

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

王世成, 李国琛, 王颜红*, 李 波, 孙 辞, 崔杰华

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

摘 要: 南果梨果实品质极优, 特别是经过后熟产生的酒香, 是辽宁省名优水果。作为一种地理标志产品, 南果梨产地溯源研究较少。目前对南果梨的元素含量、香气成分、糖酸比例等营养成分的研究主要是基于其采摘、加工和贮藏的目的。本文总结了近年来元素组成、有机成分及稳定同位素技术在水果类农产品产地源领域的基本原理和应用现状; 提出了将元素指纹、化学指纹、同位素指纹分析结合, 借助多元判别分析筛选指示性强的指标组合, 可提高对地域相近或品种相似的产品判别精度, 是未来产地溯源技术的发展方向。同时总结了南果梨有机和无机成分的研究实例, 重点分析了品质指标与地理环境、成熟度的相关性, 探讨各类技术在南果梨产地溯源中的应用前景, 从而为鞍山南果梨的原产地保护提供有效的技术手段。

关键词: 南果梨; 果品; 产地溯源; 无机元素; 有机成分; 同位素比例质谱

Research progress on origin traceability technology of fruits and application prospects of origin traceability of Nanguo pear

WANG Shi-Cheng, LI Guo-Chen, WANG Yan-Hong*, LI Bo, SUN Ci, CUI Jie-Hua

(Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

ABSTRACT: 'Nanguo' pear is a famous fruit in Liaoning province because of its good quality, especially the unique aroma in the after-ripening process. Although 'Nanguo' pear is the product of geographical indication, the traceability of its geographical origins is seldom studied. Most researches focused on the composition of the elements, flavor and aroma, proportions of sugar and acids, for the purpose of optimizing harvesting, processing and storage. This review summarized the primary principles and applications of elemental, chemical, and isotopic fingerprints for tracing the geographical origins of fruits. The combination of the three fingerprints with multivariate analysis was highly suggested as the trend for developing traceability technology, given that it can improve the accuracy of the model via selecting a set of crucial indicators. Several studies on the composition of elements and organic components in 'Nanguo' pear especially on their correlation with environment and maturity were also concluded, with the emphasis on illustrating the possibility of applying these methods to protect 'Nanguo' pear, in order to supply a new technical means for protection of place of origin of 'Nanguo' pear.

KEY WORDS: 'Nanguo' pear; fruit; geographical origin traceability; inorganic element; organic component;

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0401201)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFD0401201)

*通讯作者: 王颜红, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为农产品安全与环境质量。E-mail: wangyh@iae.ac.cn

*Corresponding author: WANG Yan-Hong, Professor, Master Supervisor, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China. E-mail: wangyh@iae.ac.cn

isotope ratio mass spectrometry

1 前言

“南果梨”是从秋子梨系统中筛选出来的优良地方品种,起源于辽宁省鞍山市千山区大孤山镇对桩石村。原始祖树为自然杂交实生单株,该树于清朝光绪年间被发现,距离现在已经有130多年的历史。1987年千山区政府为原始祖树立碑^[1]。因其作为北方的水果而具有南方水果的香味,故名“南果”。

南果梨是辽宁省的名优水果,果实品质极优,特别是经过后熟所散发出的浓郁而纯正的特有酒香气味,是不可多得的能与新疆库尔勒香梨、山西贡梨以及原产于日本的水晶梨等珍品梨相媲美的稀有梨种。由于南果梨对其生长环境要求特殊,适种区域不是很广泛,只在我国的东三省、内蒙古自治区和河北省北部有一定量的栽培。鞍山地区的温度、昼夜温差、海拔高度,尤其是土壤pH值、有机质、元素组成等独特的环境条件,决定了鞍山地区的南果梨具有独特的风味品质^[2],其他地区的风味品质远不及鞍山地区,80%以上的南果梨产量集中在中国辽宁省的鞍山地区。2005年2月4日,国家质检总局正式批准对鞍山南果梨实施地理标志产品保护。

为保护地区名优特产品,进一步发挥地区资源优势,不仅需要地理标志认证等行政保护手段,更需要“内部标签”,以精准判别外观和包装相似但来源不同的南果梨。本文首先回顾了近年来果品产地溯源主要技术的原理及其应用现状,总结了南果梨的成分、品质研究的主要结论,探讨了各类技术在南果梨指纹图谱数据库建立及产地溯源中的应用前景,旨在为指纹图谱分析技术应用于南果梨产地溯源提出理论依据。

