

阮先乐, 张 杰. 转基因成分的检测方法综述[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(5): 12–15.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.003

转基因成分的检测方法综述

阮先乐, 张 杰

(周口师范学院生命科学与农学院, 河南周口 466001)

摘要:随着转基因生物在全世界的广泛应用, 转基因成分检测技术越来越受到广大消费者、各国政府及相关机构人员的重视。本文从聚合酶链式反应(PCR)检测技术、环介导等温扩增检测技术、近红外光谱检测技术、生物传感器检测技术、生物芯片检测技术和蛋白质检测技术等方面进行综述, 并提出今后转基因成分检测技术的发展趋势和研究方向。

关键词:转基因; 成分; 检测方法

中图分类号: Q785 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0012-03

转基因成分检测技术是进行转基因生物研究和安全管理的重要技术保障。研究人员可以利用此技术辅助判断是否成功地把目的基因转入受体细胞, 目的基因是否在受体细胞中成功地表达及转基因生物对环境、食用安全性的影响, 从而建立一套高效的技术研究体系; 另一方面, 转基因生物安全管理部门也有必要建立一套转基因成分检测技术标准, 使各项工作得以顺利实施。2002 年欧盟要求对转基因产品从生产、运输、保存、销售等过程进行全程的跟踪和检测^[1]。现在已有 65 个国家和地区对转基因产品采取强制性的标志管理制度, 但也有些国家和地区采取自愿标志模式^[2]。2014 年 5 月 27 日, 我国农业部发布《农业部关于进一步加强农业转基因生物安全监管工作的通知》, 要求各级农业部门, 要以水稻、玉米、大豆和油菜种子为重点, 依法严厉查处非法生产、加工、销售转基因种子的行为。2015 年 10 月 1 日起施行的《中华人民共和国食品安全法》第六十九条明确要求生产经营转基因食品应当按照规定显著标志。

1 转基因成分检测技术

1.1 PCR 检测技术

PCR 检测技术是一种灵敏度高、技术较成熟的转基因成分检测方法。根据特异性的不同可把它分为筛查法、目的基因特异性、构造特异性和事件特异性 4 种方法^[3]。检测的主要基因包括调控基因、标记基因和目的基因, 其中调控基因包括启动子和终止子。常用的启动子是花椰菜花叶病毒 CaMV 35S, 终止子是脂肪碱合成酶 NOS, 标记基因有 *Bar^r* (抗草丁膦基因)、*Km^r* (抗卡那霉素基因)、*Neo^r* (抗新霉素基因)、*Hyg^r* (抗潮霉素基因)^[4]。目前, PCR 检测技术已经成功地应用在玉米、大豆、水稻和小麦的转基因成分检测上^[5-8]。

转入多个目标基因, 需要用多重 PCR 技术进行检测, 这种技术不但能提高检测效率, 而且能够有效地防止假阳性。魏霜等研究表明, 以水稻内源基因 *SPS*、外源抗虫基因 *Cry-*

IAb、外源抗虫基因 *CryIAb/Ac*、外源抗虫基因 *BtC*、报告基因 *GUS*、*NOS* 终止子和 CaMV 35S 启动子为检测对象, 建立的 7 重 PCR 体系能有效地检测出水稻中的转基因成分, 检测过程比较简便, 特异性比较好^[9]。利用此项技术, 在烟叶、甘蔗、大豆、玉米、柑橘和棉花上都成功地检测到转基因成分^[10-15]。

目前, 许多国家和地区对转基因产品规定了最低阈值, 如欧盟和俄罗斯为 0.9%, 日本和中国台湾为 5.0%, 韩国为 3.0%^[16]。为此, 须要采用实时荧光定量 PCR 技术保证转基因成分的定量检测。沈元劼等用实时荧光定量 PCR 研究棉花黄萎病菌, 检测灵敏度为 100 copies/ μ L^[17]。仇有文等采用实时荧光定量 PCR 技术检测耐除草剂转基因大豆 A5547-12, 结果表明定量 PCR 检测方法的 LOD 和 LOQ 分别是 1、10 copies/ μ L^[18]。王盛等采用实时荧光定量 PCR 技术检测转基因烟草中外源绿色荧光蛋白基因(*GFP*)的拷贝数, 在检测的 5 株转基因烟草中, *GFP* 基因的拷贝数分别为 5、8、19、28、45 个, 非转基因烟草植株的 *GFP* 基因拷贝数为 0^[19]。

