

特色农产品产地溯源技术研究进展

卢诗扬^{1,2}, 张雷蕾^{1,2}, 潘家荣^{1,2}, 朱 诚^{1,2*}

(1. 中国计量大学生命科学学院, 杭州 310018; 2. 浙江省海洋食品品质及危害物控制技术重点实验室, 杭州 310018)

摘 要: 特色农产品存在产地造假、以次充好等现象, 亟需建立有效的产地溯源技术。本文首先论述了质谱、光谱和分子生物学等技术对不同种类农产品进行产地判别的基本原理。在分析各种溯源技术应用现状的基础上, 对不同产地溯源技术的优缺点进行了分析比较, 并对不同溯源技术联用来提高特色农产品产地溯源判别准确度的应用进行了探究。最后对产地溯源技术的发展趋势进行了展望, 以为产地溯源技术的发展提供一定的参考。

关键词: 特色农产品; 产地溯源; 同位素指纹; 矿物质元素指纹; 有机成分指纹; 近红外光谱指纹; 拉曼光谱指纹; 核磁共振指纹

Research progress on origin traceability technology of characteristic agricultural products

LU Shi-Yang^{1,2}, ZHANG Lei-Lei^{1,2}, PAN Jia-Rong^{1,2}, ZHU Cheng^{1,2*}

(1. College of Life Science, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 2. Key Laboratory of Marine Food Quality and Hazard Controlling Technology of Zhejiang Province, Hangzhou 310018, China)

ABSTRACT: There is a very common phenomenon of falsifying the origin and substituting the high-quality products with defective ones on characteristic agricultural products, so it is urgent to establish effective origin tracing technology. Firstly, this paper discussed the basic principles of mass spectrum, optical spectrum and molecular biology techniques to determine the origin of different types of agricultural products, then, on the basis of the basic principles and application status of the identification of the origin of different kinds of agricultural products, analyzed and compare the advantages and disadvantages of different origin traceability technologies, and explored to combine different traceability technologies to improve the accuracy of origin tractability of characteristic agricultural products in this paper. Finally, this article prospected the development trend of origin traceability technology, which provided some reference for the future development of origin traceability technology.

KEY WORDS: characteristic agricultural products; origin traceability; isotope fingerprints; mineral element fingerprints; fingerprint of organic components; near infrared fingerprint spectroscopy; Raman fingerprint spectrum; nuclear magnetic resonance fingerprints; molecular biological techniques

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFF0211302)、浙江省自然科学基金(LQ18F050003)、浙江省大学生科研创新活动计划(2020R409056)

Fund: Supported by the National Key R&D Program of China (2017YFF0211302), Zhejiang Provincial Natural Science Foundation of China Under Grant (LQ18F050003), and Zhejiang Province University Student' Research and Innovation Program Support Project (2020R409056)

*通讯作者: 朱诚, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全、农产品产地溯源。E-mail: pzhch@cjlu.edu.cn

*Corresponding author: ZHU Cheng, Ph.D, Professor, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China. E-mail: pzhch@cjlu.edu.cn

1 引言

具有地域特色的特色农产品,相对于一般农产品来说,无论是在形态还是品质上都有很大优势,其具有明显的地域特色、优良品质和特殊功效。正是由于特色农产品的诸多优点,使其具有较好的经济效益。但是在经济利益的驱使下,部分无良商家产地造假、浑水摸鱼,以劣质农产品代替特色农产品,致使食品问题频发,对人民的生命安全造成了一定的威胁^[1]。因此对特色农产品产地鉴别研究具有重大经济应用价值和现实意义^[2]。近年来随着科技的突飞猛进,农产品溯源技术也得到了不断的发展与完善,逐步形成了技术体系。多种多样的农产品产地溯源技术为我国的食品安全及农产品溯源做出了重要贡献,有效保护了特色农产品的品牌效益^[3]。

为了维护人民生命和财产安全,保护特色农产品技术的品牌经济效益,本文论述了质谱、光谱和分子生物学等技术对特色农产品进行产地判别的基本原理、特点及其国内外应用研究现状,以及对不同溯源技术联用来提高特色农产品产地溯源判别准确度的应用进行了探究,以期对未来特色农产品产地溯源技术的发展提供参考。

2 农产品产地溯源的基本原理

农产品产地溯源主要是通过分析表征不同地域来源农产品特征性指标,并以此特征指标来实现农产品产地溯源。目前主要采用质谱、光谱和分子生物学等技术,通过分析农产品的有机组成、挥发性成分、同位素含量与比率等特征成分或指标,结合化学计量学研究方法,建立起能区分农产品产地来源的特征性指纹图谱,从而对不同产地的农产品进行产地溯源。本文综述了近年来农产品产地溯源技术的原理及其应用现状,旨在为产地溯源多元指纹信息融合技术提供理论依据。

