

指纹图谱技术在食品质量与安全中的应用研究进展

刘 静¹, 齐超凡¹, 绪 扩¹, 张瑞娜², 肖 勇³, 雷云康², 江 鸿³,
刘艳华^{1*}, 张建会^{3*}

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2. 中国烟草总公司四川省公司德阳市公司, 德阳 618099;
3. 四川烟草科学研究所, 成都 610094)

摘 要: 指纹图谱是指某些成分复杂的物质或组分, 在经过适当的处理和分析后, 得到的能标识其化学本质特征的色谱图、光谱图或其他可视化的数据。基于指纹图谱技术鉴定食品质量与安全具有模糊分析、特征性、稳定性和重现性好的特点。本文依据构建指纹图谱的技术原理, 将其分为色谱特性的指纹图谱技术、光谱特性的指纹图谱技术、电子鼻特性的指纹图谱技术、电化学特性的指纹图谱技术、生物标志特性的指纹图谱技术及电感耦合等离子体特性的指纹图谱技术 6 类, 综述了近 10 年各指纹图谱技术在食品质量与安全领域的研究进展, 并分析各种方法的优劣, 展望了今后指纹图谱技术在食品领域的发展趋势, 以期指纹图谱技术在食品领域的发展和应用提供参考。

关键词: 指纹图谱; 质量标准; 产地溯源

Research progress on the application of fingerprint technology in the field of food quality and safety

LIU Jing¹, QI Chao-Fan¹, XU Kuo¹, ZHANG Rui-Na², XIAO Yong³, LEI Yun-Kang²,
JIANG Hong³, LIU Yan-Hua^{1*}, ZHANG Jian-Hui^{3*}

(1. Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, China;
2. China National Tobacco Corporation Sichuan Province Deyang Company, Deyang 618099, China; 3. Sichuan Institute of Tobacco Science, Chengdu 610094, China)

ABSTRACT: Fingerprint refers to some complex substances or components, whose chromatogram, spectrum or other visual data can be obtained to identify their chemical essential characteristics after proper processing and analyses. The characterization of food quality and safety based on fingerprint technology has the characteristics of fuzzy analysis, good characteristic, stability and reproducibility. According to technical principle of constructing fingerprints, it could be divided into 6 categories, including chromatographic, spectral, electronic noise,

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目(ASTIP-TRIC05)、中国烟草总公司四川省公司重点科技项目(SCYC202013)

Fund: Supported by the Science and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences (ASTIP-TRIC05), and the Key Technology Projects of Sichuan Tobacco Corporation (SCYC202013)

***通信作者:** 刘艳华, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为烟草种质资源活性成分鉴定评价与利用。E-mail: liuyanhua@caas.cn

张建会, 硕士, 高级农艺师, 主要研究方向为农产品质量分析。E-mail: 787598921@qq.com

***Corresponding author:** LIU Yan-Hua, Master, Associate Professor, Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, China. E-mail: liuyanhua@caas.cn

ZHANG Jian-Hui, Master, Senior Agronomist, Sichuan Institute of Tobacco Science, Chengdu 610094, China. E-mail: 787598921@qq.com

electrochemical, biomarker, and inductively coupled plasma characteristics technologies, this paper reviewed recent 10 year research progresses in fingerprint technology, analyzed the advantages and disadvantages of various methods, and prospected the developing trends of fingerprint technology in food field, in order to provide reference for the development and application of fingerprint technology in food field.

KEY WORDS: fingerprint; quality standards; origin traceability

0 引言

指纹图谱在食品质量与安全领域的应用是基于食品的固有品质特性,运用光谱、色谱等现代仪器检测得到的能反映该食品内部特征的图谱,具有整体性、系统性、特征性和稳定性的特点。指纹图谱分为生物指纹图谱和化学指纹图谱,生物指纹图谱最早用于侦破案件,化学指纹图谱被广泛应用于控制中药或天然药物质量^[1-4]。近年来,指纹图谱技术作为检测利器在食品的产地溯源、品质检测、营养评价及真伪鉴别等方面发挥着重要作用。本文通过检索和分析近 10 年发表的相关文献,依据其技术原理及应用范围,将其分为 6 大类:色谱特性的指纹图谱技术、光谱特性的指纹图谱技术、电子鼻特性的指纹图谱技术、电化学特性的指纹图谱技术、生物标志特性的指纹图谱技术及电感耦合等离子体特性的指纹图谱技术,综述各指纹图谱技术的研究进展,分析各技术方法的优劣,展望今后指纹图谱技术在食品领域的发展趋势,以期指纹图谱技术在食品质量控制和食品安全领域的应用提供参考。

1 基于色谱特性的指纹图谱技术

1.1 基于液相色谱技术指纹图谱

高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)是应用最广泛的色谱分析方法,该方法利用高压输液系统,以液体为流动相泵入固定相的色谱柱中,各成分在柱内被分离后于检测器中进行检测,分析样品中的成分和组成。因其具有样品分离效果好、分析时间短、灵敏度高及试剂用量少等优点被广泛应用于食品、医药、生物等领域^[5]。

基于高效液相色谱指纹图谱技术在食品领域的应用主要是基于复杂生物样品的组分特征峰、共有峰、峰面积及其比值等进行食品的质量评价、真伪鉴别及产地溯源^[6-7]。在其应用过程中常常结合相似度评价(similarity evaluation, SE)、聚类分析(cluster analysis, CA)、主成分分析(principal component analysis, PCA)及正交最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)等方法进行^[8-9]。潘少香等^[10]采用液相色谱法建立了蓝莓汁中花色苷指纹图谱,可区分同一物质的不同类别,有效区分石榴汁、树莓汁和蓝莓汁。蔺怡等^[11]采用高效

液相色谱-串联质谱法和气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对椴树蜜中多酚类化合物进行鉴定与分析,首次发现了 4-异丙基-1,3-环己二烯酸(椴树素)化合物,并在确定紫椴蜜和糠椴蜜 6 个共有峰的基础上,结合紫椴蜜中椴树素与顺,反-脱落酸之间的峰高比值(1.6~6.8)和糠椴蜜样品中二者的比值(0.24~0.50)不同构建了紫椴蜜和糠椴蜜的 HPLC 指纹图谱,可有效区分紫椴蜜和糠椴蜜。YANG 等^[12]对不同产地酸枣仁和滇枣仁进行 HPLC 图谱分析,结合酸枣仁和滇枣仁的 10 个共有峰及各自的 2 个特有峰实现酸枣仁和滇枣仁的产地溯源。

