

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2019.04.001

文章编号:2095-6002(2019)04-0001-13

引用格式:陈颖. 基于组学的食品表征识别与鉴伪研究[J]. 食品科学技术学报,2019,37(4):1-13.



CHEN Ying. Omics-based technologies for food characteristic identification and authentication[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019,37(4):1-13.

基于组学的食品表征识别与鉴伪研究

陈颖

(中国检验检疫科学研究院, 北京 100176)

摘要:食品表征识别与真伪鉴别已成为新时期食品质量安全领域的新兴研究热点和重要研究内容,应用于食品鉴伪的新技术新方法不断涌现,开展研究工作的队伍和人员不断壮大。从食品掺假与欺诈的历史发展、影响程度、内涵演变、技术问题等方面,分析了食品打假鉴伪的重要性与紧迫性,概述了基于基因组学、蛋白组学、代谢组学和无损检测技术的食品表征识别与鉴伪研究现状,并对不同方法的特点进行了分析。指出了我国食品打假鉴伪科技工作存在的主要问题和对策建议,并对食品表征识别与鉴伪技术的发展趋势进行了展望。

关键词: 鉴伪; 基因组学; 蛋白组学; 代谢组学; 无损检测

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

随着食品产业快速发展和食品安全控制水平不断提高,食品原料、生产、经营等全链条中掺假使假现象日益凸显,愈来愈引起世界各国关注,已经成为需全球共同应对的问题,也成为困扰和制约我国食品产业健康发展的毒瘤,是未来食品质量安全需重点解决的主要问题和食品产业转型升级的核心问题。

食品掺假使假等不法行为,损害消费者经济利益,危害消费者健康,破坏市场经济秩序,扰乱社会诚信体系,导致严重社会负效应,同时损害进出口贸易,影响国家形象。我国已将食品掺假和欺诈纳入了政府对食品安全危机的监管范畴。对真伪鉴别、种类鉴定、品质评价、溯源检测、地理标志、原产地保护、标签符合等食品打假鉴伪技术的研究已成为国内外食品质量安全研究的新热点^[1]。

近年来,随着科学技术的进步,新材料、新技术的不断涌现,食品打假鉴伪手段越来越多。从传统经验判断到仪器检测,从生化分析到分子鉴别,方法的准确性、灵敏度和稳定性越来越高,基因组、蛋白组、代谢组和无损检测等基于组学的食品表征识别

与鉴伪技术已成为解决食品掺假使假与欺诈问题的新一代技术手段。

1 食品打假鉴伪的重要性与紧迫性

1.1 食品掺假使假与欺诈现象历史上由来已久,且问题越来越凸显

纵观世界食品产业发展历程,从初始作坊式发展时期,到工业化生产时期,乃至现代食品产业体系建立时期,从两千多年前的古代社会到今天的现代社会,食品掺假使假与欺诈行为自食品进入流通领域以来一直存在。不仅在中国,欧美发达国家和地区等其他地方也一样存在。无论是政府还是民间,与食品掺假使假与欺诈的斗争从来没有停止过。

《晏子春秋·内篇杂下》中“君使服之于内,而禁之于外,犹悬牛首于门而卖马脯于内也。”和宋代释普济的《五灯会元》卷十六:“悬羊头,卖狗肉,坏后进,初几灭。”是关于我国食品掺假使假的最早记载。在近代英国历史上,19世纪是牛奶掺假的盛行时期,其中尤以19世纪后半叶最为严重。“一战”时期的德国

收稿日期:2019-04-25

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0401100)。

作者简介:陈颖,女,研究员,博士,主要从事食品质量安全方面的研究。

用“不可消化的废弃物”制造了很多“食物代替品”。南北战争前后,美国也同样经历了一个食品掺假肆虐横行由“乱”而“治”的漫长过程。2013年初,欧洲的“马肉风波”成为近年来欧洲影响最深远的食品掺假问题,甚至使不少消费者改变了消费习惯^[2]。

随着经济全球化进程,食品产业链发生结构性变化,食品企业开始全球化布局,不断延长和复杂化的食品供应链也增加了掺假使假和多元扩散的可能性。美国国会研究服务专题报告指出,尽管食品掺假的规模难以统计,但全球食品行业每年的损失高达150亿美元^[3]。近几年全球经济衰退,世界范围内食品掺假与欺诈有显著增加趋势。尤其是随着电商等新经济业态的出现,食品掺假与欺诈更是成为全球性的挑战^[4]。

1.2 食品掺假使假与欺诈范围广、形式多,不良社会影响极大

盘点近年来的食品安全热点事件,不论是欧洲“马肉风波”,还是巴西“过期牛肉丑闻”,不论是印度“牛奶掺假丑闻”、德国“有机鸡蛋造假丑闻”,还是我国“假肉串肉卷事件”、“三聚氰胺事件”、台湾地区“大统黑心油事件”等,都引起了空前的社会反响,严重影响了产业发展和消费者信心。食品掺假

使假和欺诈有三个特点^[3]:一是问题食品涉及面越来越广,呈立体式、全方位态势;二是危害程度越来越深,已从食品外部卫生危害走向了内部安全危害;三是手段越来越多样、手法越来越隐蔽,已到了“不怕你做不到,就怕你想不到”的地步。在经济利益驱动下,一些企业和个人为了牟取暴利铤而走险,置公众健康甚至生命于不顾,违法制售假冒伪劣食品,盗用商标,假冒名牌,大发不义之财。甚至一些大的知名食品企业也参与其中,给食品质量安全带来了更多不确定因素。

1.3 食品打假鉴伪内涵不断演变,已从狭隘的食品卫生向食品质量、食品营养等“质”与“量”全方面发展

食品品种日益丰富,加工手段日益多样化,食品欺诈的概念范围远远大于经济利益驱动掺假^[5]的范围,除真伪外,还包括冒牌、避税及走私等^[6]。食品真实性鉴别已不仅仅指掺假鉴别,还包括品质评价、标签符合、溯源识别等多方面质量安全问题^[7],其目的已呈多维度多元化需求,见表1。欧美等发达国家和地区非常重视食品的防伪监测工作,而且相关的法规、标准体系往往更为严格。近期欧盟理事会上新修订的食品标签法规要求在标签上明确标明

表1 食品表征识别与鉴伪的目的和需求

Tab.1 Purpose and demand of food characteristic identification and authentication

维度	需求	代表案例
真假鉴别	伪造鉴别	以假乱真:用酒精、糖精、香精等“三精一水”勾兑成假红酒;用银耳、猪皮、明胶等伪造燕窝 以次充好:棘鳞蛇鲭(油鱼)冒充鳕鱼;亚香棒虫草(霍克斯虫草)冒充冬虫夏草
	掺假(杂)鉴别	牛奶、果汁兑水稀释;蜂蜜中掺入果葡糖浆;红薯淀粉中加入低值木薯粉
种类鉴定	工艺鉴别	浓缩汁还原果汁冒充NFC鲜榨果汁;橄榄果渣油冒充初榨橄榄油;复原乳代替生牛乳
	物种鉴定	食品中动植物成分鉴定;调和油中食用油种类及配比鉴定
品质评价	品种鉴定	泰国香米的鉴定;山羊乳与牛乳的鉴定
	清真或民族特色食品鉴别	清真食品中非清真成分的检测
	有机、天然食品鉴别	有机牛奶鉴别;散养鸡蛋鉴别
溯源检测 ^a	新鲜度鉴别	蜂王浆新鲜度鉴别;新鲜三文鱼肉与冷冻化冻三文鱼肉鉴别
	功能、营养成分鉴别	保健品中功能成分检测;食品中主要标志性营养成分鉴别
标签符合 ^b	年份鉴别	年份酒鉴别;年份醋鉴别
	地理标志产品	吐鲁番葡萄干鉴别;帕尔玛火腿鉴别
	生态原产地保护产品	镇江恒顺香(陈)醋系列产品鉴别;意大利利巴里地区的阿古利尔罗拉庄园产的克鲁托(CRUDO)橄榄油鉴别
法庭证据	珍稀动植物保护	鱼翅和鲨鱼软骨中鲨鱼种类鉴别;鹿产品中梅花鹿等鹿种类鉴别
	转基因食品标注	转基因食品中外源基因定性定量检测
	过敏原标注	过敏原食物种类鉴别;致敏蛋白及含量检测
法庭证据	违禁成分检测	原卫生部发布的六批“食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂名单”中非食用物质的检测
	食品走私	走私冻肉;走私水产
	食品反恐	“食品炭疽”;“蓄意投毒”

