

# 主要农作物种子中转基因成分筛查策略

张海波 陈 西 杨娟妮 刘 冰 张 田 周 波 陈国瑛 张 英

(陕西省种子工作总站,西安 710018)

**摘要:**在农作物种子监管中,大量的样品需要进行转基因成分检测,建立快速、准确、低成本的转基因成分筛查方法十分必要。对玉米、大豆、水稻、棉花、小麦等主要农作物的转基因研发及商业化情况进行分析,分别建立了各主要农作物转基因成分筛查策略和检测线路图。建立的方法可以对农作物种子中的转基因成分实现快速、准确和高效的筛查检测。

**关键词:**种子;转基因;筛查;检测路线

## Strategy of Genetically Modified Organism Screening in Main Crop Seeds

ZHANG Hai-bo, CHEN Xi, YANG Juan-ni, LIU Bing, ZHANG Tian,

ZHOU Bo, CHEN Guo-ying, ZHANG Ying

(Shaanxi Seed Administration Bureau, Xi'an 710018)

农作物种子的选育,分为自然留种、遗传育种和分子育种等几个阶段,目前农作物种子主要通过遗传育种的方式选育。转基因技术作为新型分子育种技术,为农作物的遗传改良提供了广阔的前景<sup>[1-2]</sup>。全球转基因作物的商业化种植面积,在2019年已经达到了1.904亿hm<sup>2</sup>,1996-2019年转基因作物的累计种植面积已经达到27亿hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。

我国农作物种子市场巨大,为使种子质量逐年提高,种子监管必不可少。农作物种子的监管包括实验室研究、品种审定、企业加工、市场营销、种植和进出口等环节,通过这些环节的监管,产生的转基因检测样品非常多。为了提高检测效率、降低检测成本,急需科学高效的转基因筛查检测方法,为转基因成分的政府监管提供有力的技术支撑。

目前转基因成分分子检测方法有蛋白质检测和核酸检测两大类。以PCR技术为基础的转基因产品检测根据其特异性的不同可以分成3类,包括筛查检测法(Screening PCR)、基因特异性检测法(Gene-specific PCR)和转化体特异性检测法(Event-specific PCR)<sup>[4]</sup>。筛查法是针对转基因产品中通用元件的检测,包括启动子、终止子或标记基因

等元件,如CaMV 35S启动子、NOS终止子等。该方法的原理是,首先统计分析已经商业化的转基因作物的转化体外源基因和元件插入序列情况<sup>[4]</sup>,其次是选择使用频率高并且可以覆盖全部已知转基因转化体的最少数外源元件作为检测对象。有其中的任何一个元件检出为阳性,则表明该样品中可能含有转基因成分。若检测的每个元件的结果都为阴性,则说明该样品中未检出已知商业化的转基因作物的成分<sup>[4]</sup>。不同农作物的商业化转化体不同,其所用基因元件的种类和频次也不同,每个作物需根据具体转化体的情况,采取不同的筛查策略进行筛查检测<sup>[5]</sup>。本文以我国五大主要农作物玉米、水稻、小麦、大豆和棉花为研究对象,对主要农作物的转基因筛查方法进行了分析研究。

### 1 玉米种子中转基因成分筛查策略

**1.1 玉米的转基因作物研发推广情况** 玉米属于禾本科玉米属,起源于中南美洲热带和亚热带高原地区,在我国已有400多年的种植历史。玉米的商业化转基因玉米转化体有27个,主要分抗虫和耐除草剂两种类型。我国目前颁发了部分转基因玉米的安全证书,但是未批准转基因玉米商业化种植。进口的国外转基因玉米也只能用作加工原料。截至2021年底,获准作为加工原料进口到中国的

转基因玉米转化体有 15 个,分别是 1 个耐旱玉米 MON87460,1 个品种改良玉米 Event 3272,3 个耐除草剂玉米 GA21、T25、NK603,6 个抗虫耐除草剂玉米 TC1507、Bt11、Bt176、MON88017、59122、Bt11×GA21,4 个抗虫玉米 MIR604、MON89034、MIR162、MON810<sup>[6-7]</sup>。转基因玉米的研究方向有抗虫、耐除草剂、营养高效、高产等优良性状的研究。

