

转基因作物安全评价及检测技术*

刘华清, 李胜清, 陈 浩

(华中农业大学 理学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要 转基因作物的安全评价及检测已成为世界各国研究的热点。目前采用的转基因作物安全评价和检测方法已在国际上达成广泛的共识, 能够为转基因作物的商业化提供有力的科学保障。就转基因作物的安全性问题, 以及转基因作物的安全评价(包括标记基因的安全)和检测方法等问题进行了总结和分析, 以期为人们对于转基因作物安全性的认识和转基因作物的安全管理提供一定的参考。相关的评价方法和检测技术尚需不断的改进和完善, 以适应未来更多转基因作物大规模商业化种植的需要。

关键词 转基因作物; 风险评估; 实质等同性; 标记基因; 检测技术

中图分类号: S188 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2010)06-0014-06

自从 1983 年首例抗病毒转基因作物(GMC)问世以来, 转基因作物的开发就成为了科学界研究的热点。1986 年, 转基因作物首次被批准在田间试验, 1993 年底, 美国的第一批延迟成熟期番茄获得上市批准^[1]。其后, 转基因作物的发展更为迅速。截止 1997 年 10 月, 全世界转基因作物的田间试验已达 25 000 多例, 开发了具有抗除草剂、抗虫、抗病毒、延长成熟期等不同性状的转基因油菜、玉米、棉花、水稻、番茄、南瓜等新品种^[1]。近年来, 各国在原有的转基因作物研究基础上取得了大量成果, 除了上述的抗虫、抗除草剂以及抗病毒作物外, 还出现了氮、磷肥高效利用, 耐旱、耐盐碱、耐铝毒等转基因作物, 蒸煮和食味品质明显改善的水稻及富含 β -胡萝卜素的“金米”稻等。2007 年, 张启发院士提出开展“绿色超级稻”培育的构想, 重点围绕水稻抗病虫害、抗旱、营养高效利用、优质、高产等五大重要性状进行改良, 使水稻生产实现“少打农药、少施化肥、节水抗旱、优质高产”^[2]。基于转基因作物优良的特性, 越来越多的国家批准转基因作物的商业化种植。据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA)统计, 2009 年全球共有 25 个国家种植转基因作物, 种植面积达到 1.34 亿 hm^2 , 是 1996 年的 80 倍, 全球市场价值达到 105 亿美元。目前商业化种植的主要转基因作物是大豆、玉米、棉花和油菜等, 其中转基因大豆和玉米的种植面积占全球转基因作物种植面积的 80% 以上。我国目前主要种植的是转基因棉花、杨

树、番茄和甜椒等, 种植面积从 2002 年的 200 万 hm^2 增加到 2009 年的 370 万 hm^2 , 年均增长 15%^[3]。2009 年我国抗虫转基因棉花种植面积约占总种植面积的 90%, 转基因棉花的广泛种植有效的降低了棉花种植成本, 给我国带来了巨大的经济效益^[4]。2009 年 12 月, 我国又为转植酸酶基因玉米和两个转基因抗虫水稻品系“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”颁发了生物安全证书, 使转基因玉米和水稻的商业化进程向前迈进了一大步。

相对传统作物而言, 转基因作物由于导入外源基因的表达而获得一些新的性状, 如抗虫、抗旱、抗病毒等, 这极大地增加了作物对环境的适应能力, 提高了产量, 并减少了病虫害和农药的使用。由于在靶标生物中引入了新的外源基因和蛋白产物, 可能会产生一些难以预知的生态风险, 因此有不少民众反对转基因作物的种植。随着转基因作物在全球的广泛推广, 反对的呼声也越来越高。1998 年英国苏格兰 Rowett 研究所的“Pusztai 事件”和 1999 年康乃尔大学一个研究组报道的“帝王蝶事件”^[5]都在当时引起了不小的争议。但事后经过同行的评审和研究, 发现两者的试验都存在明显的漏洞, 缺乏说服力。随着转基因技术的发展, 无论是转入的目的基因还是利用的载体都越来越精确, 在获得所需的性状的同时将潜在的危害降到最低。2008 年 Li 等^[6]对转 bar 基因抗除草剂水稻进行测定, 发现其中的主要成分与非转基因亲本无显著性差异。本课题组

