

基于近红外光谱技术的农产品产地溯源研究进展

张 勇^{1,2}, 王 督^{1,3}, 李 雪^{1,4}, 张良晓^{1,3,4*}, 张 文^{1,3},
丁小霞^{1,4}, 张 奇^{1,5}, 李培武^{1,3,4,5*}

(1. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062; 2. 农业农村部油料作物生物学与遗传改良重点实验室, 武汉 430062; 3. 农业农村部油料及制品质量监督检验测试中心, 武汉 430062; 4. 农业农村部油料产品质量安全风险实验室(武汉), 武汉 430062; 5. 农业农村部生物毒素检测重点实验室, 武汉 430062)

摘 要: 农产品产地溯源的目的是保证农产品的真实性, 为地理标志产品、地区特征性产品产地真伪鉴别提供关键技术。近红外光谱是一种新兴的检测技术, 因操作简单、绿色、高效、快速等特点, 被广泛应用于农产品产地溯源研究中。本文介绍了近红外光谱分析技术的原理和特点, 综述了基于近红外光谱技术的谷物、油料产品、水果等主要农产品产地溯源的研究进展, 分析了现有技术存在的问题, 并对今后农产品产地溯源的研究进行了展望, 以期在近红外光谱技术在农产品产地溯源的进一步应用提供参考。

关键词: 近红外光谱; 产地溯源; 农产品; 研究进展

Research progress of near infrared spectroscopy based geographical origin traceability of agricultural products

ZHANG Yong^{1,2}, WANG Du^{1,3}, LI Xue^{1,4}, ZHANG Liang-Xiao^{1,3,4*}, ZHANG Wen^{1,3},
DING Xiao-Xia^{1,4}, ZHANG Qi^{1,5}, LI Pei-Wu^{1,3,4,5*}

(1. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Wuhan 430062, China;
2. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China; 3. Quality Inspection and Test Center for Oilseeds Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China; 4. Laboratory of Risk Assessment for Oilseeds Products (Wuhan), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China; 5. Key laboratory of Detection for Mycotoxins, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China)

ABSTRACT: Geographical origin traceability of agricultural products is important technology to ensure the authenticity of agricultural products, which provides technical and theoretical basis for the traceability of geographical products and regional characteristic products. Near infrared (NIR) is widely used in geographical origin

基金项目: 国家重点研发计划专项(2017YFC1601700)、国家自然科学基金面上项目(31871886)、国家农产品质量安全风险评估重大项目(GJFP2018001, GJFP2018015-04)、国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-12)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Project of China (2017YFC1601700), the National Natural Science Foundation of China (31871886), the National Key Project for Agro-Product Quality & Safety Risk Assessment (GJFP2018001, GJFP2018015-04) and the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-12)

***通讯作者:** 张良晓, 博士, 副研究员, 主要研究方向为油料产品特异品质检测与真实性鉴别。E-mail: zhanglx@caas.cn

李培武, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品、农产品质量与食品安全标准与检测技术研究。E-mail: peiwuli@oilcrops.cn

***Corresponding author:** ZHANG Liang-Xiao, Ph.D, Associate Professor, Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.2 Xudong 2nd Road, Wuchang District, Wuhan 430062, China. E-mail: zhanglx@caas.cn

LI Pei-Wu, Ph.D, Professor, Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.2 Xudong 2nd Road, Wuchang District, Wuhan 430062, China. E-mail: peiwuli@oilcrops.cn

traceability of agricultural products due to its characteristics of simplicity, green, high efficiency and accuracy. This paper briefly summarized the principle and characteristics of NIR spectroscopy technology, and enumerated its current situation in researches on geographical origin traceability of agricultural products including fruits, grain and edible oils, and pointed out the corresponding problems and prospects in the future research on NIR based geographical origin traceability of agricultural products, in order to provide references for the further application of near infrared spectroscopy in the origin traceability of agricultural products.

