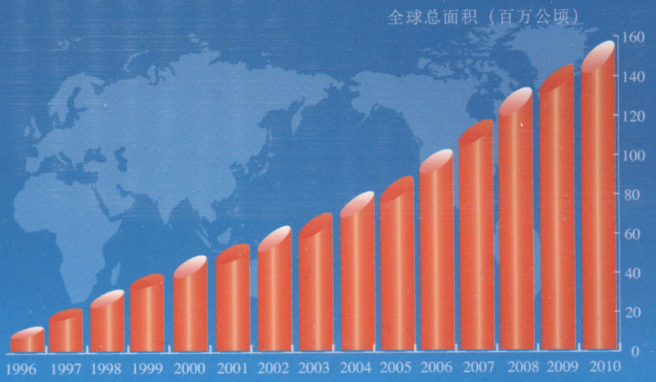
农业部农业转基因生物安全管理办公室 编



百名专家谈转基因

BAIMING ZHUANJIA TAN ZHUANJIYIN

中国农业出版社

百名专家谈转基因

农业部农业转基因生物安全管理办公室　编

中国农业出版社
北　京

图书在版编目（CIP）数据

百名专家谈转基因／农业部农业转基因生物安全管理办公室编. —北京：中国农业出版社，2011.9
ISBN 978-7-109-13733-2

Ⅰ.①百… Ⅱ.①农… Ⅲ.①转基因技术-文集
Ⅳ.①Q785-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 191109 号

中国农业出版社出版
（北京市朝阳区农展馆北路 2 号）
（邮政编码 100125）
责任编辑 张德君

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2011 年 9 月第 1 版 2011 年 12 月北京第 2 次印刷

开本：850mm×1168mm 1/32 印张：18.5
字数：450 千字
定价：16.00 元
（凡本版图书出现印刷、装订错误，请向出版社发行部调换）

前　言

转基因技术是现代生物技术的核心，运用转基因技术培育新品种，能够有效降低农药、化肥投入，对缓解资源约束、保护生态环境、改善产品品质、拓展农业功能等具有重要作用。作为支撑发展、引领未来的战略选择，转基因生物技术研发与应用已成为抢占科技制高点和增强农业国际竞争力的重大举措。

世界转基因商业化发展迅猛，2010年种植转基因植物的国家增加到29个，种植面积增加到1.48亿公顷，比2009年增加了10%，是1996年首次商业化种植面积的87倍。我国是一个人口大国，解决13亿人的吃饭问题始终是头等大事。突破耕地、水、环境等资源约束，保障国家粮食安全和农产品长期有效供给，归根结底要靠科技进步。经过20多年努力，我国在重要基因发掘、转基因新品种培育、产业化应用和安全管理等方面取得了重大成效，在发展中国家处于领先地位。同其他新技术一样，转基因技术自诞生以来，在世界各地的争论就从未间

断过。概括起来，主要是担心转基因产品对人体健康和环境安全的影响以及知识产权问题等。出现争论的原因是多方面的，有科学认知问题，有技术认同问题，也有其他方面的原因。

《百名专家谈转基因》是由国内相关领域100多位专家撰写，分为转基因技术发展、转基因产业应用、转基因安全管理三个篇章，文章深入浅出地解读了农业转基因生物技术研发和安全管理知识，澄清了事实，将为全面了解转基因知识提供有益的帮助。

编　者

目　录

技术发展篇

十位院士谈转基因：大力推进生物技术研究与应用 …… (3)

超级杂交稻的培育需要基因工程的加盟 …… 袁隆平　赵炳然 (7)

水稻的昨天、今天和明天 …… 金安江　彭光芒　张启发　林拥军 (11)

坚定不移推进我国转基因技术研究应用 …… 黄大昉 (19)

转基因技术漫谈 …… 李阳生　朱英国 (24)

转基因育种是绿色农业成功的保证 …… 刘守仁 (33)