a. 溯源特别界定在食品产地识别,从原料到加工到产品到流通的广义溯源及追溯体系涵盖在各类食品鉴伪中; b. 标签符合特别强调转基因和过敏原两类强制标识,其他各类广义的标签相符性分布在其他各类食品鉴伪中。

所有食品成分及含量,使消费者了解食品的所有成分^[8]。与这些法律法规相配套需要完善的检测体系和强大的技术储备。

1.4 与掺假使假与欺诈手段的复杂性相比,食品打假鉴别技术仍然滞后

尽管食品掺假使假一直存在,但对于食品打假鉴别的研究却相对薄弱,只是在近10年才引起人们的重视,成为研究热点,并使该领域的研究和应用得到了长足发展^[1],但由于食品中所含成分复杂,易受产地、气候和采收时间等因素的影响,且大多数食品经过破碎、搅拌、高温、高压等物理、化学以及生物反应等多种加工过程,而用于掺杂到食品中的物质又多是与其组成比较接近,或某些性状比较接近的物质,因此通常难鉴别其真伪。此外,随着假冒伪劣手段的不断变化,仿真度极高的劣质产品给鉴别、检验工作带来巨大的困难。甚至有人提出诸如“为什么打假总比造假落后”的尖锐问题,凸显出掺假食品有效检测手段的缺失,迫切需要科技支撑与引领。

2 食品打假鉴别技术的现状与趋势

食品打假鉴别技术涉及从田间到餐桌的每个环节,要满足种类、品牌、产地、目标物等真实性识别以及目标物纯度鉴定、掺假物、杂质含量检测等不同的需求。近十年来关于食品打假鉴别技术的研究报道呈直线上升的态势,发文量在整个食品检测发文量中的比重近年来也逐年提高^[9]。食品打假鉴别技术各类技术有其各自的优点,也有着不同的局限,研究进展差异较大^[10-13]。

1) 借助肉眼或通过显微镜观察区分样品的形态学分析技术发展最早,但分析结果有一定主观性,与检测人员经验相关性很大。近几年,数字图像分析技术的发展赋予这个传统技术新的生命力,有望成为一种新型辅助鉴别方法。2) 以光谱、色谱和质谱为代表的理化分析技术是兴起年代相对久远的一类技术,主要对产品主要成分、特定成分或标志物以及各种代谢物进行检测分析。3) 以电子鼻、电子舌等各类传感器为代表的人工智能技术,主要测定样品中所有挥发性成分等整体综合信息。4) 以PCR、分子标记、DNA指纹图谱、芯片等为代表的分子生物学技术是国际上倍受关注的技术。

随着科技的进步和学科交叉的融合发展,为

食品打假鉴别提供了新手段。如数字PCR技术为利用分子生物学技术定量提供了新的手段;新一代测序、组学技术为未知物种鉴别研究提供了新方法;计量学与各种技术有机结合,使得食品打假鉴别技术更加科学。在不同技术方法中选择合适的技术协同解决问题是目前食品鉴别研究发展的主要趋势之一,基于组学的食品表征识别与鉴别技术体系越来越成为食品掺假使假等欺诈问题的综合解决方案^[7, 14]。

笔者团队2005年提出了“食品属性表征与品质分子识别”概念^[15],一直致力于食品属性表征与品质分子识别及溯源的应用与应用基础研究。围绕大宗食用农产品、深加工食品和高附加值食品,针对食品种类、品牌、产地、加工工艺、标签符合真伪鉴定以及目标物真实性、纯度、新鲜度、掺兑物检测等核心问题,集成多种基因组学、蛋白组学、代谢组学、智能感官等组学手段,系统开展了食品真实性鉴别技术研究,相关研究工作见表2。我们提出了从定性判别到精准定量分析,从单物种单目标识别到多物种多目标多元高通量识别,从定向筛查到非靶标侦测,从多组份到全组份分析的现代食品真伪鉴别技术体系构建思路,见图1。以遗传物质为基础的识别技术,可以克服传统方法受环境、气候、加工方式等影响带来的局限性,大幅度提高准确性;多目标物高通量检测技术,能够实现食品中多物种成分的高通量同时鉴别,极大提高检测通量和效率;以蛋白为靶标的比较蛋白组和免疫学方法,为食品真实属性判别和品质鉴别提供了理论基础和新思路。将代谢组学应用于食品真实属性表征,拓展了在以核酸和蛋白为目标物基础上的鉴别途径;感官风味与化学计量相融合的品质识别技术,为地域特色食品的追溯和评判提供快速甄别方法。

2.1 基于基因组学的食品表征识别与鉴别技术

随着20世纪末分子生物学的发展,对基因进行快速、准确分析的各种方法不断出现,如PCR、实时荧光PCR、数字PCR、分子指纹、基因芯片、基因测序、DNA条码等,可以快速地分辨食品中使用的动植物原料成分、过敏原物种成分和转基因成分。由于生物型的差异直接反映在基因序列的差异上,不受季节、环境和加工条件等限制和影响,因此,以DNA为基础的分子生物学方法仍被认为是食品真实性鉴别中最有效的方法^[68]。根据基因进化特点选择合适的靶基因,可实现对物种、同一种物种不同