KEY WORDS: near infrared spectroscopy; geographical origin traceability; agricultural products; progress

1 引言

近年来,食品质量安全问题时有发生,国内的苏丹红事件、瘦肉精事件和“三鹿奶粉”事件,日本“毒泡菜事件”、欧洲“马肉事件”,严重侵犯了消费者合法权益,威胁了人类身体健康甚至生命安全^[1]。为此,世界各国都要求对食品“从农田到餐桌”全过程进行严密追溯和监控^[2],发展农产品产地溯源技术以保护农产品产地、保护区域特色产品、打击假冒伪劣等违法行为,提高生产者积极性、维护消费者合法权利,保护产业健康发展^[3]。

目前,农产品产地溯源技术主要分为3类:物理学分析方法、化学分析技术和生物分析技术。农产品产地溯源主要使用稳定同位素、矿物元素指纹分析、分子光谱、DNA图谱、电子鼻等检测技术^[4]。近年来,近红外光谱分析技术因其方便、快速、高效、无污染、样品无需前处理等优点,在品质检测、食品真实性鉴别与产地溯源等领域得到广泛应用。本文介绍了近红外光谱分析技术的原理和特点,综述了基于近红外光谱分析技术的谷物、油类、水果等主要农产品产地溯源研究进展,分析了现有技术存在的问题和对今后农产品产地溯源的研究展望,以期推动近红外光谱分析技术在农产品产地溯源中广泛的应用。

2 近红外光谱分析技术的原理和特点

2.1 近红外光谱分析技术的原理

近红外光是波长在可见光与中红外光间的一段电磁波,美国材料与试验协会(American Society for Testing and Materials)将其波长范围定为780~2526 nm^[5]。有机物分子中含有氢基团(O-H, N-H, C-H, S-H)在近红外光的照射下,氢基团受激发而发生跃迁,近红外光的部分能量被待测物吸收,得到近红外光谱^[6],因此,近红外光谱反映待测样品中有机物的组分和含量的信息。农产品受品种、产地环境、加工方法、运输方式等因素影响,其有机物成分具有显著差异,因此近红外光谱可用于农产品品质检测和食品真实性鉴别与产地溯源。

2.2 近红外光谱分析技术的特点

(1) 检测速度快。近红外光谱分析无需样品前处理,且采集光谱仅需2 min左右,可实现多个指标同步检测。

(2) 操作简单。近红外光谱分析技术操作简单,其主要的分析过程主要包括:近红外光谱采集、数据预处理与农产品产地溯源模型的建立、待测样品的产地预测。模型建立后,未知样品检测仅需近红外光谱采集,待测样品产地可由计算机自动预测。

(3) 重现性好。近红外光谱分析技术的稳定性好,有更好的重现性。

(4) 无需有机试剂,绿色环保。在近红外光谱分析技术分析过程中,不需要化学试剂和复杂的前处理,具有低成本、环保、绿色等优点。

3 常用的化学计量学方法

近红外光谱中所提取的数据为多元和非特异性信号,易受到噪声、信息冗余等因素干扰,因此,需要化学计量学方法筛选光谱数据中的重要信息。化学计量学是一门通过统计学或数学方法将对化学体系的测量值与体系的状态之间建立联系的学科,其结合应用数学、统计学与信息理论、计算机科学的方法和手段,选择最优的测量方法,最有效地获取体系有用的特征数据,并通过解析测量数据最大限度地从中提取有关物质的定性、定量、形态、结构等信息^[7]。在农产品分析研究中,化学计量学方法多用于结合近红外光谱分析技术构建农产品之间的识别模型,在农产品分类、产地溯源以及鉴别掺假等方面应用较广。

