

薛良义 主编

# 转基因生物 及其检测技术

Genetically Modified Organisms  
and Detection Technology



科学出版社



# 转基因生物 及其检测技术

Transgenic Modified Organisms  
and Detection Technology

# 转基因生物及其检测技术

薛良义 主 编

史西志 贾永红 副主编

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

全书共分六章。第一章简单介绍了转基因的概念、发展现状,转基因生物的优势和风险。第二至六章较详细地论述了转基因技术和转基因生物研发的一般过程,转基因技术在生物医药、农业和食品方面的应用,转基因生物的安全性评价和安全管理以及转基因生物的检测技术。

本书是作者在从事转基因食品安全分析教学和研究的基础上,综合近年来国内外的研究成果编写而成,可作为大学生物、食品相关专业学生的教材,也可供其他教学、科研相关人员及中学生物学教师参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

转基因生物及其检测技术 / 薛良义主编. —北京:  
科学出版社, 2012. 10

ISBN 978-7-03-035632-1

I. ①转… II. ①薛… III. ①转基因技术-生物工程  
IV. ①Q785

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 227234 号

责任编辑: 陈 露 严明霞 / 责任校对: 刘珊珊  
责任印制: 刘 学 / 封面设计: 殷 靓

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

江苏省句容市排印厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 10 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 10 月第一次印刷 印张: 11

字数: 207 000

定价: 38.00 元

# 前言

自 1982 年通过转基因获得“超级小鼠”和 1983 年首次获得转基因植物以来,转基因生物技术得到了飞速的发展。目前全世界转基因植物已达 200 多种,有 29 个国家种植转基因作物,2011 年全世界转基因作物种植面积达到 1.6 亿  $\text{hm}^2$ ,对全球的经济发展和环境变化已经产生了重大影响。转基因植物改良的性状涉及抗虫、抗病、抗除草剂、抗胁迫、提高产量和品质等。利用原核显微注射法、病毒载体法等技术获得了多种转基因动物,如转基因猪、牛、羊、兔、鸡和鲤鱼等,某些转基因动物已经在医学疾病模型、生物制药及农牧业等领域得到了应用。

随着转基因生物技术产业的发展,特别是 1993 年世界上第一种转基因食品——转基因晚熟西红柿正式投放美国市场以来,转基因生物与人们日常生活的关系越来越密切。人们也越来越关心转基因食品对人类健康的影响、转基因生物对生态环境及生物多样性潜在的危害。为了适应转基因生物技术产业发展的趋势,我们在宁波市生物医药应用型专业人才培养基地项目的资助下,建设了转基因生物检测实验室,为学生开设了转基因食品安全分析课程和有关转基因生物检测的实验项目。本书是作者在从事有关

转基因生物教学和科研的基础上,综合近年来国内外的研究成果编写而成。

全书分6章。第一章简单介绍了转基因的概念、发展现状,转基因生物的优势和风险;第二章较详细论述了动植物转基因的方法和转基因生物研发的一般过程;第三章介绍了转基因技术在生物医药、农业和食品等领域的应用;第四章为转基因生物的安全性评价,主要包括转基因食品食用安全性评价的原理及方法,以及转基因生物的环境安全性评价;第五章为转基因生物的安全管理,主要介绍了农业转基因生物安全管理以及国内外农业转基因生物安全管理政策和法规;第六章为转基因生物检测技术,介绍了转基因生物检测的多种技术以及检测技术的标准化。其中,第一章、第四至六章由宁波大学薛良义、史西志编写;第二章和第三章由浙江万里学院贾永红编写。