基于 HPLC 的指纹图谱技术可以对不同类型的食品进行鉴别和认证,有助于食品质量控制、产地溯源、真伪鉴定,但它存在一些缺点,包括使用大量有毒溶剂可能对健康产生不利影响、不能进行定量分析及样品适用范围小等。但通过 HPLC 与电化学(electrochemistry, EC)、荧光、质谱(mass spectrometry, MS)或紫外-可见吸收光谱法(ultraviolet-visible spectroscopy, UV-Vis)等检测技术联合使用,能够识别非典型样本,并结合日益强大的采集数据库进行更准确的分析。

1.2 基于气相色谱技术指纹图谱

气相色谱法(gas chromatography, GC)是一种适合微量或痕量分析、灵敏度高、检出限低、分离度好的检测方法^[13]。与高效液相指纹图谱同为应用最为广泛的色谱指纹图谱技术,主要适用于食品中易挥发性成分的检测,适用于食品种类、产地溯源及食品质量评价等^[14-16]。但气相色谱技术仅适用于挥发性成分的检测,并难以定量分析,因此常与质谱仪、固相萃取仪、离子迁移谱联用进行物质分离和复杂混合物的检测(见表 1)。

李京华等^[17]利用 GC-MS 对不同产地同一品种的花生仁进行脂肪酸检测并建立了指纹图谱,结合相似度和主成分分析,可实现花生仁的质量评价和原产地溯源。陈万超等^[18]利用顶空固相微萃取(headspace-solid phase micro-extraction, HS-SPME)-气相色谱-质谱指纹图谱法对不同香菇品种进行鉴别,实现了该类食品的品质评价与控制。CHEN 等^[19]采用气相色谱-离子迁移谱技术分析不同精制等级菜籽油挥发性有机物的变化,构建精制菜籽油的气味指纹图谱,以色差法选取 34 个特征峰作为变量表征不同精炼等级菜籽油的内在品质,建立非线性模型,实现对不同精制等级菜籽油的快速准确鉴别。蔡丹丹^[20]采用气相

色谱-离子迁移谱技术建立了 18 种不同种类的生鲜和熟制鱼样品的气味指纹图谱, 可对不同种类及不同地区的淡水鱼的特征气味进行快速、准确区分。此外, 气相色谱与气相色谱-离子迁移谱技术还可应用于食品储藏过程中质量评价, 如红星苹果香气成分检测^[21]、苹果汁挥发性标志物的测定^[22]、猪肉的腐败特征气味鉴别^[23]等。

表 1 GC-MS, HS-SPME-GC-MS, GC-IMS 的比较
Table 1 Comparison of GC-MS, HS-SPME-GC-MS, GC-IMS

仪器	GC-MS	HS-SPME-GC-MS	GC-IMS
原理	样品经色谱柱的分离, 样品在离子源的电离下产生带一定电荷的离子碎片	利用具有吸附性熔融石英纤维在真空中进行挥发性化合物吸附进入色谱柱分离	样品先经气相色谱分离后各组分在载气的推动下依次进入离子迁移谱进行二次分离
灵敏度	ppb 级别	ppb 级别	ppbv 级别
分辨率	分辨率高	分辨率高	分辨率更高
检测范围	质量范围 10~1200 amu	挥发性物质	质子亲和力和大于水的挥发性有机物
载气	高纯氮气	高纯氮气	高纯氮气或自循环空气
样品前处理	样品需要纯化, 浓缩	无需前处理, 顶空进样	无需前处理, 直接顶空进样
数据分析	可以对样品进行定性定量	定性定量分析	定性定量、不同样品间的差异图
数据库	完善	完善	不完善(目前离子迁移谱内约 200 种)
分析时间	30~60 min 内	60~100 min 内	10~20 min 内
真空要求	真空	真空	常压

注: 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法(headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS); 气相离子迁移谱法(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)。

1.3 基于薄层色谱技术指纹图谱

相对于气相色谱技术和液相色谱技术, 薄层色谱技术(thin layer chromatography, TLC)有着操作简单、成本低、在相同条件下可同时分析多个样品的特点, 广泛应用于食品领域, 可用于食品复杂混合物分离鉴定与评价, 在应用过程中通常将一组特征色谱信号作为唯一指纹图谱, 结合模式识别和图像识别达到分类的效果^[24]。

MILOJKOVIC 等^[25]利用薄层色谱技术对来源于塞尔维亚、克罗地亚和斯洛文尼亚产地蜂胶进行分析, 并结合色谱图像处理 and 主成分分析, 结果表明酚类化合物可作为欧洲蜂胶的标志化合物。RODICA 等^[26]通过改变提取溶剂的组成、持续时间、温度等优化绿茶黄酮的提取, 并利用薄层色谱技术对绿茶提取物进行评估, 可用于绿茶质量评价。PAL 等^[27]通过薄层色谱技术构建西葫芦籽油的植物化学成分指纹图谱, 并证实其含有的酚类和黄酮类化合物具有天然抗氧化活性, 可用于西葫芦籽油的质量评价。RYSZARD 等^[28]利用薄层色谱技术分析了委陵菜中 5 种三萜酸(熊果酸、齐墩果酸、托米提酸、牛蒡酸、苹果酸), 构建了指纹图谱, 经迭代算法和简单变形算法对图像处理, 可快速、简单地进行委陵菜品种鉴别。