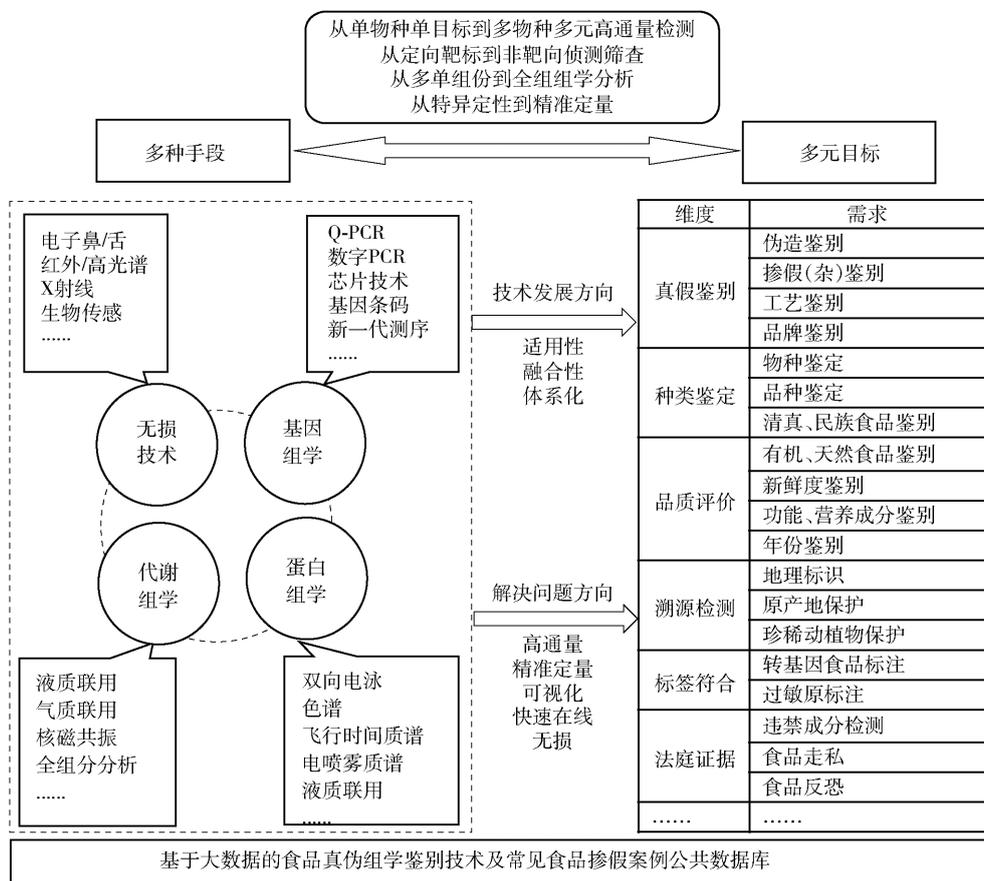


图1 基于组学技术的食品表征识别与真伪鉴别技术体系

Fig. 1 Food characteristic identification and authentication technologies based on omics

表2 近十五年在食品表征识别与鉴伪方面的研究工作

Tab. 2 Research on food characteristic identification and authentication in past fifteen years

技术类别	研究方法	研究对象	参考文献
基于基因组学	PCR 技术	胡桃、腰果源性成分	[16-17]
	多重 PCR 技术	食物过敏原成分	[18]
	实时荧光 PCR 技术	燕窝、橄榄油;胡桃、芹菜、木薯、梨源性成分;鹿、牦牛、马、驴、骆驼源性成分;蜂蜜蜜源植物种类、玛咖及其掺假物、淀粉植物来源,转基因成分	[19-30]
	PCR-CE-SSCP 技术	常见食用油、橄榄油、鹿种鉴别	[31-32]
	PCR-DHPLC 技术	苹果、桃、桔、橙、猕猴桃、草莓、葡萄源性成分	[33]
	LAMP 技术	开心果源性成分	[34]
	RPA 技术	转基因成分	[35]
	FINS 方法	鱼翅物种来源	[36]
	RAPD 技术	泰国香米、啤酒大麦	[37-38]
	液相悬浮芯片	橄榄油,玉米油、芝麻油、大豆油、花生油、油菜籽油、葵花籽油;转基因水稻、转基因玉米;常见动物源性成分	[39-43]
可视芯片技术	食物过敏原成分,鱼物种成分,转基因成分	[30],[44-45]	
基于蛋白组学	DNA 条码技术及下一代测序技术	常见油料作物种类鉴别,肉种类鉴别,海参鉴别	[45-47]
	数字 PCR 技术	肉类掺假精准定量	[48-50]
	免疫分析技术	芹菜、胡桃过敏原蛋白检测	[51-53]
	毛细管电泳技术	蜂王浆新鲜度,牛乳中外源蛋白,掺假燕窝中银耳源性成分	[54-56]
	双向电泳技术	不同工艺乳鉴别,燕窝,啤酒大麦纯度,蜂王浆蛋白组,蜂王浆新鲜度	[57-60]
基于代谢组学	鸟枪蛋白组学技术	阿胶中异源动物物种成分	[61]
	UPLC-QTOF-MS	冬虫夏草、玛咖	[62-63]
基于无损检测	ICP-MS	燕窝	[64]
	红外光谱技术 多光谱技术	燕窝,冬虫夏草,山茶油 玛咖	[65-66] [67]

品系的精细区分,甚至追溯到特定的生物个体^[69-72]。例如,保守的看家基因通常用于种以上分类水平的鉴别,进化适中的基因用于种的鉴别,变异较快的基因用于亚种、株系的鉴别,而针对全基因组扫描式指纹技术可用于个体鉴别。以此建立的食品物种成分鉴别方法有许多成为各国食品检测标准甚至国际标准。

应用基因检测技术可以发现含量低至几个拷贝的基因,使食品物种成分的分析从常量水平进入痕量水平。在方法设计时可依据食品加工程度选择单拷贝或多拷贝基因,以满足不同灵敏度的要求。各类高精尖仪器和配套的商品化试剂盒能大大缩短检测时间,有助于提高操作的精准度,防止交叉污染。但从富含多糖、多酚、单宁、色素及其他次生代谢物质的食品或DNA含量较少的食品(如油脂)中提取DNA的方法难度相对较大,使分子方法在该类产品的应用中受到一定局限^[73]。

此外,由于基因的数量水平和生物体的质量水平并不等同,现代生物学技术对物种成分的鉴别大多数停留在定性和半定量水平,精准定量问题仍是急需突破的瓶颈。数字PCR技术的出现,为基于基因组学技术的食品定量检测提供了新的思路。目前,国内外也有不少学者开展了食品掺假的分子生物学定量研究,进一步探索不同物种、不同组织材料的基因数量和样品质量之间的数学关系,希望找到一种换算规律,实现从基因角度对食品成分进行定量检测^[49,74-76]。

随着食品产业的发展,食品种类越来越多,成分越来越复杂,同时对多物种进行定性定量检测的需求也越来越大。近几年,基于高通量测序的宏条形码技术发展迅速,可以实现同时检测复杂样品中的多个物种的目的^[77],在食品物种鉴定方面显现出很大的优势。此外,随着测序技术的发展,单分子测序(single molecule sequencing, SMS)或第三代测序(third generation sequencing, TGS)已经开始兴起并得到应用,基于高通量测序的多物种鉴别技术的成本大大降低,将会在食品安全监管中成为不可或缺的重要组成部分。

2.2 基于蛋白组学的食品表征识别与鉴别技术

蛋白质组学作为后基因组时代的一个新研究方向,近几年发展迅速,已成为食品品质检测和安全控制方面有力的研究工具。蛋白质组学研究特定条件下蛋白质整体水平的存在状态及活动规律,不仅可

以鉴定蛋白质种类,还可进行蛋白质定量^[78-79],为分析不同物种、产地、成熟阶段的食物蛋白质组分和含量提供了新思路。

基于蛋白组学的食品表征识别与鉴别技术主要可以归为两类,即基于凝胶(gel-based)的方法和基于质谱(MS-based)的方法。双向凝胶电泳(2-DE)是经典蛋白质凝胶技术,但存在诸如对低丰度蛋白质、疏水性蛋白质、极酸或极碱蛋白质的分离和检测效果较差,难以实现规模化和自动化等缺点^[80]。质谱技术的出现解决了这一问题。质谱具有快速、灵敏、准确的优点,一次实验可同时检测千余种蛋白质,可应用于蛋白质的鉴定、翻译后修饰、表达差异分析、功能及互作分析等,是进行高通量蛋白质鉴定和定量分析的最常用方法^[81],如,基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱(matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry, MALDI-TOF-MS)技术、同位素标记相对和绝对定量(isobaric tags for relative and absolute quantitation, iTRAQ)、多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)技术等,促进了蛋白质组学方法在食品真伪鉴别中的应用。

