



豆制品中转基因成分检测的研究进展

孟 静, 孙潇慧, 钟立霞, 霍胜楠

(山东省食品药品检验研究院, 山东 济南 250100)

摘 要:大豆作为主要的油料作物和植物蛋白来源, 在日常生活中发挥重要作用, 转基因大豆占市场供应比例很大。为明确流通市场上的豆制品中是否含有转基因成分, 推动对转基因原材料、转基因加工成品有效监控, 在豆制品的转基因监测过程中, 首先需建立快速准确地检测方法, 本文从国内市场大豆制品的消费、监测情况及转基因检测方法的研究进展方面进行了综述, 为转基因豆制品检测方法的研究发展提供参考。

关键词:大豆; 豆制品; 转基因; 检测方法; 聚合酶链式反应

Research Progress on the Detection of Genetically Modified Components in Soybean Products

MENG Jing, SUN Xiao-hui, ZHONG Li-xia, HUO Sheng-nan

(Shandong Institute for Food and Drug Control, Jinan 250100, China)

Abstract: As the main oil crop and source of plant protein, soybean plays an important role in daily life. The proportion of genetically modified soybeans in the market is very large. To ascertain whether the soybean products in market contain genetically modified ingredients and to promote the effective monitoring of genetically modified raw materials and processed products, in the process of transgenic monitoring of bean products, it is necessary to establish a fast and accurate detection method. In this paper, the consumption, monitoring situation of soybean products in domestic market and the research method progress of GM detection were summarized, which provided a reference for the research and development of GM detection methods.

Keywords: Soybean; Soybean products; Transgenic; Detection method; PCR

转基因方法能够通过分子生物学的手段将外源的特定基因导入植物受体中, 使外源基因整合到植物基因组中稳定遗传从而使植物获得特定基因表达的性状。随着科学技术的发展, 以转基因大豆为首的转基因作物发展迅猛, 2017 年全球大豆产量高达 3.34 亿 t, 很大程度上依赖于转基因技术。2013 年统计, 全世界转基因大豆播种面积已占大豆总播种面积的 81%, 转基因大豆的种植地主要集中在美洲地区, 其中最大的大豆出口国美国转基因大豆种植比例为 95%, 而阿根廷、巴西几乎全部种植转基因大豆^[1]。在全球大豆贸易中, 主要是转基因大豆的进出口贸易。我国 1997 年开始进口转基因大豆, 2017 年我国大豆进口量达到 9 500 多万 t, 约占全球大豆贸易量的 70%, 已是世界第一大豆进口国。转基因技术的出现带来了外源基因安全性及环境安全性的两个问题^[2], 但转基因技术的应用与推广是科技和社会经济发展的趋势, 所以转基因食品的安全是今后重点跟踪的研究方向。因此建立对转基因大豆的检测监督标准体系不仅是对消费者的知情权和选择权的尊重与保护, 更是有效食品安全监管的需求。本文就豆制品转基因的检测方

法进行了总结, 各实验室可针对检测对象、实验环境、实验要求等选择合适的仪器、方法, 确保豆制品转基因检测的快速准确, 共同为豆制品市场的监管及人民群众的食品安全献策献力。

1 国内市场豆制品的消费情况

2017 年, 我国大豆产量 1 440 万 t, 进口量 9 553 万 t, 中国大豆消费量占全球消费量 32%。国内总消费中, 榨油消费 9 560 万 t, 其国内大豆 180 万 t, 进口大豆 9 380 万 t; 食用及工业消费量 1 445 万 t, 由此可见, 国内大豆的消费主要集中在豆油和食品、饲料加工。我国已批准 8 个转基因大豆进口品种作为加工原料, 目前市场上主要有两种转基因大豆, 一种是美国孟山都公司生产的占据市场较大比例的抗草甘膦大豆(转 EPSPS 基因大豆), 可以抵抗草甘膦杀草剂, 另一种是抗虫转基因大豆。我国进口大豆主要用于两方面: 一是饲料豆粕^[3], 二是食品加工原料。大豆含有优质蛋白, 可制作成深受人们喜爱的各种菜肴^[4]。豆油加工过程中的副产物 - 磷脂, 由于具有良好的乳化性、分散性等, 广泛应用于肉制品、乳制品等产品中^[5-6]。另外, 大豆还广泛的

