

追溯技术在食品追溯体系中的研究进展

李 鑫¹, 黄登宇^{2*}

(1. 山西大学生命科学学院, 太原 030006; 2. 山西省食品药品监督管理局, 太原 030006)

摘 要: 为应对公众对食品行业的担忧、不信任以及食品贸易全球化所带来的新挑战, 建立一个完善、高效的追溯体系是保证食品安全不可或缺的一步, 而选择应用合适的追溯技术又是重中之重。目前研究人员多采用多种追溯技术综合使用来弥补单一追溯技术的缺点, 跨学科跨领域的合作使得追溯信息更加全面、更有深度, 这也是未来追溯技术发展的方向。本文重点综述了目前食品追溯领域常用的追溯技术: 无线射频、条形码、DNA 指纹、虹膜识别以及同位素溯源技术, 提出了目前我国建立食品追溯体系所需要解决的几个重点问题及解决方法。

关键词: 食品安全; 追溯体系; 追溯技术; 无线射频; 同位素溯源

Research progress of tracing technology in food traceability system

LI Xin¹, HUANG Deng-Yu^{2*}

(1. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. Shanxi Food and Drug Administration, Taiyuan 030006, China)

ABSTRACT: In order to response to public fear and distrust of the food industry and the new challenge brought by food trade globalization, establishing a perfect and efficient supervision system is an indispensable part to guarantee food quality and safety. It is also important to choose a proper tracing technology. At present, researchers use a variety of traceability techniques in combination to compensate for the shortcomings of single traceability technology. Interdisciplinary and cross-cutting cooperation makes traceability information more comprehensive and deeper, which is one of the future directions of technology development. This paper introduced the current commonly used technologies in food traceability field, such as radio frequency, bar code, DNA fingerprints, iris recognition, isotope tracing technology and so on. It put forward several problems and solutions which were needed to be solved in the process of establishing a food traceability system in our country at present.

KEY WORDS: food safety; traceability system; tracing technology; radio frequency; isotope tracing technology

1 引 言

近二十年来,“疯牛病”^[1]、“瘦肉精”^[2]以及“瘦肉精”^[3]等全球范围内的食品安全事件频发,2008年中国奶制品三聚氰胺污染事件^[4]给国民敲响了警钟,使中国国产奶粉信誉遭受重大打击,2013年的“镉大米”^[5]等事件在网络舆论的发酵下更是打击了国民对我国食品安全的信心。

食品安全问题对社会、经济都会造成不可估量的影响。2015年WHO对全球食源性疾病情况的调查表明,因食品安全问题每年会导致42万人死亡,其中5岁以下儿童占比达30%,几乎每10人当中就有1人因吃到被污染的食物而生病^[6]。2011年德国大肠杆菌疫情造成了13亿美元损失,并支付欧盟成员国2.36亿美元紧急援助款^[7]。食品贸易全球化以及食品市场中供需双方信息不对称所带来的问

*通讯作者: 黄登宇, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品卫生检测。E-mail: Huangdy1110@126.com

*Corresponding author: HUANG Deng-Yu, Associate Professor, Shanxi Food and Drug Administration, NO.85, Longcheng Street, Xiaodian District, Taiyuan 030006, China. E-mail: Huangdy1110@126.com

题也使得食品行业更为迫切地需要找出相对应的解决方法^[8,9],制定科学严谨的可追溯体系便是其中之一。

国际上不同组织及文献资料中对可追溯性有不同的定义^[10-15],我国定义为“追踪饲料或食品在整个生产、加工和分销的特定阶段流动的能力”^[16]。要求可追溯体系能证明产品来历和(或)确定产品在饲料和食品链的位置,能够提高信息的可靠性和组织对信息的合理使用以及组织的效率及生产力^[17]。食品追溯技术则是能够实现这些能力的物理、化学或生物手段。

《中华人民共和国食品安全法》^[18]提出建立食品安全全程追溯制度后,国务院、农业部、食品药品监督管理总局也相继提出了加快溯源体系建设的意见,食品追溯体系的建立已被提上日程并开始实施。