收稿日期: 2010-08-21

* 国家重大科技专项“抗虫转基因水稻新品种培育”(2008ZX08001-001)。

作者简介: 刘华清(1985-), 男, 硕士研究生; 研究方向: 转基因作物及食品安全分析。E-mail: jgslhq@mail.hzau.edu.cn

测定了转基因油菜籽和棉籽中的重金属含量,未发现其含量与非转基因亲本有显著差异^[7-8]。本文就转基因作物的安全性问题,转基因作物的安全评价、检测方法和标记基因的安全等问题进行总结和分析,以期对转基因作物的安全管理提供一定的参考。

一、转基因作物的安全性争议

自从转基因作物问世以来,其安全性争议就从未中断过。虽然转基因作物相对于传统作物表现出抗虫、抗旱和高产等优良性状,但也有人担心转基因作物会因为外源基因的转入而存在一些潜在的风险。随着转基因作物的推广,这些争论越来越激烈,主要集中在转基因作物的食品安全性、环境安全性和标记基因安全性3个方面。

1. 潜在的食品安全性

转基因食品安全性问题主要包括食品毒性、营养价值降低、食品过敏性以及抗生素抗性。①食品毒性。转基因作物的外源基因可以来自病毒、细菌以及一些远缘生物体,这些外源基因在表达的过程中除了产生相应的外源蛋白外,也可能产生一些次生代谢物质,而且这些特定的外源蛋白以及次生代谢物质可能会对人体或动物产生危害,或影响抗营养因子的含量。②营养价值降低。由于外源基因导入位点具有一定的随机性,有可能使得受体生物的原有基因产生失活、缺失等,影响到原有作物的营养价值。目前还未见转基因食品营养品质改变的负面报道。③食物过敏。由于IgE(免疫球蛋白)等抗体在胃肠聚集,与食物中的抗原蛋白结合,产生超敏反应。转基因作物可能将某些基因供体过敏性转移到作物受体中,来自非食品源的基因和新的基因结合体可能在一些人体中引发过敏反应,或者加剧已存在的过敏反应,此外转基因作物中转入的外源基因表达出的蛋白质在起作用的同时也有可能成为一些过敏源。④抗生素抗性。由于目标基因载体一般都为抗生素抗性标记,抗生素标记基因有可能会随食物进入人类或动物肠道的微生物中,从而使微生物产生耐性菌株进而影响到抗生素的治疗效果。

2. 潜在的环境安全性

转基因作物对环境的潜在影响主要包括生存竞争力、基因在生态环境中的转移扩散、对非靶标生物的影响以及对土壤微生物系统和肥力的影响等。①生存竞争力。由于转基因作物中外源基因表达可能具有更强的环境适应能力,将其释放到生态环境

中后,与非转基因的作物竞争过程中具有更强的竞争力,可能影响到生物的多样性,甚至变成新型的杂草。②基因在生态环境中的转移扩散主要包括基因的漂移和与近缘野生种的可交配性两个方面^[9]。基因漂移是生物界广泛认同的事实,如转基因作物中的抗性基因通过花粉传播与其他植物基因重组使其具备这些抗性。Scheffler等^[10]研究表明转基因油菜的抗除草剂基因会通过基因漂移扩散到附近的野生植物中。③对非靶标生物的影响。转基因作物在杀死病虫害的同时可能会威胁一些非靶标生物的生存。④对土壤微生物和肥力的影响。转基因作物及其基因产物进入土壤后可能与土壤微生物相互作用,影响微生物活动过程。Donegan等^[11]发现美国的几种Bt抗虫棉的叶子对土壤中的微生物数量、种类和组成的影响与常规棉的差异显著。

3. 标记基因的安全性

可安全使用的标记基因是指:标记基因本身(启动子及终止子除外)及其主产物可安全地作为人的食品,不包括基因多效性及各种可能的次生效应,因为次生效应可因插入位点不同而异。1996年,北欧政府出版了《转基因食用植物中标记基因的健康问题》一书,对现用的几种标记基因作了详尽分析,主要包括3种抗生素(卡那霉素、潮霉素和链霉素)抗性标记、3种除草剂(草丁膦、草甘膦、绿黄隆)抗性标记及1种报告基因(*gus*)^[12]。了解下列问题是评价标记基因安全性的基础:①对人是否是新的基因/产物,即在人的小肠微生物区系中是否天然存在。②与已知基因/蛋白作详细序列比较,以明确其是否有潜在毒性、过敏性或其他副作用。③肠道中是否有辅因子(如ATP)且能保持酶活性。④观察植物材料中是否有基因多效性(次生效应),重点是研究细胞中的磷酸化状态及其可能后果。