3 特色农产品产地溯源技术及应用现状

3.1 质谱技术在特色农产品产地溯源中的应用

3.1.1 同位素指纹溯源技术

同位素指纹溯源技术的基本原理就是基于同位素的自然分馏效应。研究表明,受生物体所处的地理环境信息(气候、环境、生物代谢类型等)等因素影响,生物体内 C、N、H、O、S、Sr、Pb 等同位素组成和丰度呈现显著的地域特征,因其是生物体本身固有属性,且基本不随生产加工过程改变,故可被用于判断生物体产地来源。因而,稳定性同位素指纹图谱分析技术被认为是目前最有效食品产地溯源判别技术手段之一。

近年来,同位素指纹溯源技术已运用于多种农产品的溯源,如:羊奶^[4]、海参^[5]、人参^[6,7]等。在动物源性特色

农产品方面, Schmidt 等^[8]利用同位素比例质谱仪(isotope ratio mass spectrometer, IRMS)测定了北欧、美国和巴西牛肉的碳同位素,结果显示 3 个地区牛肉 $\delta^{13}\text{C}$ 值有显著差异,分别为 $(-21.6\pm 1.0)\%$ 、 $(-12.3\pm 0.1)\%$ 和 $(-10.0\pm 0.6)\%$,可以作为牛肉产地判别的溯源指标。Camín 等^[9]通过检测欧洲不同地区羔羊肉中 C、H、N 和 S 同位素进行溯源分析,研究发现不同地区羊肉脱脂蛋白中的多个同位素值均有显著性差异,其 2H 值与当地环境水源 $\delta^2\text{H}$ 呈显著相关, $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值与饲料和气候相关, $\delta^{34}\text{S}$ 值与地质条件相关,从而实现不同产地羊肉的溯源判别。在植物源性特色农产品方面, Peng 等^[10]利用同位素比值质谱法对安徽祁门、东至和贵池 3 地的祁门红茶中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值进行检测,研究能否通过同位素含量的不同实现不同产地祁门红茶的产地判别,并探究品种类型、叶子成熟度和生产过程等因素对判别结果的影响。结果表明,通过 $\delta^{15}\text{N}$ 的含量能准确的对 3 个产地的祁门红茶进行区分,所建立的 k-近邻法模型的交叉验证的准确率高达 91.6%,成功利用同位素指纹技术实现了对祁门红茶的产地判别。

由于地域的不同,不同地区的生物体内的同位素的丰富度自然会存在着不同,所以可以通过判断食品内同位素含量的丰富程度来达到食品溯源的目的,但是有时在进行溯源的过程中,常需同时检测农产品内的几种同位素,实验室一次性投入较大,且该技术对检测设备要求比较高,存在无法有效判别相近区域同类产品的缺点和局限性。

3.1.2 矿物质元素指纹溯源技术

矿物质元素溯源技术是一种根据不同地区生长作物体内含有的矿物质元素含量的不同来实现农产品产地溯源的一种技术。由于受气候和温湿度等环境因素的影响,不同地域土壤中矿物质元素的含量有其自己的独特性和差异性。而植物生产所需要的养分都是从其生活的土壤中吸取,所以某一地区的生长作物中矿物质的含量与其生长地域的土壤矿物质含量有很大的相关性,矿物质元素的含量和种类可以作为一个重要的溯源指标,这就为通过不同生长作物中的矿物质元素的含量和种类来实现溯源技术提供了理论依据。而且以此理论为基础的矿物元素指纹图谱技术具有高灵敏度和分析速度快等优点,已被广泛应用于农产品产地溯源之中^[11],如:枸杞^[12]、贝类^[13]等。

在植源性特色农产品方面, Ma 等^[14]利用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)对 32 份正宗洞庭碧螺春、23 份形似洞庭碧螺春的非洞庭碧螺春样品和来自浙江省 28 份绿茶样品中 37 种矿物质元素的含量进行了测定。并利用主成分分析、聚类分析和线性判别分析对测定的数据进行了处理分析。结果表明,所建立的线性判别分析模型拥有 98.2% 的识别率和 96.4% 的预测率,实现了对相同和不同产地品牌绿茶的产地判别,有效了保护了特色绿茶的品牌经

济效益。

但是由于采样产地与研究范围的不同, 不同实验者通过矿物质元素溯源法筛选出来的指标会有不同, 难以形成统一的指标。且由于施肥、气候等因素的影响, 同一地区的同一种农作物在不同生长年份体内的矿物质含量也会有明显的不同, 这会影响矿物质元素指纹溯源技术的准确性。

3.1.3 有机成分指纹溯源技术

有机成分指纹分析是根据不同产地的产品中蛋白质、脂肪酸、香气成分等组成受产地特殊气候地理条件影响而存在显著差异, 形成不同地域特定的有机成分指纹特征, 通过这些有机成分的差异可判断产地来源^[15]。该技术的实现主要是依靠高效液相色谱技术(high performance liquid chromatography, HPLC), 通过分析检测食品中特征成分的组成及含量, 从而对农产品产地来源进行分析。因其具有灵敏度高、重现性好、样品前处理简单等优点而被广泛运用。