2 追溯技术在追溯系统中应用

目前食品追溯技术研究热点包括无线射频识别技术(radio frequency identification, RFID)、条形码技术、DNA指纹技术、虹膜识别技术以及同位素指纹技术。

2.1 RFID 技术

RFID 起源于 20 世纪 40 年代的英国^[19],具有很高的读写效率,能同时读取多个标签^[20],对标签、阅读器的污染情况要求较低,可以进行穿透、无屏障的通讯,信息储存量相对较高,且可以进行动态的修改以及加密,安全性高^[21]。

RFID 系统可以应用于畜禽水产等活体目标养殖阶段的信息记录,利用 RFID 耳标对生猪进行溯源在四川省邛崃市得到了实现及推广,被称为“金卡猪”^[22]。马莉等^[23]综合使用 RFID 技术、条码技术及数据库技术,建立了针对水产品的一套养殖管理系统,在养殖阶段通过将射频标签打入鱼体实现身份识别,流通、加工及销售阶段采用条码技术进行身份认证,实现了水产品流通过程中信息追溯的同时尽可能减少了追溯成本。钟聪儿等^[24]综合使用 RFID、二维码和近场通信(near field communication, NFC)等技术设计了一种肉食品供应链追溯系统,养殖阶段针对野外网络条件差的情况使用自制的 RFID 复合型标签进行信息记录身份识别,屠宰加工阶段由于牛体被分割无法使用 RFID 技术,又由于加工现场血污较多因此使用抗污损能力强的二维码,流通阶段则利用 NFC 标签与客户进行互动,实现了从牧场到消费者的正向以及逆向追溯,展现了技术联用的优势。赵秋艳等^[25]则提出了使用有机 RFID 标签来解决成本过高的问题,并对其在动物食品溯源系统中的应用进行了探讨,有机 RFID 采用了印刷电子技术,虽然在读取速度等方面劣于无机 RFID,但其解决了目前更为紧迫的成本及大面积推广问题,因此技术联用以及技术升级将是未来 RFID 技术得以推广的突破口之一。Jakkhupan 等^[26]利用 RFID 技术综合可以实现自动即时识别以及供应链信

息共享的平台针对大米供应链建立了追溯体系,建立过程中加入了批次管理系统和电子交易系统额外的组成部分,结果表明,附加的组件可以显著提高可追溯信息的完整性,RFID 以及该平台的合作可以提高 RFID 的业务表现。

RFID 系统还有标准不统一的缺点,目前国际上存在日本泛在网络身份表示号码(ubiquitous ID,UID)规范、欧美的电子产品代码(electronic product code, EPC)规范以及 ISO 系列标准等,我国也于 2013 年发布了首个 RFID 国家标准^[27]。在经济全球化、食品贸易全球化的当代,多个标准并存造成了信号互不识别等诸多不便。

2.2 条形码技术

在食品追溯系统中,条码技术^[28-31]由于价格低廉,且二维码信息储存量大,存储信息类型多样,具有加密能力及较强的纠错抗污损能力,适合大面积的推广使用。

赵琨等^[32]利用二维码技术及云计算技术构建了针对蜜饯类产品的食品安全溯源系统,通过收集记录生产过程中的各项原料及操作信息构建数据库,消费者通过扫描产品二维码即可获得产品各项原料及操作信息,由此建立了一套农田到食品包装环节的溯源系统,并针对传统的消费者被动接受溯源信息的问题构建了消费者互动系统,消费者可以再扫描二维码后选择所需了解的详细产品信息并对产品进行评价,增加了消费者的话语权,对于厂商更是获得了消费者消费习惯的大数据,该系统亦可以在其他食品中进行大面积推广。梁琨等^[33]则针对谷物追溯开发了一款基于二维码和嵌入式系统的谷物溯源信息采集传输系统,其中温度、湿度、光照及 CO₂ 等传感器通过 Zigbee 模块与嵌入式核心进行信息交换,嵌入式核心还通过不同的方式与全球定位系统(global positioning system, GPS)模块、通用分组无线服务技术(general packet radio service, GPRS)模块及二维码扫描装置相连接,该装置可以实时收集传输谷物产地的环境信息,消费者在购买后扫描二维码即可了解到所购买谷物产地的信息。沈俊炳^[34]分析分解蟹肉制作的流程,使用欧洲物品编码(European article number, EAN)对生产厂家、单个商品进行身份标记,利用二维码对产品制作 6 个工艺中的工人姓名、制作时间等信息进行记录,消费者可以在购买产品后通过扫描追溯码了解到相关信息,同时企业也可以实时监控产品流向,实现双向追溯。Mc Inerney 等^[35]通过将条形码喷涂在肉鸡的喙上来实现对家禽的标记,并通过物理磨损测试对油墨的类型进行选择优化,以便其能够更好地粘合在喙上并且可以被读取。