目前,近红外光谱分析技术在农产品产地溯源研究常用的化学计量学方法有:主成分分析(principle component analysis, PCA)、偏最小二乘法(partial least square, PLS)、线性判别分析(linear discrimination analysis, LDA)、簇独立软模式分类法(soft independent modeling of class analogy, SIMCA)、K-最邻近法(K nearest neighbor, KNN)、支持向量机(support vector machine, SVM)、分类回归树模型(classification and regression trees, CART)、人工神经网络(artificial neural network, ANN)等^[8-13]。

4 近红外光谱分析技术在农产品产地溯源中的研究现状

4.1 近红外光谱分析技术在水果溯源中的应用

近红外光谱分析技术作为一种快速、无损的检测技术,在农产品产地溯源方面有广泛的应用。苏学素等^[14]通过对来自江西、重庆和湖南 3 个产地脐橙样品 1140~1170 nm 波段的近红外光谱进行一阶导数(9 点平滑)预处理,分别建立了 3 个产区脐橙的产地鉴别模型,结果表明,所建模型对 3 个产地的样品的识别率均为 100%,拒绝率分别为 85.7%、83.3%、100%。庞艳苹等^[15]对来自成安和非成安的 225 个草莓采用因子化法、合格性测试和主成分分析法进行建模分析,结果表明,3 种模式识别方法对于其他产地草莓的识别正确率均高于 93.3%。吴建虎等^[16]利用光谱仪采集了来自山西永和枣、山西板枣和新疆和田枣 3 种干枣的漫反射光谱,并利用多元散射校正法、一阶导数法和二阶导数法对所采集的光谱进行预处理,采用主成分分析和建模分析,结果表明,建立的模型对 3 个产地的枣校正和验证判别准确率都达到 100%。Arana 等^[17]对来自西班牙 Cadreita 和 Villamayor de Monjardin 2 个地区的葡萄利用光谱仪进行扫描,所得光谱结合偏最小二乘法建立模型,结果表明识别准确率分别达到了 97.2%和 79.2%。李敏^[18]采集来自山东和陕西的苹果的光谱数据,然后将其进行降维降噪处理,同时利用 Fisher 判决(Fisher discriminant analysis, FDA)提取特征,最后利用 K-近邻法建立分类识别模型,结果显示,识别准确率达到 97.5%,证明近红外光谱分析技术能鉴别不同产地的苹果。Fu 等^[19]采用傅里叶变换近红外漫反射光谱仪对来自于浙江檀溪和淳安的枇杷进行分析,并结合主成分分析-概率神经网络进行产地鉴别,结果发现其校正集和验证集样品的识别率分别为 97%和 86%,能有效地将 2 个地区的枇杷分开。张鹏等^[20]对来自天津、陕西和北京 3 个产地富士苹果进行了产地鉴别,利用近红外光谱分析技术结合主成分分析、偏最小二乘法建立产地鉴别模型,结果显示校正集的鉴别正确率为 100%,预测集的鉴别正确率为 98.33%。

由此可见,近红外光谱分析技术可用于鉴别水果类的固体样品产地,识别率较高,但为解决试样的空间非均质性造成的结果不准确的问题^[21],在测定同种固体类的样品时应选择外形相似的样品,或进行多点采集光谱取平均值的方法提高预测准确度。

4.2 近红外光谱分析技术在谷物溯源中的应用

谷物主要包括大米和小麦等,是亚洲人的传统主食。近红外光谱分析技术在谷物产地溯源得到了广泛应用。钱丽丽等^[22]利用近红外光谱分析技术结合聚类分析和 PLS 对黑龙江省 3 个地区的地理标志产品大米进行产地溯源