应用于医药、化工等领域^[7]。

2 豆制品市场转基因成分及标识现状

我国先后发布了《中华人民共和国种子法》《农业转基因生物安全管理条例》《农业转基因生物标识管理办法》等相关法律法规,对转基因产品的进口、种植、使用、监管作出了明确的体系要求。进口用做加工原料的农业转基因生物,不得改变用途。转基因安全管理政策的实施,要求产品在使用转基因大豆作为原料或成品销售时,需要在标签上进行相关标识,从而帮助消费者有效区分和选择转基因大豆和非转基因大豆。

阮金丽等^[8]调查了 2013 年深圳市居民对食品标签中转基因的标识情况,只有 27.5% 市民注意过转基因标识,同时还调查了转基因标签标识对转基因食品销售的影响,67% 的消费者表示不会购买标有转基因食品标识的产品。这表明消费者需要了解转基因产品的生产和标识情况,因此需要规范和加强转基因食品产品标签标识的监管。马博涵^[9]对河南省市售食品从标签上进行了转基因调查,发现食品中转基因成分主要集中在大豆油类以及含大豆油的复合产品,转基因大豆油占有率为 32%,沙拉酱中转基因大豆油占有率为 33.6%,饼干中转基因大豆油占有率为 26.4%。马建荣等^[10]对广州地区的市售大豆随机购买了 10 个样本,对 *CaMV35S* 启动子和 *NOS* 终止子进行扩增检测,这些样本的转基因阳性率为 80%;黄靖等^[11]对广州市售豆制品进行了转基因调查,在 48 份预包装产品中 18 份检出转基因成分;杨永存等^[12]对 2012 - 2015 年深圳市售转基因大豆及其制品的市场占有率进行了调查,4 年监测大豆及豆制品共 283 份,检出阳性样品 19 份,总体阳性率为 6.71%,大豆样品的转基因阳性率为 0,其中大豆制品未涉及大豆油。袁建琴等^[13]对山西省动物养殖饲料进行了转基因大豆 *GTS 40-3-2* 成分的检测,11 份饲料全部检出,但所有饲料均无转基因标识。

3 豆制品转基因检测的方法

目前,国内外转基因产品检验方法主要有两种,第一种是以核酸为检测目标物的方法,包括 PCR 法、芯片法等;第二种是以特定的表达蛋白为目标物的检测方法,包括蛋白质电泳、酶联免疫分析技术(ELISA)等。

3.1 核酸为检测目标

核酸的检测是研究最多、应用最为广泛的,检测对象主要是调控元件(如 *35S* 启动子、*NOS* 终止

子)、标记基因(筛选特征)和外源结构基因等,根据检测仪器的不同可以分为:聚合酶链式反应(PCR)、可视芯片法、数字 PCR 法等,所有这些应用都以从样本中提取 DNA 为整个检测的基础,也是最重要的部分。PCR 方法分为普通 PCR 和荧光 PCR 两种,主要使用 PCR 仪,通过设计引物,对特征性片段扩增后进行检测,普通 PCR 使用凝胶电泳定性,荧光 PCR 则是通过标记探针在扩增过程中对目的片段检测,同时可对核酸定量,通过多对引物的同时扩增来实现多个基因的高通量筛选,快速准确的定性定量。但核酸在酸、碱、高温等条件变化时,会发生降解,不能为后续的检测提供有效的模板,可能出现转基因检测的假阴性结果。我国豆制品的加工工艺主要包括高温蒸煮、磨粉成浆、压榨、发酵抽提等,不同的加工方式对基因组的影响不同^[14-17]。

3.1.1 聚合酶链式反应(PCR) 董立明等^[18]通过设计多重 PCR 引物,对转基因大豆 305423 和 MON89788 等 5 种常见的品系进行检测,检测灵敏度达到 0.1%,在转基因的品系筛查试验中具有省时省力的优点;王凤军等^[19]使用荧光 PCR 仪建立了同时筛查启动子和终止子两个靶基因的快速检测方法,最低检测限达到 $0.002 \text{ ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$;SN/T 1195-2003 规定的大豆中转基因成分的定性 PCR 检测方法中使用 PCR 方法对抗草甘膦转基因进行扩增后,进行凝胶电泳定性检测,根据 Lectin 内源基因和外源基因的检出情况判断样品中是否含有转基因成份,但凝胶电泳检测过程中,溴化乙锭(EB)染料对人体和环境有一定危害性,建议使用替代性染料。

