

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.02.007

稻米全产业链可追溯关键技术研究进展

杨 健¹, 张星灿^{1,2}, 华苗苗¹, 康建平^{1,2}, 刘 建¹, 白菊红¹, 吴 淼¹, 钟雪婷¹

(1. 四川东方主食产业技术研究院, 四川 成都 611130;
2. 四川省食品发酵工业研究设计院, 四川 成都 611130)

摘要: 稻米作为世界主要粮食作物之一, 当今稻米质量安全形势不容乐观, 因此开发稻米可追溯体系已成为国内外研究热点。从产地判别关键技术(指纹技术、稳定同位素技术、多元素分析技术、近红外光谱技术)与可追溯体系关键技术(信息识别技术、信息编码技术、信息传输技术)两方面归纳总结了稻米可追溯关键技术研究现状。在此基础上分析了稻米可追溯体系发展趋势, 同时新技术也将继续应用于可追溯体系。

关键词: 稻米安全; 全产业链; 可追溯系统; 关键技术; 食品产地溯源

中图分类号: TS210.7 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)02-0043-06

Progress in key technologies for traceability of rice industry chain

YANG Jian¹, ZHANG Xing-can^{1,2}, HUA Miao-miao¹, KANG Jian-ping^{1,2}, LIU Jian¹,
BAI Ju-hong¹, WU Miao¹, ZHONG Xue-ting¹

(1. Sichuan Oriental Staple Food Industry Technology Research Institute, Chengdu, Sichuan 611130, China;
2. Sichuan Food and Fermentation Industry Research & Design Institute, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: As one of the main food crops in the world, the rice quality and safety situation is not optimistic, the development of rice traceability system has become a hot topic at home and abroad. This paper summarizes the research status of rice traceability technology from two aspects including the origin diagnosis technology (such as: physical index fingerprint technology, stable isotope technology, multi-element analysis technology, near-infrared spectroscopy technology) and the traceability system technology (such as: physical identification technology, information coding technology, information transmission technology). Based on this analysis, the development trend of rice traceability system was analyzed, and new technologies will continue to be applied to the traceability system.

Key words: rice safety; the whole industry chain; traceability system; key technology; food geographical origin tracing

稻米是世界主要粮食作物之一, 稻米已成为我国人民的主食, 超过 8 亿人口, 约占我国总人口的 65%^[1]。近年来, 食品安全面临形势严峻, 我国“毒大米”、“镉大米”、“染色大米”等稻米安全事件时有发生, 不仅影响我国大米的出口, 而且容易引起因质量安全带来民众的恐慌^[2]。因此, 建立稻米全产业链可追溯体系意义重大, 意味着

监管部门对监控有据可依, 生产企业对加工有踪可寻, 消费者对大米的信息有源可查^[3]。

国外以欧盟、美国、日本为首的发达国家可追溯体系较为成熟。其中日本在大米标准和检验方面比较严格, 对大米生产的全过程都实行标准化, 从大米种植到大米加工储藏都做了具体的规范^[4]。我国对于可追溯体系的认识与起步较晚, 最早可追溯体系始于 2002 年, 之后《食品安全行动计划》《中华人民共和国农产品质量安全法》《产品可溯源性统一规范》《农产品溯源信息标识与编

收稿日期: 2019-08-29

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2017NZ0062)

作者简介: 杨健, 1986 年出生, 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为粮油加工工程。

码技术》等相继出台。王东亭等^[5]提出在相关法律和标准修订和完善过程中,平衡种植户、生产企业、监管部门、检测机构、消费者等供应链关键参与方的权、责、利,整合各方资源,推动稻米追溯信息精准化、追溯流程便捷化、追溯系统整合化、追溯装备智能化、追溯管理专业化,保障稻米安全与品质,守护国人健康。

1 稻米产地判别关键技术

食品产地溯源 (food geographical origin tracing), 即分析表征地域的特征性差异, 对食品原产地进行识别和区分的过程, 并且能够判断市场销售和流通的食品源自什么地域。稻米产地判别技术是保护地理标志产品的重要技术支撑之一。