条码技术由于其需要光电技术进行识别而导致的局限性多用作流通、加工阶段,多与数据库等计算机技术结合使用才可以发挥作用^[36]。条码技术标签外露同样意味着其在供应链过程中被修改替换的可能,如何通过计算机技术来确保信息不被修改或造假或成为未来发展的方向。

2.3 DNA 指纹技术

DNA 指纹技术以检测生物个体在基因或基因型上所产生的变异来反映生物个体之间差异^[37]。主要包括限制性片段长度多态性(restriction fragment length polymorphisms, RFLP)^[38]、简单重复序列(simple sequence repeat, SSR)、表达序列标签(expressed sequence tag, EST)技术^[39]。

使用 DNA 指纹技术进行品种鉴定需要先构建该品种的 DNA 指纹图谱,郭春苗等^[40]利用 SSR 技术,从 52 对 SSR 引物中选择 Vmc9a2.1、UDV-017、UDV-033 和 UDV-041 4 条引物,扩增出 32 个多态性位点进行排序,构建品种指纹图谱,实现了 44 个品种的区别鉴定,表明 SSR 技术具备可靠的品种鉴定能力。巫桂芬等^[41]利用相关序列扩增多态性(sequence-related amplified polymorphism, SRAP)、简单序列重复区间扩增多态性(inter-simple sequence repeat, ISSR)、SSR 技术对 231 份黄麻种质资源进行分析,完成了 154 份黄麻品种的识别,并且得出了复合标记比单一分子标记在构建基因组图谱方面更具有优越性的结论。王瑞等^[42]则利用 SSR 荧光标记技术构建了我国中晚熟区主推的 20 个高粱品种的 SSR 指纹图谱作为各品种特定图谱,从而为品种识别追溯提供依据。SSR 及 EST 联用是目前最为理想的一种分子标记技术^[43,44]。Bazakos 等^[45]利用单核苷酸多态性(single nucleotide polymorphism, SNP)和以 SNP 为基础的 PCR-RFLP 毛细管电泳平台对来自希腊、黎巴嫩和突尼斯的 13 种地中海橄榄油中的 6 种进行了区分。

DNA 指纹技术在溯源应用中需要大量的前期工作,构建数据库作为后期鉴定的基础,意味着该技术较难在基层的实际应用中大面积推广,但由于其溯源具有足够的深度,成熟之后会有较大的应用价值。

2.4 虹膜识别技术

食品安全问题日益突出的背景下,虹膜识别技术在食品追溯领域的应用也渐渐引起了人们的注意^[46]。虹膜识别的唯一性、稳定性、低错误率以及非侵犯性等优点让其成为了 21 世纪最具有发展潜力的生物识别技术之一^[47]。

罗忠亮等^[48]将肉类食品可追溯体系分为大型动物个体识别平台、信息采集与传送平台以及信息共享与服务平台 3 大平台,利用虹膜识别技术对大型动物个体进行个体身份标记,针对此批次的肉品,相关供应链中的参与者需要提供如屠宰信息、加工信息等,将这些信息连同身份信息输入 RFID 标签进行记录来达到溯源目的。方超等^[49]对大型动物的虹膜识别进行了研究,通过将虹膜编号与分割批号等相连接并转化为电子编码储存于电子标签中的方式构建了肉类食品的可追溯系统,实现了动物活体与分割肉的关联。但与此同时也发现针对牛眼的虹膜识别仍然在应用过程中存在图像采集困难、虹膜定位及其纹理的识别同人眼识别差异较大需要特殊的提取方法等问题,李超等^[50]