**1.2 玉米的转基因转化体分析** 玉米有 27 个转基因转化体,多样的转基因转化体增加了对玉米中转基因成分筛查的难度。根据转基因检测数据库

(GMDD,http : //gmdd.shgmo.org/,下同)<sup>[6]</sup>、欧洲转基因生物指南(http : //www.gmo-compass.org/eng/gmo/db,下同)<sup>[7]</sup>和美国环境风险评估中心转基因作物数据库(CERA,http : //www.cera-gmc.org/,下同)<sup>[8]</sup>,以转基因玉米商业化的转化体作为行,以基因元件作为列,构建玉米转基因转化体信息和分子特征矩阵(表 1)。在表 1 中的 27 个玉米转化体中,出现频次最高的元件是 *CaMV 35S* 启动子,出现 23 次;其次是 *NOS* 终止子,17 次;之后是 *Bar* 基因和 *CP4-EPSPS* 基因,各 7 次;*pat* 基因出现 5 次;*FMV 35S* 启动子 1 次<sup>[9]</sup>。

表 1 玉米转基因转化体信息和分子特征矩阵

转化体	<i>CaMV 35S</i> 启动子	<i>NOS</i> 终止子	<i>Bar</i> 基因	<i>CP4-EPSPS</i> 基因	<i>pat</i> 基因	<i>FMV 35S</i> 启动子
MON89034	P	P				P
MON80100	P	P		P		
MON863	P	P				
MON832	P	P		P		
NK603	P	P		P		
MON802	P	P		P		
MON88017	P	P		P		
MON87460	P	P				
MON809	P	P		P		
MS3	P	P	P			
MS6	P	P	P			
CBH-351	P	P	P			
Bt11	P	P			P	
MON810	P					
Event 98140	P					
676,678,680	P				P	
DAS-06275-8	P		P			
TC1507	P				P	
59122	P				P	
DLL25	P		P			
DBT418	P		P			
T25	P				P	
Bt176	P		P			
MIR604		P				
GA21		P		P		
Event 3272		P				
MIR162		P				

P 表示存在,下同

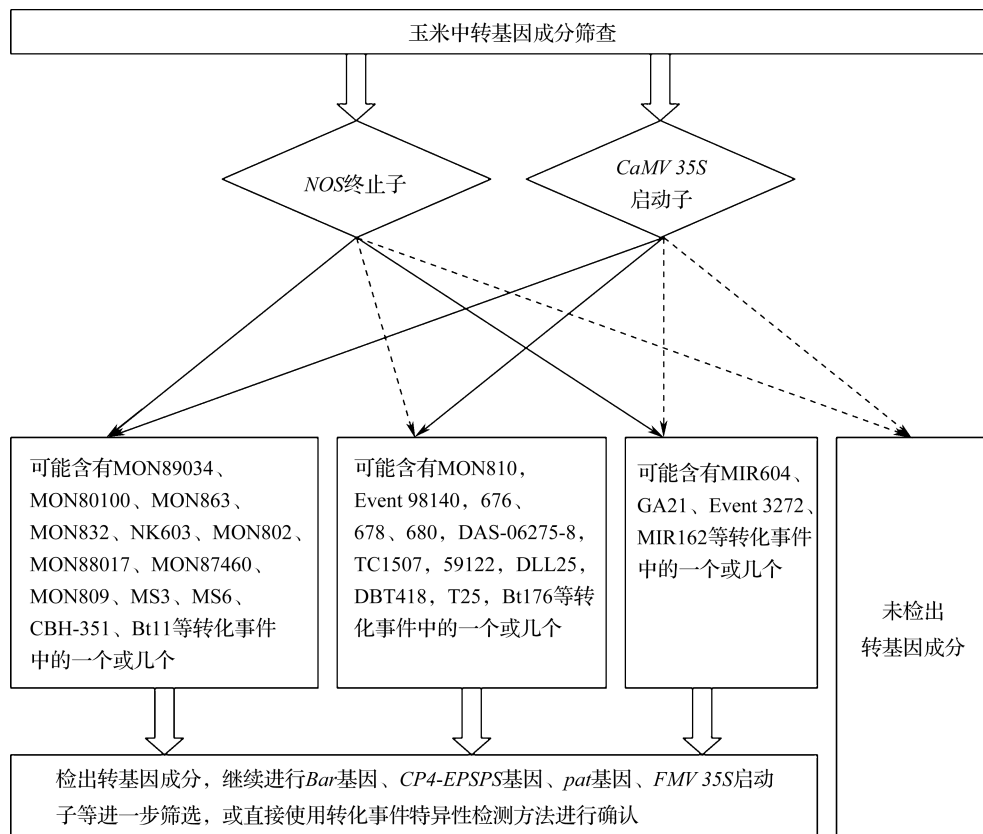
**1.3 玉米的转基因筛查策略** 在表1的27个玉米转化体中,有23个转化体含有 *CaMV* 35S 启动子。不含有 *CaMV* 35S 启动子的4个转化体中都含有 *NOS* 终止子。这说明,同时进行 *CaMV* 35S 启动子和 *NOS* 终止子检测,可以覆盖所有的27个玉米转化体。用这两个元件对27个转化体进行分类,同时含有 *CaMV* 35S 启动子和 *NOS* 终止子的转化体有13个,只含有 *CaMV* 35S 启动子的转化体有10个,只含有 *NOS* 终止子的转化体有4个。因此,联合使用 *CaMV* 35S 启动子和 *NOS* 终止子,可实现对玉米种子转基因成分的筛查检测。