2 水果类产品产地溯源技术应用现状

2.1 元素指纹图谱分析及应用现状

农产品中无机元素的含量和组成与农田土壤、灌溉用水、肥料中元素的含量密切相关^[3]。其理论依据是,动物组织的元素组成在一定程度上反映了所摄入的植物饲料,而植物的元素组成又反映了土壤中的生物可利用和可流动性营养物质组成。由于微量元素的可利用性取决于土壤pH、湿度、多孔性等土壤参数,从而使得动植物产品的元素组成可以作为特有的指标,可以表征其产地来源^[4]。不同的产地环境“遗传”信息不同,导致同一种植物源性产品表现出具有各自地域特点的独特元素指纹图谱^[5]。该技术的主要特点是通过化学计量学手段找到与地域密切相关的特征元素,通过单一指标的定性或定量表征或多个指标的多元线性回归模型,判断农产品产地来源。目前,无机元

素指纹图谱分析技术已在小麦^[6]、大米^[7,8]、葡萄^[9]等植物源性农产品溯源中得到了广泛的应用,并取得了一定的效果。在水果相关的溯源应用方面,Yan等^[10]针对中国4个不同产地的柚子,采用线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)的化学计量学方法,对柚子中8种元素含量数据进行降维建模处理后,产地来源判别正确率达到91.3%。黄小龙等^[11]借助电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)对3种地理标志苹果中的20种元素进行系统研究,发现不同产地的地理标志苹果所含的Mo、Rb、Zn、B、Ti、Cu、Ga、Ba等元素的种类和含量有较显著的差异。Hidalgo等^[12]采用LDA方法比较了不同产地的佛手瓜品种的无机元素指纹特征,以筛选的Ca、Ba、Cu、Mn、Na、Sr和Zn等矿物元素含量为自变量,实现了不同产地佛手瓜的区分,判别精度达到90%。目前尚未有不同产地的南果梨元素含量是否有差异的研究报道。曹煜昊^[13]研究了南果梨原产地的生态地质场(气候、地质、土性及地貌等)特征,确定了影响南果梨品质的最主要靶标元素为Mg、Fe、Mn,其次为Ga、V、Co、P等元素,并确定了优质种植区靶标元素的最佳含量范围。

2.2 同位素指纹图谱分析技术及应用现状

自然界中,生物体不断与外界环境进行物理、化学、生物化学过程,发生着广泛的物质交换,例如蒸发和冷凝、结晶和溶化、吸收和解吸、扩散和热扩散等,这些过程都会导致同位素自然分馏。分馏的结果实际上就是生物体所处环境的“自然指纹”,据此可判断生物体的生长环境并对其进行溯源^[4,14]。研究表明,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,这种特征反映了生物体所处的地理环境信息(气候、环境、生物代谢类型等)^[15],因而是生物体本身固有的属性,且基本不随着生产加工过程改变,因而可被用于判断生物体的产地来源。稳定性同位素指纹图谱分析技术被认为是目前最有效的产地判别技术手段之一^[16]。国外自20世纪70年代就将同位素技术用于农产品掺假和产地溯源的研究^[17,18]。然而,稳定性同位素技术对检测设备要求比较高,实验室一次性投入比较大。早期稳定同位素比例质谱仪只在国内少数实验室配备,近几年随着国家投入的增加,已逐渐在高校和科研院所普及。目前,同位素指纹图谱分析技术已在蜂蜜^[19,20]、葡萄酒^[21]、稻米^[22,23]、中药材^[24,25]等植物源性农产品溯源和真伪鉴别中得到了广泛的应用。在水果及果汁产地溯源研究方面,多个学者开展了橙汁产地的同位素溯源研究^[26-28],Mimmo等^[29]比较了不同地区、不同品种苹果的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 同位素比值,发现地域对苹果同位素组