则针对牛眼虹膜定位的难题提出了一套新颖的牛眼虹膜定位算法,经过仿真实验得出该算法能有效的避免信息丢失,表现出了较高的精确性及实时性,具有较高的实用价值。

虹膜识别系统的工作方式意味着虹膜识别技术同 DNA 指纹技术一样需要一个庞大的数据库作为支撑^[51],而对于大型动物的虹膜识别,目前还处于试验阶段,相关文献也较少^[52]。

2.5 同位素指纹分析技术

同位素指纹分析技术在葡萄酒、乳制品、谷物以及肉类等很多食品的溯源中普遍适用^[53,54]。

项洋等^[55]利用同位素指纹分析技术对来自青海省河南县、大通县、四川省红原县、九龙县的牦牛样品进行了分析鉴定,结果表明各地牦牛肉中不同组织中的碳、氮、氢同位素存在显著差异($P<0.05$)或极显著差异($P<0.01$),脱脂牦牛肉中的稳定性碳同位素判别效果好于粗脂肪,综合同位素指标鉴定好于单一指标鉴定,最终运用氮、氢同位素综合指标进行鉴别的准确率高达 85%,表明该方法可对牦牛肉进行有效区分。王红云等^[56]以太行山区的赞皇大枣和婆枣作为研究对象,分析了 $\delta^{15}\text{N}$ 值在不同环境、组织、品种及采摘时期的条件下的变化规律,分析得出枣肉中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异不显著,而品种、地域、采摘时期均对枣肉中 $\delta^{15}\text{N}$ 值有影响且三者具有协同作用。邵圣枝等^[57]通过测定稻米中同位素比率及多元素含量结合主成分分析法和线性判别分析法建立模型,对不同省份的稻米进行了身份识别,正确率达 91%。Behkami 等^[58]利用马来西亚地区奶牛牛尾毛中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 含量信息建立了马来西亚地区奶牛的地域数据库,并与牛奶中两种同位素含量进行了比对,结果表明二者之间存在显著的正相关($P<0.00001$, $n=54$),意味着此项技术具有实现牛奶地理追溯的潜力。

同位素溯源技术作为一项新技术依然有很多问题亟待解决,不同来源及种类的食品的有效溯源指标依然还没确定,外界环境对同位素丰度的影响规律还不明晰以及仍不见有全球范围内的同位素指纹溯源数据库建立等,对同位素溯源技术的推广应用造成不便^[59]。

3 结论与展望

追溯体系的建立仍然面临许多困难,尽管建立追溯体系所带来的长远利益远大于建立所需的资金,但是对于某些地方上的追溯体系的建立,资金困难仍然是个不小的压力,这一点是大多数发展中国家都需要面临的问题;食品追溯过程的各个环节都要求上传信息的准确性和真实性,如何保证公众所得到的信息真实准确,杜绝卖法市恩的情况出现仍然是需要解决的问题;我国目前基层物流基建不足,信息化程度不高;可追溯产品服务体系建设仍在起步阶段,相关服务企业追溯方法、标准不一,难以监管。

为解决追溯体系建设的这些问题应该做到: (1)充分发

挥行业协会力量,为中小企业构建追溯体系提供帮助指导;(2)加强政府监管,利用有效的技术手段来遏制信息造假的情况;(3)规范建立溯源体系的流程,统一信息标准,规范追溯服务企业;(4)针对物流企业进行信息化评估,构建信息化物流;(5)提高宣传力度,加强人才培养,设置企业内专职或兼职岗位进行溯源系统建设协调,让企业拥有足够的自律能力。

整体而言,各溯源技术都有自身的优缺点,多种技术综合使用、技术升级以及融合物联网技术应是未来发展大方向。基于我国目前食品行业发展状况,经济便捷的物理手段如RFID及条形码技术结合准确性更高、溯源深度更深的生物手段如DNA指纹技术构建而成的溯源体系或成为未来发展趋势。