1.2 环介导等温扩增检测技术

2000 年 Notomi 等发明了一种新的 DNA 扩增方法, 即 DNA 环介导等温扩增技术(loop mediated isothermal amplification, 简称 LAMP)^[20]。这种技术对目的基因 6 个不同区域分别设计了 4 种不同的特异性引物, 利用链置换 DNA 聚合酶在恒温条件下反应, 从而完成核酸的扩增。邵碧英等研究表明, 建立的 LAMP 检测方法能稳定、特异地检测转基因大豆 A2704-12 品系, 检测限达到了 0.1%^[21]。闫兴华等对玉米 LY038 中 *cordaA* 基因建立的 LAMP 扩增技术灵敏度高, 特异性好、稳定性较高^[22]。陈金松等用 LAMP 法针对玉米表达载体的花椰菜花叶病毒 CaMV 35S 进行检测, 结果表明, 这种方法特异性高、用时少、成本较低, 为检测转基因玉米提供了一种更加简便快速的方法^[23]。王永等建立的转基因水稻中 *cryIac* 基因的 LAMP 检测法比传统的 PCR 检测方法最低定性检测限高 10 倍, 它非常适合抗虫转基因水稻的快速检测^[24]。

1.3 近红外光谱分析检测技术

近红外光谱是介于可见光谱和中红外光谱之间的电磁波, 波长范围在 780~2 526 nm 之间, 它不会对人体有任何伤害, 也不会对周围的环境造成污染, 同时这项技术对大多数样

收稿日期: 2016-01-11

作者简介: 阮先乐(1977—), 男, 河南淮阳人, 硕士, 讲师, 主要从事植物细胞工程的研究和教学工作。E-mail: ruanxianle@126.com。

品不需要进行预处理就可以直接测量,真正地做到低成本、快速、实时和无损测量^[25]。2002 年, Farid 首次提出利用近红外光谱可以解决聚合酶链式反应法和酶联免疫法在转基因农产品检测中所存在的问题^[26]。

闫灵采集了金龙鱼等 6 个品牌的菜籽油,利用近红外光谱仪对 117 份样品进行了全谱段的光谱采集,结果表明,基于近红外光谱的转基因菜籽油快速鉴别方法是可行的^[27]。翟亚锋等对不同品种的 9 个转基因小麦样品种子分别建立了鉴别模型,通过近红外光谱仪扫描获得光谱数据,结果表明该方法具有较高的鉴别准确度,可以作为一种快速无损的转基因小麦种子鉴别方法^[28]。吴江等利用近红外光谱分析仪对大豆扫描得到反射光谱,应用主成分分析结合反向传播(back-propagation,简称 BP)神经网络法分析鉴别,结果说明近红外光谱结合主成分分析和 BP 神经网络法能无损快速准确地鉴别转基因大豆^[29]。芮玉奎等以转基因棉花及对照作为试验材料,利用近红外光谱仪对转基因棉花及对照根际土壤和非根际土壤中的全氮和有机质进行分析研究,同时利用标准的方法进行对比检测,结果表明近红外检测样品的结果与标准方法结果无明显的差别^[30]。唐丽娟等运用傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)技术分析过量表达 *HPS/PHI* 转基因与野生型天竺葵在甲醛胁迫下体内各物质含量的变化规律及光谱表征,结果表明 FTIR 可作为一种鉴定有甲醛光合同化途径的转基因天竺葵与野生型天竺葵表型差异的新技术^[31]。

1.4 生物传感器检测技术

生物传感器是利用细胞、组织、酶或免疫制剂等生物识别元件的特异性生物化学反应,借助光、电等各种信号对化学物质进行检测的一类装置^[32]。该技术具有高灵敏度、高特异性、实时和快速等优点,在环境检测、食品和发酵等方面得到了广泛的应用^[33-35]。近年来,随着转基因产品逐渐走入人们的生活及生物产业的迅猛发展,生物传感器在转基因产品检测方面也发挥了越来越重要的作用。王学亮等利用 DNA 电化学生物传感器对外源草甘膦乙酰转移酶基因片段进行检测,检出限是 0.032 nmol/L^[36]。许凯等利用 DNA 电化学生物传感器定量检测根瘤农杆菌终止子基因片段,检出限是 0.081 nmol/L^[37]。茹柿平以转基因作物中常见的 CryIAb 蛋白为检测对象,利用电化学免疫生物传感器技术实现了对 CryIAb 蛋白的定量检测^[38]。王健通过研究表明,DNA 生物传感器对 *NPT-II* 基因中特异片段的准确检测可作为一种通用方法应用于许多转基因植物的快速鉴定^[39]。肖守斌建立的表面等离子共振生物传感检测系统能够灵敏、快速、简单地用于转基因玉米的检测^[40]。