1.4 基于毛细管色谱技术指纹图谱

相对于液相色谱技术, 毛细管色谱(capillary liquid chromatography, CLC)技术有着更高的分辨率和灵敏度。目前, 在食品领域主要用于氨基酸、多肽、脂肪酸和黄酮类化合物的检测^[29-30]。RAFI 等^[31]以蒙姜、美国姜、泽兰白姜等近缘物种为研究对象, 利用毛细管电泳色谱技术结合主成分分析和关键因素分析, 筛选 8 个特征峰可将 3 种姜进行区分, 最后用留一交叉验证方法进行预测, 其正确率达到 92%。HAN 等^[32]利用毛细管色谱技术同时鉴定蒲黄的黄酮类化合物, 基于 9 个特征色谱峰构建了指纹图谱, 成功应用于 14 种蒲黄的 8 种黄酮检测, 该方法可靠、重复性好, 为蒲黄的质量鉴定和评价提供了一种简便的方法。

2 基于光谱特性的指纹图谱技术

红外光谱法是一种经典的结构分析方法, 所展现的是各种基团的振动形式, 因此包含了待测物质丰富的结构信息, 具有快速、稳定及准确性高等特点, 在食品成分分析中具有较好的实用性。

基于红外光谱的指纹图谱技术在食品产地溯源、食品

添加剂安全性控制、食品种类辨别、品种亲缘关系鉴定及品种选育等方面应用广泛^[33-35]。JAMWAL 等^[36]基于傅里叶变换衰减全反射红外光谱技术建立了主成分回归和偏最小二乘的最佳判别模型,对芥菜油掺假亚麻籽油鉴定具有良好的精密度和准确度。邓韬^[37]利用傅里叶变换红外光谱技术(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)建立了蜂胶的指纹图谱,并结合双指标分析和聚类分析方法,实现了对不同产地的蜂胶进行鉴别和质量控制。课净璇等^[38]采用 FTIR 揭示了不同产地花椒亲缘关系。唐辉等^[39]建立了 7 份甜茶叶的 FTIR 指纹图谱,可快速鉴别出不同产地甜茶中甜茶苷的含量,为甜茶的引种驯化和开发利用提供了理论基础。

红外光谱通过鉴别食品成分的官能团进行食品质量评价,具有样品用量少、灵敏度高、重现性好等优点,但精密度较低。傅里叶红外光谱是基于对干涉后的红外光作傅里叶变换而得到的光谱,大多数有机化合物的化学键基频振动吸收均出现在该区域内,因此 FTIR 光谱技术可以通过官能团的特征吸收实现对有机化合物的检测^[40-41]。另外,傅里叶变换红外光谱具有噪声低、光通量高、测量速度快、波数精度高、频率测量范围宽等优点,具有广阔的应用前景。

3 基于电子鼻特性的指纹图谱技术

电子鼻(E-nose)由电子化学传感器和模式识别系统组成,能够识别简单或复杂的气味^[42]。电子鼻与气相色谱仪的区别在于后者可以识别气味产生的组分,而电子鼻则是从整体上识别共同形成气味的组分混合物^[43],关于电子鼻特性的指纹图谱技术的流程^[44]如图 1 所示。ROTTIERS 等^[45]首次建立了超快速电子鼻鉴别不同产地可可酒的气味指纹图谱,对巧克力生产线的质量控制意义重大。另外,电子鼻技术可与软独立建模分析(soft independent modeling class analogy, SIMCA)、线性判别式(linear discriminant analysis, LDA)等算法相结合建立气味组分鉴定模型,进行组分的定性、定量检测,实现食品质量的评价与控制。王祖忠等^[46]在利用电子鼻建立的 8 种植物油的气味指纹模型的基础上,结合判别函数法验证了该模型能对所测的 8 种植物油样品进行有效地识别,正确率达 100%,对未知样品的识别大于 96%。党艳婷等^[47]利用电子鼻对玛咖中芥子油苷含量进行了定性定量检测,结果表明,芥子油苷含量与电子鼻传感器之间存在相关性,并采用软独立建模分析(soft independent modeling class analogy, SIMCA)算法建立了一种玛咖品质鉴定模型,二者结合可对玛咖的等级进行快速鉴别。张迪雅等^[48]利用电子鼻对 60、120 °C 加热后不同部位(腱子肉、后腿肉、前腿肉、肩肉和上脑肉)的牛肉气味进行检测,并对采集数据进行 LDA 分析,建立了不同部位、不同温度下牛肉气味的指纹图谱,结果表明,不同温度条件下部位间牛肉气味差异显著,与 GC-MS 分析结果一致。

电子鼻技术可快速灵敏地识别食品的整体信息,对食

品进行综合评价,但也存在适用食品范围小、易受环境影响、电子鼻寿命较短等局限性。但将电子鼻与其他技术联用,相互补充完善,将为食品质量的气味监控提供技术支持。

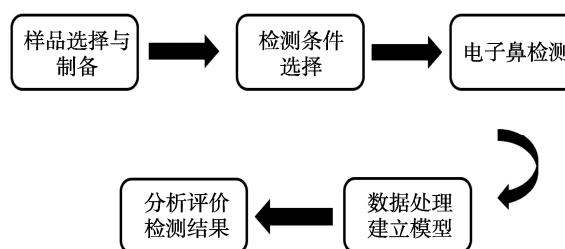


图 1 电子鼻指纹图谱技术基本操作流程

Fig.1 Basic operation process of E-nose fingerprint technology

4 基于电化学特性的指纹图谱技术

与目前广泛利用的色谱指纹图谱相比,电化学指纹图谱不需要对待测样品进行分离、提纯等预处理,且对各种物态的待测样品均可进行电化学分析。其基本原理是基于对化学物质敏感的化学振荡反应体系,由于不同种类、不同质量的样品中化学成分含量及组成不同,对振荡反应的干扰或与振荡反应体系中组分发生的作用亦不同,引起诱导时间、振荡周期和振荡寿命等各种特征信息的改变,从而获得振荡体系的电极电位和时间($E-t$)的变化(形状、信息参数)曲线,这种 $E-t$ 曲线称为电化学指纹图谱。电化学指纹图谱可从整体上全面地分析待测样品的化学成分^[49],具有良好的重现性、对样品无破坏以及经济、方便易行等优点,在中药、食品等领域的应用日益广泛^[50-51]。