参考文献

- [1] 薛超波,王萍亚,赵进,等. 朊蛋白疾病及其肉食品安全的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(7): 2815-2820.
Xue CB, Wang PY, Zhao J, *et al.* Research progress on prion diseases and the safety of meat product [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(7): 2815-2820.
- [2] 解卉,李军民. 从欧洲“马肉丑闻”看全球形势下食品安全监管[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(22): 122-125.
Xie H, Li JM. The analysis and countermeasures for the inspection refusal information realised by FDA on Chinese food [J]. Food Res Dev, 2013, 34(22): 122-125.
- [3] 何坪华. 风险成本视角下违禁药品滥用的成因及其治理——以瘦肉精监管为例[J]. 华中农业大学学报, 2012, (2): 64-71.
He PH. Causes and governance of illicit drug abuse from perspective of risk cost-A case study in supervision of clenbuterol hydrochloride [J]. J Huazhong Agric Univ, 2012, (2): 64-71.
- [4] 迟玉聚,许美艳. 三聚氰胺奶粉事件评析[J]. 食品与药品, 2008, 10(6): 70-73.
Chi YJ, Xu MY. Occurrence and development of serious safety accident of infant milk powder [J]. Food Drug, 2008, 10(6): 70-73.
- [5] 曾艺坤,练彬斌,刘健伟,等. 湖南镉大米事件的分析[J]. 中外食品工业月刊, 2015, (3): 59.
Zeng YK, Lian BB, Liu JW, *et al.* Analysis of Cadmium rice event analysis in Hunan [J]. Sino-foreign Food Ind, 2015, (3): 59-59.
- [6] WHO. In children under five who estimates nearly a third of foodborne disease deaths worldwide [EB/OL]. [2015-12-3]. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/foodborne-disease-estimates/zh/>.
- [7] WHO. World health day 2015: from farm to table, ensure food safety [EB/OL]. [2015-4-2]. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/food-safety/zh/>.
- [8] 戴光麟,梁学利,肖致友,等. 低温食品运输过程环境监测系统研究[J]. 机电工程, 2014, 31(2): 191-194.
Dai GL, Liang XL, Xiao ZY, *et al.* Research of environment monitoring in the transportation process of low temperature food [J]. J Mech Electr Eng, 2014, 31(2): 191-194.
- [9] 全世文,曾寅初. 消费者对食品安全信息的搜寻行为研究——基于北京市消费者的调查[J]. 农业技术经济, 2013, (4): 43-52.
Quan SW, Zeng YC. Research of the behavior of the consumers to search the food safety information—based on the research of consumers in Beijing [J]. J Agro-Tech, 2013, (4): 43-52.
- [10] ISO8402-1994 质量管理和质量保证的术语[S].
ISO8402-1994 Term of quality management and quality assurance [S].
- [11] ISO9000-2005 质量管理体系基础和术语[S].
ISO9000-2005 Term and foundation of quality management system [S].
- [12] EC178-2002 通用食品法律[S].
EC178-2002 GM law of food [S].
- [13] Wilson TP, Clarke WR. Food safety and traceability in the agricultural supply chain: using the Internet to deliver traceability [J]. Sup Chain Manage, 1998, 3(3): 127-133.
- [14] Olsen P, Borit M. How to define traceability [J]. Trends Food Sci Technol, 2013, 29(2): 142-150.
- [15] Bosona T, Gebresenbet G. Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain [J]. Food Control, 2013, 33: 32-48.
- [16] GB/T 22005-2009 饲料和食品链的可追溯性体系设计与实施的通用原则和基本要求[S].
GB/T 22005-2009 General principles and basic requirements of feed and food chain traceability system design and implementation [S].
- [17] Aung MM, Chang YS. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives [J]. Food Control, 2014, 39: 172-184.
- [18] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国食品安全法[Z]. 2015-4-24.
Standing Committee of the National People's Congress, Food safety law of the People's Republic of China [Z]. 2015-4-24.
- [19] 刘鹏,卢潭城,高翔. 基于射频识别的室内定位技术综述[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(2): 195-201.
Liu P, Lu TC, Gao X. A review of radio frequency identification based indoor localization technology [J]. J Terahertz Sci Electron Inf Technol, 2014, 12(2): 195-201.
- [20] 元媛,姜岩峰. 射频识别(RFID)技术综述[J]. 半导体技术, 2006, 31(11): 801-804.
Yuan Y, Jiang YF. Overview of radio frequency identification technology [J]. Semicon Technol, 2006, 31(11): 801-804.
- [21] 程雪,周修理,李艳军. 射频识别(RFID)技术在动物食品溯源中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(10): 140-144.
Cheng X, Zhou XL, Li YJ. The application of radio frequency identification (RFID) technology in the animal food traceability [J]. J Northeast Agric Univ, 2008, 39(10): 140-144.
- [22] 白红武,孙传恒,丁维荣,等. 农产品溯源系统研究进展[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(4): 1-4.
Bai HW, Sun CH, Ding WR, *et al.* A reviewed of agricultural products traceability system [J]. Jiangsu Agric Sci, 2013, 41(4): 1-4.
- [23] 马莉,孙传恒,屈利华,等. 可追溯水产养殖质量安全管理系统设计[J]. 农业网络信息, 2011, (11): 49-51.
Ma L, Sun CH, Qu LH, *et al.* Design of quality and safety traceability aquaculture management system [J]. Aquac Network Inf, 2011, (11): 49-51.
- [24] 钟聪儿,林宇洪,邱荣祖等. 基于RFID、QR Code、NFC建立肉食品供应链追溯系统[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(4): 471-475.
Zhong CE, Lin YH, Qiu RZ, *et al.* Establishment of traceability system for