**1.4 玉米的转基因成分检测路线图** 在对大量玉米样品进行转基因检测时,首先联合使用 *CaMV* 35S 启动子和 *NOS* 终止子进行筛查,然后根据筛查结果,按照图1进行转化体的进一步分析和确定。图1中镂空箭头表示筛选的路线,实线箭头表示对应的筛选元件检出,虚线箭头表示对应的筛选元件未检出。如果 *CaMV* 35S 启动子和 *NOS* 终止子的检测结果都为阴性,则认为样品中未检出转基因成分。

分。如果 *CaMV* 35S 启动子和 *NOS* 终止子的检测结果任何一个为阳性,则认为样品中检出转基因成分。对于筛查出阳性的样品,需要进行其他元件的筛查,如 *Bar* 基因、*CP4-EPSPS* 基因、*pat* 基因、*FMV* 35S 启动子,或者直接使用转化体特异性检测方法进行确认。

## 2 大豆种子中转基因成分筛查策略

**2.1 大豆的转基因作物研发推广情况** 大豆是豆科大豆属一年生草本植物,在我国已有5000多年的种植历史,目前全国分为5个大豆主产区。转基因大豆主要种植在美国、阿根廷、巴西等美洲国家,以耐除草剂大豆为主<sup>[3]</sup>。我国目前批准了转基因大豆的安全证书,但是没有批准转基因大豆的商业化种植。进口的国外转基因大豆只能用作加工原料。截至2022年底,中国批准的可以作为加工原料进口转基因大豆转化体共11个,分别为1个抗虫耐除草剂大豆 MON87701×MON89788,6个耐除草剂大豆 GTS40-3-2、A2704-12、CV127、A5547-127、MON87708、MON89788,1个抗虫大豆 MON87701,



实线箭头表示对应的筛选元件检出,虚线箭头表示对应的筛选元件未检出

图1 玉米转基因转化体筛查路线

2 个品质改良大豆 MON87769、305423 和 1 个品质改良耐除草剂大豆 305423 × GTS40-3-2<sup>[6-7]</sup>。转基因大豆的主要研究方向为耐除草剂、抗虫、抗病、品质改良等优良性状的研究。

**2.2 大豆转基因转化体的分析** 根据刘冰等<sup>[10]</sup>检索转基因网络数据库,构建的大豆转基因转化体信息和分子特征矩阵(表 2)可以看出,表中列出的 15 个大豆商业化转基因转化体中,*pat* 基因出现的频次最高,共计 7 次;花椰菜花叶病毒 *CaMV* 35S 启动子出现了 6 次;然后是 *CP4-EPSPS* 基因、*Bt* 基因、*NOS* 终止子和 *FMV* 35S 启动子,分别是 4 次、3 次、2 次和 2 次。

**2.3 大豆的转基因筛查策略** 大豆商业化转化体中,*pat* 基因、花椰菜花叶病毒的 *CaMV* 35S 启动子、*CP4-EPSPS* 基因、*Bt* 抗虫基因 4 个靶标元件组合使用,可以实现对表 2 中的已知 12 个大豆转化体的转基因筛查检测。其他 3 个转化体 DP-305423、DP356043 和 BPS-CV127-9,可使用专门的转化体特异性检测方法进行单独检测。