在动物源性特色农产品方面, 顾得月等^[16]利用 HPLC 方法检测大黄鱼中脂肪酸和磷脂等有机物含量, 并根据大黄鱼肌肉所含脂肪酸类物质的种类和含量差异建立了指纹图谱, 结合聚类分析法、主成分分析法和判别分析法对不同生长环境、养殖方式及不同种类大黄鱼、小黄鱼、黄姑鱼和黑鳃梅童鱼进行判别, 正确率高达 98.4%。在植物源性特色农产品的产地溯源中, 也有相关报道。Alonso-Salces 等^[17]运用反相高效液相色谱技术测定了咖啡豆, 利用酚酸和肉桂酸可以作为有机特征成分, 结合线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)和偏最小二乘判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA), 对喀麦隆和越南咖啡豆的分类准确率达 100%, 对喀麦隆和印度尼西亚咖啡豆的分类准确率达 94%。Xia 等^[18]采用液相色谱-质谱联用技术对 40 个不同产地来源茯苓进行研究, 结合正交偏最小二乘判别分析(orthogonal PLS-DA, OPLS-DA)得到的变量投影重要性, 筛选出对样品分类贡献最大的 10 种挥发性三萜类成分, 从而达到鉴别目的。Chen 等^[19]通过液相色谱-质谱法研究 3 个产地共

29 批赤芝样品, 结果显示, 产地不同导致赤芝的质量具有差异, 表明液-质联用技术对产地鉴别具有一定可行性。

但是, 受加工、贮藏过程中的影响, 可用于产地溯源和确证的成分如食品中脂肪酸等一些热敏性成分, 容易受到损失, 造成有效信息丢失, 造成溯源效果不佳。

表 1 列举了利用质谱技术在不同特色农产品产地溯源中的应用情况。根据表 1 可知, 与常用的分析技术相结合, 质谱技术能以较高的准确率实现对不同地域特色农产品的产地判别。

3.2 光谱技术在特色农产品产地溯源中的应用

3.2.1 近红外光谱指纹溯源技术

近红外光(near-infrared light, NIR)是波长介于可见光与中红外光之间的一种电磁波(780~2526 nm), 是在吸收光谱中的第一个非可见光区。近红外光谱分析技术利用近红外谱区包含的丰富的物质信息, 同时吸收带的吸收强度与分子组成或化学基团的含量有关可用于测定化学物质的成分和分析物理性质。因具有高效、快速、无损、无污染及低成本检测的特点, 而被广泛应用于食品产地溯源的研究中^[22]。

近年来, 国内外学者利用光谱技术在特色农产品的品质检测和产地溯源方面进行了相关研究, 光谱技术在不同特色农产品产地溯源中的应用如表 2 所示。在果蔬类特色农产品方面, Eisenstecken 等^[23]利用近红外光谱技术与化学计量学相结合的方法成功实现了对来自与不同海拔高度和品种的苹果的鉴别。Eisenstecken 首先通过利用主成分分析对采集到的光谱数据进行降维, 然后利用基于主成分分析的二次判别分析法建立判别模型。判别结果显示, 当在高、中、低海拔的情况下, 判别的准确度分别是 93.6%、57.1% 和 77.9%。而在品种判别方面, 有 5 种品牌苹果的判别率达到了 100%, 其中具有特色的富士苹果的判别准确率为 96.2%, 表明了近红外光谱溯源技术在水果类特色农产品溯源方面的巨大应用前景。另外 Fu 等^[24]采用近红外光谱技术对塘栖和淳安地区的枇杷进行产地溯源判别, 结果表明, 模型的校正集和验证集的识别率分别为 97%和 86%。

表 1 质谱技术在特色农产品产地溯源中的应用

Table 1 Application of mass spectrometry technology in tracing the origin of agricultural products

溯源技术	农产品种类	地域范围	分析方法	正确率/%
同位素指纹溯源技术	羊奶 ^[4]	中国	逐步正则判别分析	100
	龙井茶叶 ^[20]	中国西湖	LDA	95.80
	海参 ^[5]	中国	PCA、DA	89.1
矿物质元素溯源技术	枸杞 ^[12]	意大利、亚洲	PCA、CA、DA	100
	蓝贻贝 ^[13]	爱尔兰	随机森林	100
有机成分指纹溯源技术	猕猴桃 ^[21]	陕西、四川、湖南	判别分析	92.20
	咖啡豆 ^[17]	喀麦隆、越南	LDA、PLSDA	100

在稀有药材特色农产品方面,赖添悦等^[25]针对稀有药材三叶青产地鉴别研究比较少、并且传统鉴别算法过于依赖训练集样本和对未知样本预测能力差的现状,提出了一种近红外光谱技术与核密度估算法相结合的溯源技术。该算法对已知产地的三叶青判别正确率在 90%以上,与此同时,对未知产地的三叶青的判别准确率能达到 100%,很好地解决了在三叶青产地鉴别中存在的问题。