- meat food supply chain based on integration of RFID, QR Code and NFC [J]. J Fujian Agric Forest Univ, 2016, 45(4): 471–475.
- [25] 赵秋艳, 汪洋, 乔明武等. 有机 RFID 标签在动物食品溯源中的应用前景[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 154–158.
- Zhao QY, Wang Y, Qiao MW, *et al.* Application prospects of organic RFID tags for animal food tracing [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(8): 154–158.
- [26] Jakkhupan W, Arch-int S, Li YF. An RFID-based traceability system: A case study of rice supply chain [J]. Telecommun Syst, 2015, 58(3): 243–258.
- [27] GB/T 29768-2013 信息技术 射频识别 800-900 MHz 空中接口协议[S].
- GB/T 29768-2013 Information technology-Radio frequency identification-Air interface communication protocol of supporting security protocol at 800/900MHz [S].
- [28] 李丹. PDF417 条形码的识别技术与应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- Li D. Recognition technology and application of PDF417 bar code [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014.
- [29] 李俊宏, 湛邵斌. 条码技术的发展及应用[J]. 计算机与数字工程, 2009, 37(12): 115–154.
- Li JH, Zhan ZB. Development and application of bar code [J]. Comput Digit Eng, 2009, 37(12): 115–154.
- [30] 卿晓雷, 李小霞. 基于小型数据库的 PDF417 编码及软件实现[J]. 科技信息: 学术版, 2008, (36): 578–579.
- Qin XL, Li XX. The PDF417 code and the software implementation based on a small database [J]. Sci Technol Inf, 2008, (36): 578–579.
- [31] 张兴华. 矩阵式快速 QR 码的研究和应用[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.
- Zhang XH. Research and application of matrix quickly QR code [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2009.
- [32] 赵琨, 王稷罡, 江中林, 等. 基于二维码的蜜饯类产品安全溯源系统的设计与实现[J]. 上海师范大学学报, 2014, 43(6): 601–604.
- Zhao K, Wang JG, Jiang ZL, *et al.* The design and implementation of candied fruit products safety traceability system based on QR code [J]. J Shanghai Norm Univ, 2014, 43(6): 601–604.
- [33] 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(2): 167–171.
- Liang K, Shen MX, Ge YF, *et al.* Acquisition and transmission system for grain traceability based on two-dimensional barcode and ARM [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(2): 167–171.
- [34] 沈俊炳. 基于 EAN 码与 QR 码联用的食品可追溯体系在蟹肉罐头加工中的应用[J]. 中国渔业质量与标准, 2015, 5(5): 14–18.
- Shen JB. Application of the system of food traceability combining EAN code and QR code in the processing of canned crab meat [J]. Chin Fish Qual Stand, 2015, 5(5): 14–18.
- [35] Mc Inerney B, Corkery G, Ayalew G, *et al.* A preliminary in vivo study on the potential application of e-tracking in poultry using ink printed 2D barcodes [J]. Comput Electron Agric, 2010, 73(2): 112–117.
- [36] 徐志福, 石晓燕, 叶宏宝等. 一种泛接口农产品安全生产和质量追溯管理系统的研究与设计[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(12): 2092–2095.
- Xu ZF, Shi XY, Ye HB, *et al.* The research and design of a generic interface agricultural production safety and quality traceability management system [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2015, 56(12): 2092–2095.