3.1.2 可视芯片法 可视芯片法是把探针固定在薄膜表面,待检测核酸与探针结合后经酶的催化,在结合位点产生肉眼可见的杂交信号,该方法与膜芯片法原理相同,具有高通量的特点,已经广泛的应用在食品过敏原、外源基因成分的测定等方面^[20-21]。GB/T 35535-2017 规定的大豆、油菜中外源基因成分的测定中使用多对引物对样品中可能存在的外源基因进行 PCR 扩增后,与膜芯片杂交后,可通过肉眼观察结果,单次反应可同时筛选 8 种外源性成分,达到转基因成分的快速高通量检测。但芯片法在前期的开发过程成本昂贵,限制了芯片方法的应用。

3.1.3 LAMP 环介导等温扩增技术(Loop-mediated isothermal amplification method, LAMP)是在链置换 DNA 聚合酶(Bst DNA polymerase)的作用下,60 ~ 65℃ 恒温条件下实现核酸扩增,通过观察浑浊度

来判断是否有基因扩增,具有高特异性、操作简单、成本低的特点。王永等^[22]设计了转基因大豆 GTS40-3-2 的特异性引物,建立了可视化恒温扩增方法,可以通过颜色反应来判断结果,通过灵敏度度试验,能够检测出加工品中 0.001% 的转基因大豆 GTS40-3-2 转化体特异性成分。SN 3768 系列标准就是使用了 LAMP 方法对玉米、水稻、大豆等转基因成分进行检测,其中大豆 5 个品系的定性检测下限能够达到 0.5% (质量分数)。但分子生物学实验室功能区之间的交叉或未明确分区,酶的高灵敏度反应,在核酸提取过程中容易形成气溶胶污染,假阳性问题比较严重。

3.1.4 数字 PCR 数字 PCR 是 1999 年美国科学家 Vogelstein 等^[23]首次提出,它是通过将样品 DNA 充分稀释至单分子水平,从而进行几十至几万个单元的扩增反应并收集荧光信号,通过直接计数或泊松分布计算样品的原始浓度或含量^[24]。在反应过程中与内参基因及标准曲线的扩增效率无关,实现了样品的绝对定量。于晓帆等^[25]使用数字 PCR 对转基因 DAS-44406-6 品系大豆进行定量检测,模板 DNA 浓度为每个反应 0.5 ng,转基因大豆含量为 1% 时,相对标准偏差为 0.7%。数字 PCR 技术目前还处在初步发展阶段,但它具备了高通量和准确性的优点,应用前景广阔。

3.2 以蛋白质为检测目标

以蛋白质为目标物的转基因检测是提取样品中的目标蛋白后,通过特定方式的分离、比对或抗原抗体的结合,实现转基因产品的特异性蛋白检测。根据使用的仪器不同,可以分为电泳法、液相色谱法、ELISA 法等。电泳法是在提取样品中的蛋白后,根据分子大小和所带电荷的不同,在电场的作用下,发生不同距离的迁移,从而达到不同蛋白分离的目的,常用的介质主要有琼脂糖凝胶和聚丙烯酰胺凝胶。金红等^[26]建立了 SDS-PAGE 蛋白质电泳分离转基因大豆特异性蛋白的方法,发现了一条分子量约为 45 000 Da 的蛋白带的表达量增强,经过与非转基因大豆进行比对,确认为转基因大豆特有蛋白条带,转基因大豆蛋白的分离检测也可使用液相色谱,该方法需要大量样本的检测来建立图谱库,不同地域的原料谱图也会有差异,检测及确认工作量较大。

ELISA 方法也可用来评估转基因植物中蛋白的表达量,该方法利用抗体与目标蛋白的特异性结合,产生可检测的信号,实现转基因产品特异蛋白的检测。Lipp 等^[27]建立的 ELISA 检测方法,可快速地对大豆原料中的转基因成分含量进行检测,低限

可达到 0.3%。白卫滨等^[28]使用 ELISA 方法检测抗草甘膦转基因大豆 CP4EP-SPS 蛋白的方法,并对进口大豆进行了筛选,与预期结果相符。该原理已经推广到商业试剂盒的应用,准确度高、重现性好,操作简单,一次可处理大批量样品,可用于定性筛选实验,但前期的抗体制备较繁琐,一次只能检测一种转基因成分,对结构类似的化合物有一定的交叉反应。ELISA 方法适用于在市场监督管理执法环节的快速筛选,疑似阳性后需在实验室进一步阳性确认。大豆在加工过程中,蛋白质的变性、降解等变化对试验结果带来较大影响,基于蛋白的检测方法在豆制品的转基因检测中应用不多。