成的影响大于品种,同位素比值可区分产地相距仅几百公里内的苹果。将色谱技术与同位素比例质谱技术联用,可获得产品中某一特定成分的同位素比值,从而提高判别精度。这一技术已经在柠檬汁^[30]、仙人掌^[31]、桔橙汁^[32]等植物源产品的真实性判定中得到应用。Schipilliti 等^[33]采用GC-IRMS建立了意大利某地橙子精油7个有机成分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值真值范围,以此作为评价风味产品真实性的参照,证明4个橙汁商品均额外添加了可以增强橙汁风味的醛类成分(癸醛和香叶醛)。Lee 等^[34]研究美国等4个国家的苹果榨汁发现,苹果汁 $\delta^{13}\text{C}$ 没有明显区别,但果汁中糖类组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 略高,非挥发酸和酚类物质 $\delta^{13}\text{C}$ 低于果汁。Kahle 等^[35]提取了梨果实、梨制品中的癸二烯酸乙酯等7种香味成分,与这7种物质的合成对照品、天然提取对照品比较,证明香味成分的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^2\text{H}$ 值可以用于鉴别梨提取物和合成物质。上述结果说明,水果中特定成分的同位素组成特征更有利于区别不同来源样品。南果梨相关的同位素研究还未见有报道。

2.3 有机成分指纹图谱分析技术及应用现状

动植物的种类、基因型、地理环境(如光照、降雨、海拔等)、种植/养殖模式等均会影响动物源/植物源食品的化学成分含量,因此化学指纹也可以反映不同地域产品的差异^[36,37]。鉴于化学成分分析在溯源鉴别中的作用,国外于20世纪70~80年代就将有机成分指纹图谱技术用于葡萄及葡萄酒的产地溯源研究^[38],我国自20世纪90年代才开展该技术研究,并首先用于中药的质量控制^[39],例如五味子中的五味子素、人参中的皂苷成分以及脂肪酸、碳水化合物、香气成分等共有成分,受产地特殊的气候地理条件影响而呈现地区间差异。有机成分指纹差异已被用于葡萄酒^[40]、猕猴桃^[41]、橙汁^[42]、芸豆^[43]等植物源性产品的产地溯源研究。有机成分种类多,筛选指示性强的有效成分是溯源技术的关键。一般情况下,应根据产品特点选择特有成分或与环境条件关系密切的成分。

目前有关南果梨有机成分研究主要集中在挥发性成分、脂肪酸、糖分等。陈计密等^[44]采用固相微萃取-气相色谱-质谱法(solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS),对丰水梨、砀山梨、南果梨的挥发性成分进行了分析,分别分离出52、27、67种成分,这3种梨共有的主要成分为乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、己醛、棕榈酸异丙酯等等,其他醛类等物质也有不同程度的检出。卜庆状等^[45]研究发现,采后未熟南果梨果实中仅能检测到4种香气成分,果实自然成熟至最佳风味期5时香气成分增加至16种(酯类物质占7%),后熟衰老期香气成分种类又逐渐减少。冷藏对乙酸乙酯、己酸乙酯和丁酸乙酯3种香气成分的影响较大。

张博等^[46]研究发现南果梨籽含14种脂肪酸,果皮含

4种脂肪酸,果肉含3种脂肪酸,南果梨的不饱和脂肪酸以亚油酸、油酸为主。于年文等^[47]比较了5个主要南果梨产区的南果梨果实糖分,证明其糖分组成以果糖为主,占总糖的50%以上,不同产地南果梨果实总糖、可滴定酸、Vc及糖组分含量差异较大,阜新地区南果梨总糖及果糖含量最高,海城地区南果梨总糖及果糖含量最低。上述研究分析了南果梨的主要有机成分,初步证明了南果梨糖分的地域差异,但均未开展不同产地的鉴别技术研究。

2.4 无机、有机、同位素指纹图谱相结合的研究现状

对于地域相近、品种相似的产品,单一技术往往很难有效区分地理来源,因而需要增加指标数量建立多元判别模型。大量研究证实,微量元素和化学成分含量分析与同位素指纹分析相结合,可以更加完整地反映动植物食品的种类、区域气候、产地环境、农业耕种条件等差异,因而能更为有效区分食品的来源^[4],可显著提高产地溯源的判别水平。Di Paola-Naranjo^[48]等将Mg、K、Rb、Ca、Sr等无机元素、酚类化合物指纹以及Sr、C同位素比值相结合,分析了红酒的葡萄原料与产地土壤的相关性,证明了采用多指纹结合可更精确鉴别葡萄的产地和品种。Perez 等^[49]将元素成分谱与C、N同位素比例质谱技术结合用于3种水果(草莓、蓝莓以及梨)的产地判别,正确率达到70%~100%。Day 等^[50]在采用氢氧同位素溯源葡萄汁产地的基础上,增加了Zn、Ca、Sr、Mg等元素指标,将模型的准确率由之前的78%提高到89%。