目前生物传感器的应用受到稳定性、重现性和使用寿命的限制,再加上转基因生物成分的复杂性,使得实现商业化的生物传感器数量受到制约。但随着计算机技术、微制造技术和生物材料的不断发展,生物传感器技术在转基因成分检测领域的应用会越来越广泛。

1.5 生物芯片检测技术

所谓生物芯片是指采用微加工技术在玻璃、尼龙膜等固体材料上构建微型生物化学分析系统,从而对细胞、核酸片段、蛋白质、糖类及脂类等进行准确、快速和高通量的检验。按照生物芯片上固化材料的不同,可分为蛋白质芯片、基因芯

片、组织芯片和细胞芯片等。汪琳等建立的对 CryIAc 蛋白、植酸酶蛋白、CryIAb 蛋白等 3 种转基因成分的蛋白芯片检测技术,具有较高的灵敏性、特异性和可靠性^[41]。武海斌等采用基因芯片技术结合多重 PCR,能够在 1 张芯片上同时有效地检测及鉴定 7 种转基因玉米,大大提高了检测的准确率和效率^[42]。刘烜等利用基因芯片技术对转基因玉米中相关转基因成分的研究表明,此项技术的检测灵敏度可达到 0.1%^[43]。周萍萍等建立的转基因大豆基因芯片检测技术,对 CaMV 35S 启动子、NOS 终止子和外源基因 *CP4EPSPS* 的检测灵敏度均达到 0.45%^[44]。

生物芯片技术在转基因成分检测中所发挥的作用越来越受到人们的重视,但还需要依赖生物基因数据库的不断建立和完善,依赖于该技术可靠性和特异性的不断提高,才能够在以后的转基因成分检测中发挥更大的作用。

1.6 蛋白质检测技术

1.6.1 酶联免疫吸附测定(ELISA)法 利用抗原抗体反应,对样品中的蛋白质进行定性或定量检测。王新桐等采用双抗体夹心酶联免疫吸附法定量检测转基因棉花中新霉素磷酸转移酶(*NPT II*)基因,结果表明该方法具有良好的应用价值和前景^[45]。刘志浩等采用双抗体夹心酶联免疫吸附法定量检测转基因玉米中膦丝菌素乙酰转移酶(*PAT*)基因,结果表明该方法对转基因玉米中的 *PAT* 蛋白能够进行准确、特异和有效的检测^[46]。

1.6.2 蛋白质印迹(Western Blot)杂交法 利用 Western Blot 分子杂交技术特异性检测目的蛋白质,它可以确定一个样品中是否含有低于或高于一定水平的目标蛋白质,特别适合不溶性蛋白质的检测和分析。杨烁等采用 Western Blot 分子杂交技术对转基因水稻中的 HPT 蛋白质进行分析,结果表明只需要单粒种子的 1/10 就可以确定是否含有 HPT 蛋白质成分^[47]。兰金苹等采用 Western Blot 分子杂交技术对 *NPT II* 蛋白质在转基因水稻中的表达特征进行了研究,结果表明苗期叶片中这种蛋白质的含量约为其鲜质量的 0.08%^[48],该蛋白质在水稻不同的发育时期、不同的器官和组织中表达量有所不同。

2 讨论

PCR 和 LAMP 这 2 种检测技术在实际运用中,存在引物设计的特异性、核酸的提取质量、产品在加工过程中产生的抑制剂等问题,在一定程度上限制了这 2 种检测技术的应用。蛋白质检测技术的问题是由于蛋白质在深加工过程中容易失去抗原性,此项技术也不适合深加工转基因产品的检测。近红外光谱技术、生物传感器技术和生物芯片要求技术含量高,操作比较复杂,数据分析也比较麻烦。综上所述,在进行转基因成分检测时,无论采用哪一种方法,都需要针对转基因产品进行大量的试验,弄清楚如何提取 DNA、如何建立反应体系、如何进行分析和描述等工作。综合运用基因水平、蛋白质水平的检测技术,综合运用定性和定量检测技术。从而为转基因产品的研究和安全评估提供可靠的技术保障体系。

随着转基因技术的发展,将来会有越来越多的转基因产品走进人们的生活,对转基因成分的检测技术也提出了更高的要求,向着快捷、简便、灵敏、高效的方向发展,同时向着一

次性、可视性的转基因成分检测方向发展。

参考文献:

- [1] 方献平, 马华升, 余红, 等. 转基因常见检测技术与蛋白质组学的应用[J]. 浙江农业科学, 2013, 1(10): 1-1330.
- [2] 罗阿东, 焦彦朝, 曹云恒, 等. 转基因大豆检测技术研究进展[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(5): 20-22.
- [3] Holst-Jensen A, Rønning S B, Løvseth A, et al. PCR technology for screening and quantification of genetically modified organisms (GMOs) [J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2003, 375(8): 985-993.
- [4] 林清, 彭于发, 吴红, 等. 转基因作物及产品检测技术研究进展[J]. 西南农业学报, 2009, 22(2): 513-517.
- [5] 张广远, 孙红伟, 李凡, 等. 转基因玉米 MIR162 转化事件特异性检测方法及其标准化[J]. 作物学报, 2013, 39(7): 1141-1147.
- [6] 郭云鹏, 俞淑芳, 张风红, 等. 大豆中转基因成分的定性 PCR 检测[J]. 中国饲料, 2013(20): 40-42.
- [7] 王渭霞, 赖凤香, 洪利英, 等. 转基因水稻 DNA 样品浓度以及存放条件对 PCR 定性检测的影响[J]. 农业生物技术学报, 2010, 18(5): 846-852.
- [8] 刘易科, 张菲菲, 廖玉才, 等. 一种适合普通小麦转基因检测的内标准基因 *PSG719* [J]. 农业生物技术学报, 2015, 23(5): 683-689.
- [9] 魏霜, 陈贞, 芦春斌, 等. 多重 PCR 检测转基因水稻的转基因成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 159-162.
- [10] 余婧, 郭玉双, 林世锋, 等. 多重 PCR 技术快速检测烤后烟叶转基因成分[J]. 生物技术通报, 2015, 31(7): 64-68.
- [11] 张卓, 许莉萍, 陈平华, 等. 多重 PCR 快速检测甘蔗转基因成分研究[J]. 热带作物学报, 2014, 35(5): 897-903.
- [12] 刘营, 张明辉, 甄贞, 等. OsDREB3 大豆品系特异性巢式 PCR 及多重 PCR 检测方法的建立[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(4): 7-11.
- [13] 李会, 任志莹, 王颖, 等. 多重 PCR 法快速检测转基因玉米多种转化体技术优势的比较分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(5): 57-59.
- [14] Zheng-li L I. Establishment of a multiplex PCR system for detecting transgenic ingredients from *Citrus* [J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(5): 952-957.
- [15] 陈贞, 芦春斌, 杨梦婕, 等. 棉花中转基因成分多重 PCR 检测体系的建立[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(3): 15-20.
- [16] 汪秀秀, 杨捷琳, 宋青, 等. 转基因棉花 GHB119 品系特异性定量 PCR 检测方法的建立[J]. 农业生物技术学报, 2014, 22(3): 380-388.
- [17] 沈元劬, 齐谢敏, 刘标, 等. 棉花黄萎病菌实时荧光定量 PCR 检测方法的建立及应用[J]. 生态学杂志, 2015, 34(7): 2058-2063.
- [18] 仇有文, 张明辉, 于艳波, 等. 实时荧光定量 PCR 技术在转基因大豆 A5547-127 检测中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(7): 6-10.
- [19] 王盛, 谢芝勋, 谢丽基, 等. 转基因烟草中外源基因实时荧光定量 PCR 检测方法的建立[J]. 南方农业学报, 2015, 46(5): 745-749.
- [20] Notomi T, Okayama H, Masubuchi H, et al. Loop mediated isothermal amplification of DNA [J]. Nucleic Acids Res, 2000, 28(12): 63.
- [21] 邵碧英, 陈文炳, 曾莹, 等. LAMP 法检测转基因大豆 A2704.12 品系[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 202-207.
- [22] 闫兴华, 许文涛, 商颖, 等. 环介导等温扩增技术(LAMP)快速检测转基因玉米 LY038[J]. 农业生物技术学报, 2013, 21(5): 621-626.
- [23] 陈金松, 黄丛林, 张秀海, 等. 环介导等温扩增技术检测含有 CaMV35S 的转基因玉米[J]. 华北农学报, 2011, 26(4): 8-14.
- [24] 王永, 兰青阔, 赵新, 等. 抗虫转 *Bt* 基因水稻外源转基因成分环介导等温扩增技术检测方法的建立及应用[J]. 天津农业科学, 2012, 18(1): 7-10.
- [25] 刘桂松, 郭昊淞, 潘涛, 等. VIS-NIR 光谱模式识别结合 SG 平滑用于转基因甘蔗育种种筛查[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(10): 2701-2706.
- [26] Farid E A. Detection of genetically modified organisms in foods[J]. Trends in Biotechnology, 2002, 20(5): 215-223.
- [27] 闫灵. 基于近红外光谱的转基因菜籽油快速鉴别机理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [28] 翟亚锋, 苏谦, 邹文锦, 等. 基于仿生模式识别和近红外光谱的转基因小麦快速鉴别方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(4): 924-928.
- [29] 吴江, 黄富荣, 黄才欢, 等. 近红外光谱结合主成分分析和 BP 神经网络的转基因大豆无损鉴别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(6): 1537-1541.
- [30] 芮玉奎, 黄昆仑, 田慧琴, 等. 用近红外光谱分析转基因抗虫棉根际全氮和有机质含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(1): 35-37.
- [31] 唐丽娟, 张亚楠, 宋中邦, 等. 应用 FTIR 分析过量表达 *HPS/PHI* 转基因与野生型天竺葵叶片在甲醛胁迫下的生理特性差异[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(5): 1198-1202.
- [32] 蒋雪松, 许林云, 卢利群, 等. 生物传感器在食品污染物检测中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 357-362.
- [33] 郑德论, 张锐龙, 余佐圆, 等. 电化学生物传感器在环境检测中的研究进展[J]. 广东化工, 2015, 42(17): 131-132.
- [34] 叶雪梅, 胡佳佳, 胡静. 检测食品沙门氏菌的生物传感器持久性研究[J]. 农业工程学报, 2014, 30(20): 334-338.
- [35] 高学金, 刘广生, 程丽, 等. 发酵过程葡萄糖在线检测系统的研制[J]. 分析化学, 2012, 40(12): 1945-1949.
- [36] 王学亮, 杨婕. DNA 电化学生物传感器在转基因植物特定序列基因检测中的应用[J]. 理化检验(化学分册), 2011, 47(2): 133-138.
- [37] 许凯, 叶尊忠, 应义斌. 电化学 DNA 生物传感器定量检测根瘤农杆菌终止子基因片段[J]. 分析化学, 2008, 36(8): 1113-1116.
- [38] 茹柿平. 检测转基因蛋白 Cry1Ab 的电化学免疫生物传感器研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [39] 王健. 高羊茅 *FaChit1* 基因的克隆与表达调控以及一种转基因植物新型检测方法的研究[D]. 西安: 西北大学, 2009.
- [40] 肖守斌. 运用表面等离子共振 (SPR) 生物传感器检测转基因玉米的研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(2): 38-43.
- [41] 汪琳, 邢佑尚, 周琦, 等. 3 种转基因成分检测蛋白芯片的研制[J]. 植物检疫, 2011, 25(3): 1-6.
- [42] 武海斌, 孙红伟, 李宝笃, 等. 转基因玉米多重 PCR-基因芯片联用的检测方法[J]. 农业生物技术学报, 2009, 17(6): 1075-1082.