目前,电化学指纹图谱在食品领域的应用主要集中在产地溯源、品种鉴定及食品安全质量评价等方面(如表 2)。鲁利利等^[57]利用非线性电化学指纹图谱技术研究不同产地的羊奶和牛奶,利用建立额电化学指纹图谱可直观地区分羊奶和牛奶,通过相似度模式判别羊奶和牛奶的产地,奶源产地和奶品种类鉴别准确率均在 94%以上,具有较高的实用价值。刘晓伟^[58]针对食醋掺假缺乏判定方法的问题,利用紫外光谱、高效液相色谱以及电化学指纹图谱等方法对食醋中原汁含量进行了研究,结果表明,紫外光谱不能用于食醋原汁含量的判定,高效液相色谱和电化学技术可用于不同食醋的判定,但是对于原汁含量过低的食醋,高效液相指纹图谱不能准确判定原汁含量。最后,利用优化的硫酸铈铵溶液为振荡体系,通过研究不同浓度的食醋原汁,建立了判定食醋原汁含量的电化学指纹图谱,可用于市场食醋质量的研究和控制。

电化学指纹图谱是以食品整体作为反应底物进行研究,可全面反映食品的功能成分,但是目前的研究深度还不够,仅限于对食品的特征样品进行分析,面对复杂的、混合性食品的研究还很缺乏;另外,对图谱的数据分析也仅停留在初步的数值比较阶段,缺乏深入的数据剖析。

表 2 基于电化学特性的指纹图谱技术具体应用实例
Table 2 Specific application examples based on electrochemical fingerprinting technology

应用	样品前处理	化学计量学方法	参考文献
菊花产地鉴别	干燥、BrO ₃ ⁻ -Ce(SO ₄) ₂ -H ₂ SO ₄ -丙二酸振荡体系	-	[52]
蜂蜜花源鉴别	pH 调节、淋洗、洗脱、浓缩	PCA、HCA	[53]
茶叶品种和产地鉴别	粉碎、过筛、H ⁺ -Mn ²⁺ -CH ₃ COCH ₃ -BrO ₃ ⁻ 振荡体系	-	[54]
啤酒类别鉴别	BrO ₃ ⁻ +H ⁺ +Ce ⁴⁺ +CH ₂ (COOH) ₂ 振荡体系	CA、PCA	[55]
奶粉掺假鉴别	H ⁺ +Fe ²⁺ +BrO ₃ ⁻ +CH(COOH) ₂ 振荡体系	RSM、ANOVA	[56]
羊奶和牛奶产地鉴别	丙酮-MnSO ₄ -KBrO ₃ ⁻ -H ₂ SO ₄ 振荡体系	ANOSIM	[57]
食醋原汁含量判定	CH ₂ (COOH) ₂ -KBrO ₃ ⁻ -Ce ³⁺ -H ₂ SO ₄ 振荡体系	SE	[58]

注: 层次聚类(hierarchical clustering alg, HCA); 响应面分析(response surface methodology, RSM); 方差分析(analysis of variance, ANOVA); 相似性分析(analysis of similarities, ANOSIM)。

5 基于电感耦合等离子体特性的指纹图谱技术

与上述色谱、光谱、电子鼻、电化学指纹图谱技术相比, 电感耦合等离子体(inductively coupled plasma, ICP)主要用于多元素分析。包括电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)和电感耦合等离子发射光谱法(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-AES), 具有灵敏度高、检测速度快, 可同时测定多种元素等特点。其中, ICP-MS 是痕量超痕量元素首选分析方法^[59], 广泛应用于产地溯源、品种辨别和营养评价等方面。

白婷等^[60]利用电感耦合等离子发射光谱仪和电感耦合等离子体质谱仪对黑水凤尾鸡和白羽肉鸡进行了 15 种矿质元素检测, 并结合氨基酸差异, 进行了主成分分析、聚类分析以及判别分析, 建立了判别模型, 将 Mn、Cs 和 Ag 作为凤尾鸡品种鉴别的有效指标, 对鸡种的整体判别正确率可达 100%。SHEN 等^[61]利用 ICP-MS 测定 117 份米酒样品的 19 种微量元素, 采用逐步 LDA 和偏最小二乘判别分析(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)建立分类模型, 其预测样本集的正确分类率分别为 100% 和 97.4%, 为中国米酒的真伪鉴别提供理论基础。此外, ICP-MS 还可通过鉴定差异矿物质元素对玉米^[62]、羊肉^[63]、黄豆^[64]进行溯源。

目前, 相对于 ICP-AES, ICP-MS 具有操作简单、检测极限低、精密度高等优点, 是分析痕量元素的首选分析方法, 具有更广阔的应用前景。但两种仪器昂贵, 运行费用高, 在实际应用中受到了一定限制。

6 基于生物标志特性的指纹图谱技术

与上述化学指纹图谱不同, 生物标志指纹图谱的构建是基于生物大分子—蛋白质、核糖核酸、脱氧核糖核酸等特征序列的不同, 以可见的电泳条带方式呈现生物个体

的差异。其中广泛应用的是 DNA 分子指纹图谱, 分子指纹图谱是基于分子标记技术, 在 DNA 水平上展现出特异性的电泳图谱^[65]。分子标记起始于 20 世纪 80 年代, 经历了基于 Southern 杂交的第 1 代分子标记技术、基于聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)的第 2 代分子标记技术以及基于高通量测序的第 3 代分子标记技术。与其他指纹图谱相比, 分子指纹图谱具有不受外界环境影响、多态性高、稳定性好、高通量等优点, 目前用于食品检测的 DNA 标记主要有限制性片段长度多态性(restriction fragment length polymorphism, RFLP)、扩增片段长度多态性(amplified fragment length polymorphism, AFLP)以及简单重复序列(simple sequence repeats, SSR)、简单序列重复间扩增多态性(inter-simple sequence repeat, ISSR)、单核苷酸多态性(single nucleotide polymorphism, SNP)等。GAN 等^[66]采用反向液相高效色谱法, 以采自长白山地区的 10 批哈蟆油为材料, 对其蛋白质组分进行分析, 并结合化学计量学进行聚类和主成分分析, 建立了哈蟆油的蛋白质色谱指纹图谱, 包括 12 个共有峰, 可为哈蟆油品真伪的鉴别提供参考。张志军等^[67]利用 SSR 分子标记进行多重 PCR 分析, 筛选出 3 对核心引物构建了 24 份麦芽品种的指纹图谱, 可实现麦芽品种的准确、快速检测, 为啤酒质量控制提供了技术支撑。吴华莉等^[68]利用 SNP 技术研究了 13 个基因在梅山猪和申农猪群体内的多态性, 建立了基于 MMP19、PSMB10、NR4A1 和 GRN 4 个基因位点的两种猪产地溯源的 SNP 指纹图谱, 为猪肉产地溯源和质量安全控制提供了技术支撑。