然而该技术在应用中也存在一定的局限性,有些生物组织的化学成分复杂,容易受到加工、贮藏等因素的影响,某些成分含量很低,但却也可能是产地溯源的关键组分,而红外检测灵敏度很低,达不到有效甄别的目的。而且,红外光谱指纹分析技术同样需要收集大量的样本建立模型并不断验证,来建立稳定可靠的红外光谱产地溯源数据库和相应模型。

3.2.2 拉曼光谱指纹溯源技术

拉曼光谱是由印度物理学家拉曼在研究液体物质的光散射时发现的,是一种由于分子极化率变化而产生的非弹性散射光谱。拉曼光谱溯源技术^[26]是近几年才得到快速发展的一种溯源技术,由于拉曼光谱溯源技术在对待检测样品进行检测时不需要对检测样品做过多处理,同时还具有快速、高效、无污染、无损分析等优点,所以被应用于诸多领域。

孙娟等^[27]利用共聚焦显微拉曼光谱技术,在 632.8 nm 的激发波长下,采集了黑龙江、江苏、湖南 3 个产地 10 个品种的大米在 200 ~ 1600 cm^{-1} 范围内的拉曼光谱指纹,结合偏最小二乘判别法建立了不同种类、品种、产地稻米的判别分析模型,对黑龙江、江苏、湖南 3 个产地正确判别率分别为 100%、100%、94.12%。Ciaccheri 等^[28]运用拉曼光谱法,在 1064 nm 的激发波长下获取了来自粟子、柑橘和金合欢蜂蜜的拉曼光谱指纹,凭借主成分分析法对拉曼指纹数据进行处理,建立三维模型,聚类效果明显,验证了拉曼光谱指纹的产地鉴别作用。

然而,任何一种物质的引入都会给被测体系带来某种程度的污染,而产生一定的误差,对分析结果产生一定的影响。

3.2.3 核磁共振指纹溯源技术

核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)是由 F.Bloch 等根据不同方法观测到的,它是依靠磁性原子核和磁场相互作用,使原子核能级分裂,吸收外界磁场能量后不断跃迁到高能态,进而形成核磁共振现象^[29]。核磁共振可以对农产品内的 ^1H 、 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{23}Na 、 ^{39}K 和 ^{31}P 等核素进行测定、分析,通过较少的预处理,获得表征农产品特征提取物结构信息的 NMR 指纹图谱^[30],并运用化学计量学研究,对农产品进行产地溯源。

核磁共振指纹溯源技术被广泛应用于农产品产地溯源,如:葡萄酒^[31]、樱桃^[32]、植物油^[33]、蜂蜜^[34,35]等。李涛等^[36]借助 ^1H -NMR 指纹图谱技术,运用正交偏最小二乘

法、偏最小二乘法、主成分分析、层序聚类分析对来自 7 个产地的大红景天进行统计分析,从而验证了核磁共振指纹溯源技术可应用于大红景天的分类、鉴别。Masoum 等^[37]运用 ^1H -NMR 技术与支持向量机(support vector machine, SVM)相结合,采集了来自丹麦、加拿大等 8 个国家的三文鱼核磁共振指纹图谱,建立产地溯源模型,其校正集与验证集的准确率分别为: 93.3%、95.4%。

但使用 NMR 技术的实验设备成本高、指纹信号分析具有复杂性、专门性,制约了 NMR 技术的推广及普及。

3.2.4 高光谱指纹溯源技术

高光谱图像技术是一种既可以获得待成像对象图片信息又可以获得其光谱图像的一种技术。这种技术具有图像和光谱信息合一的特点。像近红外、拉曼光谱等溯源技术都是只能获得待检测对象光谱信息和图像信息的一种,正因为高光谱图像技术所具有的这种发展潜力,近几年高光谱图像技术在农产品溯源中得到了越来越多的应用。

王彩霞等^[38]应用高光谱成像技术实现了对荷斯坦奶牛、秦川牛、西门塔尔牛 3 个品种牛肉的快速无损鉴别,并研究了不同特征波长提取方法及建模方法对牛肉品种鉴别效果的影响。Gao 等^[39]通过对来自江苏、四川、海南、台湾 4 个不同地理来源的麻风树种子样品的高光谱数据进行采集,并且利用主成分分析对数据进行处理,然后利用最小二乘支持向量机构建分类模型,结果分类显示准确率能达到 93.75%,实现了基于高光谱数据进行对麻风树种子进行溯源的目的。

高光谱图像数据量大、波段数量多,这导致数据传输、存储和处理有一定难度,故需应用波段选择方法进行数据降维^[40-43]。但是由于对高光谱高维特性降维的方法不同,同一种技术会得到不一样的实验结果。