不过,在考量转基因潜在风险的同时也要充分考虑到作物的成分复杂,且种植过程中影响因素很多,不能笼统将出现的问题都归结到转基因。同时也要考虑到,转基因作物的培育给农业的发展带来了新的契机,经过精心选育和严格安全评价的转基因作物能在提高产量、减少病虫害的同时减少对环境的危害。所以要综合考虑以上这些因素,权衡其中的利弊,慎重的选择,争取在利用转基因作物优良特性的同时规避潜在的风险。

二、转基因作物安全性评价

世界各国都非常注重对转基因作物的安全管

理,而对转基因作物进行科学客观的安全评价是安全管理的基础。在转基因作物的安全评价方面,世界各国早就达成了广泛的共识,提出了实质等同性评价原则,随后又提出个案原则,进一步完善了转基因作物的安全评价机制。

1. 实质等同性原则

传统作物由于人类长期食用,因而被公认为是安全的,由此形成了一套食品安全标准。但随着转基因作物在全世界范围的广泛种植,对旧的食品安全标准形成了挑战,于是制定将转基因食品纳入其中的安全评价标准已成为世界各国的共同愿望。

1993 年经济合作与发展组织(OECD)首次提出了实质等同性原则。所谓实质等同性,是指如果一种新食品或食品成分与已存在的食品或食品成分实质等同,就安全性而言,它们可以等同对待,也就是说,新食品或食品成分能够被认为与传统食品或食品成分一样安全^[13]。实质等同性的概念已经被众多国家所采用,用来指导有关管理机构对转基因食品的安全性做出评估。

评价转基因食品安全性的目的,不是要论证该食品的绝对安全性,而是评价它与非转基因同类食品比较的相对安全性。为证明实质等同性,必须进行过基因改造的活生物体或以其为来源的某一食品产品的性状与传统食品的同一性状进行比较,如果两者之间的差异程度和变化水平在可接受的范围之内,那么就可以证明该转基因作物与传统食品具有实质等同性。实质等同性评价一般会得到以下 3 种结论:①转基因生物活体,或者利用其生产的食品或食品成分与传统食品具有等同性;证明两者具有相同的安全性,无需做进一步的安全分析;②除某些插入的特定差异外,其他成分具有实质等同性;则进一步的安全分析主要集中在这部分特定差异上,包括引入的遗传物质和基因产物及产生的其他物质;③与传统食品和食品成分无实质等同性;它们之间的差异还不能进行充分的认定,或者是没有合适的传统生物体来做比较,应从毒理学、免疫学和营养学等角度进行全面的食品营养成分和安全性分析。

转基因食品的安全性评价中,除了对亲本作物、供体基因等安全性情况和转化过程,宿主植物转化后可能出现的意外性状进行综合评价外,还必须按照实质等同性原则确保新作物和传统的对应物“一样安全”,最后还要对转基因作物的表型和农艺学性

状、成分、全面安全性、营养和饲养性等方面的等同性进行综合性评价,证明它们的安全性和传统对应物是等同的。迄今为止,已有抗除草剂草甘磷的转 *epsps* 基因大豆等 50 多种转基因作物通过实质等同性评价进入商品行列^[14]。

目前对实质等同性原则也存在很大的争议,1999 年 Millstone 等^[15]在《Nature》发表文章质疑实质等同性,认为实质等同性的概念太模糊,不适用于转基因食品的安全评价,应该取而代之的是全面的生化、毒理学、过敏性和免疫学的实验和检测方法。很多支持实质等同性的科学家对此进行了反驳,但争议一直存在。由于作物的成分太复杂,目前通用的原则还是实质等同性评价原则,随着转基因技术的发展,这个原则也不断地得到完善,现在已获得了众多国家的认同。

2. 个案分析原则

转基因食物安全评估的第二个原则是个案分析原则。它是在实质等同性原则的基础上提出来的,是实质等同性原则在具体安全分析过程中的进一步细化。所谓“个案”是指每一种转基因食品都要无一例外的逐个进行,不能利用推论、替代或演绎,不能笼统地做出“转基因食品都是安全的结论”,也不能做普遍性的结论。即使同一种作物,在同一批实验,转同一种基因,得到的不同转基因个体安全性也会不同,因为转基因的状态不同,可能得到不同的转基因品种。个案分析强调对转基因食品进行逐个分析,若转基因食品与市售的同类食品一样安全,则它们具有实质等同性。