1.1 理化指标指纹技术判别产地

稻米理化指标可作为表征地域信息的特征因子, 通过化学计量学方法分析其“指纹”特征, 从而判定其原产地。钱丽丽等^[6]研究查哈阳、建三江和五常 3 个产区 89 份大米样品指标(蛋白质、直链淀粉、脂肪和灰分), 探讨理化指标指纹分析技术对大米产地鉴别的可行性, 显示不同产地大米的理化指标有显著差异, 交叉检验正确判别率为 95.5%。王娜娜等^[7]采用顶空固相微萃取-气相色谱法 (HS-SPME-GC/FID) 分析了不同产地大米样本的挥发性成分, 应用主成分分析法和偏最小二乘判别分析法 (PLS-DA), 可 100% 区分大米的产地和新鲜程度。

1.2 稳定同位素技术判别产地

基于同位素在自然界中存在同位素分馏效应, 据此可将稳定同位素用于稻米产地溯源分析。Oda H^[8-9]、Suzuki Y^[10]、Korenaga T^[11]等研究稳定同位素组成或范围来区分不同地域大米, 建立大米中同位素特征与产地环境的相关性。Suzuki Y^[12]研究发现大米脂肪酸中的同位素氢含量与产地水源和温度密切相关, 以此代表产地的特征信息。Zhi Liu^[13]等结合元素分析-同位素比质谱 (EA-IRMS) 和归纳法, 采用化学计量学数据处理的等离子体耦合质谱 (ICP-MS) 分析了东南亚进口大米与中国不同种植区大米的 7 种稳定同位素 (即 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $^{87/86}\text{Sr}$ 、 $^{207/206}\text{Pb}$ 和 $^{208/207}\text{Pb}$) 和 25 种多元素浓度 (Na、Ca、Fe、

Zn、Rb、Ag 和 Cd 等), 基于主成分分析 (PCA) 和逐步线性判别分析 (LDA) 建模以确定稻米地理来源, 经过交叉验证, 盲样预测准确度, 中国不同产地的大米样品达 90.0%, 东南亚进口大米达 85.0%。

鉴于稳定同位素检测设备与使用成本高, 导致该技术的应用受到一定的限制。同时有研究表明, 稳定同位素对于空间较远的产地判断较好, 而对于空间距离较近的同位素分布差异性较弱。

1.3 多元素分析技术判别产地

稻米中矿质元素含量、分布与其产地环境密切相关, 稻米矿质元素与产地的相关性比有机化合物等判别因子更加稳定, 矿质元素被认为产地判别的有效标记物^[14]。

已有文献报道多元素分析判别稻米产地, Kelly 等^[15]通过测定 73 个稻米样品中 7 种矿物元素含量来判别不同产地(美国、欧洲和巴斯马蒂); Li G 等^[16]测定中国不同产地大米中的 15 种元素含量, 结合 Fibonacci (斐波那契) 指数分析建立了精准度较高的产地判别方法; Cheajesadagul 等^[17]利用高分辨 ICP-MS 检测 6 个不同国家(泰国、法国、印度、意大利、日本、巴基斯坦)的大米样本中 21 种元素, 通过 PCA 和 LDA 建立模型对稻米产地溯源的回代检验正确率为 100%, 交叉检验正确率为 90.32%; González A 等^[18]分析不同国家(西班牙、日本、巴西、意大利、巴伦西亚) 153 个稻米样品中 Ai、As、Ba、Bi、Cd 等 32 个元素含量, 建立了 LDA 模型, 将西班牙大米区分开的正确率达 91.30%; Ariyama K 等^[19]通过测定 8 种矿物元素, 并结合多元数据分析软件 (SIMCA)、LDA、K 最邻近结点算法 (KNN) 等 3 种方法判别 4 个国家 (日本、美国、中国、泰国) 的稻米样品成功率达 97%。Camila Neves Lange^[20]等通过 PCA 评估 9 个城市的水稻矿物质谱允许鉴定控制变量和原始指纹。