研究。结果表明:运用鉴别分析法和聚类分析法建立的模型对大米产地预测正确率分别为 100%、95.83%、100%;采用 PLS 建立的判别模型的预测正确率分别为 95.83%、100%、95.83%,产地预测正确率达 95%以上,实现了大米产地溯源。宋雪健等^[23]选取来自肇源和肇州 2 个地区的 144 份小米样品,应用近红外漫反射光谱技术结合化学计量学对不同状态的小米进行产地溯源研究,结果表明:采用因子化法和偏最小二乘差建立的模型对 2 个产地的小米的正确鉴别率均在 90%以上。Davrieux 等^[24]采用近红外光谱分析技术对泰国的香味大米和非香味大米,应用 PLS 建立判别模型,结果显示鉴别正确率高达 97.40%。赵海燕等^[25]应用近红外光谱分析仪检测中国 2007/2008 和 2008/2009 2 个年度、4 个省份的 240 份小麦样品,近红外光谱经均值标准化、一阶求导和多元散射校正处理结合偏最小二乘判别分析法,结果显示,4 个地区的小麦籽粒样品总体正确判别率分别为 87.5%、91.7%、48.3%、82.5%。夏立娅等^[26]采集 209 个地理标志产品响水大米和非响水大米的光谱,将其采用一阶导数和平滑处理建立凝聚层次聚类和 Fisher 判别模型(Fisher discriminant analysis, FDA),结果表明,2 种方法的准确率均为 100%,可以正确的区分响水大米和非响水大米。Kim 等^[27]采用近红外光谱分析技术结合 PLS 模式识别方法,对来自韩国的 280 份和其他地区的 220 份大米样品建立模型,鉴别率达到 100%。李勇等^[28]利用傅里叶变换近红外分析仪采集了来自江苏、辽宁、湖北、黑龙江 4 个省份的 169 个大米样品的光谱数据,继而采用主成分分析和线性判别分析方法进行产地溯源分析,结果表明预测集判别 4 个省份的大米产地的准确率在 93.00%以上。

以上案例表明,近红外光谱分析技术在谷物产品产地溯源中应用较多,建立的模型可有效的区分不同产地的谷物产品,仍需进一步深入研究不同产地谷物产品的勾兑掺假鉴别以保证谷物产品真实性。

4.3 近红外光谱分析技术在食用油溯源中的应用

食用油产地溯源主要集中在高价油,例如橄榄油和茶油。Galtier 等^[29]利用近红外光谱数据定量评估了 125 组来源于法国 5 个地区的初榨橄榄油试样中的脂肪酸和三酰甘油,并对样品组建立了 PLS-DA 产地溯源模型,模型预测正确判别率分别为 91%、88%、90%、85%和 83%,结果表明近红外光谱分析技术可识别初榨橄榄油产地。Luna 等^[30]利用近红外光谱分析技术结合多元分类法来鉴别转基因和非转基因大豆油,应用 PCA 提取光谱数据中的相关变量并进行降维降噪处理,然后采用支持向量机判别分析(support vector machine discriminant analysis, SVM-DA)和 PLS-DA 进行分类,结果表明应用 SVM-DA 预测结果正确率分别为 100%和 90%,PLS-DA 预测结果正确率分别为

95%、100%。文韬等^[31]利用近红外光谱仪采集湖南、江西、安徽和浙江 4 个不同产地茶油的光谱数据,结合 Savitzky-Golay 平滑、多元散射校正、一阶导数和矢量归一化等方法进行预处理,同时构建主成分分析-BP(back propagation)神经网络和偏最小二乘-BP 神经网络模型,实验结果表明,2 种模型对未知产地样品正确率均大于 90%,证实该模型可较准确的鉴别茶油的原产地。Bevilacqua 等^[32]将近红外光谱分析与化学计量法结合,对来自于有原产地认证的 Sabina 的 20 组橄榄油样品和其他产地的 37 组样品进行产地溯源,用预处理后的光谱数据建立的 PLS-DA 和 SIMCA 模型,验证模型的识别率均为 100%。Casale 等^[33]运用近红外光谱仪对来自意大利利古里亚区的 195 个橄榄油样品进行分析,结合一系列化学计量方法进行预处理,并初步建立了识别模型,验证结果表明模型的鉴别准确性较高,灵敏度高。