**2.4 大豆的转基因成分检测路线图** 在对大量大豆样品进行转基因检测时,按照 *CaMV* 35S 启动子、*pat* 基因、*CP4-EPSPS* 基因、*Bt* 基因和转化体特异性检测的顺序进行筛查,如图 2 所示。如果 *CaMV* 35S 启动子、*pat* 基因、*CP4-EPSPS* 基因、

*Bt* 基因和转化体特异性检测结果都为阴性,则认为样品中未检出转基因成分。如果 *CaMV* 35S 启动子、*pat* 基因、*CP4-EPSPS* 基因、*Bt* 基因和转化体特异性检测结果任何一个为阳性,则认为样品中检出转基因成分<sup>[10]</sup>。

3 水稻种子中转基因成分筛查策略

**3.1 水稻的转基因作物研发推广情况** 水稻是禾本科稻属一年生栽培作物,在我国有悠久的种植历史,主要种类有籼稻和粳稻两种。美国最早在 2009 年批准耐除草剂转基因水稻的商业化种植。我国在 2009 年批准了 2 种抗虫转基因水稻生产应用安全证书,但目前并没有商业化种植。转 *cry1Ab*、*cry1Ac* 抗虫基因水稻华恢 1 号及其 *Bt* 汕优 63 杂交种,是抗鳞翅目害虫的转基因水稻品系,外源基因表达产物可以控制二化螟、三化螟和稻纵卷叶螟等水稻鳞翅目害虫,减少杀虫剂的使用。富含  $\beta$ -胡萝卜素的转基因黄金大米是一种品质改良水稻, $\beta$ -胡萝卜素可在人体内转化为维生素 A,补充体内缺乏的维生素 A,从而减少贫困地区儿童夜盲症和失明的发病率。目前转基因水稻的研究方向是抗病、抗虫、耐除草剂等的研究。

**3.2 水稻转基因转化体分析和筛查策略** 目前已知的水稻转化体包括转 *cry1Ab/cry1Ac* 基因抗虫水稻华恢 1 号、*Bt* 汕优 63,转 *pat* 基因耐除草剂水

表 2 大豆转基因转化体信息和分子特征矩阵<sup>[10]</sup>

转化体	<i>pat</i> 基因	<i>CaMV</i> 35S 启动子	<i>CP4-EPSPS</i> 基因	<i>Bt</i> 基因	<i>NOS</i> 终止子	<i>FMV</i> 35S 启动子	其他元件
A2704-12, A2704-21, A5547-35	P	P					
A5547-127	P	P					
GTS 40-3-2		P	P		P		
GU262	P	P					
MON89788			P			P	
G94-1, G94-19, G168		P			P		
W62, W98	P	P					
DAS-81419-2	P			P			
MON87701				P			
DAS-44406-6	P		P				
MON87701 × MON89788			P	P		P	
SYHT0H2	P						
DP-305423							gm-fad2-1, gm-hra
BPS-CV127-9							csr1-2
DP356043							gat4601, gm-hra