限于作者的知识水平,书中的错误和缺点在所难免,有些观点也可能会引起争论,恳请读者批评指正。

编 者  
2012年6月

# 目录

## 前 言

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>第一章 绪论</b>          | <b>1</b>  |
| 第一节 转基因生物的概念           | 1         |
| 第二节 转基因生物的发展现状         | 1         |
| 第三节 转基因生物的优势           | 6         |
| 第四节 转基因生物的安全性          | 7         |
| 第五节 转基因生物的管理           | 11        |
| <b>第二章 转基因生物技术</b>     | <b>13</b> |
| 第一节 重组 DNA 技术发展史上的重大事件 | 13        |
| 第二节 目的基因的分离            | 14        |
| 第三节 基因重组               | 27        |
| 第四节 基因工程载体             | 33        |
| 第五节 动植物转基因方法           | 43        |
| 第六节 转基因生物研发的一般过程       | 50        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>第三章 转基因技术的应用</b>    | <b>52</b>  |
| 第一节 生物医药方面应用           | 52         |
| 第二节 农业方面应用             | 57         |
| 第三节 食品方面应用             | 64         |
| <b>第四章 转基因生物的安全性评价</b> | <b>68</b>  |
| 第一节 转基因食品食用安全性评价的原理及依据 | 68         |
| 第二节 转基因食品食用安全性评价方法     | 71         |
| 第三节 转基因生物安全性动物实验评价     | 89         |
| 第四节 转基因生物的环境安全性评价      | 91         |
| <b>第五章 转基因生物的安全管理</b>  | <b>105</b> |
| 第一节 转基因生物安全管理的评价和风险管理  | 105        |
| 第二节 国外农业转基因生物安全管理体系    | 106        |
| 第三节 国内农业转基因生物安全管理政策和法规 | 115        |
| 第四节 我国农业转基因生物安全管理的发展   | 120        |
| <b>第六章 转基因生物检测技术</b>   | <b>123</b> |
| 第一节 检测策略               | 123        |
| 第二节 转基因生物及其产品的检测采样方法   | 124        |
| 第三节 以蛋白为基础的转基因生物检测技术   | 126        |
| 第四节 以核酸为基础的转基因生物检测技术   | 133        |
| 第五节 转基因生物及其产品检测新技术     | 144        |
| 第六节 转基因生物及其产品检测标准物质    | 154        |
| 第七节 转基因生物检测技术标准化       | 156        |
| <b>参考文献</b>            | <b>160</b> |

# 第一章 绪 论

## 第一节 转基因生物的概念

从字面上理解,转基因指的就是基因的转移。实际上,转基因有两种含义:广义和特定的含义。广义的转基因泛指生物间基因的转移。自然界物种间的天然杂交和农业生产中常用的杂交育种,都发生了多个基因甚至整个基因组的转移。我们现在种植的许多作物几乎都是经过多年的遗传选育培育而成,大都有基因的转移。从这种意义上讲,转基因在自然界生物进化过程中早已存在,并不新奇,人们也早已利用它进行农作物遗传改良。

现在人们常说的转基因往往是指它的特定含义,即专指利用现代遗传工程技术,将人们期望的目标基因,经人工分离和遗传修饰,重新导入生物体的基因组中,从而可以按照人们的意愿创造出自然界中原来不存在的新的生物功能和类型,如改善生物体原有性状或赋予其新的优良性状。因此,转基因生物是指在未经过天然交配或者天然重组的情况下导入外来基因,致使遗传物质发生改变的生物,国际上普遍称作“遗传修饰生物”(genetically modified organism, GMO)。例如,苏云金杆菌含有可以产生对鳞翅目昆虫有毒性的蛋白的基因,把这种基因移植到棉花体内,使棉花产生这种蛋白,获得了抗棉铃虫的能力;生活在南北极严寒地区的鱼类体内具有抗冻基因,科学家将抗冻基因转入番茄中,获得了抗寒能力增强的转基因番茄。像这样含有转基因成分的生物就是转基因生物,以转基因生物为直接食品或为原料加工生产的食品就是转基因食品。

## 第二节 转基因生物的发展现状

### 一、转基因植物

转基因技术自 20 世纪 70 年代问世后便成为现代生物技术的核心,引发了包括农业在内的生命科学领域的深刻技术革命。目前,转基因生物发展最广泛的是

转基因植物。以农作物为例,1983年美国科学家培植了世界上第一种转基因植物——含抗生素药类抗体的转基因烟草,1985年人类首次进行能够抵抗虫害和病害的转基因作物的田间试验,1993年第一种市场化的转基因食品——转基因晚熟番茄在美国出现,1996年由这种转基因番茄加工而成的食品允许在超市中销售。自转基因农作物商业化应用以来,全球转基因作物始终保持强劲的发展势头,种植面积逐年扩大,商业化应用速度逐年加快。目前全世界转基因植物已达200多种,获得政府批准上市的品种已有40多个,其中转基因作物超过25种,主要种植的4种转基因作物是玉米、棉花、大豆和油菜,其他的转基因作物包括番茄、甜菜、烟草、康乃馨、菊苣、番木瓜、西葫芦、马铃薯、亚麻、向日葵、香蕉和水稻等。这些转基因作物改良的目标性状涉及抗病虫、抗除草剂和品质改良等13类。在我国,目前也出现了转基因水稻、玉米、大豆、棉花等多种转基因作物。