张玥等^[21]采用原子吸收光谱法 (AAS) 检测了吉林省松原市三大主产区 10 个产地 100 个大米样品中的矿物元素含量, 结合差异分析、判别分析、主成分分析和聚类分析, 获得判别指标为 Zn、K、Mg、Na、Ca 和 Mn 元素, 通过判别分析, 验证了其准确率达 100%; 王朝辉等^[22]为提高稻米

产地判别的准确性,利用 AAS 检测 3 个产地 3 个水稻品种 120 个样品中 11 种矿物元素 (Pb、Cd、K、Na、Ca、Mg、Zn、Cu、Fe、Mn、Cr) 含量,结合差异分析、雷达分析和线性判别分析研究水稻品种对于稻米产地判别准确性的影响。矿物元素指纹分析技术判别产地效果,克服了稳定同位素的局限,该技术目前研究还不系统,尚未建立整套理论方法体系。

1.4 近红外光谱技术判别产地

近红外光谱技术 (NIR) 是利用近红外光谱区 (波长 780~2 526 nm, 波数 4 000~12 820 cm^{-1}) 有机分子中含氢基团 (O-H、N-H、C-H) 振动的合频和各级倍频的吸收区相一致,通过扫描样品可得到该样品有机分子含氢基团的特征信息,不同产地稻米所表征的特征信息不同^[23]。近红外光谱分析常用化学计量方法见表 1。

表 1 常用化学计量学方法

分类	主要方法
光谱预处理	导数法 (一阶导数, 二阶导数等)、归一化 (包括矢量归一化、最大-最小归一化和标准归一化)、基线校正、多元散射校正 (MSC)、平滑和小波分析等。
定量分析	主成分回归 (PCR)、多元线性回归 (MLR)、偏最小二乘法 (PLS)、人工神经网络 (ANN) 和支持向量机 (SVM) 等。
定性分析	主成分判别 (PCR-DA)、人工神经网络 (ANN)、偏最小二乘法判别 (PLS-DA) 和 Fisher 判别 (Fisher-DA) 等。

Namaporn 等^[24]建立了 NIR 鉴别大米品种的方法。夏立娅等^[25-26]运用 NIR 结合 PCA 对来自响水地区和非响水地区共计 209 份稻米样品的光谱进行降维分析,建立稻米产地的快速鉴别方法。

Wang 等^[27]利用近红外光谱和电感耦合等离子体元素分析台湾岛内收集的 83 个水稻样品中 TK2、TK9、TN11 和 T71 的粳稻品种来确定来自北部、中部、南部和东部的水稻来源。

张东杰^[28-32]团队利用 NIR 技术,结合化学计量方法对黑龙江地理标志稻米产地进行溯源研究,准确率达 95%以上;对黑龙江建三江、查哈阳稻米快速检测分析,鉴别真假正确判别率超过 90%;引入漫反射傅里叶变换建立定量分析与定性分析对不同年份的稻米产地进行判别,进一步利用因子化法建立的定性分析模型和利用 PLS 建立的定量分析模型,对三江、五常大米产地判别具有一定的可行性。周子立等^[33]应用 NIR 结合人工神经网络对不同地区 (东北、江苏、安徽) 180 份稻米样品进行判别,准确率达 100%。吕慧等^[34]结合 PLS 法计算样品的近红外光谱图之间的欧氏距离来反映不同样品间的差异,对 102 份不同产地的稻米进行聚类分析,对稻米产地进行判别。周晓璇等^[35]运用 PLS 法结合最大最小归一化的预处理方式,建立的掺低档米模型的校正集和预测集相关系数分别为 0.969 8 和 0.984 5,均方根误差分别为 8.66 和 6.46,模型的预测精度和稳定性

均较好,实现对掺伪大米快速、准确的定量判别。近红外光谱结合模式识别技术用于稻米的产地溯源是有效的,作为一种无损快速的分析方法,该技术具有广阔的应用前景。

1.5 其他方法

针对稻米产地判别研究技术主要还有电子鼻技术^[36]、电子舌技术^[37]、DNA 指纹分析技术^[38]、电感耦合等离子体技术^[39]以及拉曼光谱技术^[40]等。