3. 其他安全评价原则

在实质等同性评价原则的基础上也提出了一些更为完善的安全评价原则。主要有:等同性和相似性相结合^[16]、树状决策法等^[17]。其中等同性和相似性相结合法是比较转基因作物与非转基因作物相似程度,将转基因作物分为 3 个级别,以此确定转基因作物与非转基因的相似程度,但不能确定食品是否安全。树状决策法则通常用于转基因作物或食品潜在的过敏性评价。

另外,在评估转基因食物的安全性方面,WHO 在 2000 年发布了《关于转基因食品的 20 个问题》。其中,转基因食物健康安全性评估通常应包括以下几方面:对健康的直接影响;引起过敏反应的趋势(过敏原性);被认为具有营养或毒性的特定成分;由于遗传修饰影响的营养性质;插入基因的稳定性;以

及由基因插入产生的任何“非预期效应”。这个提案对实质等同性原则进行了进一步的补充,指出了转基因食品安全分析的常规测定项目,便于进行全面的评价。

目前,各国的转基因作物安全评价原则都是以实质等同原则为框架和起点发展起来的。但随着生物技术的发展,也有不少科学家担心以后有的转基因食品可能会找不到合适的传统对应物。这样就不能用有安全食用历史的对应物来确定新食品的安全性。由于没有对应物,也就无法用实质等同性评价食品的安全性,所以积极建立一个全面完善的转基因食品安全评价标准非常有必要。

三、转基因作物的检测

对转基因作物或转基因食品的检测和鉴定不仅是相关法规的必然要求,也是满足公众知情权的必要技术,采用准确有效的转基因检测技术对转基因食品 and 传统食品进行区分,或对转基因食品进行选择性的标记势在必行。因此,随着转基因产品的不断商业化,建立有效、敏感、快速、准确的定性及定量检测方法,是进一步加强我国在转基因作物和产品监管方面的重要技术保障。

目前国际上对于转基因作物以及产品检测原理、检测技术主要分为外源蛋白质测定和外源基因测定两类。检测的流程通常为:第一步,通过筛选检测判断是否含有转基因成分;第二步,通过阳性结果鉴定,确定转基因成分的性质;第三步,进行定量分析,判定是否需要贴上识别标签。

1. 外源蛋白质测定技术

外源蛋白质的测定是利用抗原和抗体之间的特异性反应,通过检测抗原性蛋白质的表达产物从蛋白质水平对转基因作物进行测定。该类检测方法快速,具有一定的灵敏度,能进行粗略的半定量。再加上抗原的高度特异性反应,即使有干扰物质存在,也能准确的识别抗原性物质。常用的外源蛋白质检测方法有:免疫印迹法(Western blot)、酶联免疫吸附法(ELISA)、试纸条法和快速检测试剂盒法等^[18]。特性蛋白质样品处理简单,一般的特性蛋白都是水溶性的,且抗体的特异性高,在检测的时候只要对样品进行简单前处理就可以进行检测。因此这类检测方法快速简便,可用于转基因作物或加工产品的实时监测和野外操作。

不过这类方法也存在一定的缺陷,由于外源蛋

白的特异性检测对象主要是转基因作物的叶子、果实等活体组织,一旦这些样品经过加工,破坏了其中蛋白质的活性就会影响到该类方法的灵敏度,此外也难以进行定量检测。同时,若有些转入的外源基因在受体植物上不表达外源蛋白,用此类方法就无法确定,只能采用转基因的DNA检测。

2. 外源基因检测技术

转基因食品重组DNA的基本结构包括启动子、目的基因、终止子和标记基因四个部分。大部分转基因植物中使用的启动子是花椰菜花叶病毒的CaMV35S启动子,常用的终止子是农杆菌来源的胭脂碱合成酶基因的NOS终止子,选择标记基因常用的有卡那霉素/新霉素抗性基因NPT II等。由于转入目的基因种类繁多,不太明确,所以先用转基因食品最常采用的转录启动子CaMV35S、转录终止子NOS及抗生素抗性基因NPT II三个序列来设计引物进行PCR反应,对结果阳性者可再检测目的基因。目前外源基因检测技术主要分为定性检测和定量检测。

外源基因定性检测技术主要是以核酸为基础的聚合酶链式反应(PCR)技术和核酸探针的杂交检测技术来准确快速地检测外源基因。其检测手段主要包括:一般PCR技术、巢式和半巢式PCR、多重PCR、电化学发光PCR和核酸印迹法等^[19]。相比外源蛋白质检测技术,PCR技术具有灵敏度高、检测范围广和自动化程度高的优点,且检测时只需微量的DNA,同时能进行多个样品的检测。