3 南果梨产地溯源技术展望

优良的果品除与作物品种有关外,其特殊地域环境是其优良品质的形成主要因素之一。鞍山南果梨作为一种特色作物,其生长地域性的形成与发展除了其自身内在的遗传基因以外,也与当地的土壤、气候、地质背景等生态因子和地理环境因子密切相关。已有研究确定了南果梨中优质靶标元素^[14],初步证明不同产地南果梨糖分存在差异^[47],这就为元素指纹、有机指纹图谱用于南果梨产地溯源提供了依据。此外,C、N、H、O以及Sr等的同位素指纹与土壤、水、气候等因素密切相关,通过测南果梨特征组分的同位素组成可以获得南果梨主产区的同位素指纹图谱,借此区分原产地与其他产地。

南果梨作为地域性较强的产品,主产区位于辽宁省鞍山、辽阳地区,南到河北北至黑龙江。分布的地理范围比较窄,产地溯源技术要求更高。这就需要多种溯源技术相结合,提高溯源的预测精度。

4 结 论

综上所述,元素指纹分析、有机成分分析、同位素指

纹分析均可以用于水果的产地溯源和品质鉴别。随着引种栽培的扩大化,对于地域相近、品种相似的产品,需要将元素指纹分析、化学成分分析与同位素指纹分析结合,以全面反映种类、区域气候、产地环境、农业耕种条件等造成的差异,借助多元判别分析筛选指示性指标,判定能力更高的溯源模型。该方法可以用于南果梨产地溯源,为鞍山南果梨的原产地保护提供除地理标志之外的技术保护手段。