生物指纹图谱与化学指纹图谱相互补充, 具有特异性、遗传性、稳定性等特点, 在食品溯源、食品品质评价、食品加工工艺改善等方面应用广泛^[69-70], 尤其在食品原材料的遗传定位及种质资源鉴定与开发利用等方面具有重要的发展潜力。

7 结束语

食品指纹图谱作为一种综合的定性、定量分析手段,较为全面地反映了食品或原材料的物质组成及含量分布,可作为食品鉴定及质量分级的判断依据。指纹图谱技术在食品领域可用于产地溯源、营养评价、品种鉴别、加工工艺判定等方面,进而进行食品质量评价,有助于解决当下社会存在的食品安全问题,可为食品市场的监管与控制提供技术支撑。

基于检测仪器的各类指纹图谱构建技术各有其优缺点,在具体应用过程中,各自的适用范围亦不尽相同,需要结合具体研究目标和应用条件进行选择。电子鼻、气相色谱指纹图谱适用于含有易挥发气体成分的食品,而气相色谱-质谱联用法、液相色谱-质谱联用法可实现待测成分的定性、定量分析,通过补充完善液相色谱指纹图谱与气相色谱指纹图谱可以提高判别的准确性;电感耦合等离子体指纹图谱多用于产地溯源;生物标志指纹图谱多用于生物遗传物质的鉴定与评价。

目前单一技术指纹图谱在食品领域的应用广泛,但其获得的信息相对有限,难以反映食品整体信息,辨识度较低,具有一定的局限性。多种技术联合使用可以提高食品信息的可信度与稳定性,弥补单一仪器分析方法的不足,具有较大的发展前景,但对使用条件和仪器精度提出了更高的要求。基于化学水平和分子水平的指纹图谱技术进行食品指纹数据库的研究和建立,必将为食品鉴定及其综合质量评价提供参考指标和技术平台。食品指纹图谱相对于中药指纹图谱的发展仍处于起步阶段,现阶段对于食品质量的控制已初见成效,随着指纹图谱技术的应用及其食品研究数据资料的积累,建立统一规范的食品指纹图谱数据库将为今后食品质量评价和食品安全保障提供参考和指导。

参考文献

- [1] 石志红, 何建涛, 常文保. 中药指纹图谱技术[J]. 大学化学, 2004, (1): 33-39.
SHI ZH, HE JT, CHANG WB. Fingerprint technology of Chinese medicine [J]. Univ Chem, 2004, (1): 33-39.
- [2] 徐妍, 杨华蕊, 杨永寿, 等. 中药指纹图谱研究现状及展望[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(76): 91-94.
XU Y, YANG HX, YANG YS, *et al.* Research and prospect of fingerprint of traditional Chinese medicine [J]. World Latest Med Inform, 2018, 18(76): 91-94.
- [3] 张晶莹, 魏彦锋, 梁红敏, 等. 指纹图谱技术在葡萄及葡萄酒研究上的应用[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2019, (1): 57-63.
ZHANG JY, WEI YF, LIANG HM, *et al.* Application of fingerprint technique in grape and wine research [J]. Sino-Overs Grap Wine, 2019, (1): 57-63.
- [4] 刘东方, 赵丽娜, 李银峰, 等. 中药指纹图谱技术的研究进展及应用[J]. 中草药, 2016, 47(22): 4085-4094.
LIU DF, ZHAO LN, LI YF, *et al.* Research progress and application in fingerprint technology on Chinese materia medica [J]. Chin Herb Med, 2016, 47(22): 4085-4094.
- [5] 林楠, 周欣蕊, 王婷, 等. 高效液相色谱法在食品安全检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(6): 1431-1437.
LIN N, ZHOU XR, WANG T, *et al.* Application of high performance liquid chromatography in food safety detection [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(6): 1431-1437.
- [6] 敖厚豫, 李欣, 余天华, 等. 基于麻味成分的顶坛花椒 HPLC 指纹图谱研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(5): 19-26, 32.
AO HY, LI X, YU TH, *et al.* Research on HPLC fingerprint spectra of *Zanthoxylum planisimum* var. *dingtamensis* based on numb-taste components [J]. China Cond, 2020, 45(5): 19-26, 32.
- [7] 蔡毅, 孙振华, 马雯芳, 等. 不同产地桑椹 HPLC 指纹图谱结合化学模式识别研究[J]. 中药材, 2019, 42(7): 1597-1600.
CAI Y, SUN ZH, MA WF, *et al.* HPLC fingerprint and chemical pattern recognition of mulberry from different regions [J]. J Chin Med Mater, 2019, 42(7): 1597-1600.
- [8] 蔡玮琦, 左雯雯, 陆杨, 等. 红糖、白砂糖、赤砂糖与黑糖的 HPLC 指纹图谱与化学模式识别[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 250-255.
CAI WQ, ZUO WW, LU Y, *et al.* HPLC fingerprints and chemical pattern recognition of brown sugar, white granulated sugar, red granulated sugar and black sugar [J]. Food Sci, 2021, 42(6): 250-255.
- [9] SABIR A, RAFI M, DARUSMAN LK. Discrimination of red and white rice bran from Indonesia using HPLC fingerprint analysis combined with chemometrics [J]. Food Chem, 2017, 221: 1717-1722.
- [10] 潘少香, 闫新焕, 谭梦男, 等. 蓝莓汁花色苷指纹图谱鉴别可行性分析[J]. 中国果菜, 2019, 39(4): 6-11, 22.
PAN SX, YAN XH, TAN MN, *et al.* Feasibility analysis of anthocyanin fingerprint identification of blueberry juice [J]. China Fruit Veget, 2019, 39(4): 6-11, 22.
- [11] 蔺怡, 赵宏玉, 张红城, 等. 椴树蜜中多酚类成分的鉴定[J]. 农产品加工, 2019, (2): 55-62.
LIN Y, ZHAO HY, ZHANG HC, *et al.* Identification of polyphenols in linden honey [J]. Farm Prod Process, 2019, (2): 55-62.
- [12] YANG H, LIU Q, YIN W, *et al.* Identification and discrimination of *Ziziphi spinosae semen* and *Ziziphi mauritiana semen* based on HPLC fingerprint analysis [J]. J Chin Pharm Sci, 2020, 29(4): 252-259.
- [13] 王华堂, 黄文忠, 朱颖茵, 等. 龙眼蜜中挥发性成分的 GC/MS 指纹图谱差异分析[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2019, 48(5): 625-630.
WANG HT, HUANG WZ, ZHU YY, *et al.* Chromatographic fingerprint analysis of the volatile components in longan honey by GC/MS [J]. J Fujian Agric Forest Univ, 2019, 48(5): 625-630.
- [14] ZHANG CY, ZHANG Q, ZHONG CH, *et al.* Volatile fingerprints and biomarkers of three representative kiwifruit cultivars obtained by headspace solid-phase microextraction gas chromatography mass spectrometry and chemometrics [J]. Food Chem, 2019, 271: 211-215.
- [15] 吕海鹏, 杨婷, 朱荫, 等. 西湖龙井茶 HS-SPME/GC-MS 香气指纹图谱研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(11): 11.