外源基因定量检测技术主要针对转基因产品中的核酸进行定量,确保对转基因产品进行准确的标识。由于PCR具有敏感性高的特点,且食品加工过程中核酸变性程度不及蛋白质,因此,目前转基因食品的定量检测仍基于PCR。主要的检测技术有:半定量PCR方法、定量竞争PCR法和荧光定量PCR法等^[20]。

3. 转基因检测技术的发展趋势

随着新技术和新仪器的出现,转基因检测技术得到了快速的发展,出现了一些更为精确快捷的检测技术,如基因芯片技术和蛋白质芯片技术,这些技术不但具有高通量、集成化、自动化和信息化的特性,还能通过改变微阵列上的DNA或蛋白质探针同时检测多个不同种类转基因样品,这就有效的解决了传统检测技术中无法同时测定多个转基因片段或产物的难题。以基因芯片检测技术为例,该技术

以启动子、终止子、抗性基因、标记基因的特异序列或基因片段作为探针,形成有规律的 DNA 分子阵列,之后与荧光标记的待测基因进行杂交,再以荧光检测系统扫描,即可获得样品的序列信息。Zhou 等^[21]利用多重 PCR 和低密度 DNA 阵列组合的模板对抗草甘膦大豆(GTS40-3-2)、转基因玉米(Mon810, Nk603, GA21)、转基因油菜(T45, MS1/RF1)和转基因大米(SCK)进行了测定,发现对抗草甘膦大豆和转 MS1/RF1 的油菜具有特异性和准确性,尤其是抗草甘膦大豆中转基因片段的分辨率达到了 0.5%。蛋白质芯片技术的原理与基因芯片类似,主要以一些特异性的蛋白质或酶作为探针,通过对探针的设计达到同时检测多种转基因样品,弥补了传统外源蛋白检测技术的不足^[22]。芯片技术具有微型化、检测效率高和同时分析多个样品的特性,适用于转基因样品的检测。虽然目前这些技术还存在操作比较复杂,成本较高等缺陷,但随着技术的不断完善,芯片技术必将在日后的转基因检测中起到越来越重要的作用。

总体而言,转基因作物的检测方法各有其优缺点。在实际的检测中,不可能一种检测方法对所有转基因作物和产品的检测都有效,应该根据转基因作物种类和加工类型的不同,以及其中可能含有的转基因片段的不同,选择最佳检测方法。目前的转基因检测技术还存在一些问题,当然随着转基因工程技术的发展,很多新技术如生物传感技术和芯片技术等运用到转基因检测中来,相信以后的转基因检测技术一定会变得更快速、方便、准确,为转基因作物的安全评价提供更为可靠的保障。

四、结 语

毫无疑问,转基因作物的研发和推广将有效地改善我国的农业现状。虽然转基因作物可能存在一些潜在的风险,但采用科学严谨的安全评价方法对转基因作物进行客观的评价,就能为转基因作物研发和安全管理提供有力的保障,确保推广种植的转基因作物的安全性。对转基因作物及产品的检测则能在监控商业化转基因作物及产品的同时,兼顾民众的知情权,为转基因作物的管理提供有效便捷的手段。在严格的安全评价下,目前并未有科学实证表明商业化的转基因作物存在食用或生态安全问题,当然这也并不意味着可以放松对转基因作物的管理。对我国而言,以后必定要面对全国大面积种植

转基因作物的局面,因此有必要借鉴其他国家的转基因作物安全管理方法,结合中国自身的特色,进一步完善转基因作物的安全管理和风险评估体系,建立有效快速的监管体系和科普推广平台^[23]。

然而,就转基因作物目前的安全评价标准和检测手段而言,一方面,实质等同性评价原则在将来还要进一步增加评价的项目以确保将转基因作物商业化种植可能产生的潜在风险降到最低。另一方面,目前的转基因作物主要检测手段还是 PCR 和酶联免疫技术,如何在这些技术的基础上进一步的改进,确定一些简捷、准确的检测方法是当前检测技术研究的重点。总之,转基因技术引领的农业科技革命已成为一个不可阻挡的潮流,而全面的安全评价标准和精准的检测手段则是这场革命的基本保证,仍需不断完善。

