adulteration, detection methods

doi: 10.1360/N032015-00210