目前,蛋白质组学已在物种鉴别、产地溯源、品质识别、掺假鉴定等多个领域得以应用,涉及肉制品、水产品、乳制品、果蔬制品、谷物及其制品、高附加值食品及保健食品等多类食品^[82-87]。通过蛋白质数据库,利用鉴定工具对蛋白质进行鉴定是蛋白质组学研究重要内容。因此蛋白数据库的选择和拓展,以及对蛋白质组学质谱数据进行大数据处理及分析则显得尤为重要。随着高分辨质谱以及新型生物信息学技术的发展和数据库的共享应用,基于蛋白组学的食品表征识别与鉴别技术在食品真伪鉴别及品质识别研究中将有更加广阔的应用前景。

2.3 基于代谢组学的食品表征识别与鉴别技术

代谢组学是通过高通量、高灵敏度和高分辨率的现代仪器,结合模式识别等化学计量学方法分析对生物体内所有代谢产物变化规律的一种研究方法^[88]。通常代谢组学的研究对象是小于1500Da的小分子代谢物,但目前也有研究者将代谢组学的研究范围扩展至脂质甚至元素,将脂质组学纳入其中。无论是小分子代谢物、脂质还是元素,代谢组学的研究对象通常位于生理、生化活动调控的末端,能反映生物体变化规律的整体性,也能对非特定目标物进行检测。与其他组学技术,其最大优势在于整

体分析能力,更能揭示生物体的生理生化状态,反映外界环境对食品成分产生的微小差异,且代谢物数目远远小于基因和蛋白质的数目,有利于建立代谢物数据库进一步研究分析。

对代谢物的分析主要分为靶标分析和非靶标分析^[89]。非靶标分析是通过分析尽量多的代谢物以期寻找到具有统计学意义的特征标记物来反应样品状态^[90]。靶标分析则是预先提出假设,去除无关代谢物后针对特定的标记物进行研究并验证假设^[91]。两种分析方式常根据研究目标不同结合使用,在特征物不明确的情况下通常先采用非靶标分析方法,实现轮廓判别,后续根据需要再针对一种或多种靶标物质进行判别。

代谢组学常用的检测技术包括振动光谱技术、色谱-质谱联用技术、核磁共振技术等,基于不同技术得到复杂而庞大的多维数据,而真实有效数据的获得则依赖于样品多样性和真实性。对于数据的后续深度挖掘和分析是代谢组学研究的另一个重要部分^[91],考虑到代谢组分析数据的复杂性,简单的线性拟合有时结果并不理想,需要采用新的高维数据分析方法,如将支持向量机、随机森林和遗传算法结合起来进行变量筛选,以获得准确率、预测能力、稳定性及适应性更好的评估模型^[92-93]。

在食品真伪鉴别领域,代谢组学在物种及品种鉴定、产地鉴定、品质鉴别、掺假掺杂鉴定以及食品加工方式、原料属性及来源、功能食品的功效评价鉴别等方面已得到应用^[94-98]。目前,这类技术研究比重较大,但实验结果会受到品种、产地、收获季节、原料环境、加工条件、贮运包装方式等很多因素的影响,常需要大量已知样品建立模型^[90],但模型通用性不强,急需突破样本代表性等瓶颈问题。构建全面准确的代谢产物数据库,并与基因组、蛋白质组等数据库相互衔接,形成系统生物学数据链,将使基于代谢组学的食品表征识别与鉴伪技术走向成熟。

2.4 基于无损检测的食品表征识别与鉴伪技术

无损检测是指在不破坏待测物原有状态和物理化学性质的前提下,通过光、声、电、磁和力等手段获得多种物理化学信息,经过对数据的归一分类,实现对待测物的测定。无损检测技术具有操作方便和易实现在线检测的优点,在获取样品信息的同时保证了样品的完整性,且能有效地判断出某些从外观无法得出的样品内部品质信息,检测速度又较传统的化学方法迅速、绿色,也因此成为近年来食品品质检

测的热点技术^[99]。

根据检测原理的不同,无损检测技术大致可分为光学特性检测技术、声学特性检测技术、电学特性检测技术、电磁与射线检测技术、视觉(图像)信息检测技术、嗅觉味觉信息检测技术、生物传感器技术等几大类,而基于无损检测的食品表征识别与鉴伪技术主要有中红外光谱和近红外光谱技术、计算机视觉技术、高光谱技术、拉曼光谱技术、核磁共振技术,及超声波检测技术、电子鼻/电子舌智能感官技术等^[100-101],涉及物性学、信息技术、人工智能、计算机技术、传感技术、光谱技术等多学科领域。

基于无损检测的食品表征识别与鉴伪技术近年已广泛应用在农畜产品、果蔬产品的新鲜度、品质检测、感官评估和有害物质检测等方面^[101-104]。由于农产品形状各异、内部成分复杂且含量不均衡,且往往含有多种官能团且多有相似分子结构,测量信号交叉重叠,无法直接测得食品农产品中各物质的含量,因此需要运用化学计量学将测量信号与典型样品的已知质量参数进行关联,通过大量典型样品测量数据建立定量分析模型,才能用于样品定量检测^[100]。此外,不同无损检测技术存在不同的瓶颈问题^[90,105],如光谱检测中需要建立完善的标准谱库,射线技术检测中要有效排除干扰因素,超声波检测需开发稳定的信号系统,计算机视觉检测中光源的选择、电子鼻检测中新型传感器的研发等,这些问题的研究和解决,将使无损检测技术在食品质量与真伪鉴别领域发挥越来越大的作用。

3 我国食品打假鉴伪科技存在的主要问题和建议

近年来,我国食品打假鉴伪技术发展迅速,在一定程度上改变了加工农产品和食品真伪鉴别、品种鉴定、产地鉴别、品质评价标准缺乏、指标混乱的局面等。但与现实需求相比,还有很大差距,食品打假鉴伪处在问题“多发期”与监管工作“薄弱期”相叠加的特殊时期。

3.1 食品打假鉴伪整体部署严重不足,急需强化顶层设计能力统筹布局

目前对食品打假鉴伪技术的研发大多处于自发阶段,国家科技计划中只有零星支持。而美国创新战略、欧盟第八个科研框架计划欧盟科研与创新框架计划“地平线 2020”和日本第四期科学技术基本

计划均将食品打假等食品安全列入重点支持研究领域。近期欧盟发布第二次打击食品欺诈行为协调控制计划,建立了政府机构共享事件信息和情报的食品欺诈网络。美国在明尼苏达大学于2004年成立了国家食品保护与防御中心(现更名为食品保护与防御研究所),美国药典委员会建立了“食品欺诈的公共数据库”。2018年中国食品科学技术学会成立了食品真实性与溯源分会,2019年国家自然科学基金委在食品安全领域增加了食品真实性检测与溯源学科代码,都推动了食品真伪鉴别技术的研究。但我国在国家层面的总体部署仍较缺乏,缺少顶层设计。建议将食品掺假使假纳入食品安全危机监管进行重点部署,制定相应科技发展战略规划,统筹科技布局与设置重点专项,为食品打假鉴别提供持续性的支撑和引领。同时,加大食品打假鉴别技术标准和规范的制定,继续推进非法添加的黑名单制度,完善供应链监管并进行全程监管和控制。