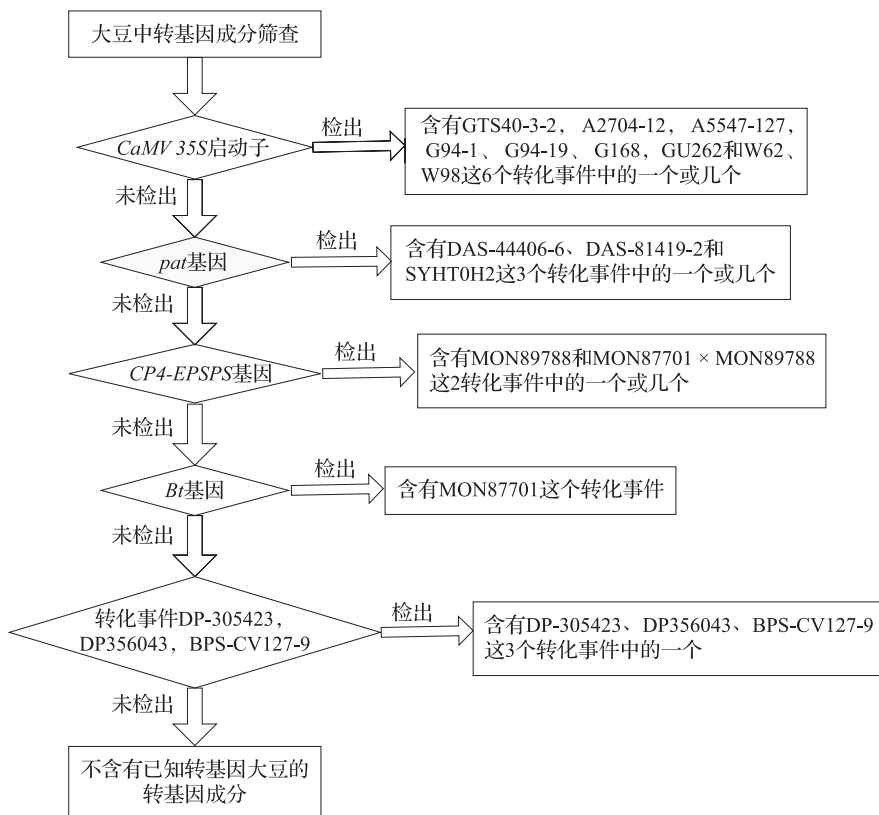


图2 大豆转基因转化体筛查路线

稻 LLRICE601、LLRICE06, 代谢途径调节的转基因黄金大米转入的基因包括 *psy* 基因、*SSUcrtI* 基因和 *hpt* 基因。根据转基因检测数据库<sup>[6]</sup>、欧洲转基因生物指南<sup>[7]</sup> 和美国环境风险评估中心转基因作物数据库<sup>[8]</sup>, 抗虫水稻 Bt 汕优 63 和除草剂水稻 LLRICE601、LLRICE06 都使用了 *CaMV 35S* 启动子, 而抗虫水稻华恢 1 号和 Bt 汕优 63、耐除草剂水稻 LLRICE601、转基因黄金大米都使用了 *NOS* 终止子。由此看出, 合并使用花椰菜花叶病毒 *CaMV 35S* 启动子和 *NOS* 终止子, 可实现对水稻中已知的转化体进行筛查检测。为了防止研发阶段或未公开的水稻转化体非法扩散, 可对水稻种子同时联合 *cryIAb/cryIAc* 基因、*pat* 基因进行筛查。

**3.3 水稻转基因成分检测路线图** 在对大量水稻样品进行转基因检测时, 按照 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*cryIAb/cryIAc* 基因、*pat* 基因进行筛查, 然后根据筛查结果, 按照图 3 进行转化体的进一步分析和确定。如果 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*cryIAb/cryIAc* 基因和 *pat* 基因等元件的检测结果都为阴性, 则表明样品中未检出已知的转基因转化体。如果 *CaMV 35S* 启动子、*cryIAb/cryIAc* 基因、

*NOS* 终止子和 *pat* 基因等元件的检测结果任何一个为阳性, 则认为样品中检出转基因成分。

如果检出 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*cryIAb/cryIAc* 基因, 可能含有华恢 1 号转化体; 检出 *NOS* 终止子、*cryIAb/cryIAc* 基因, 则可能含有 Bt 汕优 63 转化体; 检出 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*pat* 基因, 可能含有 LLRICE601 转化体; 检出 *CaMV 35S* 启动子、*pat* 基因, 可能含有 LLRICE06 转化体; 只检出 *NOS* 终止子, 可能含有黄金大米转化体; 检出 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*cryIAb/cryIAc* 基因、*pat* 基因中任一个, 而未检出上述转化体, 则可能含有研发阶段或未公开的水稻转化体。

#### 4 棉花种子中转基因成分筛查策略

**4.1 棉花的转基因作物研发推广情况** 棉花为锦葵科棉属一年生双子叶植物。全球转基因棉花的种植面积仅次于大豆和玉米, 位列第三, 主要种植在美国、阿根廷、巴西等国。我国 2015 年转基因抗虫棉种植面积为 333.3 万  $\text{hm}^2$  (5000 万亩), 占全国棉田面积的 93%, 其中国产抗虫棉占 95% 以上。我国仍是全球最大的棉花进口国, 截至 2022 年底, 获准作为加工原料进口到中国的转基因棉花转化体有