4.4 近红外光谱分析技术在其他产品溯源中的应用

除水果、谷物和食用油外,近红外光谱分析技术也被应用于其他农产品的产地溯源研究。汤丽华等^[34]用近红外光谱仪扫描了来自宁夏、甘肃、青海、内蒙、河北 8 个不同产地 40 种枸杞样品,运用简易分类法模式识别原理分别建立相关模型,结果表明在 950~1650 nm 全光谱波长范围内,光谱经一阶导数和标准化归一变换预处理后,采用 SIMCA 模式识别法可建立稳健的枸杞产地溯源模型,结果显示除青海枸杞外,其他产地枸杞样品均可 100%被正确识别,表明该方法可用于枸杞产地溯源。Ren 等^[35]对来自 7 个不同产茶区的 140 个红茶样品进行近红外光谱扫描,采用因式分解法建立红茶产地判别的识别模型。结果表明,该识别模型的正确判别率高达 94.3%。

除了在植物源农产品溯源方面的应用之外,近红外光谱分析技术在动物源农产品溯源中也得到了应用。史岩等^[36]采集了来自辽宁大连、河北遵化、潍坊坊子、潍坊昌邑、潍坊诸城 5 个产地的 100 个鸡肉样品的光谱数据,并利用主成分分析、聚类分析,建立了相应的鸡肉产地溯源的定性判别模型,结果显示,5 个模型的识别率和拒绝率均为 100%。张宁等^[37]采用近红外光谱结合簇类独立软模式法对来自山东济宁市、河北大厂县、内蒙临河市、宁夏银川市 4 个产地的羊肉样品建立了产地溯源模型,采集的光谱数据经光谱平滑与多元散射校正预处理,结果表明 SIMCA 模式识别方法验证集模型的识别率分别为 100%、83%、100%、92%,拒绝率均为 100%。孙淑敏等^[38]对来自 5 个地区的 99 份羊肉样品采用二阶求导和多元散射预处理后,结合线性判别分析建立判别模型,结果表明,其对样本的整体判别率为 91.9%。这一系列研究表明,近红外光谱分析技术可应用于动物源农产品的产地溯源。

5 展望

近红外光谱分析技术因分析时间短、样品用量少、无损检测、绿色环保、低成本、可在线检测等特点在农产品产地溯源研究方面得到广泛应用,但该方法也存在一定的局限性,主要包括:(1) 近红外光谱分析技术的准确性容易受到样品来源、环境条件等因素的影响,且农产品在贮藏、运输过程中有机成分组成发生变化,导致判别模型鉴别正确率降低。因此,建模样品的选取应该具有代表性,考虑品种、环境、运输与贮藏条件的影响,保证建立稳健的产地溯源模型。(2) 近红外光谱分析技术对于均质、流体状态的农产品的鉴别准确率高于固体类的农产品^[39,40],因此需要降低其孔隙度达到均匀分布,为了保证预测的精度,可考虑对样品进行适当的处理。(3) 前期工作发现近红外光谱分析法可将不同产地的农产品区分开,但仍无法实现不同产地间农产品的掺假鉴别,需要发展新型化学计量学方法,提高模型精度,以提高近红外技术的检测速度和鉴别精度。