- [37] 白玉. DNA 分子标记技术及其应用[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(24): 7422–7424.
- Bai Y. DNA molecular marker technology and its application [J]. J Anhui Agric Sci, 2007, 35(24): 7422–7424.
- [38] 朱玉贤. 现代分子生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- Zhu YX. Modern molecular biology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2013.
- [39] 周萌, 李友勇, 孙雪梅, 等. 基于 EST-SSR 标记的云南大茶树遗传多样性分析[J]. 华北农学报, 2013, (28): 91–96.
- Zhou M, Li YY, Sun XM, *et al.* Genetic diversity assessment of ancient tea plants in Yunnan province of China revealed by EST-SSR markers [J]. Acta Agric Boreali Sin, 2013, (28): 91–96.
- [40] 郭春苗, 李宁, 周晓明, 等. 基于 SSR 标记的葡萄品种(系)遗传多样性分析与指纹图谱构建[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(11): 2051–2058.
- Guo CM, Li N, Zhou XM, *et al.* Analysis of genetic diversity and construction of DNA fingerprinting for vites germplasm based on SSR markers [J]. Xinjiang Agric Sci, 2015, 52(11): 2051–2058.
- [41] 巫桂芬, 徐鲜均, 徐建堂, 等. 利用 SRAP、ISSR、SSR 标记绘制黄麻基因源分子指纹图谱[J]. 作物学报, 2015, 41(3): 367–377.
- Wu GF, Xu XJ, Xu JT, *et al.* Construction of molecular fingerprinting map in gene pool of jute with SRAP, ISSR, and SSR markers [J]. Acta Agron Sin, 2015, 41(3): 367–377.
- [42] 王瑞, 张福耀, 程庆军等. 利用 SSR 荧光标记构建 20 个高粱品种指纹图谱[J]. 作物学报, 2015, (4): 658–665.
- Wang R, Zhang FY, Cheng QJ, *et al.* Establishment of 20 sorghum hybrids fingerprints using SSR fluorescent marker [J]. Acta Agron Sin, 2015, (4): 658–665.
- [43] 王永, 刘娜, 李梅, 等. 基于 EST-SSR 标记的花椰菜种子品种鉴定[J]. 种子, 2014, 33(6): 21–24.
- Wang Y, Liu N, Li M, *et al.* Cultivars identification of *Brassica oleracea* var. *botrytis* using EST-SSR markers [J]. Seed, 2014, 33(6): 21–24.
- [44] 宋君, 雷绍荣, 郭灵安, 等. DNA 指纹技术在食品掺假、产地溯源检验中的应用[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(6): 3226–3228.
- Song J, Lei SR, Guo LA, *et al.* Application of DNA fingerprint technique in identification of adulterate food and food traceability [J]. J Anhui Agric Sci, 2012, 40(6): 3226–3228.
- [45] Bazakas C, Khanfir E, Aoun M, *et al.* The potential of SNP-based PCR-RFLP capillary electrophoresis analysis to authenticate and detect admixtures of Mediterranean olive oils [J]. Electrophoresis, 2016, 37(13): 1881–1890.
- [46] 孙冬梅, 裴正定. 生物特征识别技术综述[J]. 电子学报, 2001, 29(12A): 1744–1748.
- Sun DM, Qiu ZD. A survey of the emerging biometric technology [J]. Chin J Electron, 2001, 29(12A): 1744–1748.
- [47] 尚睿. 虹膜识别技术的最新进展综述[J]. 电脑知识与技术, 2015, 11(22): 117–118.
- Shang R. View of recent advances in iris recognition technology [J]. Comput Know Technol, 2015, 11(22): 117–118.
- [48] 罗忠亮, 段琢华, 戴经国等. 虹膜识别在基于物联网的肉类食品溯源中的研究[J]. 数学的实践与认识, 2013, 43(5): 102–108.
- Luo ZL, Duan ZH, Dai JG, *et al.* The research of iris recognition in meat