3.3 分子生物学技术在特色农产品产地溯源中的应用

分子生物学溯源技术主要是运用脱氧核糖核酸(deoxyribonucleic acid, DNA)技术进行溯源, DNA 的本质是脱氧核糖核酸,由于其分子结构排列组成的多样性,导致不同生物具有不同的 DNA 结构。DNA 是生物的特有属性,不会因环境的变化而改变,因其的独特性与稳定性,可作为溯源方法^[44-46]。我们可根据获取研究对象的特征 DNA,经过数据处理建立数学模型,这是一种准确、灵敏的溯源技术。

Raieta 等^[47]通过基于 DNA 的(polymerase chain reaction, PCR)扩增技术、SSRs 标记技术,对来自意大利南部的 4 个品种橄榄油进行识别、分析,验证了 DNA 技术对橄榄油产地溯源的可行性。为了了解番茄食物链中不同产品的可适用性和内部可追溯性, Turci 等^[48]对不同的基因组 DNA 提取程序进行了评估。DNA 是动植物的固有遗传密码,通过 DNA 可以唯一的标识动植物,所以基于 DNA 的生物溯

表 2 光谱技术在特色农产品产地溯源中的应用
Table 2 Application of spectroscopy technology in tracing the origin of agricultural products

溯源技术	农产品种类	地域范围	分析方法	正确率/%
近红外光谱指纹溯源技术	枸杞 ^[41]	内蒙古、陕西、宁夏、青海、新疆	SIMCA	100
	三叶青 ^[25]	浙江、云南、安徽、广西、湖北	核密度估计法	100
拉曼光谱指纹溯源技术	蜂蜜 ^[28]	意大利	PCA	90
	樱桃 ^[32]	意大利	PLSDA	94.60
核磁共振指纹溯源技术	蜂蜜 ^[35]	欧洲	PLS2	100
	三文鱼 ^[37]	自丹麦、加拿大等 8 国	SVM	93.30
	羊肉 ^[42]	宁夏	PLSDA	90.48
高光谱指纹溯源技术	大米 ^[43]	黑龙江、安徽、江苏、浙江	SVM	91.67
	麻风树种子 ^[39]	江苏、四川、海南、台湾	LS-SVM	93.75

源方法可以对食品进行精确溯源,但是由于这种操作方法难度大,耗费成本比较高,所以它距离大规模商业应用还有一段很长的路要走。

3.4 多种技术联合在特色农产品产地溯源中的应用

随着检测技术的不断发展以及农产品内部成分的复杂化,依靠单一的技术已无法实现有效的产地溯源,越来越多的研究者开始关注多种溯源技术的联用^[49,50],以提高食品产地溯源的准确率。不同溯源技术之间可以通过多参数多指标多技术融合的方式进行结合,对同位素指纹溯源技术、矿物质元素指纹溯源技术、有机成分指纹溯源技术、近红外光谱指纹溯源技术、拉曼光谱指纹溯源技术、核磁共振指纹溯源技术、高光谱指纹溯源技术等相结合使用,充分利用每一种溯源技术的优点,在提高食品产地溯源的准确性上有着广阔的应用前景。

例如在矿物质元素指纹溯源技术与同位素元素指纹溯源技术结合方面,Wang 等^[51]通过测定西湖龙井、越州龙井和钱塘龙井 3 个产区中采集的龙井茶中所含同位素和矿物质元素含量,然后运用了决策树 C5.0、BP 神经网络、正交偏最小二乘法判别分析和逐步线性判别分析四种判别方法来对龙井茶进行产地判别。判别结果表明,4 种判别方法所构造的判别模型对测试集的正确判别率都达到了 90%以上,证明了利用技术联合实现产地判别的可行性。并且与单一使用矿物质元素溯源方法相比,使用矿物质元素与同位素相结合的方法,溯源的准确度得到了一定程度的提升。

在矿物质元素与近红外光谱数据结合方面,一种矿物质元素与红外光谱数据融合的方法被用在了野生菌的产地判别中^[52]。通过对来自云南的 7 个产地的牛肝菌菌柄和菌盖中 Zn 等 15 矿物质元素的含量和傅里叶红外变换光谱,对不同预处理方法和数据融合的方法对判别结果的影响进

行了研究。研究发现,使用三阶导数和标准正态变换对光谱并且进行预处理,同时对光谱数据和牛肝菌不同部位矿物质元素含量数据按中高级融合策略进行融合是牛肝菌的最佳产地溯源方法。

多种溯源技术能充分利用每一种技术的优点,使多元指纹信息融合,利用多元判别分析筛选标示性指标,使溯源的参考指标更加科学、高效。多种溯源技术联用会成为将来食品溯源技术的一个重要的发展方向。

4 展 望

4.1 溯源政策、方法标准化

迄今为止,相关研究学者对产地溯源进行研究时,缺少统一的管理与规划,在业内并没有一个统一的政策、标准,且对于样品的选择很随机,有些样品并没有较高的产地溯源价值。在今后的研究中,亟需建立相应的政策与标准,以规范溯源技术的研究与应用。

4.2 溯源云平台的构建与完善

大数据是时代发展的潮流,随着产地溯源技术不断发展和溯源范围的不断扩大,在此过程中会产生大量的数据,将这些溯源数据汇总构建产地溯源云平台是未来溯源技术的发展方向之一,搭建云平台有利于已有溯源资源的共享与应用。

参考文献

- [1] 张勇,王督,李雪,等. 基于近红外光谱技术的农产品产地溯源研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(23): 6161-6166.
Zhang Y, Wang D, Li X, et al. Research progress of near infrared spectroscopy based geographical origin traceability of agricultural products [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(23): 6161-6166.
- [2] 蒋越,李安,靳欣欣,等. 基于稳定性同位素技术的水果及其制品产地溯源研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(1): 121-127.