- LV HP, YANG T, ZHU Y, *et al.* Analysis of aroma fingerprint of Xihu Longjing Tea using HS-SPME/GC-MS [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(11): 11.
- [16] 王琴, 郑锡康, 蒋林, 等. 基于 GC/MS 指纹图谱的八角茴香质量评价研究[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(8): 1984–1988.
- WANG Q, ZHENG XK, JIANG L, *et al.* Quality evaluation of star anise based on GC/MS fingerprints [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2013, 29(8): 1984–1988.
- [17] 李京华, 李国琛, 王晓钰, 等. 花生仁脂肪酸 GC-MS 指纹图谱研究[J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(17): 65–68.
- LI JH, LI GC, WANG XY, *et al.* GC-MS Fingerprint analyses of fatty acids in peanut seed [J]. *Food Res Dev*, 2013, 34(17): 65–68.
- [18] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立[J]. *食品与生物技术学报*, 2016, 35(10): 1074–1080.
- CHEN WC, YANG Y, LI W, *et al.* Analysis of volatile components in *Lentinula edodes* by SPME-GC-MS and establishment of fingerprint [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2016, 35(10): 1074–1080.
- [19] CHEN T, QI X, CHEN M, *et al.* Gas chromatography-ion mobility spectrometry detection of odor fingerprint as markers of rapeseed oil refined grade [J]. *J Anal Meth Chem*, 2019, 2019: 1–8.
- [20] 蔡丹丹. 我国主要淡水养殖鱼肉的风味指纹图谱初探[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- CAI DD. The preliminary research on flavor fingerprint of main freshwater cultured fish [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [21] 张晓华, 常伟, 李景明, 等. 电子鼻技术对苹果贮藏期的研究[J]. *现代科学仪器*, 2007, (6): 120–123.
- ZHANG XH, CHANG W, LI JM, *et al.* Study on apple storage by electronic nose technology [J]. *Mod Sci Instrum*, 2007, (6): 120–123.
- [22] KEBEDE B, TING V, EYRES G, *et al.* Volatile changes during storage of shelf stable apple juice: Integrating GC-MS fingerprinting and chemometrics [J]. *Foods*, 2020, 9(2): 1–13.
- [23] 顾赛麒, 王锡昌, 刘源, 等. 不同新鲜度冷却猪肉中挥发物的变化[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(1): 169–176.
- GU SQ, WANG XC, LIU Y, *et al.* Changes of volatile compounds in chilled pork at different freshness [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2011, 27(1): 169–176.
- [24] ORIOWSKA M, KOWALSKA T, SAJEWICZ M, *et al.* A comparison of antibacterial activity of selected thyme (thymus) species by means of the dot blot test with direct bioauto-graphic detection [J]. *J AOAC Int*, 2015, 98(4): 871–875.
- [25] MILOJKOVIC OD, RISTIVOJEVIC P, TRIFKOVIC J, *et al.* TLC fingerprinting and pattern recognition methods in the assessment of authenticity of poplar-type propolis [J]. *J Chromatogr Sci*, 2016, 54(7): 1077–1083.
- [26] RODICA DNB, SIMONA CC, SORIN B. Optimum ultrasound assisted extraction conditions of some flavonoids from green tea leaves. control quality of green tea product by TLC fingerprinting [J]. *Anal lett*, 2011, 44(18): 2865–2875.
- [27] PAL P, SINGH SB, SINGH A. Determination of physicochemical properties, antioxidant constituents by high-performance thin-layer chromatography fingerprinting, and antioxidant activity of *Cucurbita maxima* seeds [J]. *Asian J Pharm Clin Res*, 2018, 11(3): 280–283.
- [28] RYSZARD Ś, AGNIESZKA J, GRZEGORZ J, *et al.* Thin layer chromatography and chemometric studies of selected potentilla species [J]. *Am J Anal Chem*, 2014, 5(16): 1109–1120.
- [29] PONCE-RODRIGUEZ HD, VERDU-ANDRES J, CAMPINS-FALCO P, *et al.* Capillary liquid chromatography for the determination of terpenes in Botanical dietary supplements [J]. *Pharmaceuticals*, 2021, 14(6): 580.
- [30] NAZARIO CDE, SILVA MR, FRANCO MS, *et al.* Evolution in miniaturized column liquid chromatography instrumentation and applications: An overview [J]. *J Chromatogr A*, 2015, 1421: 18–37.
- [31] RAFI M, LIM LW, TAKEUCHI T, *et al.* Capillary liquid chromatographic fingerprint used for discrimination of *Zingiber montanum* from related species [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2013, 405(20): 6599–6603.
- [32] HAN L, LIU X, YANG N, *et al.* Simultaneous chromatographic fingerprinting and quantitative analysis of flavonoids in pollen typhae by high-performance capillary electrophoresis [J]. *Acta Pharm Sin B*, 2012, 2(6): 602–609.
- [33] 郑捷, 肖凤霞, 林励, 等. 基于傅里叶变换红外光谱法的土茯苓真伪鉴别及溯源研究[J]. *食品科学*, 2014, 35(12): 165–168.
- ZHEN J, XIAO FX, LIN L, *et al.* Identification and traceability of *Smilax glabra* Roxb. Rhizome by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. *Food Sci*, 2014, 35(12): 165–168.
- [34] SCHOLZ M, PAGIATTO NF, KITZBERGER C, *et al.* Validation of near-infrared spectroscopy for the quantification of cafestol and kahweol in green coffee [J]. *Food Res Int*, 2014, 61: 176–182.
- [35] 楚刚辉, 周晓花, 丁晓丽. 喀什树莓果汁的红外指纹图谱及化学模式识别[J]. *食品科技*, 2013, 38(3): 285–290.
- CHU GH, ZHOU XH, DING XL. Fingerprint infrared spectrum on bramble fruit juice in Kashgar and its chemical pattern recognition [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(3): 285–290.
- [36] JAMWAL R, AMI T, KUMARI S, *et al.* Non-targeted fingerprinting approach for rapid quantification of mustard oil adulteration with linseed oil: An economically motivated adulteration [J]. *Vib Spectrosc*, 2021, 113(3): 103226.
- [37] 邓韬. 蜂胶指纹图谱及抗氧化活性谱效关系研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2013.
- DENG T. Investigation the spectrum-effect relationships of propolis based on HPLC fingerprints and invitro antioxidant [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2013.
- [38] 课净璇, 黎杉珊, 申光辉, 等. 基于双指标分析法和聚类分析法的花椒红外指纹图谱研究[J]. *食品与机械*, 2017, 33(3): 55–61.
- KE JX, LI SS, SHEN GH, *et al.* Infrared fingerprint analysis of *Zanthoxylum* based on sequential dualindexes and cluster analysis method [J]. *Food Mach*, 2017, 33(3): 55–61.
- [39] 唐辉, 孔德鑫, 王满莲, 等. 7 份不同产地野生甜茶 FTIR 指纹图谱及其甜茶苷含量比较分析[J]. *基因组学与应用生物学*, 2010, 29(4): 697–702.
- KANG H, KONG DX, WANG ML, *et al.* Comparison analysis of FTIR fingerprints spectra of seven wild *Rubus suavisissimus* S. Lee varieties from different regions and their content of rubusoside [J]. *Geno Appl Biol*, 2010, 29(4): 697–702.