2 稻米可追溯体系关键技术

2.1 可追溯信息识别技术

国际商品信息标识、收集、传递活动是通过国际物品编码协会 (GS1) 研发的全球规范化标识体系 (EAN•UCC) 系统,被很多国家广泛用于食品质量安全追溯,编码由全球贸易项目代码 (GTIN)、属性代码 (如产地、批次、生产日期、保质期、有效期等)、全球位置码 (GLN)、物流单元标识代码 (SSCC-18) 和储运单元标识代码 (ITF-14) 等构成,基本原则是采用商品条码 + 批次号码 + 追溯码进行产品追溯标识。如关静^[2]依据《EAN•UCC 系统应用标识符》《农产品追溯编码导则》《农产品产地编码规则》所规定的内容,选择 EAN•UCC 编码体系中的 UCC/EAN-128 加 GTIN-14 的编码方式作为大米安全追溯系统的编码方案。2015 年王醒宇^[41]等采用 GS1 系统建立非转基因大米制品可追溯体系。

2.2 可追溯信息编码技术

2.2.1 条码技术

条码技术通过编码、印刷、光传感等技术,将条码所携带的数据读取出来,并转化成有意义的信息,以其高密度、信息容量大、可靠性高、保密防伪性强的优势,将条码技术的应用拓展到稻米可追溯系统。雷云^[42]为实现稻米质量安全建立的追溯系统,基于 C/S 的产品信息二维码生成子系统和基于 Android 手机二维码识别子系统,分别用于企业内部的生产、流通跟踪、消费者的追溯查询及第三方机构监督。樊星^[43]以二维码技术构建稻米质量安全可追溯系统,实现“一品一码,全程追溯”。梁琨^[44-45]提出以表面喷印二维条码的追溯颗粒作为谷物追溯信息的载体,基于嵌入式系统开发了二维条码、GPS 定位信息和谷物产地环境信息采集终端,终端采集到的数据通过 GPRS 网络传输,实现稻谷身份标识信息、仓储温湿度、稻谷含水率等信息的采集。赵丽^[46]等基于手机二维条码识别的农产品质量安全追溯系统,为消费者提供了一种新的追溯手段。

2.2.2 射频识别技术

射频识别 (radio frequency identification, RFID) 作为一种非接触的自动识别技术,是解决多层次的网络模式复杂性问题的较好选择之一,其原理是利用空间耦合 (交变电场或磁场) 自动实现捕获目标并获得相关数据,具有多标识同时识别、重复利用、记忆容量大、抗污染能力强等特点。刘鹏^[47]等将 RFID 中间件技术应用在粮食质量追溯中的业务流程及使用方式中,建立粮食质量安全追溯系统,系统识别准确率达 95.3%。侯月鹏^[48]采用 RFID 技术,以稻米供应链为研究对象,采用 Vbscript、Html、Visual Basic 混合语言和 Access 2003 数据库开发出稻米整个供应链的可追溯系统。陈益能^[49]利用有机 RFID 技术,提出了适合大米的供应链可追溯系统。雷云^[50]以 RFID 和二维码标识技术为切入点,开发出适合稻米质量安全可追溯系统。

2.2.3 其他编码技术

2009 年刘鹏等^[51]运用 EPC (electronic product code) 编码结构模型,结合稻米安全追溯过程中的关键信息,设计构建了稻米追溯编码方案;2017

年凌菁等^[52]利用近场通信 (NFC) 技术建立溯源系统架构及数据安全体系,实现对稻米生产、流通和销售等环节进行监控追踪;与 RFID 结合的无线传感网络 (wireless sensor networks, WSN) 通过传感器采集供应链环境信息,提高可追溯信息采集的准确度,并动态反映稻米品质及其变化趋势^[53]; Garcia-Sanchez^[54]等利用机器视觉技术,基于 IEEE 802.15.4 协议的精细农业无线传感环境监测解决方案,通过多媒体传感器实现了人畜非法入侵的影像抓拍,并通过集成运动识别传感器,降低了多媒体功能运行的能耗,可用于稻米种植信息收集。