屈海燕,赵懿桓,陆秀君. 植物消减 $PM_{2.5}$ 等大气颗粒物的试验研究方法综述[J]. 江苏农业科学,2017,45(5):15-21.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.004

植物消减 $PM_{2.5}$ 等大气颗粒物的试验研究方法综述

屈海燕^{1,2}, 赵懿桓¹, 陆秀君²

(1. 沈阳建筑大学建筑与规划学院, 辽宁沈阳 110168; 2. 沈阳农业大学园艺学院, 辽宁沈阳 110161)

摘要: 试验是科学研究的基本途径之一,从植物叶片滞留大气细颗粒物的质量,及植物群落消减大气颗粒物浓度的研究发展过程、试验类型、研究尺度出发,综述了植物消减细颗粒物的研究方法和借助手段。现有的试验方法可分为 3 类:野外试验是目前越来越受到关注和广泛应用的方法;操作试验结果更可靠,但受现实条件的限制更大;模拟试验是克服复杂的试验条件的一个替代途径,并对理论的检验和发展有用。这 3 类试验方法各自存在不同的优势和局限,彼此难以替代。从研究尺度来讲,操作试验属于微观尺度,主要集中在叶片的微观结构与 $PM_{2.5}$ 的关系研究;野外试验则更多集中在宏观和中观的植物群落滞尘的研究上;而模拟试验的途径来源于宏观的生态系统,有对自然因素更多的保留和对试验变量的足够控制,因而目前是研究热点。最后介绍了 3 种试验方法和研究尺度的优缺点、受限性及发展方向,为植物滞尘及消减试验研究提供参考依据。