- [40] SHERKAT F, HUI YH. Handbook of food science, technology, and engineering [M]. Abingdon: Taylor Francis, 2005.
- [41] GUILLEN MD, GOICOECHEA E. Detection of primary and secondary oxidation products by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and ^1H -nuclear magnetic resonance (NMR) in sunflower oil during storage [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(26): 10729–10736.
- [42] YAN J, GUO X, DUAN S, *et al.* Electronic nose feature extraction methods: A review [J]. *Sensors*, 2015, 15(11): 27804–27831.
- [43] 陈修红, 欧克勤, 汪厚银, 等. Heracle 快速气相电子鼻对花椒油气味指纹分析研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(12): 256–261.
- CHEN XH, OU KQ, WANG HY, *et al.* Investigation of flash GC electronic nose Heracles for the analysis of odor fingerprints in pepper oil [J]. *Food Sci Technol*, 2016, 41(12): 256–261.
- [44] 田怀香, 陈彬, 孙学锋, 等. 指纹图谱技术在生鲜乳掺假检测中的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(17): 5837–5843.
- TIAN HX, CHEN B, SUN XF, *et al.* Research progress of fingerprinting technology for detection of adulteration in raw milk [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(17): 5837–5843.
- [45] ROTTIERS H, TZOMPA SDA, LIESBET VDV, *et al.* Discrimination of cocoa liquors based on their odor fingerprint: A fast GC electronic nose suitability study [J]. *Food Anal Methods*, 2019, 12(2): 475–488.
- [46] 王祖忠, 周君, 张凌芷, 等. 8 种植物油气味指纹模型的建立[J]. *中国油脂*, 2017, 42(2): 76–80.
- WANG ZZ, ZHOU J, ZHANG LZ, *et al.* Establishment of fingerprint model for vegetable oil by electronic nose [J]. *China Oils Fats*, 2017, 42(2): 76–80.
- [47] 党艳婷, 苑鹏, 夏凯, 等. 基于气味指纹图谱的玛咖品质快速鉴定方法[J]. *食品科学*, 2018, 39(6): 291–297.
- DANG YT, YUAN P, XIA K, *et al.* Rapid identification of maca quality based on odor fingerprint [J]. *Food Sci*, 2018, 39(6): 291–297.
- [48] 张迪雅, 谢丹婷, 李晔. 应用电子鼻和 GC-MS 比较牛肉不同部位的挥发性物质组成[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(21): 241–246.
- ZHANG YD, XIE DT, LI Y. Comparison of volatile components in different parts of beef by electronic nose and GC-MS [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(21): 241–246.
- [49] YE WT, ZHENG YH, ZHANG PC, *et al.* Identification of species in *Lycoris* spp. from stigmatic exudate using electrochemical fingerprints [J]. *Int J Electrochem Sci*, 2021. DOI: 10.20964/2021.10.56
- [50] WU WH, ZHOU QW, ZHENG YH, *et al.* An electrochemical fingerprint approach for direct soy sauce authentic identification using a glassy carbon electrode [J]. *Int J Electrochem Sci*, 2020, 15(10): 10093–10103.
- [51] SCHRAM J, PARRILLA M, SLEEGERS N, *et al.* Identifying electrochemical fingerprints of ketamine with voltammetry and liquid chromatography-mass spectrometry for its detection in seized samples [J]. *Anal Chem*, 2020, 92(19): 13485–13492.
- [52] 程旺兴, 陈佳, 管艺, 等. 不同产地菊花的电化学指纹图谱研究[J]. *中药材*, 2011, 34(6): 885–888.
- CHENG WX, CHEN J, GUAN Y, *et al.* Study on electrochemical fingerprint of chrysanthemum from different areas [J]. *J Chin Med Mater*, 2011, 34(6): 885–888.
- [53] 贺琼, 何亮亮, 康予馨, 等. 高效液相色谱-电化学检测指纹图谱鉴别 3 种单花种蜂蜜花源[J]. *食品科学*, 2017, 38(2): 290–295.
- HE Q, HE LL, KANG YX, *et al.* Authentication of three monofloral honeys by high performance liquid chromatography with electrochemical detection [J]. *Food Sci*, 2017, 38(2): 290–295.
- [54] 许杭诗, 金建忠, 李玲玲, 等. 茶叶电化学指纹图谱研究[J]. *浙江树人大学学报(自然科学版)*, 2015, 132(3): 14–20.
- XU HS, JIN JZ, LI LL, *et al.* Study on the electrochemical fingerprint of tea [J]. *J Zhejiang Shuren Univ (Nat Sci Ed)*, 2015, 132(3): 14–20.
- [55] 张娟, 钟俊辉, 王志沛, 等. 用非线性电化学指纹图谱技术鉴别啤酒品种[J]. *酿酒科技*, 2014, (8): 99–104.
- ZHANG J, ZHONG JH, WANG ZP, *et al.* Identification of varieties of beer by nonlinear electrochemical fingerprints [J]. *Liquor Making Sci Technol*, 2014, (8): 99–104.
- [56] 王世鹏. 非线性化学指纹图谱技术用于乳品检测的方法研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2016.
- WANG SP. Research on the dairy detection by the nonlinear chemical fingerprint technology [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2016.
- [57] 鲁利利, 董文宾, 张泰铭, 等. 非线性电化学指纹图谱技术鉴别羊奶和牛奶及其产地[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(3): 201–207.
- LU LL, DONG WB, ZHANG TM, *et al.* Identification of goat and cow's milks and their origins by nonlinear electrochemical fingerprint technique [J]. *Food Ferment Ind*, 2014, 40(3): 201–207.
- [58] 刘晓伟. 酿造食醋原汁含量检测方法研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.
- LIU XW. Study on the detection of the fumet in brewed vinegar [D]. Changsha: Central South University of Forestry Technology, 2010.
- [59] 宋道冲, 庞金玲, 黄晓佳. 食品中重金属检测及样品前处理方法研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(15): 4958–4966.
- SONG YC, PANG JL, HUANG XJ. Research progress on the detection of heavy [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(15): 4958–4966.
- [60] 白婷, 蔡浩洋, 邓银华, 等. 基于微量元素指纹图谱对黑水凤尾鸡进行产地溯源的研究[J]. *中国测试*, 2018, 44(9): 57–62, 74.
- BAI T, CAI HY, DENG YH, *et al.* Study on origin of Heishui phoenix chicken based on trace element fingerprint [J]. *China Meas Test*, 2018, 44(9): 57–62, 74.
- [61] SHEN F, WU J, YING YB, *et al.* Differentiation of Chinese rice wines from different wineries based on mineral elemental fingerprinting [J]. *Food Chem*, 2013, 141(4): 4026–4030.
- [62] WANG F, ZHAO H, YU C, *et al.* Determination of the geographical origin of maize (*Zea mays* L.) using mineral element fingerprints [J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100(3): 1294–1300.
- [63] 马梦斌. 基于矿物质元素指纹特征的滩羊肉产地溯源方法研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- MA MB. Study on traceability method of tan sheep meat origin based on mineral element fingerprint characteristics [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [64] 鹿保鑫, 张东杰. 基于矿物元素指纹图谱的黑龙江黄豆产地溯源[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(21): 216–221.
- LU BX, ZHANG DJ. Origin traceability of Heilongjiang soybean using fingerprint of mineral elements [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2017,