基于蛋白的转基因检测方法仅适用于大豆原料的检测,对于加工过的豆制品,其蛋白质很容易被变性破坏,影响准确性,另外蛋白的表达具有部位特异性,不同于核酸存在于转基因作物的任何部位,在豆制品的检测时若仅涉及到大豆种子,也会影响到检测结果。

核酸和蛋白的这两种检测方法的重点都是目标物的提取,由于加工工艺的影响,核酸、蛋白的降解严重,对检测结果造成影响。检测人员对核酸、蛋白的提取技术进行了研究,优化了适用不同产品类型的前处理方法。除了传统的核酸提取方法外,以纳米磁珠为载体的核酸提取方法在提取中展现出优势,可实现样品的快速高效提取^[29]。针对不同样品,目前研究较多的是样品的前处理过程,旨在获得能够满足后续检测需要的目标物。

3.3 其它检测方法

当插入基因的表达与传统大豆在营养成分上有较大的区别,或深加工豆制品中核酸、蛋白的提取困难时,如大豆油,可通过色谱技术对其化学成分进行分析。李桂华等^[30]利用高压液相色谱技术测定了转基因大豆中的维生素 E 含量,可以为转基因与非转基因大豆的鉴定提供一个研究方向。PCR 方法也可以和液相色谱法结合,白月等^[31]应用多重 PCR 技术同时扩增马铃薯的内源基因和外源基因,在扩增产物的检测阶段用液相色谱代替凝胶电泳,灵敏度可达到 $1 \text{ ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ 。该方法尚未应用在转基因大豆的检测中。

红外光谱法是转基因大豆的快速、无损检测方法。它利用近红外高光谱成像技术,使用统计学方法对转基因大豆进行预测。王海龙等^[32]使用近红外光谱对转基因大豆的预测正确率达到 75% 以上;方慧等^[33]使用中红外光谱建立了 PLS-DA 判别模型,预测集的准确率超过 75%,为转基因大豆的快速准确鉴别提供了一种新方法。

4 展 望

转基因产品检验方法中基于核酸提取的检测方法虽然对仪器及检测人员的要求均较高,但核酸在加工过程中受加工过程的影响小,具有较高的灵敏度和特异性,仍是大多数实验室检测分析转基因产品的首要选择。以蛋白质为目标物的转基因检测方法虽然在加工过程中其蛋白质很容易被变性破坏影响准确性,但是在形成商业化推广后,由于具有操作简便,对人员的技术要求低等特点,也广泛应用于转基因原料及制品的检测。

中国是转基因植物及其制品的巨大市场,而豆制品中转基因大豆品种又居于首位,随着生物技术的迅速发展,将会有更多的转基因大豆品种出现,如杜邦公司和孟山都公司在转基因品种开发方面取得的新进展,丰富了生物品种的多样性。为满足人们日益增长的物质需要提供了新的途径,具有潜在而巨大的经济效益和社会效益的同时也给转基因生物安全监管和检测提出了更为严峻的问题。为适应转基因产品的快速发展,需要尽快构建转基因检测的标准体系,并以统一、有效、协调、时效性为原则,开展对标准体系的评价、确认和改进,进一步完善标准体系,建立行之有效的检测和监管体系,为保障食品安全做好技术支撑。

参考文献

[1] James C. Global status of commercialized Biotech/GM crops;2009 [M]. New York:The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA),2009.

[2] 王南,李海燕. 转基因大豆概况及其安全性[J]. 吉林农业, 2016(19):118. (Wang N, Li H Y. General situation and safety of transgenic soybean[J]. Jilin Agriculture, 2016(19):118.)

[3] 赵必迁. 大豆黄酮在产蛋鸡生产上应用的研究进展[J]. 广东饲料,2017,26(8):31-33. (Zhao B Q. Research progress on application of daidzein in laying hens[J]. Guangdong Feed, 2017, 26(8):31-33.)

[4] 时玉强,鲁绪强,马军,等. 大豆蛋白在传统豆制品中的应用[J]. 中国油脂,2017,42(3):155-158. (Shi Y Q, Lu X Q, Ma J, et al. Application of soybean protein in traditional bean products[J]. China Oils and Fats,2017,42(3):155-158.)

[5] 李玉珍,肖怀秋,兰立新. 大豆分离蛋白功能特性及其在食品工业中的应用[J]. 中国食品添加剂,2008(1):121-124. (Li Y Z, Xiao H Q, Lan L X. Functional characterizations of SPI and its applications in food industry [J]. China Food Additives,2008 (1):121-124.)