- food traceability based on the things of Internet [J]. Math Prac Theory, 2013, 43(5): 102–108.
- [49] 方超, 赵林度. 基于虹膜识别的肉类食品可追溯系统研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(7): 11–17.
- Fang C, Zhao LD. Research on meat food traceability system based on iris-recognition [J]. Chin Saf Sci J, 2008, 18(7): 11–17.
- [50] 李超, 赵林度. 牛眼虹膜定位算法研究及其在肉食品追溯系统中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(3): 124–130.
- Li C, Zhao LD. Research on cattle iris localization algorithm and its application in meat food tracking and traceability system [J]. Chin Saf Sci J, 2011, 21(3): 124–130.
- [51] 史春蕾, 杨丹丹, 韩飞. 虹膜识别综述[J]. 科技展望, 2016, 25(5): 1295–1300.
- Shi CL, Yang DD, Han F. Overview of iris recognition [J]. Sci Technol, 2016, 25(5): 1295–1300.
- [52] 孔强, 赵林度. 虹膜识别在肉类食品安全追溯系统中的应用及关键技术研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(3): 155–160.
- Kong Q, Zhao LD. Research on the application of iris recognition meat-food supply chain management [J]. Chin Saf Sci J, 2009, 19(3): 155–160.
- [53] 郭波莉, 魏益民, 潘家荣. 同位素溯源技术在食品安全中的应用[J]. 核农学报, 2006, 20(2): 148–153.
- Guo BL, Wei YM, Pan JR. Traceability technique of isotopic application in food safety [J]. J Nucl Agric Sci, 2006, 20(2): 148–153.
- [54] 祁茹, 林英庭. 同位素溯源技术在动物产品和饲料成分溯源中的应用[J]. 中国奶牛, 2010, (5): 45–49.
- Qi R, Lin YT. Traceability technique of isotopic application in animal product and feed ingredients traceability [J]. Chin Dairy Cattl, 2010, (5): 45–49.
- [55] 项洋, 郝力壮, 牛建章, 等. 稳定性碳、氮、氢同位素在牦牛产地区分中的应用[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 191–195.
- Xiang Y, Hao LZ, Niu JZ, *et al.* Stable isotope distribution of carbon, nitrogen and hydrogen in yak meat from different regions [J]. Food Sci, 2015, 36(12): 191–195.
- [56] 王红云, 付才, 黄志国, 等. 大枣不同组织氮稳定同位素变化规律研究[J]. 华北农学报, 2015, (30): 429–434.
- Wang HY, Fu C, Huang ZG, *et al.* Study on the change law of stable nitrogen isotope in tissue of Chinese-date [J]. Acta Agric Boreali Sin, 2015, (30): 429–434.
- [57] 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, 29(1): 119–127.
- Shao SZ, Chen YL, Zhang YZ, 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, 29(1): 119–127.
- [58] Behkami S, Zain S M, Gholami M, *et al.* Isotopic ratio analysis of cattle tail hair: A potential tool in building the database for cow milk geographical traceability [J]. Food Chem, 2017, 217: 438.
- [59] 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.

(责任编辑: 姜姗)

作者简介



李 鑫, 硕士, 主要研究方向: 食品质量与安全。

E-mail: 617912576@qq.com



黄登宇, 博士, 副教授, 主要研究方向: 食品卫生检测。

E-mail: Huangdy1110@126.com