3.2 食品打假鉴别技术创新能力严重匮乏,急需加大食品打假鉴别科技创新的支持力度

当前世界范围内食品真实性鉴别技术的研究非常活跃,我国亦是如此,但大多处在探索和尝试阶段,技术储备不足,创新能力匮乏。主要表现在低水平重复的多,原创性成果少;跟踪模仿的多,具有核心知识产权的核心关键技术少;被动应付的多,主动应对的少;已知物定性方法多,未知物筛查定量方法少;单点技术多,成体系的少。因此,食品打假鉴别基础理论有待进一步积累,全链条创新系统研发有待进一步强化。建议聚焦食品打假鉴别重大战略任务,通过设立重点专项或重大任务,加大科技投入,从基础前沿、共性关键技术到应用示范进行全链条创新设计,一体化组织实施,增强源头创新能力。重点开展高分辨率、高灵敏度、高通量和判定准确的新型食品打假鉴别技术研究,突破一批前沿核心技术,攻克一批关键共性技术,创制一批仪器装备和试剂盒等,构建现代食品打假鉴别技术体系和标准体系。

3.3 食品打假鉴别技术的推广应用严重滞后,急需夯实食品打假鉴别基础保障工作

食品品种林林总总,掺假方式变化多端,目前的很多技术在实际中的应用开发不足,管用的不多,而且大多数技术尚无标准,更没有成标准体系。建议夯实食品打假鉴别数据库等基础保障工作,建立基于大数据的常见食品掺假案例公共数据库,加强早期情报的预警预判;建立原料质量管控技术标准和

溯源体系,通过DNA条码、利用网络信息技术等建立食品追溯系统,加强相关系统和数据库的互联互通,对食品生产的全过程进行监控,以提高产品的可追溯性。同时,以更加开放的全球视野,推进国际科技合作,使技术、标准、规范充分与国际接轨,在更高起点上推进自主创新。

4 结语与展望

食品真伪鉴别从表观形态学发展到生化学,再到基因水平,一方面准确性、灵敏度和稳定性越来越高,另一方面,反映了食品从简单的农产品到复杂加工品的转变对检测或鉴别技术的解读能力提出了更高要求。对食品打假鉴别来说,从解决问题层面看,会更突出适用性、融合性和体系化,即选择合适方法达到最有效的结果;多组学联合分析实现融合发展。从技术发展方向上会更加高通量、精准和快速,以基于大数据的高通量食品组学(基因组学、蛋白组学、代谢组学、脂质组学等)为引领,辅以无损现场快速检测(智能仿生识别、可视成像、生物传感等),将是当前食品真伪鉴别技术的主要发展方向。

现代食品表征识别与鉴别技术的研究方兴未艾,永远在路上。

参考文献:

- [1] 陈颖,葛毅强.食品真实属性表征分子识别技术[M].北京:科学出版社,2015:1-13.
CHEN Y, GE Y Q. Food authenticity based on molecular technology [M]. Beijing: Science Press, 2015: 1-13.
- [2] CHARLEBOIS S, SUMMAN A A. Risk communication model for food regulatory agencies in modern society[J]. Trends In Food Science and Technology, 2015, 45(1): 153-165.
- [3] JOHNSON R. Food fraud and “economically motivated adulteration” of food and food ingredients [EB/OL]. [2019-04-20]. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc276904>.
- [4] SHEARS P. Food fraud: a current issue but an old problem[J]. British Food Journal, 2010, 112(2): 198-213.
- [5] LUTTE R W. Economically motivated adulteration[EB/OL]. [2019-04-20]. <http://www.thefederalregister.com/2009/04/06/E9-7843.html>.
- [6] CHARLEBOIS S, SCHWAB A, HENN R, et al. Food fraud: an exploratory study for measuring consumer per-

- ception towards mislabeled food products and influence on self-authentication intentions[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2016, 50: 211–218.
- [7] BÖHME K, CALO-MATA P, BARROS-VELÁZQUEZ J, et al. Recent applications of omics-based technologies to main topics in food authentication[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2019, 110: 221–232.
- [8] The European Parliament and the Council. Regulation (EU) No 2017/625—2017 official controls regulation [EB/OL]. [2019-04-20]. https://ec.europa.eu/food/safety/official_controls/legislation_en.
- [9] 陈颖, 张九凯, 葛毅强, 等. 基于文献计量的食品真伪鉴别研究态势分析[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(6): 174–186.
CHEN Y, ZHANG J K, GE Y Q, et al. A bibliometric analysis on technology innovation of food authentication[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(6): 174–186.
- [10] HONG E, LEE S Y, JEONG J Y, et al. Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(12): 3877–3896.
- [11] LO Y T, SHAW P C. DNA-based techniques for authentication of processed food and food supplement[J]. *Food Chemistry*, 2018, 240: 767–774.
- [12] DANEZIS G P, TSAGKARIS A S, CAMIN F, et al. Food authentication: techniques, trends & emerging approaches[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2016, 85: 123–132.
- [13] RIEDL J, ESSLINGER S, FAUHL-HASSEK C. Review of validation and reporting of non-targeted fingerprinting approaches for food authentication[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2015, 885: 17–32.
- [14] CREYDT M, FISCHER M. Omics approaches for food authentication[J]. *Electrophoresis*, 2018, 39: 1569–1581.
- [15] 陈颖, 葛毅强, 吴亚君, 等. 现代食品真伪检测鉴别技术[J]. *食品发酵工业*, 2007, 33(7): 102–106.
CHEN Y, GE Y Q, WU Y J, et al. Advanced detection technology of food authenticity[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2007, 33(7): 102–106.
- [16] 王海艳, 陈颖, 杨海荣, 等. 食品过敏原胡桃 PCR 检测方法研究[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(1): 214–219.
WANG H Y, CHEN Y, YANG H R, et al. Study on the detection method of allergen walnut component in food by a polymerase chain reaction (PCR)[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2010, 10(1): 214–219.
- [17] 袁飞, 暴书婵, 杨海荣, 等. 食品中腰果过敏原成分 PCR 检测方法建立[J]. *中国公共卫生*, 2011, 27(5): 544–546.
YUAN F, BAO S C, YANG H R, et al. Detection of cashew allergen in food with PCR[J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2011, 27(5): 544–546.
- [18] 王玮, 韩建勋, 吴亚君, 等. 芥末等 8 种食物过敏原的多重 PCR 检测技术研究[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(6): 156–160.
WANG W, HAN J X, WU Y J, et al. Detection of mustard and other seven food allergens by multiplex PCR[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(6): 156–160.
- [19] WU Y J, CHEN Y, GE Y Q, et al. Detection of olive oil using the Evagreen real-time PCR method[J]. *European Food Research and Technology*, 2008, 227(4): 1117–1124.
- [20] CHEN Y, WU Y J, WANG J, et al. Identification of Cervidae DNA in feedstuff using a real-time polymerase chain reaction method with the new fluorescence intercalating dye EvaGreen[J]. *Journal of AOAC International*, 2009, 92(1): 175–180.
- [21] WANG H Y, YUAN F, WU Y J, et al. Detection of allergen walnut component in food by an improved real-time PCR method[J]. *Journal of Food Protection*, 2009, 72(11): 2433–2435.
- [22] WU Y J, CHEN Y, WANG B, et al. Application of SYBR green PCR and 2DGE methods to authenticate edible bird's nest food[J]. *Food Research International*, 2010, 43(8): 2020–2026.
- [23] 韩建勋, 黄文胜, 吴亚君, 等. 果汁中梨成分分子生物学鉴别—实时荧光 PCR 方法研究[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(1): 207–213.
HAN J X, HUANG W S, WU Y J, et al. Study on the biotechnological adulteration detection of pear component in fruit juice by real-time fluorescence PCR method[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2010, 10(1): 207–213.
- [24] WANG P, HU Y, YANG H R, et al. DNA-based authentication method for detection of yak (*Bos grunniens*) in meat products[J]. *Journal of AOAC International*, 2013, 96(1): 142–146.
- [25] GUO L L, WU Y J, LIU M C, et al. Authentication of edible bird's nests by TaqMan-based real-time PCR[J]. *Food Control*, 2014, 44(10): 220–226.