参考文献

- [1] 王斌, 齐宝利, 葛丰, 等. ‘南果梨’起源、发展与选优的必要性[J]. 北方果树, 2011, (3): 54–55.
Wang B, Qi BL, Ge F, *et al.* Origin, development and the necessity of optimization of ‘Nanguo’ pear [J]. Northern Fruits, 2011, (3): 54–55.
- [2] 沈洋, 韩晓日, 杨晓波, 等. 辽宁南果梨品质与土壤营养元素关系研究[J]. 农业科技与装备, 2009, 184(4): 15–18.
Shen Y, Han XR, Rang XB, *et al.* Studies on the quality of Nanguo pear and the nutrient elements of soil in Liaoning [J]. Agric Sci Technol Equip, 2009, 184(4): 15–18.
- [3] 宋九华, 陈兴福, 唐琼, 等. 秦艽药材及其生长土壤中无机元素含量特征及相关性分析[J]. 广西植物, 2016, 36(9): 1101–1106.
Song JH, Chen XF, Tang Q, *et al.* Distribution characteristics and correlation analysis of inorganic elements in *Gentiana crassicaulis* and in growing soil [J]. Guihaia, 2016, 36(9): 1101–1106.
- [4] Kelly S, Heaton K, Hoogewerff J. Tracing the geographical origin of food: the application of multi-element and multi-isotope analysis [J]. Trends Food Sci Tech, 2005, 16: 555–567.
- [5] 王升, 赵曼茜, 郭兰萍, 等. 不同产地黄芩中无机元素含量及其与根际土壤无机元素的关系[J]. 生态学报, 2014, 34(16): 4734–4745.
Wang S, Zhao MQ, Guo LP, *et al.* The contents of inorganic elements of *Scutellaria baicalensis* from different origins and its relationship with inorganic elements in relevant rhizosphere soil [J]. Acta Ecol Sin, 2014, 34(16): 4734–4745.
- [6] 赵海燕, 郭波莉, 魏益民, 等. 小麦产地矿物元素指纹溯源的稳定性分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(18): 3817–3823.
Zhao HY, Guo BL, Wei YM, *et al.* The stability analysis of wheat mineral elements of origin traceability fingerprint [J]. Sci Agric Sin, 2010, 43(18): 3817–3823.
- [7] 宋春蕾, 钱丽丽, 吕海峰, 等. 加工精度对大米矿物元素指纹信息影响研究[J]. 中国粮油学报, 2016, (5): 6–10.
Song CL, Qian LL, Lv HF, *et al.* Effects of processing precision on the mineral elements fingerprint information in rice [J]. J Chin Cere Oils Ass, 2016, (5): 6–10.
- [8] 张玥. 吉林省大米产地溯源分析的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
Zhang Y. Study on the rice traceability analysis of Jilin province [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2015.
- [9] 张强, 陈秋生, 刘烨焯, 等. 茶淀玫瑰香葡萄 ICP-MS 多元素分析法的建立[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2012, (5): 22–25.
Zhang Q, Chen QS, Liu YT, *et al.* Method establishment of multi-element analysis based on origin traceability of Chadian “Muscat Hamburg” grape [J]. Sino-Overseas Grapevine Wine, 2012, (5): 22–25.
- [10] Yan J, Liu J, Xiong Y, *et al.* Identification of the geographical origins of pomelos using multielement fingerprinting [J]. J Food Sci, 2015, 80(2): C228–C233.
- [11] 黄小龙, 何小青, 张念, 等. ICP-MS 法测定多种微量元素用于地理标志产品苹果的鉴定[J]. 食品科学, 2010, 31(8): 171–173.
Huang XL, He XQ, Zhang N, *et al.* ICP-MS analysis of trace elements in apples for identification of geographical origin [J]. Food Sci, 2010, 31(8): 171–173.
- [12] Hidalgo MJ, Fechner DC, Marchevsky EJ, *et al.* Determining the geographical origin of *Sechium edule* fruits by multielement analysis and advanced chemometric techniques [J]. Food Chem, 2016, 210: 228–234.
- [13] 曹煜昊. 优质南果梨与原产地生态地质场的相关性研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2013.
Cao YH. Research on correlation between high-quality Nanguo pear and economical-geological field of origin [D]. Shenyang: Northeastern University, 2013.
- [14] 项锦欣. 有机食品稳定同位素溯源技术研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 345–348.
Xiang JX. A review of the application of stable isotope technology to traceability of organic foods [J]. Food Sci, 2014, 35(15): 345–348.
- [15] 郭波莉, 魏益民, 潘家荣. 同位素指纹分析技术在食品产地溯源中的应用进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 284–289.
Guo BL, Wei YM, Pan JR. Progress in the application of isotopic fingerprint analysis to food origin traceability [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2007, 23(3): 284–289.
- [16] Luykx DMAM, Ruth SMV. An overview of analytical methods for determining the geographical origin of food products [J]. Food Chem, 2008, (107): 897–911.
- [17] White JW, Doner LW. Mass spectrometric detection of high - fructose corn syrup in honey by use of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio: collaborative study [J]. J AOAC, 1978, (61): 746–750.
- [18] Doner LW, Kreuger HW, Reesman RH. Isotopic composition of carbon in apple juice [J]. J Agric Food Chem, 1980, 28(2): 362–364.
- [19] 陈辉. 基于微量元素和稳定同位素比值的蜂蜜检测与溯源技术研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2014.
Chen H. Determination of trace elements composition and stable-isotope ratio of honey and their classification [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2014.
- [20] 陈辉, 范春林, 常巧英, 等. 多元素组成和稳定同位素比值在蜂蜜溯源研究中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 375–380.
Chen H, Fan CL, Chang QY, *et al.* Research progress in multi-element composition and stable-isotope ratio in tracing origin of honey [J]. Sci Tech Food Ind, 2013, 34(22): 375–380.
- [21] 吴浩, 谢丽琪, 靳保辉, 等. 气相色谱-燃烧-同位素比率质谱法测定葡萄酒中 5 种挥发性组分的碳同位素比值及其在产地溯源中的应用[J]. 分析化学, 2015, (03): 344–349.
Wu H, Xie LQ, Jin BH, *et al.* Gas chromatography-combustion-isotope ratio mass spectrometry for determination of five volatile components in wine and its application in geographical origin traceability [J]. Chin J Anal