2.3 可追溯信息传输技术

信息传输是信源将信息经信道传送到信宿,并被信宿所接收的过程。稻米在全产业链所有流程 (种子、种植、加工、运输、贮藏、销售) 中信息的发送、传输与接收过程。各环节创设可追溯标签之后,要做好各个程序间信息交互的高效管理,如果某个流程存在负面现象,则会对整体性的运作产生不同程度的负面影响,由此不能达成可追溯操作的目标,务必要选择全球共同认可的技术指标,以更好地保障数据交互效能。如可扩展标记语言 (extensible markup language, XML) 是一种允许用户根据需要自己定义标记的源语言,具有平台无关性、易于扩展、交互性好和语义性强等特点,是最常见的异构数据库之间进行电子数据交换 (electronic data interchange, EDI) 与传输的标准。基于 XML 的 EDI 技术,实现数据的无缝连接和追溯信息的共享,将各个主体有效结合,从而实现稻米从生产到消费的全程追溯^[55]。

3 稻米可追溯发展趋势

3.1 第三方可追溯体系平台

食品质量安全可追溯体系建立主体一般为生产企业 (基地),导致监督者 (可追溯体系主体) 与被监督者 (生产企业) 同属一个利益团体,追溯结果难以得到消费者认可。基于该问题,可追溯体系在政府的监督下,利用独立检测机构对稻米相关数据进行采集,并传递给消费者,可追溯体系由第三方平台建立将是未来溯源系统发展的趋势^[56]。

3.2 追溯粒度评价体系建设

钱建平^[57]提出了追溯粒度的描述性定义,即追溯粒度描述了可追溯单元的不同大小水平及其所包含的横向信息容量和纵向跟踪深度。随着可追溯体系研究与应用的不断深入,根据稻米全产业链实际需求及信息化程度,构建合理粒度的追溯体系将成为扩大可追溯体系在四川稻米全产业链进一步深入应用的趋势,未来追溯粒度(精度、宽度、深度)将会越来越精细。

3.3 新技术应用于可追溯体系

食品安全可追溯体系的建立将成为食品行业的标配,以往追溯体系依赖于政府机构管理中心数据库,并且食品供应链中各角色间信息传递的可靠性问题尚有待解决^[58]。基于区块链技术、5G技术与万物互联(IOT)技术的迅速发展及普及,可追溯体系将朝着信息不可篡改、去中心化存储、传输效率越来越高、传输耗能越来越低、识别时间越来越短的方向发展。

参考文献:

- [1] 红燕,刘世义.我国水稻产业发展现状、趋势及对策[J].农村经济与科技,2016,27(9):7-9.
- [2] 关静.大米质量安全溯源系统的设计与实现[D].吉林:东北农业大学,2016.
- [3] 付亭亭,贾健斌,尹岩,等.可追溯大米的消费行为研究[J].食品科技,2015,40(2):360-367.
- [4] WANG X J. RFID enabled pricing approach in perishable food supply chains[J]. IEEE, software engineering and service sciences. 2010: 697-700.
- [5] 王东亭,饶秀勤,应义斌,等.世界主要农业发达地区农产品追溯体系发展现状[J].农业工程学报,2014,30(8):236-250.
- [6] 钱丽丽,张爱武,吕海峰,等.大米理化指标指纹在产地溯源的探究[J].中国粮油学报,2016,31(1):1-4.
- [7] 王娜娜,孙玉萍,等.气相色谱结合化学计量学区分大米贮藏时间与产地[J].分析测试学报,2013,32(10):1227-1231.
- [8] KAWASAKI A, ODA H, HIRATA T. Determination of strontium isotope ratio of brown rice for estimating its provenance[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2002, 48: 635-640.
- [9] ODA H, KAWASAKI A, HIRATA T. Determination of the geographic origin of brown-rice with isotope ratios of $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ [J]. Analytical Sciences, 2001, 17(1): 1627-1630.
- [10] SUZUKI Y, CHIKARAISHI Y, OGAWA N O, et al. Geographical origin of polished rice based on multiple element and stable isotope analyses[J]. Food Chemistry, 2008, 109 (2): 470-475.
- [11] KORENAGA T, MUSASHI M, NAKASHITA R, et al. Statistical analysis of rice samples for compositions of multiple light elements (H, C, N and O) and their stable isotopes[J]. Anal. Sci. 2010(26): 873-878.
- [12] SUZUKI Y, AKAMATSU F, NAKASHITA R, et al. Characterization of Japanese polished rice by stable hydrogen isotope analysis of total fatty acids for tracing regional origin Yaeko[J]. Analytical sciences, 2013, 29(1): 143-146.
- [13] LIU Z, ZHANG W X, ZHANG Y Z. Assuring food safety and traceability of polished rice from different production regions in China and Southeast Asia using chemometric models[J]. Food Control, 2019, 99: 1-10.
- [14] COSTAS-RODRÍGUEZ M, LAVILLA I, BENDICHO C. Classification of cultivated mussels from galicia (Northwest Spain) with European protected designation of origin using trace element fingerprint and chemometric analysis [J]. Anal. Chim. Acta, 2010, 664(2): 121-128.
- [15] KELLY S, BAXTER M, CHAPMAN S, et al. The application of isotopic and elemental analysis to determine the geographical origin of premium long grain rice[J]. European Food research and Technology, 2002, 214(1): 72-78.
- [16] LI G, NUNES L, WANG Y, et al. Profiling the ionome of rice and its use in discriminating geographical origins at the regional scale[J]. Journal of Environmental Sciences, 2013, 25(1): 144-154.
- [17] CHEAJESADAGUL P, ARNAUDGUILHEM C, SHIOWATANA J, et al. Discrimination of geographical origin of rice based on multielement fingerprinting by high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 3504-3509.
- [18] GONZÁLVIZ A, ARMENTA S, DE LA GUARDIA M. Geographical traceability of "Arros de Valencia" rice grain based on mineral element composition[J]. Food Chemistry, 2011, 126(3): 1254-1260.
- [19] ARIYAMA K, NISHIDA T, NODA T, et al. Effects of fertilization crop year variety and provenance factors on mineral concentrations in onions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(9): 3341-3350.
- [20] CAMILA N L, LUCILENA R M, BRUNA M F. Mineral profile exploratory analysis for rice grains traceability[J]. Food Chemistry, 2019, 300: 125-145.
- [21] 张玥,王朝辉,张亚婷,等.基于主成分分析和判别分析的大米产地溯源[J].中国粮油学报,2016,31(4):1-5.
- [22] 王朝辉,张亚婷,闵伟红,等.水稻品种对大米产地溯源判别正确性的影响[J].吉林农业大学学报,2017,39(1):113-119.
- [23] XIAL Y, SHEN S G, LIU Z H, et al. Identification of geographical origins of rice with pattern recognition technique by near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy & Spectral Analysis, 2013, 33(1): 102-105.
- [24] NAMAPORN A, SUMAPORN K, ATHAPORN N. Rapid variety identification of pure rough rice by fourier-transform near-infrared spectroscopy[J]. Cereal Chemistry, 2011, 88(5): 490-496.
- [25] 夏立娅,申世刚,刘峥颖,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.
- [26] 夏立娅. 大米产地特征因子及溯源方法研究[D]. 石家庄: 河北大学, 2013.