参 考 文 献

- [1] 钱迎倩,马克平. 经遗传修饰生物体的研究进展及其释放后对环境的影响[J]. 生态学报,1998,18(1):1-9.
- [2] ZHANG Q. Strategies for developing green super rice [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2007,104 (42): 16402-16409.
- [3] C JAMES. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2009 The first fourteen years, 1996 to 2009 [EB/OL]. [2010-07-18] <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/41/executivesummary/default.asp>.
- [4] 朱再清,张献龙. 我国转基因抗虫棉推广与生产优势区域变化实证分析[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版,2010 (2):12-17.
- [5] 贾士荣. 转基因作物的安全性争论及其对策[J]. 生物工程进展生物技术通报,1999,16(6):1-7.
- [6] LI XIN, HE XIAOYUN, LUO YUNBO, et al. Comparative analysis of nutritional composition between herbicide-tolerant rice with bar gene and its non-transgenic counterpart[J]. Journal of Food Composition and Analysis,2008,21(7):535-539.
- [7] 魏行,沈敏,陈浩,等. 转基因油菜籽中重金属铅,镉,铜,铬,铁含量的测定[J]. 食品科学,2008,29(8):553-556.
- [8] 魏行,沈敏,陈浩,等. 石墨炉原子吸收光谱法测定转基因棉籽中的铅镉铜铬[J]. 分析科学学报,2009,25(2):201-204.
- [9] 卢宝荣,傅强,沈志成. 我国转基因水稻商品化应用的潜在环境生物安全问题[J]. 生物多样性,2008,16(5):426-436.
- [10] SCHEFFLER J A, PARKINSON R, DALE P J. Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (Brassic napus) [J]. Transgenic Research, 1993, 2 (6): 356-364.
- [11] DONEGAN K K, PALM C J, FIELAND V J, et al. Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms

associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* endotoxin [J]. *Applied Soil Ecology*,1995,2(2): 111-124.

[12] 贾士荣. 转基因植物食品中标记基因的安全性评价[J]. *中国农业科学*,1997,30(2):1-15.

[13] 罗云波. 关于转基因食品安全性[J]. *食品工业科技*,2000,21(5):5-7.

[14] 杨昌举,黄灿. 实质等同性:转基因食品安全性评估的基本原则[J]. *食品科学*,2001,22(009):95-98.

[15] MILLSTONE E, BRUNNER E, MAYER S. Beyond substantial equivalence [J]. *Nature*,1999,401(6753):525-526.

[16] OECD. Safety evaluation of foods derived by modern biotechnology:concepts and principles, organization for Economic co-operation and Development(OECD)pairs 1993.

[17] WHO. Health aspects of marker genes in genetically modified plants. Report of a WHO Workshop, WHO/FNU/FOS/93. 6.

[18] 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.

[19] 许文涛,白卫滨,罗云波,等. 转基因产品检测技术研究进展[J]. *农业生物技术学报*,2008,16(4):714-722.

[20] 孙大庆,闫冰,赵宁,等. 应用于转基因食品检测的 PCR 技术及其进展[J]. *中国粮油学报*,2007,22(1):108-113.

[21] P ZHOU, J ZHANG, Y YOU, et al. Detection of genetically modified crops by combination of multiplex PCR and low-density DNA microarray [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*,2008,21(1):53-62.

[22] JASIM AHMED, HOSAHALLI S. RAMASWAMY, STE-FAN KASAPIS,et al. Novel food processing: Effects on rheological functional properties[M]. New York: CRC Press,2009: 73-75.

[23] 刘培磊,李宁,周云龙. 美国转基因生物安全管理体系及其对我国的启示[J]. *中国农业科技导报*,2009,11(5):49-53.

The Safety Assessment and Detection of Transgenic Corps

LIU Hua-qing, LI Sheng-qing, CHEN Hao

(College of Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei, 430070)

Abstract The safety assessment and detection of transgenic crops has become a worldwide issue. A common consensus on the safety evaluation and detection of transgenic crops has been recognized by the international community, which could provide a strong security for its commercialization. In this review, we have elaborated the development of risk assessment and detection technologies of transgenic crops (including marker genes), to provide a reference for the safety management of genetically modified organisms and benefit for people to understand the safety of genetically modified organisms. These involving evaluation and detection methods need further improvements and renovations to meet the large-scale commercialization of genetically modified organisms in the future.

Key words transgenic corps; risk assessment; substantial equivalence; marker gene; detection technology

(责任编辑:金会平)