- Chem, 2015, (03): 344–349.
- [22] 邵圣枝, 陈元林, 张永志, 等. 稻米中同位素与多元素特征及其产地溯源 PCA-LDA 判别[J]. 核农学报, 2015, (1): 119–127.
- Shao SZ, Chen YL, Zhang YZ, *et al.* Determination of the geographic origin of rice by PCA-LDA based on the stable isotopes and multi-elements concentrations [J]. J Nucl Agric Sci, 2015, (1): 119–127.
- [23] Korenaga T. Traceability studies for analyzing the geographical origin of rice by Isotope ratio mass spectrometry [J]. Bunseki Kagaku, 2014, 63(3): 233–244.
- [24] 窦德强, 刘杨楠, 王世成, 等. 药用植物牛蒡稳定碳同位素组成与环境因子以及牛蒡子质量之间的关系[J]. 辽宁中医杂志, 2011, (1): 4–6.
- Dou DQ, Liu YN, Wang SC, *et al.* The relationships between the stable carbon isotope ratios of *Arctium Lappa* and their environmental factors and quality factors [J]. Liaoning J Tradit Chin Med, 2011, (1): 4–6.
- [25] Li GC, Wu ZJ, Wang YH, *et al.* Identification of geographical origins of *Schisandra* fruits in China based on stable carbon isotope ratio analysis [J]. Eur Food Res Technol, 2011, 232(5): 797–802.
- [26] Simpkins WA, Patel G, Harrison M, *et al.* Stable carbon isotope ratio analysis of Australian orange juices [J]. Food Chem, 2000, 70: 385–390.
- [27] 徐生坚, 李鑫, 陈小珍, 等. 氢和氧稳定同位素比率在橙汁掺假溯源鉴别中的应用初探[J]. 食品工业, 2014, (6): 175–178.
- Xu SJ, Li X, Chen XZ, *et al.* Preliminary application of hydrogen and oxygen stable isotope ratios in the orange juice adulteration traceable identification [J]. Food Ind, 2014, (6): 175–178.
- [28] Bontempo L, Caruso R, Fiorillo M, *et al.* Stable isotope ratios of H, C, N and O in Italian citrus juices [J]. J Mass Spectr, 2014, 49(9): 785–791.
- [29] Mimmo T, Camin F, Bontempo L, *et al.* Traceability of different apple varieties by multivariate analysis of isotope ratio mass spectrometry data [J]. Rapid Commun Mass Spectr, 2015, 29(21): 1984–1990.
- [30] Guyon F, Auberger P, Gaillard L, *et al.* $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios of organic acids, glucose and fructose determined by HPLC-co-IRMS for lemon juices authenticity [J]. Food Chem, 2014, 146: 36–40.
- [31] Weckerle B, Bastl-Borrmann R, Richling E, *et al.* Cactus pear (*Opuntia ficusindica*) flavour constituents-chiral evaluation (MDGC-MS) and isotope ratio (HRGC-IRMS) analysis[J]. Flavour Frag J, 2001, 16(5): 360–363.
- [32] 祝伟霞, 杨冀州, 杨娜, 等. 液相色谱-同位素比值质谱法研究桔橙汁中柠檬酸碳同位素比值[J]. 分析试验室, 2014, 33(12): 1402–1407.
- Zhu WX, Yang JZ, Yang N, *et al.* Study on carbon isotope ratios of citric acid in orange juice by liquid chromatography-isotope ratio mass spectrometry [J]. Chin J Anal Lab, 2014, 33(12): 1402–1407.
- [33] Schipilliti L, Bonaccorsi I, Cotroneo A, *et al.* Carbon isotope ratios of selected volatiles in *Citrus sinensis* and in orange-flavoured food [J]. J Sci Food Agric, 2015, 95(14): 2944–2950.
- [34] Lee HS, Wrolstad RE. Stable isotopic carbon composition of apples and their subfraction juice, seeds, sugars, and nonvolatile acid [J]. J AOAC, 1988, 71(4): 795–797.
- [35] Kahle K, Preston C, Richling E, *et al.* On-line gas chromatography combustion/pyrolysis isotope ratio mass spectrometry (HRGC-C/P-IRMS) of major volatiles from pear fruit (*Pyrus communis*) and pear products [J]. Food Chem, 2005, 91(3): 449–455.
- [36] 王颜红, 李国琛, 张红, 等. 食品产地溯源技术研究进展[J]. 农产品质量与安全, 2012, 增刊: 41–45.
- Wang YH, Li GC, Zhang H, *et al.* The research progress of food origin traceability technology [J]. Qual Saf Agro-Prod, 2012, supplement: 41–45.
- [37] 何碧珠, 邹双全, 刘江枫, 等. 光照强度与栽培模式对金线莲生长及品质影响[J]. 中国现代中药, 2015, 17(12): 1292–1295.