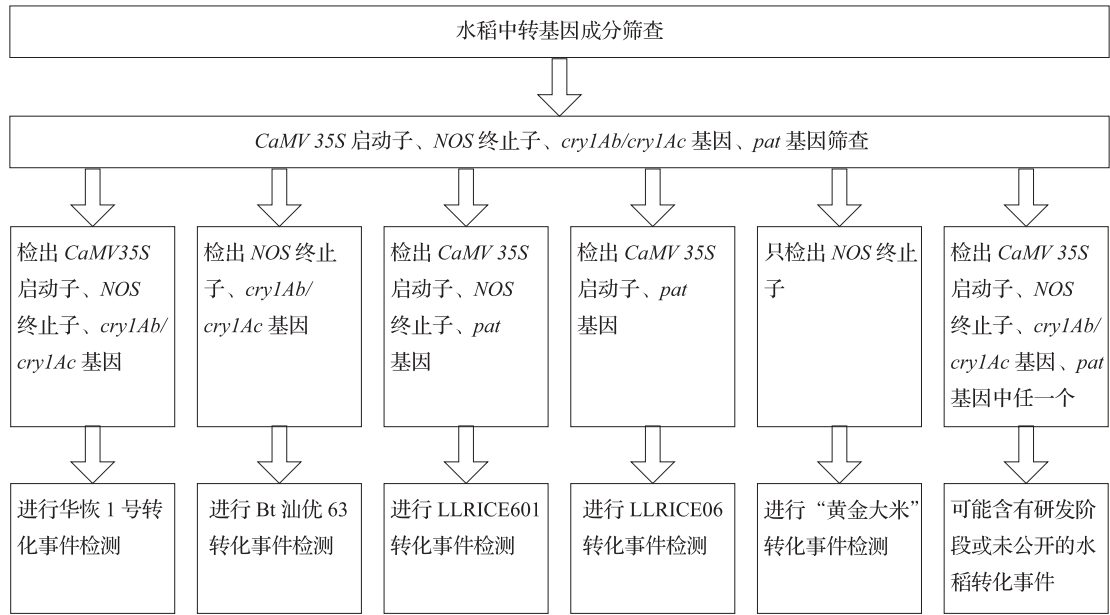


图3 水稻转基因转化体筛查路线

11 个,分别为 5 个抗虫棉花 15985、COT102、531、DAS-24236-5 和 DAS-21023-5,4 个抗除草剂棉花 LLCotton25、GHB614、MON88913 和 1445,2 个抗虫耐除草剂棉花 GHB119 和 T304-40。目前转基因棉花的研究方向是抗病虫、抗旱、耐除草剂、耐盐碱和品质改良等优良性状的研究。

**4.2 棉花的转基因转化体分析** 根据转基因检测数据库<sup>[6]</sup>、欧洲转基因生物指南<sup>[7]</sup>和美国环境风险评估中心转基因作物数据库<sup>[8]</sup>,以转基因棉花转化

体为行,以常用基因元件为列,形成转基因棉花转化体信息和分子特征矩阵(表 3)。在表 3 中的 13 个棉花转化体中,出现频次最高的元件是 *CaMV* 35S 启动子,出现 10 次;其次是 *NOS* 终止子,出现 9 次;之后是 *Bt* 基因 6 次; *Bar* 基因和 *CP4-EPSPS* 基因 3 次; *FMV* 35S 启动子 2 次。

**4.3 棉花的转基因筛查策略** 在表 3 的 13 个棉花转化体中,有 10 个转化体含有 *CaMV* 35S 启动子。不含有 *CaMV*35S 启动子的 3 个转化体中有 2

表 3 棉花转基因转化体信息和分子特征矩阵

转化体	<i>CaMV</i> 35S 启动子	<i>FMV</i> 35S 启动子	<i>NOS</i> 终止子	<i>Bt</i> 基因	<i>Bar</i> 基因	<i>CP4-EPSPS</i> 基因
15985	P		P	<i>cry1Ac</i> , <i>cry2Ab</i>		
31807/31808	P			<i>cry1Ac</i>		
BXN	P		P			
COT102			P			
COT67B			P			
Event-1	P		P	<i>cry1Ac</i>		
GHB614						P
LLCotton25	P		P		P	
MON1445/1698	P	P	P			P
MON531/757/1076	P			<i>cry1Ac</i>		
MON88913	P	P				P
GHB119	P		P	<i>cry2Ae</i>	P	
T304-40	P		P	<i>cry2Ab</i>	P	

