

转基因

——农业生产新助力

撰文

孟志刚 崔艳 张锐

转基因是什么

随着人口、能源和环境之间矛盾的日益突出,当前全球有8亿以上的人口受到贫穷和饥饿的威胁。利用生物技术将植物杂交育种无法获得的农艺性状相关基因转入优质植物材料,创制出具有功能性的转基因植物材料,被认为是解决人口、能源和环境之间矛盾的最具有潜力的途径之一。

转基因植物是指把从微生物、植物和动物获得的重要功能基因,利用生物化学方法将功能基因和调控基因表达的DNA序列组合成一



转基因棉花田 供图/孟志刚

个表达盒,之后通过各种转基因技术将完整的表达盒转移到植物基因组中进行表达,使植物获得了抗虫、抗除草剂、抗病、优质等新的农艺性状。

转基因植物有多少种类

自从1983年报道首例转基因植物以来,至今已有35科120多种植物转基因获得成功,其中大多数用于科学研究,仅40多种进入田间试验。目前国际上进入生产应用的转基因植物只有12种,即棉花、玉米、水稻、大豆、油菜、甜菜、马铃薯、西葫芦、番木瓜、苹果、紫苜蓿和南瓜。

转基因农作物不能按照农产品的大小、形状和颜色进行区分,只能按照通过转基因获得的农艺性状进行鉴别。当前已经生产应用的转基因作物,按照农艺性状可以划分为抗虫棉花、抗除草剂棉花、抗虫抗除草剂棉花、抗虫玉米、抗除草剂玉米、抗虫抗除草剂玉米、抗虫水稻、抗除草剂大豆、抗除草剂油菜、抗除草剂甜菜、抗病马铃薯、抗病西葫芦、抗病番木瓜、植酸酶饲料玉米、抗氧化苹果等。

中国转基因植物产品应用现状

自从第一个转基因农作物产业化应用以来,全球40多个国家批准种植转基因植物,种植面积名列前茅的国家依次为美国、阿根廷、巴西、印度和中国。十三五以来,我国为了保证转基因植物的生物安全性和缓解民众对转基因食品安全性的担忧,除了批准进口作为加工原料的转基因农作物产品之外,我国对种植转基因植物的依法审批加大了监管力度。转基因作物生产应用按照三步走战略批准:即首先批准非食用转基因农作物,其次为间接食用转基因农作物,最后为食用转基因农作物。目前批准在国内种植的转基因植物主要为非食用和间接食用类型。

截至2017年我国农业部批准进口转基因产品16个,限于抗虫、抗除草剂的棉花、大豆、玉

米、甜菜、油菜五大农作物产品。自从1997年我国正式批准转基因抗虫棉在国内种植以来，我国农业部共批准了4个类型转基因作物生产应用，包括抗虫棉花、抗虫水稻、抗病番木瓜和植酸酶饲料玉米。其中非食用的转基因抗虫棉得到了大面积推广种植，除了新疆棉区外，国内其他棉花栽培区主栽品种均为转基因抗虫棉。其次，国内亚热带区域种植的番木瓜基本都是转基因抗病番木瓜。抗虫水稻和植酸酶玉米由于获得批准种植的时间较短，未获得规模化推广种植。

抗虫、抗除草剂基因来源

当前，国内外转基因抗虫植物中的抗虫基因主要来源于苏云金芽孢杆菌，也叫BT菌。该细菌在土壤中存活，整个生命周期存在两种形态：营养生长形态和孢子体形态。孢子体形态中存在一种伴孢晶体蛋白，其中包含了三类具有杀虫活性的蛋白：Cry晶体蛋白、Mtx-Bin毒蛋白、Cyt溶细胞毒素蛋白。营养生长形态中包含一种VIP毒素蛋白。由于Cry晶体蛋白具有高度的靶标昆虫特异性，所有转基因植物中含有的抗虫基因主要来源于该类型蛋白。截至目前，科学家们共发现了500多种Cry晶体蛋白，能够特异杀死鳞翅目、鞘翅目、膜翅目等害虫，满足生产应用需求的只有Cry1Ab、Cry1Ac、Cry1F、Cry2Aa等。

Cry晶体蛋白杀虫机理是：在碱性昆虫肠道内，Cry蛋白与肠道内壁细胞表面受体蛋白精准识别并结合；之后Cry蛋白沿着膜表面进行运动聚合；4个Cry蛋白聚合形成一个管状物，在受体蛋白的作用下管状聚合物插入昆虫肠壁细胞形成穿孔，导致肠壁细胞破裂，最终引起昆虫死亡。