- Jiang Y, Li A, Jin XX, *et al.* Research progress on origin tracing of fruit and its products based on stable isotope technology [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(1): 121–127.
- [3] 王世成, 李国琛, 王颜红, 等. 果品产地溯源技术研究进展及其在南果梨产地溯源的应用展望[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(9): 3289–3294.
- Wang SC, Li GC, Wang YH, *et al.* Research progress on origin traceability technology of fruits and application prospects of origin traceability of Nanguo pear [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(9): 3289–3294.
- [4] Liu H, Zhao Q, Guo X, *et al.* Application of isotopic and elemental fingerprints in identifying the geographical origin of goat milk in China [J]. *Food Chem*, 2019, 277: 448–454.
- [5] Zhang X, Liu Y, Li Y, *et al.* Identification of the geographical origins of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) in northern China by using stable isotope ratios and fatty acid profiles [J]. *Food Chem*, 2017, 218: 269–276.
- [6] Chung I, Kim J, Lee J, *et al.* C/N/O/S stable isotopic and chemometric analyses for determining the geographical origin of Panax ginseng cultivated in Korea [J]. *J Ginseng Res*, 2018, 42(4): 485–495.
- [7] Kim K, Song J, Heo S, *et al.* Discrimination of ginseng cultivation regions using light stable isotope analysis [J]. *Forensic Sci Inter*, 2015, 255: 43–49.
- [8] Schmidt O, Quilter JM, Bahar B, *et al.* Inferring the origin and dietary history of beef from C, N and S stable isotope ratio analysis [J]. *Food Chem*, 2005, 91(3): 545–549.
- [9] Camin F, Bontempo L, Heinrich K, *et al.* Multi-element (H,C,N,S) stable isotope characteristics of lamb meat from different European regions [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2007, 389(1): 309–320.
- [10] Peng C, Zhang Y, Song W, *et al.* Using stable isotope signatures to delineate the geographic point-of-origin of Keemun black tea [J]. *J Sci Food Agric*, 2019, 99(5): 2596–2601.
- [11] 马楠, 鹿保鑫, 刘雪娇, 等. 矿物元素指纹图谱技术及其在农产品产地溯源中的应用[J]. *现代农业科技*, 2016, (9): 296–298.
- Ma N, Lu BX, Liu XJ, *et al.* Technology of mineral elements fingerprint and its application in origin traceability of agricultural production [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2016, (9): 296–298.
- [12] Bertoldi D, Cossignani L, Blasi F, *et al.* Characterisation and geographical traceability of Italian goji berries [J]. *Food Chem*, 2019, 275: 585–593.
- [13] Bennion M, Morrison L, Brophy D, *et al.* Trace element fingerprinting of blue mussel (*Mytilus edulis*) shells and soft tissues successfully reveals harvesting locations [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 685: 50–58.
- [14] Ma G, Zhang Y, Zhang J, *et al.* Determining the geographical origin of Chinese green tea by linear discriminant analysis of trace metals and rare earth elements: Taking Dongting Biluochun as an example [J]. *Food Control*, 2016, 59: 714–720.
- [15] 王成, 赵多勇, 王贤, 等. 食品产地溯源及确证技术研究进展[J]. *农产品质量与安全*, 2012, (1): 59–61.
- Wang C, Zhao DY, Wang X, *et al.* The research progress of food geographical origin traceability and authenticity technique [J]. *Qual Saf Agro-Prod*, 2012, (1): 59–61.
- [16] 顾得月, 任西杰, 迟长风, 等. 大黄鱼 HPLC 指纹图谱的建立及其在产地溯源和物种鉴别中的应用[J]. *水产学报*, 2016, 40(2): 164–177.