转基因植物的研究呈现出如下特点:①转基因技术创新日新月异。随着现代生命科学的发展,基因克隆技术突飞猛进,一些新基因、新性状、新方法和新产品不断涌现;转基因技术研究手段和技术水平不断提高,基因删除技术、定向定时表达技术等新的基因操作技术和遗传转化方法不断出现,转化效率大幅度提高。②品种培育从重视性状改良向生物反应器方向发展,呈现出代际特征。第一代转基因生物新品种着重于发展抗性转基因,例如抗除草剂、抗虫、抗旱、抗盐碱和抗寒等,往往改善产品的单一性状;第二代转基因生物新品种侧重于改变作物的品质,比如增加营养、提高食品的医疗保健功能等,而且多基因聚合的复合性状正成为转基因技术研究的重点;第三代转基因生物新品种是把转基因植物发展为工业和医药用生物反应器。2010年,复合性状转基因作物(转双基因和三基因的转基因作物)种植面积达3220万 $\text{hm}^2$ ,占全球转基因作物种植面积的22%;2011年复合性状转基因作物的种植面积达4220万 $\text{hm}^2$ ,占全球转基因作物种植面积的26%。③转基因作物的产业化应用规模迅速扩大。自1996年首例转基因农作物商业化应用以来,全球已有25种转基因作物的商业化种植。以抗除草剂和抗虫两类基因为例,转基因大豆、棉花、玉米、油菜为代表的转基因作物产业化速度明显加快,种植面积由1996年的170万 $\text{hm}^2$ 发展到2011年的1.6亿 $\text{hm}^2$ ,15年间增长了93倍。转基因大豆、玉米、棉花、油菜的种植面积分别占全球转基因作物种植面积的53%、30%、12%和5%。④转基因作物的生态效益、经济效益十分显著。1996~2010年,转基因作物为发展中国家和发达国家带来了同样的累计经济效益(均为390亿美元),而2010年一年为发展中国家所带来的经济效益(77亿美元)则高于发达国家(63亿美元)。14年间累计减少使用杀虫剂有效成分44.3万t,仅2010年一年减少使用杀虫剂有效成分4.32万t, $\text{CO}_2$ 190亿kg。⑤国际竞争日益激烈。随着转基因农作物种植面积、产量和贸易量的增加,2011年转基因作物的全球市场价值已达132亿美元,转基因技术研究和产业应用的国际竞争更加激烈。美国、加拿

大、澳大利亚正在推进转基因小麦的产业化应用。巴西由于种植转基因大豆,实现了免耕密植,种植模式发生了革命性变化,大豆产业国际竞争力大幅提升。印度已经大面积种植转基因棉花,排名已经超过中国。欧盟已有 7 个国家允许种植转基因玉米,美国、伊朗等国先后批准了转基因水稻的种植。

据不完全统计,1996~2009 年,全球因种植转基因作物创造了 650 亿美元的经济效益,挽回产量损失 2.29 亿 t,减少农药用量 39.3 万 t。发展中国家 1 440 万农户因种植转基因作物而增加收益和摆脱贫困。由于效益显著,许多发展中国家急起直追,大力推进转基因产品的开发和应用。自 2009 年起,发展中国家转基因作物种植面积增长速度已超过发达国家。