[6] 李景. 大豆磷脂的功能特性及应用现状[J]. 安徽农学通报, 2017,23(22):102-104. (Li J. The Function and application of soybean phospholipid[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017,23 (22):102-104.)

[7] 李彦磊. 改性大豆分离蛋白可生物降解材料的研究[D]. 洛阳:河南工业大学,2014. (Li Y L, Study on biodegradable materials of modified soy protein isolate[D]. Luoyang: Henan University of Technology,2014.)

[8] 阮金丽,程晨,陈丽华,等. 深圳市居民对转基因食品及其标识认知的再调查与分析[J]. 现代食品科技,2013,29(4):848-852,871. (Ruan J L, Cheng C, Chen L H, et al. Investigation and analysis of consumer recognition of genetically modified foods and transgenic labelling -a case study of Shenzhen city[J]. Modern Food Science and Technology,2013,29(4):848-852,871.)

[9] 马博涵. 市售转基因食品的调查[J]. 中国战略新兴产业, 2017(48):1-3. (Ma B H. Survey of genetically modified foods sold in market [J]. China Strategic Emerging Industry, 2017 (48):1-3.)

[10] 马建荣,余永红. 市场销售大豆的转基因检测[J]. 广东化工, 2018(2):37-38. (Ma J R, Yu Y H. Transgenic detection of several commercial soybean[J]. Guangdong Chemical Industry, 2018 (2):37-38.)

[11] 黄靖,何敏恒,许喜林. 广州市售豆制品转基因成分的检测与分析[J]. 中国酿造,2014, 33(9):138-142. (Huang J, He M H, Xu X L. Detection and analysis of genetically modified ingredients in soybean products in Guangzhou[J]. China Brewing,2014, 33(9):138-142.)

[12] 杨永存,杨冬燕. 2012-2015 年深圳市售转基因大豆及其产品的监测结果分析[J]. 食品安全质量检测学报,2016,7(9): 3092-3097. (Yang Y C, Yang D Y. Monitoring results of genetically modified soybean and its products from Shenzhen market in 2012-2015[J]. Journal of Food Safety and Quality,2016,7(9): 3092-3097.)

[13] 袁建琴,赵江河,史宗勇,等. 动物饲料中转基因抗草甘膦大豆 GTS40-3-2 成分的检测[J]. 大豆科学,2016,35(2):295-300. (Yuan J Q, Zhao J H, Shi Z Y, et al. The detection of transgenic soybean GTS 4032 component in animal feed[J]. Soybean Science,2016,35(2):295-300.)

[14] 陈颖,王媛,徐宝梁. 食品加工工艺对大豆内源基因降解变化规律的影响[J]. 中国粮油学报,2005,20(4):60-64. (Chen Y, Wang Y, Xu B L. Effect of food processing technology on the variation of endogenous gene degradation in soybean[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2005,20(4):60-64.)

[15] 郑文杰,刘烜,刘伟,等. 转基因大豆加工产品的定性 PCR 检测[J]. 农业生物技术学报,2003,11(5):467-471. (Zheng W J, Liu H, Liu W, et al. Qualitative analysis of the processed genetically modified soybean products by PCR-based method[J]. Journal of Agricultural Biotechnology,2003,11(5):467-471.)

[16] Debode F, Janssen E, Berben G. Physical degradation of genomic DNA of soybean flours does not impair relative quantification of its transgenic content[J]. European Food Research and Technology, 2007, 226(1):273-280.

[17] Bauer T, Weller P, Hammes W P, et al. The effect of processing parameters on DNA degradation in food[J]. European Food Research and Technology, 2003, 217(4):338-343.

[18] 董立明,李葱葱,邢珍娟,等. 利用多重 PCR 技术快速检测五个转基因大豆品系[J]. 大豆科学,2016,35(6):1002-1007. (Dong L M, Li C C, Xing Z J, et al. Rapid detection of five genetically modified soybean lines by multiplex PCR method[J].