- [26] 吴亚君, 王斌, 刘鸣畅, 等. 阿胶中马和驴成分的实时荧光 PCR 检测[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 85-88.
WU Y J, WANG B, LIU M C, et al. A real-time PCR to detect horse and donkey ingredients in donkey hide glue[J]. Food Science, 2014, 35(8): 85-88.
- [27] WU Y J, YANG Y G, LIU M C, et al. Molecular tracing of the origin of six different plant species in bee honey using real-time PCR [J]. Journal of AOAC International, 2017, 100(3): 744-752.
- [28] 韩建勋, 陈颖, 张九凯, 等. 实时荧光 PCR 法鉴别玛咖及其掺假物茺菁[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6): 141-146, 156.
HAN J X, CHEN Y, ZHANG J K, et al. Identification of *Lepidium meyenii walp* (Maca) and adulterated *Brassica rapa* L. (Rappini) by real-time PCR[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(6): 141-146, 156.
- [29] 韩建勋, 陈颖, 吴亚君, 等. 实时荧光 PCR 法鉴定食用淀粉植物来源[J]. 中国食品学报, 2019, 19(2): 291-300.
HAN J X, CHEN Y, WU Y J, et al. Identification of botanical origin of edible starch by real-time PCR[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(2): 291-300.
- [30] 邓婷婷, 黄文胜, 吴亚君, 等. 转基因玉米 Mir162 品系的实时 PCR 及可视芯片检测方法研究[J]. 植物检疫, 2012, 26(5): 14-18.
DENG T T, HUANG W S, WU Y J, et al. Detection of GM maize event Mir162 using the real-time PCR and optical thin-film biosensor chip[J]. Plant Quarantine, 2012, 26(5): 14-18.
- [31] 吴亚君, 韩建勋, 王斌, 等. 采用 PCR-CE-SSCP 技术快速筛查梅花鹿产品的鹿种真伪[J]. 食品科技, 2011, 20(11): 279-282.
WU Y J, HAN J X, WANG B, et al. PCR-CE-SSCP used to authenticated the origin of *C. nippon* products [J]. Food Science and Technology, 2011, 20(11): 279-282.
- [32] ZHANG H L, WU Y J, LI Y Y, et al. PCR-CE-SSCP used to authenticate edible oils [J]. Food Control, 2012, 27(2): 322-329.
- [33] HAN J X, WU Y J, HUANG W S, et al. PCR and DH-PLC methods used to detect juice ingredient from 7 fruits [J]. Food Control, 2012, 25(2): 696-703.
- [34] 刘昊, 黄文胜, 邓婷婷, 等. LAMP 法检测食品中开心果过敏原成分[J]. 食品科学, 2013, 22(34): 128-132.
LIU H, HUANG W S, DENG T T, et al. Detection of pistachio allergen in foods by loop-mediated isothermal amplification method [J]. Food Science, 2013, 22(34): 128-132.
- [35] 邓婷婷, 黄文胜, 程奇, 等. 重组酶聚合酶扩增技术检测转基因水稻中的 Cry1Ab/c 基因[J]. 中国食品学报, 2015, 15(3): 187-193.
DENG T T, HUANG W S, CHENG Q, et al. Detection of Cry1Ab/c gene in genetically modified rice by recombinase polymerase amplification[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(3): 187-193.
- [36] 黄文胜, 韩建勋, 邓婷婷, 等. FINS 方法鉴定鱼翅和鲨鱼软骨的鲨鱼种类[J]. 食品科技, 2011, 20(11): 265-271.
HUANG W S, HAN J X, DENG T T, et al. Species identification of shark fins and cartilages with FINS method [J]. Food Science and Technology, 2011, 20(11): 265-271.
- [37] WU Y J, ZHANG Z M, CHEN Y, et al. Authentication of Thailand jasmine rice using RAPD and SCAR methods [J]. European Food Research and Technology, 2009, 229(3): 515-521.
- [38] 吴亚君, 王斌, 韩建勋, 等. 采用 RAPD-毛细管芯片电泳法进行啤酒大麦品系鉴定[J]. 食品发酵与工业, 2012, 38(2): 174-179.
WU Y J, WANG B, HAN J X, et al. Identification of malting barley using the RAPD-capillary vesselchip electrophoresis[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(2): 174-179.
- [39] LI Y Y, WU Y J, HAN J X, et al. Species-specific identification of seven vegetable oils based on suspension bead array [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(9): 2362-2367.
- [40] 李元元, 吴亚君, 韩建勋, 等. 基于液相芯片的 4 种食用油的鉴别方法研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(8): 57-60.
LI Y Y, WU Y J, HAN J X, et al. Species-specific identification of four edible oils based on suspension array[J]. China Oils and Fats, 2012, 37(8): 57-60.
- [41] WU Y J, YANG Y G, LIU M C, et al. A 15-plex/xMAP method to detect 15 animal ingredients by suspension array system coupled with multicolor magnetic beads[J]. Journal of AOAC International, 2016, 99(3): 750-759.
- [42] 黄文胜, 傅凯, 邓婷婷, 等. 应用多重 PCR-液相悬浮芯片技术检测转基因水稻品系[J]. 食品科学,