据国际农业生物技术应用服务组织发布的统计资料,2010 年全球转基因作物种植面积达到 1.48 亿  $\text{hm}^2$  (折合 22.2 亿亩,1 亩 =  $\frac{1}{15} \text{hm}^2$ ,是我国耕地面积的 1.2 倍),比 2009 年增加 10%,是 1996 年种植面积的 87 倍,创造了近代农业科技发展的奇迹。全世界 81% 的大豆、64% 的棉花、29% 的玉米、23% 的油菜都是转基因品种。大面积种植转基因作物的国家有美国、巴西、阿根廷、印度、加拿大、中国等 29 个,其中也包括 8 个欧盟成员国;另有 30 多个国家和地区虽未正式批准商业化种植,但允许转基因产品进口用作饲料和食品加工。在已种植转基因作物的 29 个国家中,19 个为发展中国家,发展中国家 2010 年种植的转基因作物面积占全世界的 48%。中国、印度、巴西、阿根廷和南非在 2010 年共种植 6 300 万  $\text{hm}^2$  的转基因作物,占全世界的 43%。

2011 年,来自 29 个不同国家的 1 670 万农民种植了 1.6 亿  $\text{hm}^2$  的转基因作物(表 1-1),种植面积比 2010 年增长 8%。转基因作物种植面积最大的国家仍然是美国,达到 6 900 万  $\text{hm}^2$ ,主要为玉米、大豆、棉花、油菜等;巴西、阿根廷分列第二和第三位,种植面积分别为 3 030 万  $\text{hm}^2$  和 2 370 万  $\text{hm}^2$ 。其余名列前位的国家是印度、加拿大、中国、巴拉圭、巴基斯坦、南非和乌拉圭,种植面积均超过百万公顷。

国际农业生物技术应用服务组织主席克莱夫·詹姆士预测,到 2015 年,全球将有约 40 个国家的 2 000 万以上的农民种植 2 亿  $\text{hm}^2$  转基因作物,发展中国家转基因作物种植面积将超过工业国。拉美和亚洲国家将在全球转基因作物种植面积增长方面发挥最重要的作用。全球转基因作物产业化已经产生了巨大的经济、社会和生态效益,为应对当前国际社会面临的可持续发展、减轻贫困和饥饿、环境保护等做出了贡献。

我国转基因研究已有 20 多年的发展和积累,现已初步建成世界上为数不多的,包括基因克隆、遗传转化、品种选育、安全评价、产品开发、应用推广等各环节在内的比较完整的转基因育种创新和产业发展体系。虽然研究开发的整体实力同发达国家还有较大差距,但已拥有一批抗病虫、抗除草剂、优质、抗旱等基因的自主知识产权和核心技术,取得了转基因抗虫棉花、抗虫水稻、植酸酶玉米等一批达到国

际先进水平的基础研究和应用研究成果,初步形成了自己的特色与优势。如我国独立研制的抗虫棉,推广 12 年来创造了超过 330 亿元的经济效益,对促进农业增产、农民增收发挥了巨大作用。

表 1-1 2011 年世界各国种植转基因作物的面积 (引自 Clive James, 2011)

| 排 名 | 国 家   | 面积(百万 hm <sup>2</sup> ) | 转 基 因 作 物                |
|-----|-------|-------------------------|--------------------------|
| 1   | 美 国   | 69.0                    | 玉米、大豆、棉花、油菜、甜菜、苜蓿、番木瓜、南瓜 |
| 2   | 巴 西   | 30.3                    | 大豆、玉米、棉花                 |
| 3   | 阿根廷   | 23.7                    | 大豆、玉米、棉花                 |
| 4   | 印 度   | 10.6                    | 棉花                       |
| 5   | 加拿大   | 10.4                    | 油菜、玉米、大豆、甜菜              |
| 6   | 中 国   | 3.9                     | 棉花、番木瓜、杨树、马铃薯、甜椒         |
| 7   | 巴拉圭   | 2.8                     | 大豆                       |
| 8   | 巴基斯坦  | 2.6                     | 棉花                       |
| 9   | 南 非   | 2.3                     | 玉米、大豆、棉花                 |
| 10  | 乌拉圭   | 1.3                     | 大豆、玉米                    |
| 11  | 玻利维亚  | 0.9                     | 大豆                       |
| 12  | 澳大利亚  | 0.7                     | 棉花、油菜                    |
| 13  | 菲律宾   | 0.6                     | 玉米                       |
| 14  | 緬 甸   | 0.3                     | 棉花                       |
| 15  | 布基纳法索 | 0.3                     | 棉花                       |
| 16  | 墨西哥   | 0.2                     | 棉花、大豆                    |
| 17  | 西班牙   | 0.1                     | 玉米                       |
| 18  | 哥伦比亚  | <0.1                    | 棉花                       |
| 19  | 智 利   | <0.1                    | 玉米、大豆、油菜                 |
| 20  | 洪都拉斯  | <0.1                    | 玉米                       |
| 21  | 葡萄牙   | <0.1                    | 玉米                       |
| 22  | 捷克共和国 | <0.1                    | 玉米                       |
| 23  | 波 兰   | <0.1                    | 玉米                       |
| 24  | 埃 及   | <0.1                    | 玉米                       |
| 25  | 斯洛伐克  | <0.1                    | 玉米                       |
| 26  | 罗马尼亚  | <0.1                    | 玉米                       |
| 27  | 瑞 典   | <0.1                    | 马铃薯                      |
| 28  | 哥斯达黎加 | <0.1                    | 棉花、大豆                    |
| 29  | 德 国   | <0.1                    | 马铃薯                      |
| 总计  |       | 160.0                   |                          |