个含有 *NOS* 终止子( COT102 和 COT67B ),1 个含有 *CP4-EPSPS* 基因( GHB614 )。这说明,同时进行 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子和 *CP4-EPSPS* 基因检测,可以覆盖所有的 13 个棉花转化体。

由于我国批准的转基因安全评价证书中棉花作物都是转 *cry1Ab/cry1Ac* 基因或转 *cry1Ac* 基因抗虫棉,因此,使用 *Bt* 基因可实现对国内棉花的高效率筛查。考虑到以上两点,同时进行 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*CP4-EPSPS* 基因和 *Bt* 基因检测,可以覆盖国内外所有的棉花转化体。

**4.4 棉花的转基因成分检测路线图** 在对大量棉花样品进行转基因检测时,按照 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*CP4-EPSPS* 基因和 *Bt* 基因的顺序进行筛查,如图 4 所示。如果 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*CP4-EPSPS* 基因和 *Bt* 基因检测结果都为阴性,则认为样品中未检出转基因成分。如果 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*CP4-EPSPS* 基因和 *Bt* 基因检测结果任何一个为阳性,则认为样品中检出转基因成分。

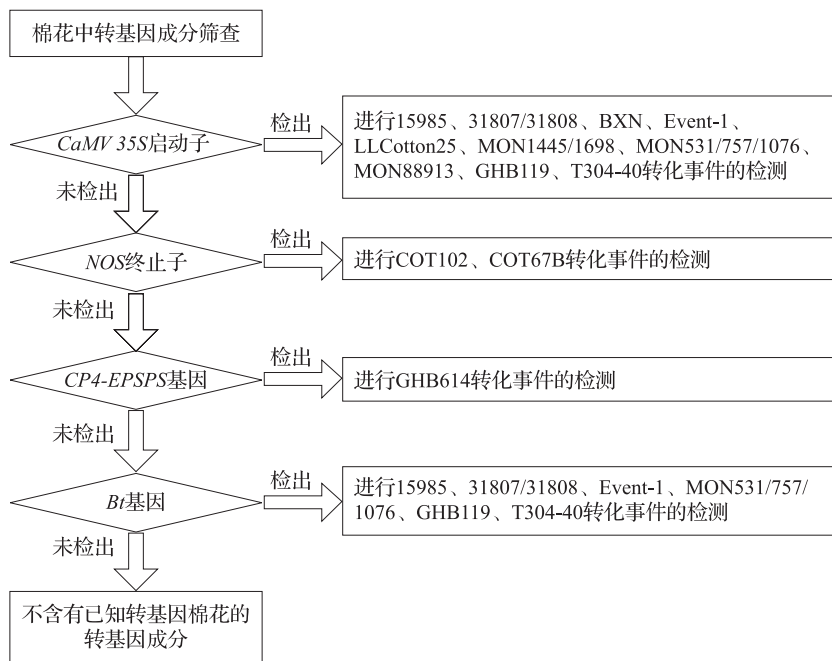


图 4 棉花转基因转化体筛查路线

## 5 小麦种子中转基因成分筛查策略

**5.1 小麦的转基因作物研发推广情况** 小麦是禾本科单子叶植物,起源于亚洲西部。美国 2004 年批准了耐除草剂转基因小麦 MON71800 的商业化种植<sup>[6]</sup>,但截至目前种植面积很小。我国的转基因小麦处于研发阶段,目前没有批准任何转基因小麦的安全评价证书。目前转基因小麦的研究方向是抗病、抗旱、耐除草剂和氮高效利用等优良性状的研究。

**5.2 小麦的转基因转化体分析和筛查策略** 小麦是我国北方的主粮,我国目前没有批准转基因小麦的安全证书和商业种植。针对小麦转基因的监管,其重点一是防止实验室进行试验研究的转基因小麦违规扩散,二是防止进口小麦中混杂的转基因小麦。转基因耐除草剂小麦 MON71800 转入的基因