- [27] WANG C I, RACHEL JUI-CHENG HSU, SHIN L U. Rice traceability system in Taiwan[J]. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 2011, 3: 74-81
- [28] 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, 32(10): 185-190.
- [29] 钱丽丽, 宋雪健, 张东杰, 等. 近红外光谱技术快速鉴别查阳大米[J]. *食品科学*, 2017, 38(16): 222-227.
- [30] 宋雪健, 钱丽丽, 张东杰, 等. 基于近红外光谱技术对建三江大米快速检测分析研究[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(14): 138-143.
- [31] 宋雪健, 钱丽丽, 张东杰, 等. 基于漫反射傅里叶变换近红外光谱技术对不同年份的大米产地溯源检测[J]. *食品科学*, 2017, 38(18): 286-291.
- [32] 钱丽丽, 宋雪健, 张东杰, 等. 基于近红外光谱技术对多年际建三江、五常大米产地溯源[J]. *食品科学*, 2018, 39(16): 321-327.
- [33] 周子立, 张瑜, 何勇, 等. 基于近红外光谱技术的大米品种快速鉴别方法[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 131-135.
- [34] 周晓璇, 谢实猛, 陈全胜, 等. 基于近红外光谱技术的大米掺伪定量判别[J]. *安徽农业大学学报*, 2016, 43(4): 503-507.
- [35] 吕慧, 张正竹, 王胜鹏, 等. 基于近红外光谱技术的大米品质分析与种类鉴别[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(3): 322-325.
- [36] HAN H J, LEE S H, JI Y M, et al. Discrimination of the cultivar, growing region, and geographical origin of rice (*Oryza sativa*) using a mass spectrometer-based electronic nose[J]. *Food Science & Biotechnology*, 2016, 25(3): 695-700.
- [37] WANG L, NIU Q F, HUI Y B, et al. Discrimination of rice with different pretreatment methods by using a voltammetric electronic tongue[J]. *Sensors*, 2015, 15(7): 17 767-17 785.
- [38] DAI C. Application of DNA fingerprint based on SSR in rice adulteration detection and origin traceability[C]/*Food Hygiene Agriculture and Animal Science: Proceedings of the 2015 International Conference on Food Hygiene, Agriculture and Animal Science*. 2015: 81-93.
- [39] CHUNG I M, KIM J K, LEE J K, et al. Discrimination of geographical origin of rice (*Oryza sativa*, L.) by multielement analysis using inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy and multivariate analysis[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 65: 252-259.
- [40] KIM Y, LEE S, CHUNG H, et al. Improving Raman spectroscopic differentiation of the geographical origin of rice by simultaneous illumination over a wide sample area[J]. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2010, 40(2): 191-196.
- [41] 王醒宇, 丁卓平, 潘良文, 等. 采用 GS1 系统建立非转基因大米制品溯源体系[J]. *食品科学*, 2015, 36(21): 33-36.
- [42] 雷云, 李怡青, 李晔孜, 等. 基于二维码的稻米质量安全追溯系统的设计与实现[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(11): 257-261.
- [43] 樊星. 基于二维码技术的稻米可追溯系统的研究与实现[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2015.
- [44] 梁琨, 沈明霞, 葛玉峰, 等. 基于二维码和 ARM 的谷物溯源采集传输系统[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(增刊 2): 167-171.
- [45] 梁琨. 二维码谷物溯源颗粒的研制及溯源信息采集系统研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [46] 赵丽, 邢斌, 李文勇, 等. 基于手机二维码识别的农产品质量安全追溯系统[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(7): 124-129.
- [47] 刘鹏, 屠康, 侯月鹏. 基于射频识别中间件的粮食质量安全追溯系统[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 145-150.
- [48] 侯月鹏. 基于射频识别(RFID)技术的稻米质量控制与追溯系统研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [49] 陈益能. 基于有机 RFID 的大米供应链溯源系统关键技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [50] 雷云. 基于射频识别(RFID)和二维码的稻米质量安全追溯系统研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [51] 刘鹏, 屠康, 侯月鹏, 等. 基于 EPC 体系的稻米安全追溯编码系统研究[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(8): 129-134.
- [52] 凌菁, 宁晓梅, 宁夏, 等. 基于 NFC 的稻米质量溯源系统设计[J]. *食品工业*, 2017, 38(4): 270-273.
- [53] 傅泽田, 邢少华, 张小栓, 等. 食品质量安全可追溯关键技术研究[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(7): 144-153.
- [54] GARCIA-SANCHEZ A J, GARCIA-SANCHEZ F, GARCIA-HARO J. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 75(2): 288-303.
- [55] 邵浩清. 富硒大米质量安全可追溯体系研究——以梧州市龙圩区为例[D]. 广西: 广西大学, 2018.
- [56] 姜爽, 韩贵清, 司震宇, 等. 第三方稻米溯源平台设计与实现[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(24): 215-221.
- [57] 钱建平, 刘学馨, 杨信廷, 等. 可追溯系统的追溯粒度评价指标体系构建[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(1): 98-104.
- [58] 李明佳, 汪登, 曾小珊, 等. 基于区块链的食品安全溯源体系设计[J]. *食品科学*, 2019, 40(3): 279-285. 完