转基因植物除了作为食品外,还可用来生产疫苗。2006年,美国农业部批准了转基因鸡新城疫植物疫苗商品化,这是第一个被许可上市的兽用转基因植物疫苗。该疫苗采用烟草细胞作为表达体系,生产出具有抗鸡新城疫病毒的安全有效的疫苗,是畜禽转基因植物疫苗研究的巨大突破。同年,古巴哈瓦那遗传工程和生物技术研究中心成功研制了乙型肝炎表面抗原抗体,这是第一个被批准规模化生产的植物源抗体。美国 Sigma 公司于 2008 年进行了用于表达抗生物素和牛胰蛋白酶玉米以及表达人溶菌酶和乳铁蛋白水稻的大面积田间试验。除此以外,口蹄疫病毒、牛瘟病毒、猪流行性腹泻病毒、禽传染性支气管炎病毒及犬细小病毒等多种动物病毒的抗原也在植物中得到了成功表达。迄今为止,已经有 20 多种基因工程疫苗进入临床应用。

## 二、转基因动物

对转基因动物的研究可追溯到 20 世纪 60 年代末和 70 年代初,有人尝试向蛙卵和小鼠胚胎注射 mRNA,但真正发生重大影响的是 1982 年 Palmiter 等在《自然》杂志上报道的“超级小鼠”,含外源生长激素基因的小鼠比正常小鼠几乎大一倍。自此引发了人们对转基因动物研究的热潮,也引起了人们对转基因动物可能产生的环境和社会问题的担忧。

迄今已经获得了多种转基因动物,如转基因猪、兔、绵羊、山羊、牛、猴、鸡和鲤鱼等,我国在转基因鱼的研究和开发上处于国际领先地位,已获得生长速度明显提高的转基因鲤鱼。最近,我国成功获得了含乳糖分解酶基因的转基因克隆奶牛,可从奶源上解决东方人中普遍存在的“乳糖不适症”问题。转基因动物已经深刻影响到医学疾病模型、生物制药和农牧业等领域,同时也推动了生命科学研究的发展。如利用转基因技术已经建立了癌症、镰刀型红细胞贫血、糖尿病、原发性高血压、早发性痴呆症和艾滋病等多种人类疾病动物模型;2009 年美国批准了首个转基因动物用于生产抗血栓药物重组人抗凝血酶Ⅲ(商品名 Atryn),也是世界第一个转基因动物生产的药物用于临床治疗。该药品是从转基因山羊的羊奶中提取纯化出来的,用于治疗遗传性抗凝血酶缺乏症的疾病。

由于目前转基因动物尚存在外源基因整合和表达效率低、外源基因在宿主基因组中的行为难以控制、转基因动物及其相关产品的安全性等问题,与转基因农作物相比,转基因动物尚未得到大规模的应用。