- 33(21): 216–221.
- [65] 黄丹娟, 马建强, 陈亮. 茶树 DNA 分子指纹图谱研究进展[J]. 茶叶科学, 2015, 35(6): 513–519.
- HUANG DJ, MA JQ, CHEN L. Research progress on DNA molecular fingerprinting of tea plant (*Camellia sinensis*) [J]. J Tea Sci, 2015, 35(6): 513–519.
- [66] GAN Y, XIAO Y, WANG S, *et al.* Protein-Based fingerprint analysis for the identification of ranae oviductus using RP-HPLC [J]. Molecules, 2019, 24(9): 1687.
- [67] 张志军, 岳杰, 尹花. 麦芽品种多重荧光 SSR 标记指纹数据库的构建[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 50–57.
- ZHANG ZJ, YUE J, YIN H. Construction of multiplex fluorescence SSR marker database for malt varieties [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(18): 50–57.
- [68] 吴华莉, 涂尾龙, 曹建国, 等. SNP 技术在猪肉溯源过程中的应用[J]. 畜牧与饲料科学, 2020, 41(6): 84–89.
- WU HL, TU WL, CAO JG, *et al.* Application of SNP technology in pork traceability [J]. Anim Husb Feed Sci, 2020, 41(6): 84–89.
- [69] GUL I, NASRULLAH N, NISSAR U, *et al.* Development of DNA and GC-MS fingerprints for authentication and quality control of *Piper nigrum* L. and its adulterant carica papaya [J]. Food Anal Methods, 2018, 11(4): 1209–1222.
- [70] KOSMOWSKI F, AMBEL A, TSEGAY A, *et al.* A large-scale dataset of

barley, maize and sorghum variety identification using DNA fingerprinting in Ethiopia [J]. Data, 2021, 6(6): 58.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



刘 静, 硕士, 主要研究方向为功能食品与生物活性物质。

E-mail: m17853480108@163.com



刘艳华, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为烟草种质资源活性成分鉴定评价与利用。

E-mail: liuyanhua@caas.cn



张建会, 硕士, 高级农艺师, 主要研究方向为农产品质量分析。

E-mail: 787598921@qq.com