- Soybean Science, 2016, 35 (6): 1002-1007.)
- [19] 王凤军, 叶素丹, 包永华. 转基因大豆及其制品二重荧光定量PCR的建立与验证[J]. 食品工业科技, 2018 (8): 236-239. (Wang F J, Ye S D, Bao Y H. Establishment and verified of a duplex fluorescence quantitative PCR for screening of genetically modified soybeans and products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018 (8): 236-239.)
- [20] GB/T 35535-2017. 大豆、油菜中外源基因成分的测定膜芯片法[S]. 北京: 全国生化检测标准化技术委员会, 2017. (GB/T 35535-2017. Detection of genetically modified components in soybean and canola membrane-based gene-chip method[S]. Beijing: National Technical Committee on Biochemical Testing of Standardization Administration, 2017.)
- [21] 国家质量监督检验检疫总局. 常见食品过敏原可视芯片检测方法; SN/T 4417-2016[S]. 北京: 全国信息与文献标准化技术委员会, 2016. (General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Food allergen detection with visual biosensor chips; SN/T 4417-2016[S]. Beijing: China National Information Technology Standardization Network, 2016.)
- [22] 王永, 兰青阔, 朱珠, 等. 转基因大豆 GTS40-3-2 成分现场可视化检测方法的建立[J]. 大豆科学, 2014, 33 (4): 570-573. (Wang Y, Lan Q K, Zhu Z, et al. Development of visual loop-mediated isothermal amplification assay for herbicide-resistant soybean GTS40-3-2 and its derivatives[J]. Soybean Science, 2014, 33 (4): 570-573.)
- [23] Vogelstein B, Kinzler K W. Digital PCR[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1999, 96 (16): 9236-9241.
- [24] 李春勇. 数字 PCR 技术原理及应用[J]. 生物技术世界, 2014 (10): 10-13. (Li C Y. Principle and application of digital PCR technology[J]. Biotech world, 2014 (10): 10-13.)
- [25] 于晓帆, 高宏伟, 孙敏, 等. 荧光 PCR 和数字 PCR 法检测转基因 DAS-44406-6 品系大豆[J]. 食品科学, 2016, 37 (16): 235-241. (Yu X F, Gao H W, Sun M, et al. Detection of genetically modified soybean event DAS-44406-6 by real-time PCR method and digital PCR method[J]. Food Science, 2016, 37 (16): 235-241.)
- [26] 金红, 孙琪, 张斌, 等. 利用蛋白质 SDS-PAGE 电泳方法检测转基因大豆的初步研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31 (5): 148-150. (Jin H, Sun Q, Zhang B, et al. The preliminary study on detecting transgenic soybeans by protein SDS-PAGE method[J]. Food Research and Development, 2010, 31 (5): 148-150.)
- [27] Lipp M, Anklam E, Stare J W, et al. Validation of an immunoassay for detection and quantitation of a genetically modified soybean in food and food fractions using reference materials: Interlaboratory study[J]. Journal of AOAC International, 2000 (83): 919-927.
- [28] 白卫滨, 孙建霞, 姜桂传. ELISA 方法定量检测转基因大豆及其产品的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33 (11): 103-106. (Bai W B, Sun J X, Jiang G C. Study on quantitative detection of genetically modified soybean and processed products by ELISA method[J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33 (11): 103-106.)
- [29] 赵晓丽, 梁新苗, 槐硕, 等. 磁性纳米粒子的制备及在转基因大豆检测中的应用[J]. 植物检疫, 2017, 31 (4): 31-33. (Zhao X L, Liang X M, Huai S, et al. Preparation of magnetic nanoparticles for genetically modified soybean detection[J]. Plant Quarantine, 2017, 31 (4): 31-33.)
- [30] 李桂华, 代红丽, 傅黎敏. 高压液相色谱法测定我国大豆种子中维生素 E 含量[J]. 中国粮油学报, 2006, 21 (3): 292-295. (Li G H, Dai H L, Fu L M. The determination of vitamin E content of soybean seeds in China with HPLC[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 21 (3): 292-295.)
- [31] 白月, 栾凤侠, 高宏伟, 等. 应用多重 PCR-DHPLC 方法快速检测转基因马铃薯及 EH92-527-1 品系鉴定[J]. 中国马铃薯, 2011, 25 (3): 129-134. (Bai Y, Luan F X, Gao H W. Rapid detection of GMO potato and identification of the line EH92-527-1 by multiplex PCR and DHPLC[J]. Chinese Potato Journal, 2011, 25 (3): 129-134.)
- [32] 王海龙, 杨向东, 张初. 近红外高光谱成像技术用于转基因大豆快速无损鉴别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2016 (6): 1843-1847. (Wang H L, Yang X D, Zhang C. Fast identification of transgenic soybean varieties based near infrared hyperspectral imaging technology[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016 (6): 1843-1847.)
- [33] 方慧, 张昭, 王海龙, 等. 基于中外光谱技术鉴别转基因大豆的方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37 (3): 760-765. (Fang H, Zhang Z, Wang H L, et al. Identification of transgenic soybean varieties using mid-infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37 (3): 760-765.)