关键词: 植物叶片滞尘;植物群落消减;野外试验;操作试验;模拟试验

中图分类号: X173 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0015-07

近年来大气中 $PM_{2.5}$ (空气动力学直径小于 $2.5 \mu m$ 的空气颗粒物) 等可吸入颗粒物浓度增加形成灰霾天气,对农业、水文和生态系统造成一定的影响,其危害越来越引起人们的关注。目前人们越来越关注园林植物及绿地群落对于细颗粒物的吸收和消减作用^[1]。

由于植物自身的复杂性,目前植物滞尘能力的尺度研究大致分为单叶滞尘、单木滞尘、群落滞尘等。这 3 种尺度的研究过程和结果息息相关。单叶滞尘从微观角度出发,主要研究叶表微结构与滞尘能力的相关性^[2];宏观角度一般研究植物群落的滞尘效益、对细颗粒物的消减率等,多采用浓度监测分析;单木滞尘能力的研究目前主要以滞留大气颗粒物量为主。不同尺度的试验借助的仪器设备不同,试验设计所涉及的问题和解决方法也不尽相同。细颗粒物成分的可变性、植物本身的复杂性以及环境的不稳定性,导致操作和试验设计面临重重困难,而随着科学发展与仪器设备的进步、试验方案

的逐渐完善,研究的受限度也越来越小。

1 植物滞尘研究发展历史

国外对植物滞尘能力的研究较早,20 世纪 40 年代就已经开始^[3],并提出了森林植被是颗粒态污染物蓄积库的说法。研究重点集中于树木滞纳放射性颗粒物和金属污染物方面。在城市地区,尤其在颗粒物污染源周围,如道路,广泛栽种滞留颗粒物能力高和抗污能力强的树种是提高空气质量的有效手段^[4]。20 世纪 90 年代开始用植物作为工具来监测大气环境质量,而且这种跟踪的研究一直持续到今天,并提出在试验的植物组织内部检测到了金属元素,但是很难区分金属元素是来自大气还是土壤,这 2 个来源应该同时被考虑和进一步研究^[5]。

在建立空气质量监测方面,美国自 1997 年发布 $PM_{2.5}$ 标准起,历时近 10 年并于 2006 年获得了有效的监测数据,2009 年开始认定 $PM_{2.5}$ 自动监测仪器并开展大气污染观测超级站计划。欧盟于 1984 年建立了远程大气污染输送监测和评估合作计划 (EMEP),现有的 EMEP 体系已覆盖欧盟各国。2000 年日本环境省初步制定相关 $PM_{2.5}$ 自动监测规范,2007 年修订,2009 年正式公布,并给出关于 $PM_{2.5}$ 自动监测认定设备名录^[6]。

收稿日期:2016-05-18

基金项目:国家自然科学基金(编号:31470031);住房和城乡建设部科技计划项目(编号:2016-R2-022)。

作者简介:屈海燕(1973—),女,河北香河人,博士研究生,副教授,主要从事风景园林植物景观与生态设计。Tel:(024)24692116; E-mail:guqujun@126.com。

[43] 刘 炬,郑文杰,唐丹舟,等. 转基因玉米 DNA 检测芯片的研究[J]. 食品研究与开发,2009,30(6):149-153.

[44] 周萍萍,元元海,吴永宁,等. 转基因大豆低密度基因芯片的检测方法研究[J]. 中国食品卫生杂志,2008,20(2):97-102.

[45] 王新桐,孙佳芝,高丽丽,等. 转基因棉花中新霉素磷酸转移酶 (NPT II) 双抗体夹心 ELISA 定量检测方法的建立[J]. 农业生物技术学报,2014,22(3):372-379.

[46] 刘志浩,高丽丽,王新桐,等. 转基因玉米中膦丝菌素乙酰转移

酶双抗体夹心 ELISA 检测方法的建立[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(11):40-45.

[47] 杨 烁,郝育杰,兰金苹,等. 转基因水稻中 HPT 蛋白质的检测及表达特征研究[J]. 中国生物工程杂志,2015,35(6):61-67.

[48] 兰金苹,武鹏程,郭美岑,等. NPT II 蛋白质在转基因水稻中的表达特征研究[J]. 生物化学与生物物理进展,2015,42(3):268-276.