## 三、转基因微生物

除了转基因植物和动物外,全球很多企业已成功地应用转基因微生物生产食

品酶制剂。利用基因工程技术改良菌种而生产的第一种食品酶制剂是凝乳酶,美国于 1990 年批准可应用于干酪生产,美国 70%(英国市场达 90%)的干酪生产过程中使用了来自转基因微生物的凝乳酶。除了凝乳酶外,还有许多来源于转基因微生物的食品酶制剂,如  $\alpha$ -淀粉酶,木聚糖酶,葡萄糖氧化酶,纤维素酶,三酰基甘油脂肪酶,磷脂酶 A、B、D 等 70 余种,其中应用于食品行业的转基因微生物生产的酶就有 48 种。除了食品领域,转基因微生物还可用来生产微生物农药(如 Bt 转基因菌剂)和药物(如人胰岛素)。

### 第三节 转基因生物的优势

随着转基因生物产业的发展,特别是转基因植物育种的快速发展,转基因生物已经对经济和社会发展产生了重大的影响。尤其是这种发展是在时起时伏的“转基因生物安全性”的争议中取得的,说明了转基因技术的强大生命力。转基因技术也是人类历史上应用最为迅速的重大技术之一。

育种的核心内容是创造变异和利用变异,在育种上,转基因技术与传统的杂交技术本质上都是通过获得优良基因对生物进行遗传改良,因此,转基因技术是传统育种技术的发展和延伸。但转基因技术与传统的杂交育种技术有两点不同:① 传统的杂交技术一般只能在生物种内或近缘种间个体上实现基因转移,而转基因技术所转移的基因则不受生物体间亲缘关系的限制;② 传统的杂交和选择技术一般是在生物个体水平上进行,操作对象是整个基因组,不可能准确地对某个基因进行操作和选择,对后代的表现预见性较差,而转基因技术所操作和转移的一般是最有用的一个或几个基因,功能清楚,后代表现可准确预期。因此,将转基因技术与常规育种技术紧密结合,可相得益彰,大大提高品种改良效率。

以农作物为例,转基因技术具有如下优势:① 转基因育种突破了传统育种方法难以解决的遗传障碍,能够更有效地改造作物的遗传特性,从而培育出更加高产、优质、多抗、高效的新品种。② 减轻病虫害危害,改善农业生态环境。全球转基因技术的研发与应用表明,抗虫和抗除草剂等转基因作物的种植不仅在提高农作物产量方面成效显著,而且在改善农业生态环境方面也显示出巨大优势。培育抗病虫、抗除草剂、抗旱、耐盐碱、养分高效利用等转基因新品种,将显著减少农药、化肥和水的使用,有利于缓解环境污染,更好地保护生态环境。如中国农业科学院培育的转基因抗病毒马铃薯品种,不仅具有抗病性,而且产量可达每亩 2 000 kg,从根本上解决了病毒病引起的种性退化问题,是继茎尖脱毒组织培养后获得无毒苗的又一途径。③ 降低生产成本,增加农民收入。由于转基因新品种在高产、优质、低耗等方面的优势,全球转基因作物种植农户累计获得经济效益 440 亿美元,农民增收 25% 左右。我国棉农也因种植转基因棉花,每亩节本增收 130 元,农民累计增

收 250 亿元。④ 拓展产业形态,提高产品附加值。目前,功能性和治疗性转基因食品、转基因生物能源和环保产品相继研发成功,部分转基因药物上市销售,使转基因植物品种正在由简单性状改良向复杂性状改良,由农业领域向医药、加工、能源、环保领域拓展等方向发展,能够缓解资源约束,进一步拓展农业功能,提高农业生产效率。如人葡萄糖脑苷脂酶(human glucocerebrosidase, hGC)是用于治疗遗传病——高歇斯症(Gaucher disease)的特效药,可能也是当今世界最昂贵的药物,每生产一个剂量的 hGC 需要 2 000~8 000 个人类胎盘,故该药物一直供不应求。在转 hGC 基因的烟草中, hGC 的表达量可高达 1 mg/g 鲜重,一株转基因烟草 hGC 的表达量相当于 2 000~8 000 个人类胎盘的提取物。