参考文献

- [1] 颜静,熊亚波,刘继,等.基于农产品无损检测的产地溯源技术的研究进展[J].食品工业科技,2014,(11):396-400.
- [2] Yan J, Xiong YB, Liu J, et al. The review of agricultural products traceability of origin based on non-destructive testing technology [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, (11): 396-400.
- [3] 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,(12):197-200.
- [4] Song XJ, Qian LL, Zhang DJ, et al. Progress in application of near infrared spectroscopy to food traceability [J]. Food Res Dev, 2017, (12): 197-200.
- [5] 张晓焱,苏学素,焦必宁,等.农产品产地溯源技术研究进展[J].食品科学,2010,31(3):271-278.
- [6] Zhang XY, Su XS, Jiao BN, et al. Research progress in methods for geographical origin traceability of agricultural products [J]. Food Sci, 2010, 31(3): 271-278.
- [7] 钱丽丽,于果,迟晓星,等.农产品产地溯源技术研究进展[J].食品工业,2018,(1):246-249.
- [8] Qian LL, Yu G, Chi XX, et al. Research progress of origin traceability of agricultural products [J]. Food Ind, 2018, (1): 246-249.
- [9] 刘子毓,侯玉文,许强,等. AOTF 近红外光谱技术及在食品领域的应用[J].光电技术应用,2012,27(1):25-28.
- [10] Liu ZY, Hou YW, Xu Q, et al. Application of AOTF-NIRS technology in food safety field [J]. Electro-Optic Technol Appl, 2012, 27(1): 25-28.
- [11] 王文深,巫梦娜,薛旭,等.近红外光谱分析技术在农产品方面的应用研究[J].吉林农业,2011,(4):41-42.
- [12] Wang WS, Wu MN, Xue X, et al. Application of NIR spectroscopy in agricultural products [J]. Jilin Agric, 2011, (4): 41-24.
- [13] 梁逸曾,吴海龙,俞汝勤.分析化学手册.10.化学计量学(第三版)[M].北京:化学工业出版社,2016.
- [14] Liang YZ, Wu HL, Yu RQ. Handbook of analytical chemistry.10. Stoichiometry (third edition) [M]. Beijing: Chemical Engineering Press,