有 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子和 *CP4-EPSPS* 基因,而 *Bar* 基因也是耐除草剂小麦研发中经常使用的基因元件。因此,联合使用 *CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*CP4-EPSPS* 基因和 *Bar* 基因,可实现对转基因小麦种子的筛查。

## 6 总结

我国转基因作物的发展方针为大胆研究,慎重推广,目前只批准了棉花和木瓜的商业化种植。我国将按照非食用、间接食用、食用的路线图推进转基因作物的产业化。转基因产业化在我国将成为趋势。

随着我国转基因产业的逐步发展以及消费者对转基因食品的持续关注,农作物种子的监管将有效遏制违规转基因进入消费市场。因此,建立快速、准确、低成本的转基因成分筛查检测方法,能够为我国转基因

# 《种子 种子》:用纪录片讲述中国种业振兴故事

胡 辉

(华南农业大学艺术学院,广州 510642)

**摘要:**中央广播电视总台推出的纪录片《种子 种子》,立足粮食安全和种业振兴的国家战略,以精良的影视技术手段和流行的叙事手法实现了农业题材的通俗叙事、专业知识的大众科普和国家战略的深层揭示的结合,其对于种业振兴纪录片的创作具有多方面的启示。

**关键词:**粮食安全;种业振兴;科学普及;种子故事

## “Seed”: Telling the Story of China Seed Industry Revitalization with Documentary

HU Hui

(School of Art, South China Agricultural University, Guangzhou 510642)

近一段时期,以《舌尖上的中国》《味道中国》为代表的美食类纪录片热度不减,甚至成为网络视频中最具有人气的一类,如《人生一串》《向着宵夜的方向》等等,成为中国在解决温饱问题之后“民以食为天”的生动写照。但是,当人们陶醉于各色美食制造的人间烟火气的时候,是否有想到过这些美食的来源在哪里?品质优良的粮食、蔬菜、肉、蛋、奶

是如何被源源不断地生产出来的?由中央广播电视总台制作的纪录片《种子 种子》给出了确切的答案:一切都离不开种子。假如没有种子,毋说美食,吃饭都是问题。一粒小小的种子,背后折射出的是小到个人食谱、家庭餐桌,大到国家粮食安全以及全球生物多样性的重大问题。《种子 种子》全片共6集,分别为《把根留住》《田野争锋》《繁盛沃土》《万物生长》《种灵育秀》《决胜种源》。该纪录片于2022年2月23-28日在央视财经频道播出。根据

**基金项目:**2018年度国家社科基金项目(18BXW057)

因监管提供有力的技术支撑。本研究针对我国主要农作物种子的转基因成分检测,提出了快速、准确和低成本的筛查方法,可实现对5种主要农作物种子的大量样品进行低成本、高效率的转基因成分筛查检测。

### 参考文献

- [1] 李继军,于静辉,尹利斌,张亚峰.中国种业发展路径演化与未来10年发展十大新格局预测.中国种业,2022(12):1-7
- [2] 金文涌,叶凤林,刘定富,陆永良,应继锋.中美转基因作物产业化最新进展.中国种业,2022(9):1-6
- [3] 国际农业生物技术应用服务组织.2019年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势.中国生物工程杂志,2021,41(1):103-113
- [4] Holst-jensen A. Testing for genetically modified organisms (GMOs): Past, present and future perspectives. Biotechnology Advances, 2009,

27(6):1071-1082

- [5] Querci M, Van den Bulcke M, Zel J, Van den Eede G, Broll H. New approaches in GMO detection. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2010, 396(6):1991-2002
- [6] 上海交通大学转基因实验室.转基因检测方法数据库.上海:上海交通大学,2008, <http://gmdd.shgmo.org>
- [7] 欧盟转基因生物指南.转基因生物数据库.让布卢:转基因生物指南,2008, <http://www.gmo-compass.org>
- [8] 环境风险评估中心.转基因作物数据库.华盛顿:国际生命科学研究所,2009, <http://cera-gmc.org>
- [9] 张海波,张英,刘冰,杨娟妮,陈西,张田.玉米中转基因成分筛查策略.西北农业学报,2015,24(12):57-63
- [10] 刘冰,张英,张海波,杨娟妮,陈西,张田.大豆中转基因成分筛查策略研究.大豆科学,2016,35(3):411-417

(收稿日期:2023-01-04)