- He BZ, Zhou SQ, Liu JF, *et al.* Effects of light intensity and cultivation mode on growth and quality of *Anoectochilus roxburghii* [J]. Mod Chin Med, 2015, 17(12): 1292–1295.
- [38] Forina E, Armanino C, Castino M. Multivariate data analysis as a discriminating method of the origin of wines [J]. Vitis, 1986, (25): 189–201.
- [39] 吴忠, 苏薇薇, 元四辉, 等. 十年来中药质量的化学模式识别研究[J]. 中药材, 1999, 22(12): 655–659.
- Wu Z, Su WW, Yuan SH, *et al.* Chemical pattern recognition research of traditional Chinese medicine quality last ten years [J]. J Chin Med Mater, 1999, 22(12): 655–659.
- [40] 林立毅, 徐敦明, 沈晓晔, 等. 液相色谱-四级杆飞行时间串联质谱对法国波尔多地区葡萄酒产地溯源研究初探[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(9): 2649–2656.
- Lin LY, Xu DM, Shen XY, *et al.* Traceability of the wine in Bordeaux region from France based on liquid chromatography-quadrupole-time of flight tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(9): 2649–2656.
- [41] 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 Sin, 2013, 46(18): 3864–3870.
- [42] Moulya PP, Gaydoub EM, Corsetti J. Determination of the geographical origin of valencia orange juice using carotenoid liquid chromatographic profiles [J]. J Chromatogr A, 1999, (844): 149–159.
- [43] 张桂芳, 李平惠, 王颖, 等. 基于营养成分指纹图谱技术的芸豆产地溯源研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2015, (6): 38–40, 64.
- Zhang GF, Li PH, Wang Y, *et al.* Research on tracing origin of kidney bean based on nutrients fingerprints [J]. J Heilongjiang Bayi Agric Univ, 2015, (6): 38–40, 64.
- [44] 陈计蛮, 周珊, 闫师杰, 等. 丰水梨、砀山梨、南果梨的香气成分分析[J]. 园艺学报, 2015, (02): 301–303.
- Chen JR, Zhou S, Yan SJ, *et al.* Analysis of aroma components of Fengshui, Dangshan and Nanguoppear by SPME/GC/MS [J]. Acta Horti Sin, 2015, (02): 301–303.
- [45] 卜庆状, 纪淑娟, 李江阔, 等. 冷藏后南果梨常温后熟期香气成分变化[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 273–276.
- Bu QZ, Ji SJ, Li JK, *et al.* Changes in aroma components of cold-stored Nanguo pears during postharvest at room temperature [J]. Food Sci, 2013, 34(2): 273–276.
- [46] 张博, 冯帆, 辛广, 等. 南果梨果实各部位脂肪酸组成 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 410–412.
- Zhang B, Feng F, Xin G, *et al.* Analysis of fatty acids in different parts from Nanguolipear fruits by GC-MS [J]. Food Sci, 2010, 31(20):

410–412.

- [47] 于年文, 李俊才, 王家珍, 等. 不同产地南果梨果实品质比较[J]. 北方园艺, 2009, (12): 86–87.

Yu NW, Li JC, Wang JZ, *et al.* Nanguofruit quality comparisons produced at different growing areas [J]. North Hortic, 2009, (12): 86–87.

- [48] Di Paola-Naranjo RD, Baroni MV, Podio NS, *et al.* Fingerprints for main varieties of argentinean wines: terroir differentiation by inorganic, organic, and stable isotopic analyses coupled to chemometrics [J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(14): 7854–7865.

- [49] Perez AL, Smith BW, Anderson KA. Stable isotope and trace element profiling combined with classification models to differentiate geographic growing origin for three fruits: effects of subregion and variety [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54: 4506–4516.

- [50] Day MP, Zhang BL, Martin GJ. The use of trace element data to complement stable isotope methods in the characterization of grape musts

[J]. AM J Enol Viticult, 1994, (5): 79–85.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



王世成, 研究员级高工, 主要研究方向为农产品质量安全检测技术。

E-mail: wangsc@iae.ac.cn



王颜红, 研究员, 主要研究方向为农产品安全与环境质量。

E-mail: wangyh@iae.ac.cn