- Gu DY, Ren XJ, Chi CF, *et al.* HPLC fingerprint of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) and its application to geographical origin traceability and species identification [J]. *J Fish Chin*, 2016, 40(2): 164–177.
- [17] Alonso-Salces RM, Serra F, Reniero F, *et al.* Botanical and geographical Characterization of green coffee (*coffea arabica* and *coffea canephora*): chemometric evaluation of phenolic and methylxanthine contents [J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57(10): 4224–4235.
- [18] Xia B, Zhou Y, Tan HS, *et al.* Advanced ultra-performance liquid chromatography-photodiode array-quadrupole time-of-flight mass spectrometric methods for simultaneous screening and quantification of triterpenoids in poriacocos [J]. *Food Chem*, 2014, 152: 237–244.
- [19] Chen Y, Yan Y, Xie M, *et al.* Development of a chromatographic fingerprint for the chloroform extracts of ganoderma lucidum by HPLC and LC-MS [J]. *J Pharmaceut Biom*, 2008, 47(3): 469–477.
- [20] 刘志, 张永志, 周铁锋, 等. 不同烘干方式对茶叶中稳定同位素特征及其产地溯源的影响[J]. *核农学报*, 2018, 32(7): 1408–1416.
- Liu Z, Zhang YZ, Zhou TF, *et al.* Effects of different drying techniques on stable isotopic characteristics and traceability of tea [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2018, 32(7): 1408–1416.
- [21] 马奕颜, 郭波莉, 魏益民, 等. 猕猴桃有机成分产地指纹特征及判别分析[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(18): 3864–3870.
- Ma YY, Guo BL, Wei YM, *et al.* discrimination of kiwi fruit according to geographic origin based on organic compound fingerprint analysis [J]. *Sci Agric Sinica*, 2013, 46(18): 3864–3870.
- [22] 宋雪健, 钱丽丽, 张东杰, 等. 近红外光谱技术在食品溯源中的应用进展[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(12): 197–200.
- Song XJ, Qian LL, Zhang DJ, *et al.* Progress in application of near infrared spectroscopy to food traceability [J]. *Food Res Devel*, 2017, 38(12): 197–200.
- [23] Eisenstecken D, Stürz B, Robatscher P, *et al.* The potential of near infrared spectroscopy (NIRS) to trace apple origin: Study on different cultivars and orchard elevations [J]. *Postharvest Biol Tech*, 2019, 147: 123–131.
- [24] Fu X, Ying Y, Zhou Y, *et al.* Application of probabilistic neural networks in qualitative analysis of near infrared spectra: determination of producing area and variety of loquats [J]. *Anal Chim Acta*, 2007, 598(1): 27–33.
- [25] 赖添悦, 蔡逢煌, 彭昕, 等. 核密度估计算法结合近红外光谱技术鉴别三叶青产地[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, (3): 794–799.
- Lai TY, Cai PH, Peng X, *et al.* identification of tetrastigma hemsleyanum from different places with ft-nir combined with kernel density estimation algorithm [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2018, (3): 794–799.
- [26] Mandrile L, Zeppa G, Giovannozzi AM, *et al.* Controlling protected designation of origin of wine by Raman spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2016, 211: 260–267.
- [27] 孙娟, 张晖, 王立, 等. 基于拉曼光谱的大米快速分类判别方法[J]. *食品与机械*, 2016, 32(1): 41–45.
- Sun J, Zhang H, Wang L, *et al.* Method for rapid discrimination of varieties rice by using Raman spectroscopy [J]. *Food Mach*, 2016, 32(1): 41–45.
- [28] Ciaccheri L, Mignani AG, Mencaglia AA, *et al.* Nondestructive and rapid authentication of honey using dispersive Raman spectroscopy [C]. //2015 XVIII AISEM Annual Conference. IEEE, 2015: 1–4.
- [29] 郭启悦, 李焯, 任舒悦, 等. 低场核磁共振技术在食品安全快速检测中