- 2014, 35(20): 158 - 163.
- HUANG W S, FU K, DENG T T, et al. Development of multiplex PCR coupled with liquid bead array for the detection of nine genetically modified rice events[J]. *Food Science*, 2014, 35(20): 158 - 163.
- [43] 傅凯, 黄文胜, 邓婷婷, 等. 多重 PCR-液相芯片技术检测 13 个品系转基因玉米[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(1): 188 - 197.
- FU K, HUANG W S, DENG T T, et al. Multiplex PCR assay and liquid bead array for detection of 13 lines genetically modified maize[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2015, 15(1): 188 - 197.
- [44] WANG W, HAN J X, WU Y J, et al. Simultaneous detection of eight food allergens using optical thin-film biosensor chips[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(13): 6889 - 6894.
- [45] 韩建勋, 陈颖, 王斌, 等. 应用可视芯片技术高通量鉴别 8 种鱼成分[J]. *分析测试学报*, 2018, 37(2): 174 - 179.
- HAN J X, CHEN Y, WANG B, et al. High-throughput identification of eight fish species by using thin-film biosensor chips[J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2018, 37(2): 174 - 179.
- [46] 吴亚君, 杨艳歌, 李莉, 等. 高通量二代测序基因条码技术在油料作物种类鉴别中的应用[J]. *食品科学*, 2014, 35(24): 348 - 352.
- WU Y J, YANG Y G, LI L, et al. Application of high throughput next-generation sequencing based on DNA barcoding technology in species identification of edible oils[J]. *Food Science*, 2014, 35(24): 348 - 352.
- [47] 胡冉冉, 邢冉冉, 王楠, 等. 基于 DNA 条形码技术的海参物种鉴定[J/OL]. *食品工业科技*, 2019. [2019-04-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20181218.1514.011.html>.
- HU R R, XING R R, WANG N, et al. Species identification of sea cucumber products based on DNA barcoding[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019. [2019-04-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20181218.1514.011.html>.
- [48] XING R R, WANG N, HU R R, et al. Application of next generation sequencing for species identification in meat and poultry products: a DNA metabarcoding approach[J]. *Food Control*, 2019, 101: 173 - 179.
- [49] REN J A, DENG T T, HUANG W S, et al. A digital PCR method for identifying and quantifying adulteration of meat species in raw and processed food[J]. *Plos One*, 2017, 12(3): 1 - 17.
- [50] 任君安, 邓婷婷, 黄文胜, 等. 微滴式数字聚合酶链式反应精准定量检测羊肉中掺杂猪肉[J]. *食品科学*, 2017, 38(2): 311 - 316.
- REN J A, DENG T T, HUANG W S, et al. A precise quantitative assay for measuring pork incorporated into mutton products by droplet digital PCR[J]. *Food Science*, 2017, 38(2): 311 - 316.
- [51] WANG H Y, LI G, YUAN F, et al. Detection of the allergenic celery protein component (Api g 1. 01) in foods by immunoassay[J]. *European Food Research and Technology*, 2011, 233(6): 1023 - 1028.
- [52] 王海艳, 袁飞, 吴亚君, 等. 食品中过敏原胡桃蛋白间接竞争 ELISA 检测方法研究[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(5): 217 - 222.
- WANG H Y, YUAN F, WU Y J, et al. Detection of allergen walnut protein in food by a indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2010, 10(5): 217 - 222.
- [53] WANG H Y, LI G, WU Y J, et al. Development of an indirect competitive immunoassay for walnut protein component in food[J]. *Food Chemistry*, 2014, 147(15): 106 - 110.
- [54] 吴亚君, 刘鸣畅, 赵方圆, 等. 采用毛细管凝胶电泳技术检测蜂王浆新鲜度[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(4): 161 - 166.
- WU Y J, LIU M C, ZHAO F Y, et al. The detection of royal jelly freshness by capillary gel electrophoresis[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2013, 39(4): 161 - 166.
- [55] 吴亚君, 刘鸣畅, 赵贵明, 等. 采用毛细管电泳技术快速检测牛乳中外源蛋白成分[J]. *中国乳品工业*, 2013, 41(5): 44 - 47.
- WU Y J, LIU M C, ZHAO G M, et al. Adulterated protein ingredient in milk detected by capillary gel electrophoresis method[J]. *China Dairy Industry*, 2013, 41(5): 44 - 47.
- [56] 刘鸣畅, 吴亚君, 郭丽丽, 等. 毛细管电泳法检测掺假燕窝中银耳成分[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(10): 191 - 196.
- LIU M C, WU Y J, GUO L L, et al. Detection of tremella ingredient from adulterated edible-bird's nest by capillary gel electrophoresis method[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2015, 15(10): 191 - 196.
- [57] WU Y J, WANG B, HAN J X, et al. RAPD-2100 bio-

- analyzer and 2DGE methods applied to qualitatively and quantitatively assess grain purity of commercial malting barley[J]. *European Food Research and Technology*, 2012, 234(3): 381–390.
- [58] ZHAO F Y, WU Y J, GUO L L, et al. Using proteomics platform to develop a potential immunoassay method of royal jelly freshness [J]. *European Food Research and Technology*, 2013, 236(5): 799–815.
- [59] 郭丽丽, 吴亚君, 刘鸣畅, 等. 双向电泳技术分离燕窝水溶性蛋白[J]. *食品科学*, 2013, 34(24): 97–101.
- GUO L L, WU Y J, LIU M C, et al. Application of two-dimensional electrophoresis technology in separation of water-soluble protein from edible bird's nest[J]. *Food Science*, 2013, 34(24): 97–101.
- [60] 刘鸣畅, 吴亚君, 王斌, 等. 采用双向电泳技术研究牛乳热加工后蛋白质组变化[J]. *中国乳品工业*, 2016, 44(3): 23–26.
- LIU M C, WU Y J, WANG B, et al. Proteomics change of heat-treated milk by two-dimensional electrophoresis technology[J]. *China Dairy Industry*, 2016, 44(3): 23–26.
- [61] 房芳, 张九凯, 马雪婷, 等. 基于特征肽段的阿胶中异源性物种鉴别[J/OL]. *食品科学*, 2019. [2019–04–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20181218.1214.028.html>.
- FANG F, ZHANG J K, MA X T, et al. Identification of heterologous species in donkey-hide gelatin based on specific peptides[J/OL]. *Food Science*, 2019. [2019–04–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20181218.1214.028.html>.
- [62] ZHANG J K, WANG P, WEI X, et al. A metabolomics approach for authentication of *ophiocordyceps sinensis* by liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. *Food Research International*, 2015, 76: 489–497.
- [63] 张宏蕊, 张九凯, 韩建勋, 等. 基于代谢组学技术的玛咖产地鉴别研究[J/OL]. *食品科学*, 2019. [2019–04–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20190117.1029.010.html>.
- ZHANG H R, ZHANG J K, HAN J X, et al. Research on the identification of maca geographical origin based on metabolomics technology [J/OL]. *Food Science*, 2019. [2019–04–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20190117.1029.010.html>.
- [64] 马雪婷, 张九凯, 陈颖, 等. 燕窝多元素的分布及溯源信息研究[J]. *食品与机械*, 2019, 25(2): 66–71.
- MA X T, ZHANG J K, CHEN Y, et al. Study on the distribution characteristics and traceability information of multi-elements in edible bird's nest[J]. *Food and Machinery*, 2019, 25(2): 66–71.
- [65] GUO L L, WU Y J, LIU M C, et al. Determination of edible bird's nests by FTIR and SDS-PAGE coupled with multivariate analysis[J]. *Food Control*, 2017, 80: 259–266.
- [66] 张九凯, 张小磊, 曾文波, 等. 基于傅里叶变换红外光谱技术的冬虫夏草真伪鉴别研究[J]. *检验检疫学报*, 2015, 25(3): 1–7.
- ZHANG J K, ZHANG X L, ZENG W B, et al. Authentication of *Ophiocordyceps sinensis* by fourier transform infrared spectroscopy [J]. *Journal of Inspection and Quarantine*, 2015, 25(3): 1–7.
- [67] 张宏蕊, 刘长虹, 张九凯, 等. 基于多光谱成像技术的玛咖掺伪定性鉴别和定量分析研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2020, 40(2): 1–7.
- ZHANG H R, LIU C H, ZHANG J K, et al. Qualitative identification and quantitative analysis of maca adulteration based on multispectral imaging technology[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2020, 40(2): 1–7.
- [68] DURAIMURUGAN K, NARENDHRAN S, MANIKANDAN M. DNA as a biomaterial in diagnosis of food adulteration and food safety assurance [J/OL]. *Research and Development in Material Science*. [2019-04-20]. <http://crimsonpublishers.com/rdms/pdf/RDMS.000538.pdf>.
- [69] DOOSTI A, DEHKORDI P G, RAHIMI E, et al. Molecular assay to fraud identification of meat products [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(1): 148–152.
- [70] MARIESCHI M, TORELLI A, BEGHÉ D, et al. Authentication of *Punica granatum* L.: development of SCAR markers for the detection of 10 fruits potentially used in economically motivated adulteration[J]. *Food Chemistry*, 2016, 202: 438–444.
- [71] SCHIEFENHOVEL K, REHBEIN H. Differentiation of Sparidae species by DNA sequence analysis, PCR-SSCP and IEF of sarcoplasmic proteins[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(1): 154–160.
- [72] ALI M E, AMIN M A, RAZZAK M A, et al. Short amplicon-length PCR assay targeting mitochondrial cytochrome b gene for the detection of feline meats in burger formulation [J]. *Food Analytical Methods*, 2016,