- 2016.
- [8] Svensson O, Josefson M, Langkilde W, *et al.* Classification of chemically modified celluloses using a near-infrared spectrometer and soft independent modeling of class analogies [J]. *Appl Spectrosc*, 1997, 51(12): 1826–1835.
- [9] Hulland J. Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: A review of four recent studies [J]. *Strateg Manag J*, 1999, 20(2): 195–204.
- [10] Luna AS, Da-Silva AP, Pinho JS, *et al.* Rapid characterization of transgenic and non-transgenic soybean oils by chemometric methods using NIR spectroscopy [J]. *Spectrochim Acta Part A: Mole Biomol Spectrosc*, 2013, 100(1): 15–19.
- [11] Sinelli N, Cerretani L, Egidio VD, *et al.* Application of near (NIR) infrared and mid (MIR) infrared spectroscopy as a rapid tool to classify extra virgin olive oil on the basis of fruity attribute intensity [J]. *Food Res Int*, 2010, 43(1): 369–375.
- [12] Sun S, Guo B, Wei Y, *et al.* Classification of geographical origins and prediction of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of lamb meat by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2012, 135(2): 508–514.
- [13] Vitale R, Bevilacqua M, Bucci R, *et al.* A rapid and non-invasive method for authenticating the origin of pistachio samples by NIR spectroscopy and chemometrics [J]. *Chemometr Intell Lab*, 2012, 36(5): 168–175.
- [14] 苏学素, 张晓焱, 焦必宁, 等. 基于近红外光谱的脐橙产地溯源研究 [J]. *农业工程学报*, 2012, (15): 240–245.
- Su XS, Zhang XY, Jiao BN, *et al.* Determination of geographical origin of navel orange by near infrared spectroscopy [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2012, (15): 240–245.
- [15] 庞艳苹, 刘坤, 闫军颖, 等. 近红外光谱法快速鉴别成安草莓 [J]. *现代食品科技*, 2013, 29(5): 1160–1162.
- Pang YP, Liu K, Yan JY, *et al.* Rapid identification of Cheng'an strawberry with near infrared spectroscopy [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2013, 29(5): 1160–1162.
- [16] 吴建虎, 雷俊桃, 杨琪. 利用可见近红外光谱判别干枣品种 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, (5): 1870–1875.
- Wu JH, Lei JT, Yang Q. Discrimination of dry jujube cultivar varieties using visual/near infrared reflectance spectroscopy [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, (5): 1870–1875.
- [17] Anara I, Jam C, Arazuri S. Maturity, variety and origin determination in white grapes (*Vitis vinifera* L.) using near infrared reflectance technology [J]. *J Near Inf Spectrosc*, 2005, 13(6): 349.
- [18] 李敏. 不同产地苹果的红外光谱分类识别法 [J]. *红外*, 2014, (12): 41–44.
- Li M. Near infrared spectral classification method of apples from different regions [J]. *Infrared*, 2014, (12): 41–44.
- [19] Fu XP, Ying YB, 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.
- [20] 张鹏, 李江阔, 陈绍慧, 等. 近红外光谱用于鉴别苹果产地的研究 [J]. *食品科技*, 2014, 39(11): 305–309.
- Zhang P, Jiang JK, Chen SH, *et al.* Discrimination method of different origin apples based on near infrared spectroscopy [J]. *Food Sci Technol*, 2014, 39(11): 305–309.
- [21] 钱丽丽, 宋春蕾, 曹冬梅, 等. 近红外光谱产地溯源技术研究方法与应用现状 [J]. *中国甜菜糖业*, 2015, (1): 27–31.
- Qian LL, Song CL, Cao DM, *et al.* Methods and application of the near infrared spectroscopy technology in the origin traceability [J]. *China Beet Sugar*, 2015, (1): 27–31.
- [22] 钱丽丽, 宋雪健, 张东杰, 等. 基于近红外光谱技术的黑龙江地理标志大米产地溯源研究 [J]. *中国粮油学报*, 2017, (10): 187–190.
- Qian LL, Song XJ, Zhang DJ, *et al.* Origin traceability of Heilongjiang geographical indications rice based on near infrared reflectance spectroscopy [J]. *J Cere Oils Ass*, 2017, (10): 187–190.
- [23] 宋雪健, 钱丽丽, 周义, 等. 近红外漫反射光谱技术对小米产地溯源的研究 [J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(11): 134–139.
- Song XJ, Qian LL, Zhou Y, *et al.* Study on traceability of millet origin by near infrared diffuse reflectance spectroscopy [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(11): 134–139.
- [24] Davrieux F, Ouadrhiri Y, Pons B, *et al.* Discrimination between aromatic and non-aromatic rice by near infrared spectroscopy: A preliminary study [C]. *Proceedings of the 12th International Conference*, 2007.
- [25] 赵海燕, 郭波莉, 魏益民, 等. 近红外光谱对小麦产地来源的判别分析 [J]. *中国农业科学*, 2011, 44(7): 1451–1456.
- Zhao HY, Guo BL, Wei YM, *et al.* Identification of geographical origins of wheat with discriminant analysis by near infrared spectroscopy [J]. *Sci Agric Sin*, 2011, 44(7): 1451–1456.
- [26] 夏立娅, 申世刚, 刘峰颖, 等. 基于近红外光谱和模式识别技术鉴别大米产地的研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(1): 102–105.
- Xia LY, Shen SG, Liu ZH, *et al.* Identification of geographical origins of rice with pattern recognition technique by near infrared spectroscopy [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2013, 33(1): 102–105.
- [27] Kim HJ, Rhyu MR, Kim JM. Authentication of rice using near-infrared reflectance spectroscopy [J]. *Cere Chem*, 2003, 80(3): 346–349.
- [28] 李勇, 严煌倩, 龙玲, 等. 化学计量学模式识别方法结合近红外光谱用于大米产地溯源分析 [J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(21): 193–195.
- Li Y, Yan HQ, Long L, *et al.* Discrimination of geographical origin of rice based on near-infrared spectroscopy coupled with chemometrics pattern recognition techniques [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2017, 45(21): 193–195.
- [29] Galtier O, Dupuy N, Le Dréau Y, *et al.* Geographic origins and compositions of virgin olive oils determined by chemometric analysis of NIR spectra [J]. *Anal Chim Acta*, 2007, (595): 136.
- [30] Luna AS, Da Silva AP, Pinho JS, *et al.* Rapid characterization of transgenic and non-transgenic soybean oils by chemometric methods using NIR spectroscopy [J]. *Spectrochim Acta Part A: Mole Biomol Spectrosc*, 2013, 100(1): 15–19.
- [31] 文韬, 郑立章, 龚中良, 等. 基于近红外光谱技术的茶油原产地快速鉴别 [J]. *农业工程学报*, 2016, (16): 293–299.
- Wen T, Zheng LZ, Gong ZL, *et al.* Rapid identification of geographical origin of camellia oil based on near infrared spectroscopy technology [J]. *Trans Chin Soc Agr Eng*, 2016, (16): 293–299.
- [32] Bevilacqua M, Bucci R, Magri AD, *et al.* Tracing the origin of extra virgin olive oils by infrared spectroscopy and chemometrics: A case study [J]. *Anal Chim Acta*, 2012, 71(7): 39–51.
- [33] Casale M, Casolino C, Ferrari G, *et al.* Near infrared spectroscopy and class modelling techniques for the geographical authentication of ligurian extra virgin olive oil [J]. *J Near Inf Spectrosc*, 2008, 16(1): 39–47.