Cry晶体蛋白发挥功能的必要条件是碱性环境和特异性受体，即该蛋白只能在碱性环境以及存在可以识别结合的受体蛋白的条件下，才能杀死害虫，而对于其他不能识别的生物，食用该蛋白就如同进食了一般的营养物质一样。

由于植物和细菌分别属于真核生物和原核

生物，细菌来源的Cry基因也不能直接转入植物，需要科学家依据植物基因组的特点进行重新设计，使其适宜在植物中表达。此外，转化Cry基因获得的转基因抗虫植物不能杀死所有害虫以及其他生物，其主要原因是Cry杀虫蛋白具有高度特异性，只能杀死具有受体蛋白的昆虫。例如含有Cry1Ab、Cry1Ac、Cry2Aa基因的美国抗虫棉中和含有GFM Cry1Ab/c基因的国产抗虫棉中只能杀死鳞翅目的棉铃虫，而对于红蜘蛛、蚜虫、螨类等其他危害棉花的害虫依然需要喷施农药来防治。

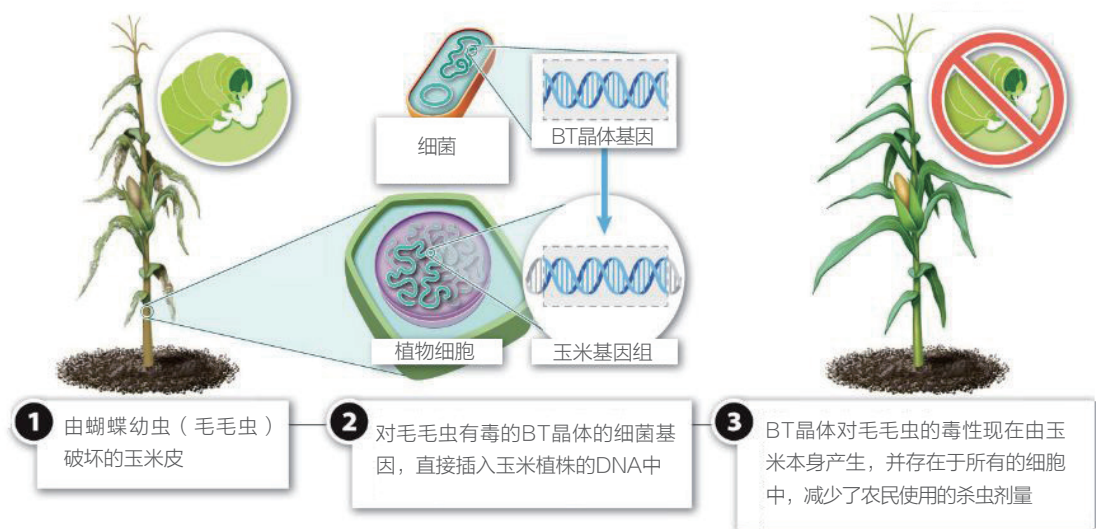
草甘膦除草剂具有高效、广谱、几乎可以杀死所有作物及杂草等特点，在农业生产中得到了广泛的使用。该除草剂不仅可以降低农业生产过程中劳动力的投入，节约成本，而且适宜于规模化机械作业，改良作物栽培模式。草甘膦与转基因作物并无直接关系，非转基因作物一样要施用除草剂草甘膦。抗草甘膦除草剂转基因植物的出现，简化了农业生产过程中作物的栽培管理，加速了草甘膦除草剂的应用。

目前，抗草甘膦除草剂植物中含有的抗性基因主要为来源于土壤中农杆菌的CP4 EPSPS基因，该基因经过科学家按照植物基因组序列特点进行优化设计，转入植物后能够使植物获得抗草甘膦除草剂的性状。

CP4 EPSPS抗草甘膦除草剂的机理是：植物体内氨基酸合成过程中需要EPSPS蛋白，大多数植物体内的EPSPS蛋白能够和草甘膦除草



富含维生素A的黄金大米（左）



含有苏云金芽孢杆菌中毒性蛋白基因的玉米，可以杀死害虫，但不会伤害人类

剂结合，导致植物体内的氨基酸合成过程被阻断，最终引起植物死亡；而CP4 EPSPS蛋白不能和草甘膦除草剂结合，当该蛋白在转基因植物体内表达且喷施草甘膦后，该蛋白会替换植物体内被草甘膦结合的EPSPS蛋白发挥功能，疏通了氨基酸合成途径，最终导致转基因植物存活且不影响其产量性状。例如在抗除草剂棉花、大豆、油菜、玉米等农作物种植过程中，当杂草生长过多影响作物生长的时候，只需要给田间所有作物和杂草同时喷施除草剂，就会杀死所有杂草，同时抗除草剂作物能够存活且不影响其产量。