从近年来转基因产业的发展情况来看,越来越多的国家参与转基因农作物的种植,且种植面积不断扩大,转基因已是大势所趋,成为农业科技发展的必然。我国是人口大国,人均资源贫乏,解决 13 亿人口吃饭问题始终是头等大事。在工业化、城镇化快速发展中,要想突破耕地、水、能源等资源约束,保障农产品长期有效供给,归根结底要靠科技创新及应用。传统技术(杂交育种、化肥、农药等)的使用已经无法满足未来社会和人口发展的需要,发展转基因技术不但可以大幅度提高农业综合生产能力,确保农产品有效供给,保障我国粮食安全,还可以显著减少农药用量,减少家畜养殖污染,提高水肥利用效率,改善农业生态环境,大幅度提高农业生态安全保障能力,明显降低农业生产成本、减轻农民劳动强度,大幅度提高种植业和养殖业的经济效益。因此,抓住转基因技术发展机遇,推进现代农业科技革命,就成为确保国家粮食安全和农业可持续发展的必然选择,也是提升农业科技和产业国际竞争力的重要途径。

## 第四节 转基因生物的安全性

在转基因植物种类和种植面积迅猛增加的同时,转基因生物的安全性已成为人们普遍关注的一个问题,在全世界激起了广泛的争论。对这一问题,仁者见仁,智者见智,在今后相当长一段时间内,这种争论仍将继续。

目前对转基因生物安全性的关注主要集中在两个方面:① 转基因生物对自然生态环境和生物多样性的安全性问题;② 转基因生物对人类健康的安全性问题。此外,有些学者还提出了转基因作物对国家粮食生产安全性的问题,孟山都(Monsanto)、先正达(Syngenta)、安万特(Aventis)和杜邦(Du Pont)等跨国公司巨头拥有绝大多数转基因作物的专利,几乎垄断了全球转基因农作物种子市场,中国虽然也拥有一些转基因作物的自主知识产权,但有些技术受制于国外的专利。由于转基因作物不能留种,如果大量种植转基因作物,如转基因水稻,跨国公司就可

能从根本上控制中国的粮食生产,从而给中国的农业经济安全带来巨大的威胁。

## 一、转基因生物的生态安全性

转基因植物释放到田间后,是否会破坏自然界的生态环境,是否会打破原有生物种群的动态平衡,所转的基因是否会逃逸、扩散到野生植物中,这些都是环境安全性评价的核心问题。如含抗除草剂基因的转基因作物通过花粉的传播,将抗除草剂基因转入周围野生近缘种植物,可使野生近缘种植物成为“超级杂草”。对转 Bt 毒蛋白基因棉花的研究显示,其花粉在 7 m 远处的杂交频率小于 1%,在 25 m 处,小于 1% 的杂交偶尔发生。转基因作物还可能对非目标生物造成危害,如果非目标生物摄食了转 Bt 毒蛋白基因的植物,或者昆虫天敌直接捕食、摄食了含毒蛋白的目标生物和非目标生物,这样非目标生物和昆虫天敌就有机会接触到毒蛋白,从而可能受到影响。含有病毒基因的转基因抗病毒植物最受关注的一个问题是转基因有可能会与其他病毒重组,具有产生新的甚至危害性更大的病毒的风险。此外,转基因植物及其产物进入土壤后,可能会与土壤微生物发生相互作用,影响一些微生物的代谢活动,进而对生物地球化学循环产生重要影响。

帝王蝶(monarch butterfly)与墨西哥玉米事件凸显了转基因植物对环境安全性的争议。1999 年,美国康奈尔大学昆虫学家 Losey 在《自然》杂志上报道,用拌有转 Bt 基因抗虫玉米花粉的马利筋草可致帝王蝶幼虫死亡。这一研究发表后,立刻在世界范围内掀起了一场有关转基因作物生态安全的辩论。环保主义者因此提出应限制种植与销售 Bt 玉米。然而,Losey 的实验受到了同行科学家和美国环境保护局的质疑:这一实验是在实验室完成的,并不反映田间情况,而直接把实验室试验结果推广到自然界是环境研究的第一大忌;另外,该实验报告没有提供花粉量的数据。针对这些质疑,美国环境保护局组织昆虫专家对帝王蝶问题展开专题研究。结论认为,转基因抗虫玉米花粉在田间对帝王蝶并无威胁,原因是:① 玉米花粉大而重,因此扩散不远。在田间,距玉米田 5 m 远的马利筋杂草上,每平方厘米草叶上只发现有一粒玉米花粉。② 帝王蝶通常不吃玉米花粉,它们在玉米散粉之后才会大量产卵。③ 在所调查的美国中西部田间,田间帝王蝶的实际数量很大。2001 年,美国环保局组织昆虫专家对此进行专题研究讨论后认为,抗虫玉米花粉在田间对帝王蝶的威胁极其微小。此后,很多科学家对帝王蝶的研究和观察一直在继续,基本上认可了美国环保局的结论。