- [34] 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, (22): 175–178.
Tang LH, Liu DH. Tracing the geographic origin of Chinese wolfberry by near infrared spectroscopy [J]. Food Sci, 2011, (22): 175–178.
- [35] Ren G, Wang S, Ning J, *et al.* Quantitative analysis and geographical traceability of black tea using Fourier transform near -infrared spectroscopy (FT-NIRS) [J]. Food Res Int, 2013, (53): 822–826.
- [36] 史岩, 赵田田, 陈海华, 等. 基于近红外光谱技术的鸡肉产地溯源[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 189–203.
Shi Y, Zhao TT, Chen HH, *et al.* Determination of geographic origin of chicken based on near infrared spectroscopy [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2014, 14(12): 189–203.
- [37] 张宁, 张德权, 李淑荣, 等. 近红外光谱结合 SIMCA 法溯源羊肉产地的初步研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 309–312.
Zhang N, Zhang DQ, Li SR, *et al.* Preliminary study on origin traceability of mutton by near infrared reflectance spectroscopy coupled with SIMCA method [J]. Trans Chin Soc Agr Eng, 2008, 24(12): 309–312.
- [38] 孙淑敏, 郭波莉, 魏益民, 等. 近红外光谱指纹分析在羊肉产地溯源中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(4): 937–941.
Sun SM, Guo BL, Wei YM, *et al.* Application of near infrared spectral fingerprint technique in lamb meat origin traceability [J]. Spectrosc Spect Anal, 2011, 31(4): 937–941.
- [39] 马东红, 王锡昌, 刘利平, 等. 近红外光谱技术在食品产地溯源中的应用进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2011(4): 877–880.
Ma DH, Wang XC, Liu LP, *et al.* Application of near infrared spectroscopy (NIRS) in geographical origin traceability of food products [J]. Spectrosc Spect Anal, 2011, (4): 877–880.

- [40] 管骁, 古方青, 杨永健, 等. 近红外光谱技术在食品产地溯源中的应用进展[J]. 生物加工过程, 2014, (2): 77–82.
Guan X, Gu FQ, Yang YJ, *et al.* Application of near infrared spectroscopy (NIRS) in geographical origin traceability of food products [J]. Chin J Bioprocess Eng, 2014, (2): 77–82.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



张 勇, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品真实性鉴别与产地溯源。
E-mail: 1185824088@qq.com



张良晓, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为油料产品特异品质检测与真实性鉴别。
E-mail: liangxiao_zhang@hotmail.com



李培武, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为主要研究方向为食品、农产品质量与食品安全标准与检测技术研究。
E-mail: peiwuli@oilcrops.cn