- 9(3): 571–581.
- [73] LO Y T, SHAW P C. DNA-based techniques for authentication of processed food and food supplements [J]. *Food Chemistry*, 2017, 240: 767–774.
- [74] CAI Y, LI X, LÜ R, et al. Quantitative analysis of pork and chicken products by droplet digital PCR [J]. *Bio Med Research International*, 2014, 8: 1–6.
- [75] NOH E S, PARK Y J, KIM E M, et al. Quantitative analysis of Alaska pollock in seafood products by droplet digital PCR [J]. *Food Chemistry*, 2019, 275: 638–643.
- [76] KÖPPEL R, GANESHAN A, WEBER S, et al. Duplex digital PCR for the determination of meat proportions of sausages containing meat from chicken, turkey, horse, cow, pig and sheep [J]. *European Food Research and Technology*, 2019, 245: 853–862.
- [77] HAYNES E, JIMENEZ E, PARDO M A, et al. The future of NGS (next generation sequencing) analysis in testing food authenticity [J]. *Food Control*, 2019, 101: 134–143.
- [78] GALLARDO J M, ORTEA I, CARRERA M. Proteomics and its applications for food authentication and food-technology research [J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2013, 52: 135–141.
- [79] DANEZIS G P, TSAGKARIS A S, CAMIN F, et al. Food authentication: techniques, trends & emerging approaches [J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2016, 85: 123–132.
- [80] CIBOROWSKI P, SILBERRING J. *Proteomic profiling and analytical chemistry* [M]. 2nd ed. Boston: Elsevier, 2016: 175–191.
- [81] ORTEA I, O'CONNOR G, MAQUET A. Review on proteomics for food authentication [J]. *Journal of Proteomics*, 2016, 147: 212–225.
- [82] STAHL A, SCHRÖDER U. Development of a MALDI-TOF MS-based protein fingerprint database of common food fish allowing fast and reliable identification of fraud and substitution [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(34): 7519–7527.
- [83] CAIRA S, PINTO G, NICOLAI M A, et al. Simultaneously tracing the geographical origin and presence of bovine milk in Italian water buffalo Mozzarella cheese using MALDI-TOF data of casein signature peptides [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2016, 408(20): 5609–5621.
- [84] REŠETAR D, MARCHETTI-DESCHMANN M, ALLMAIER G, et al. Matrix assisted laser desorption ionization mass spectrometry linear time-of-flight method for white wine fingerprinting and classification [J]. *Food Control*, 2016, 64: 157–164.
- [85] GRUNDY H H, REECE P, BUCKLEY M, et al. A mass spectrometry method for the determination of the species of origin of gelatine in foods and pharmaceutical products [J]. *Food Chemistry*, 2016, 190: 276–284.
- [86] JIRA W, MÜNCH S. A sensitive HPLC-MS/MS screening method for the simultaneous detection of barley, maize, oats, rice, rye and wheat proteins in meat products [J]. *Food Chemistry*, 2019, 275: 214–223.
- [87] FORNAL E, MONTOWAKA M. Species-specific peptide-based liquid chromatography-mass spectrometry monitoring of three poultry species in processed meat products [J]. *Food Chemistry*, 2019, 283: 489–498.
- [88] FIEHN O. Metabolomics—the link between genotypes and phenotypes [J]. *Plant Molecular Biology*, 2002, 48(1–2): 155–171.
- [89] CUBERO-LEON E, PEÑALVER R, MAQUET A. Review on metabolomics for food authentication [J]. *Food Research International*, 2014, 60: 95–107.
- [90] RIEDL J, ESSLINGER S, FAUHL-HASSEK C. Review of validation and reporting of non-targeted fingerprinting approaches for food authentication [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2015, 885: 17–32.
- [91] MEDINA S, PEREIRA J A, SILVA P, et al. Food fingerprints: a valuable tool to monitor food authenticity and safety [J]. *Food Chemistry*, 2019, 278: 144–162.
- [92] CUBERO-LEON E, DE RUDDER O, MAQUET A. Metabolomics for organic food authentication: results from a long-term field study in carrots [J]. *Food Chemistry*, 2018, 239: 760–770.
- [93] GRANATO D, PUTNIK P, KOVAČEVIĆ D B, et al. Trends in chemometrics: food authentication, microbiology, and effects of processing [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2018, 17(3): 663–677.
- [94] GABRIELE R, LUIGI L, ANTONIO G, et al. Untargeted metabolomics reveals differences in chemical fingerprints between PDO and non-PDO Grana Padano cheeses [J]. *Food Research International*, 2018, 113: 407–413.
- [95] GHISONI S, LUCINI L, ANGILETTA F, et al. Discrimination of extra-virgin-olive oils from different cultivars and geographical origins by untargeted metabolomics [J]. *Food Research International*, 2018(12): 1–11.
- [96] OSSA D E H, GIL-SOLSONA R, PEÑUELA G A, et al. Assessment of protected designation of origin for Colom-

- bian coffees based on HRMS-based metabolomics [J]. *Food Chemistry*, 2018, 250: 89–97.
- [97] HRBEK V, REKTORISOVA M, CHMELAROVA H, et al. Authenticity assessment of garlic using a metabolomic approach based on high resolution mass spectrometry [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2018, 67: 19–28.
- [98] WANG T, LI X L, YANG H C, et al. Mass spectrometry-based metabolomics and chemometric analysis of Puerh teas of various origins [J]. *Food Chemistry*, 2018, 268: 271–278.
- [99] ABASIA S, MINAEIA S, JAMSHIDIB B, et al. Dedicated non-destructive devices for food quality measurement: a review [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2018, 78: 197–205.
- [100] WANG W X, PENG Y K, SUN H W, et al. Spectral detection techniques for non-destructively monitoring the quality, safety, and classification of fresh red meat [J]. *Food Analytical Methods*, 2018, 11(10): 2707–2730.
- [101] FAN K, ZHANG M. Recent developments in the food quality detected by non-invasive nuclear magnetic resonance technology [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018(4): 1–58.
- [102] HASSOUN A, SAHAR A, LAKHAL L. Fluorescence spectroscopy as a rapid and non-destructive method for monitoring quality and authenticity of fish and meat products: impact of different preservation conditions [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 103: 279–292.
- [103] KIANI S, MINAEI S, GHASEMI-VARNUMKHAHI M. Integration of computer vision and electronic nose as non-destructive systems for saffron adulteration detection [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017, 141: 46–53.
- [104] CUIBUS L, DADARLAT D, STREZA M, et al. Rapid, non-destructive determination of butter adulteration by means of photopyroelectric (PPE) calorimetry [J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2017, 127(2): 1193–1200.
- [105] DIROSA A R, LEONE F, CHELI F. Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment: a review [J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 210: 62–75.

Omics-Based Technologies for Food Characteristic Identification and Authentication

CHEN Ying

(*Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China*)

Abstract: Food quality monitoring and authentication, the important research contents in the field of food science had been the focus of interest by researcher in recent years. New technologies and methods for food quality monitoring and authentication were emerging. From the history development of food adulteration and fraud, the degree of influence, connotation, technical problems, etc, this paper summarized the status of food authenticity technology based on genomics, proteomics, metabolomics, and nondestructive testing technology of food characteristic identification and counterfeit detection, and analyzed the characteristics of different methods. The main problems and countermeasures of food quality monitoring and authentication in China were pointed out, and the development trend of corresponding technology was prospected.

Keywords: authentication; genomics; proteomics; metabolomics; nondestructive testing

(责任编辑:李 宁)