就在帝王蝶事件余波未平之际,美国加州大学伯克利分校的 Quist 等在 2001 年《自然》杂志上报道,自 20 世纪 90 年代墨西哥的一些山区推广种植转基因玉米以来,由于转基因玉米的基因漂移,在墨西哥野生玉米中检测到了转基因成分,墨西哥野生玉米种质受到严重的基因污染,并导致野生玉米遗传多样性的丧失。但

Quist 等的研究很快遭到同行科学家质疑。其他科学家检查了其试验过程和数据,发现多处错误。《自然》于 2002 年 4 月 11 日载文 2 篇,批评该文作者在基因检测时,错误解释了试验结果,他们的结论是对不可靠的实验结果的错误解释。《自然》杂志同期发表编辑声明:该文所提供的证据不足以支撑其发表,作者为支持其结论提交的新证据还需要进一步检验。

帝王蝶与墨西哥玉米事件表明,科学界一直在密切关注转基因作物是否会对环境造成影响,而并非如一些反对转基因的人士所说,这方面的研究应被压制。相反,各国农业环境保护专家,包括美国国家科学院、环保局,欧盟政府研究机构,中国农科院植物保护所的专家等,都在对转基因作物的种植进行长年严谨的监测和研究。而帝王蝶与墨西哥玉米事件最初的论文被发表后,科学界也在自发地检验,科学界的基本逻辑是科学结论必须要有足够的支持证据。

我国对自主研发的抗虫转基因水稻安全评价试验表明:在分子特征方面,转入的外源基因可以稳定遗传和表达,能够高抗稻纵卷叶螟、二化螟、三化螟等鳞翅目害虫;在环境安全性方面,转基因水稻的生存竞争能力、向野生稻发生基因漂移可能造成的环境影响、对稻飞虱等非目标害虫的影响、对稻田蜘蛛等天敌和有益昆虫的影响和对稻田节肢动物多样性的影响等方面,与非转基因对照相比均无明显变化;在食用安全方面,转基因稻米关键营养成分、抗营养因子与非转基因水稻相比没有生物学意义上的差异;大鼠 90 d 喂养试验、短期喂养试验、遗传毒性试验、三代繁殖试验、慢性毒性试验以及 Bt 蛋白的急性经口毒性试验结果表明,对试验动物无不良影响;表达蛋白与已知过敏原的氨基酸序列无同源性,体外模拟胃肠液中易消化。综合分析,转基因水稻与亲本水稻相比具有相同的食用安全性。

## 二、转基因生物的健康安全性

随着转基因农作物产业的迅猛发展,转基因食品已经越来越多地进入人们的日常生活。虽然迄今为止,转基因食品在进入市场前都经过严谨的安全评估,但人类长期食用是否安全仍然存疑,科学界对转基因食品是否有副作用这个关键性问题也还未达成共识。持肯定态度的学者认为,自美国第一批转基因番茄上市以来,全球约有一半的人食用过转基因食品,10 多年来尚未报道过一例食品安全事件;我国进口转基因大豆较多,约有一半的大豆色拉油中含有转基因成分,目前也没有出现问题。欧洲官方食品安全认证机构欧洲食品安全局(European Food Safety Agency, EFSA)在历次评估报告中都指出,相比于常规作物,没有任何证据表明已经批准上市的转基因作物会给人类健康和环境带来更多潜在的和现实的风险。持否定态度的学者认为,转基因食品具遗传毒性,会对实验动物造成损害。也有人认为,即使目前尚未发现转基因食品对人类健康造成危害,但也不表明它就是安