- 的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(2): 380–384.
- Guo QY, Li Y, Ren SY, *et al.* Application of low field nuclear magnetic resonance technology in food safety rapid detection [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(2): 380–384.
- [30] Borisjuk L, Rolletschek H, Neuberger T. Surveying the plant's world by magnetic resonance imaging [J]. *Plant J*, 2012, 70(1): 129–146.
- [31] Brescia MA, Caldarella V, De Giglio A, *et al.* Characterization of the geographical origin of Italian red wines based on traditional and nuclear magnetic resonance spectrometric determinations [J]. *Anal Chim Acta*, 2002, 458(1): 177–186.
- [32] Longobardi F, Ventrella A, Bianco A, *et al.* Non-targeted 1H NMR fingerprinting and multivariate statistical analyses for the characterisation of the geographical origin of Italian sweet cherries [J]. *Food Chem*, 2013, 141(3): 3028–3033.
- [33] Popescu R, Costinel D, Dinca OR, *et al.* Discrimination of vegetable oils using NMR spectroscopy and chemometrics [J]. *Food Control*, 2015, 48: 84–90.
- [34] Kortseniemi M, Slupsky CM, Ollikka T, *et al.* NMR profiling clarifies the characterization of finnish honeys of different botanical origins [J]. *Food Res Int*, 2016, 86: 83–92.
- [35] Schievano E, Stocchero M, Zuccato V, *et al.* NMR assessment of European acacia honey origin and composition of EU-blend based on geographical floral markers [J]. *Food Chem*, 2019, 288: 96–101.
- [36] 李涛, 司梦鑫, 李冲. 1H-NMR 指纹图谱技术结合多元统计分析鉴别不同产地的大花红景天[J]. *中药材*, 2018, (10): 2038–2043.
- Li T, Si MX, Li C. Identification of *rhodiolaacrenulata* from different habitats by 1H-NMR fingerprint technique combined with multivariate statistical [J]. *J Chin Med Mater*, 2018, (10): 2038–2043.
- [37] Masoum S, Malabat C, Jalali-heravi M, *et al.* Application of support vector machines to 1H NMR data of fish oils: methodology for the confirmation of wild and farmed salmon and their origins [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2007, 387(4): 1499–1510.
- [38] 王彩霞, 王松磊, 贺晓光, 等. 基于可见/近红外高光谱成像技术的牛肉品种鉴别[J]. *食品工业科技*, 2019: 1–12.
- Wang CX, Wang SL, He XG, *et al.* Identification of beef breeds based on the Vis/NIR hyperspectral imaging technique [J]. *Sci Tech Food Ind*, 2019: 1–12.
- [39] Gao J, Li X, Zhu F, *et al.* Application of hyperspectral imaging technology to discriminate different geographical origins of *Jatropha curcas* L. seeds [J]. *Comput Electron Agric*, 2013, 99(6): 186–193.
- [40] 刘瑶, 李梓楠, 吴涛, 等. 基于高光谱图像和邻域粗糙集理论的大豆品种识别算法及其综合性能评估[J]. *大豆科学*, 2018, 37(4): 596–605.
- Liu Y, Li ZN, Wu T, *et al.* A soybean variety identification algorithm based on hyperspectral image and neighborhood roughset theory and its comprehensive performance evaluation [J]. *Soybean Sci*, 2018, 37(4): 596–605.
- [41] 汤丽华, 刘敦华. 基于近红外光谱技术的枸杞产地溯源研究[J]. *食品科学*, 2011, 32(22): 175–178.
- Tang LH, Liu DH. Tracing the geographic origin of Chinese wolfberry by near infrared spectroscopy [J]. *Food Sci*, 2011, 32(22): 175–178.
- [42] 王靖, 丁佳兴, 郭中华, 等. 基于近红外高光谱成像技术的宁夏羊肉产地鉴别[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(2): 250–254.
- Wang J, Ding JX, Guo ZH, *et al.* Identification of geographical origins of mutton in Ningxia based on the near infrared hyperspectral [J]. *Sci Tech Food Ind*, 2018, 39(2): 250–254.
- [43] Sun J, Lu X, Mao H, *et al.* A method for rapid identification of rice origin by hyperspectral imaging technology [J]. *J Food Process Eng*, 2017, 40(1): 12297.
- [44] Mannino G, Gentile C, Maffei ME. Chemical partitioning and DNA fingerprinting of some pistachio (*Pistaciavera* L.) varieties of different geographical origin [J]. *Phytochemistry*, 2019, 160: 40–47.
- [45] Cao YC, Jin R, Mirkin CA. Nanoparticles with Raman spectroscopic fingerprints for DNA and RNA detection [J]. *Science (New York, N.Y.)*, 2002, 297(5586): 1536–1540.
- [46] Galimberti A, De-Mattia F, Losa A, *et al.* DNA barcoding as a new tool for food traceability [J]. *Food Res Int*, 2013, 50(1): 55–63.
- [47] Raieta K, Muccillo L, Colantuoni V. A novel reliable method of DNA extraction from olive oil suitable for molecular traceability [J]. *Food Chem*, 2015, 172: 596–602.
- [48] Turci M, Sardaro M LS, Visioli G, *et al.* Evaluation of DNA extraction procedures for traceability of various tomato products [J]. *Food Control*, 2010, 21(2): 143–149.
- [49] Marquez C, Isabel LM, Ruisanchez I, *et al.* FT-Raman and NIR spectroscopy data fusion strategy for multivariate qualitative analysis of food fraud [J]. *Talanta*, 2016, 161: 80–86.
- [50] Achata EM, Esquerre C, Gowen AA, *et al.* Feasibility of near infrared and Raman hyperspectral imaging combined with multivariate analysis to assess binary mixtures of food powders [J]. *Powder Technol*, 2018, 336: 555–566.
- [51] Wang J, Shi Y, Zhang Q, *et al.* Geographical origin discriminant of Longjing tea based on mineral element fingerprints [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2017, 31(3): 547–558.
- [52] 张钰, 李杰庆, 李涛, 等. 不同部位矿质元素与红外光谱数据融合对美味牛肝菌产地溯源研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(10): 88–94.
- Zhang Y, Li JQ, Li T, *et al.* Discrimination of geographical origins of boletus edulis using data fusion combined mineral elements [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2018, 38(10): 88–94.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



卢诗扬, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品产地溯源。

E-mail: shishisans@163.com



朱 诚, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全、农产品产地溯源。

E-mail: pzchc@cjlu.edu.cn