转基因对农业生产的意义

当农作物获得抗虫、抗除草剂等与栽培管理密切相关的新性状，其直接推动农业栽培管理技术的变革，增加了农产品产量性状的提升空间。转基因抗虫棉花的研制和推广应用就是一个最具代表性的案例。

20世纪90年代，长期过量使用农药导致棉铃虫产生了抗药性，引起棉铃虫大爆发。棉铃虫取食部位为棉花产量形成的关键器官——棉铃，其直接导致棉花绝产，给我国棉花产业带来了巨大的损失。在国家“863”项目支持

下，1997年中国农业科学院郭三堆等科学家利用花粉管通道转基因方法将GFM *Cry1Ab/c* 导入棉花，成功研制出单价国产转基因抗虫棉花，使我国成为继美国之后世界上第二个研制成功转基因抗虫棉花的国家。同时，为了避免棉铃虫对GFM *Cry1Ab/c* 蛋白产生抗性，郭三堆等于1999年将来源于豇豆的胰蛋白酶抑制剂（CPTI）基因和GFM *Cry1Ab/c* 基因同时导入棉花，在国际上首次成功研制出双价国产转基因抗虫棉花。由于转基因抗虫棉花中Cry抗虫基因来源于BT菌，也叫BT棉。转基因抗虫棉花只能杀死棉花主要害虫——棉铃虫，对于其他害虫仍然需要喷施农药来防治。

在我国内陆，5月至10月是农业种植季节，棉铃虫一般可以繁殖三代，其中第三代棉铃虫对棉花危害最严重，而第一、二代棉铃虫产生的数量决定着第三代棉铃虫的爆发与否。7月初至8月末是棉花开花和棉铃发育的关键时期，也是三代棉铃虫爆发的关键时期。当田间种植非抗虫棉时，如果一、二代棉铃虫没有有效的抑制方法导致三代棉铃虫大爆发，害虫取食棉铃后导致棉花绝收，该类型栽培模式需要大量使用农药来杀死棉铃虫，同时还需要利用农药来防治蚜虫、红蜘蛛等次级危害的害虫。当种植转基因抗虫棉花时，由于Cry杀虫蛋白在棉

花整个栽培季节所有组织都表达,其能够有效杀死早期发生的以及后期危害棉铃的棉铃虫,从而避免喷施农药去防治棉铃虫,只需要在蚜虫、红蜘蛛等次级害虫发生的时候,喷农药防治次级害虫即可。

棉花不仅是重要的经济作物,也是战略储备物资。种植转基因抗虫棉花,在保证棉花稳产、高产的同时,减少了农药使用量,简化了棉花栽培管理,节约了农资投入,增加了农民收入,对我国纺织工业以及整个国民经济具有重要的意义。同时,转基因抗虫棉花的成功应用,为含有相同抗虫基因的转基因抗虫水稻的生产应用奠定了基础。

此外,紧紧围绕国家“一带一路”的倡议需求,国产抗虫棉也走出了国门,与巴基斯坦、印度、澳大利亚等国家的科研单位、企业开展合作,为国家战略做出应有的贡献。在国家科技部国际合作项目的资助下,中国农业科学院生物技术研究所棉花分子育种研究实验室与巴基斯坦木尔坦大学等高校和科研机构建立了中国巴基斯坦联合实验室,将我国的抗虫基因导入巴基斯坦棉花品种中,为巴基斯坦棉花产业发展提供了新动力。

中华民族具有悠久的饮食文化,包含了各种煎、炸、炒等需要较多食用油加工的美食。因此,目前国内进入食品中的转基因农产品,主要是转基因大豆、油菜、玉米等制作的食用油和利用该类型油加工的食品,其次为转基因大豆制作的豆腐等豆制品,以及少量种植的抗虫水稻和抗病番木瓜。

作者简介

孟志刚,中国农业科学院生物技术研究所,副研究员,主要从事棉花分子育种的研究。

崔艳,中国农业科学院生物技术研究所,副研究员,主要从事科研管理等工作。

张锐,中国农业科学院生物技术研究所,研究员,主要从事棉花分子育种的研究。

(责编 桑新华)



上:棉铃虫 下:转基因棉花 供图/孟志刚