转基因技术是农业科技发展的必由之路 …… 吴孔明（40）

理性认识转基因　促进生物育种健康发展 …… 张春义（54）

转基因释疑 …… 朱猛进　赵书红（61）

科学理性看待转基因技术 …… 孙书存　阮航（69）

中国农业应当选择生物技术 …… 陈茹梅（74）

水稻也能穿上“铁布衫” …… 魏守辉（84）

我国为什么要发展转基因技术 …… 卢长明（87）

转基因技术与转基因作物 …… 吉万全（98）

转基因技术应用于农作物新品种培育的必然性 …… 李文滨（101）

动物转基因技术的应用前景 …… 张涌（105）

转基因技术与转基因食品 …… 王晓芳　张玉　朱祯（114）

浅谈植物转基因技术 …… 张大兵（120）

动物转基因技术的国际竞争动态与趋势 …… 石德顺　刘庆友（123）

科学认识转基因作物及食品 …… 陈亮　郝东云（129）

检测让转基因明明白白 …… 谢家建（138）

转基因动物国际竞争的动态与
趋势 …… 汤茂学　李奎（142）

利用转基因育种较传统育种的
优势何在 …… 路铁刚　张芊（147）

转基因技术将为人类丰衣足食提供
保障 …… 郑兆鑫（151）

常用的转基因食品检测技术与发展
需求 …… 曹际娟（156）

浅谈转基因 …… 刘小侠　贺娟　张青文（161）

浅谈转基因技术在抗逆水稻新品种
培育中的应用 …… 张芊　路铁刚（171）

转基因技术的优势 …… 刘裕强　江玲（174）

我国转基因产品检测方法研究和
应用现状 …… 张大兵（178）

植物基因工程中选择标记基因的
使用 …… 曹修岭　于嘉林（186）

有哪些方法可以用作植物
转基因…… 曹修岭　于嘉林（194）

产业应用篇

抗逆转基因作物的开发是解决我国粮食
问题的重要途径 …… 马有志（203）

生物技术是现代农业增产的
必由之路 …… 陈茹梅　张少军（206）

张大叔的烦心事儿与高兴事儿
——也说抗除草剂玉米 …… 李香菊（213）

转基因抗虫棉，就是“中” …… 薛中立　刘金海（218）

转基因技术及其对我国农业发展的
意义 …… 杨向东（221）

我国转基因水稻产业化中的知识
产权问题解析…… 刘旭霞　林拥军（226）

转基因新品种产业化势在必行…… 陈赛华　江玲（237）

发展转基因作物产业已是国际大趋势…… 马有志（244）

转基因抗病虫作物开创绿色植保
新时代…… 林克剑（247）

推广转基因抗虫棉是时代的
呼唤 …… 黄殿成　刘金海（252）

转基因——低碳生活之星 …… 马有志（258）

转基因作物是我国未来农业发展的
必然趋势 …… 周晓今　陈茹梅（260）

动物转基因育种介绍 …… 吴珍芳（266）

转基因动物与畜牧生产…… 石德顺　刘庆友（269）

转基因家畜对农民的好处 …… 苟克勉（272）

转基因作物带来显著的社会
效益 …… 潘光堂　李淑君（277）

转基因动物研究进展 …… 张艳丽　王锋（280）

中国种植转基因抗虫棉的经济、
生态和社会效益 …… 韩非　张青文（289）

转 Bt 抗虫作物开辟害虫生物防治
新途径…… 李飞　林克剑（297）

转基因动物的应用及前景 …… 宋成义 李奎（301）

动物转基因技术及其应用 …… 辛宇云 任军（306）

转基因育种可为解决我国旱灾问题出力 …… 黎裕（314）

转基因抗虫玉米——玉米钻心虫的克星 …… 何康来（316）

安全管理篇

转基因食品不构成食品安全问题 …… 陈君石（329）

生物安全管理保障我国转基因作物研究应用健康持续发展 …… 吴孔明（332）

种植抗虫转基因棉花和水稻对生态环境有利 …… 彭于发（336）

转基因抗虫水稻与非转基因水稻具有同样的食用安全性 …… 杨晓光 黄昆仑（340）

完善的技术支撑体系已经成为我国农业转基因生物安全的重要保障…… 沈平（344）

国际转基因动物及其产品生物安全管理情况 …… 任立明　张磊（349）

什么是转基因生物和转基因食品 …… 张大兵（358）

转基因食品及其种类 …… 宋沁馨　周国华（360）

转基因食品究竟可不可以食用 …… 崔文涛　王建武　朱士恩（363）

理性看待转基因食品的安全性…… 潘光堂　向小丽（367）

三个月没问题，五十年安全吗…… 张玉　王晓芳　朱祯（370）

“转基因”真的猛于虎吗…… 刘慧　申琦元　李光鹏（374）

转基因食品安全吗 …… 师玉华　朱祯（380）

转基因不会带来“卫生危害” …… 潘光堂　沈亚欧（386）

转基因食品不会改变人体基因…… 吉万全（390）

转基因作物对生态环境是利还是弊…… 陈华　师玉华　朱祯（392）

农业转基因动物生物安全 …… 任立明　张磊（397）

谈转基因作物的安全性…… 夏志辉　高利芬（402）

转基因产品检测监管动态 …… 张琪　黄新　朱水芳（406）

转基因家畜与生物安全…… 刘明军（412）

转基因番木瓜及其安全性问题…… 李世访（415）

转基因动物的应用与安全 …… 陈秀萍（421）

转基因生物安全性分析…… 刘方（430）

转基因抗虫水稻对农田生态环境
安全吗…… 李云河（435）

转基因作物及其
食品安全 …… 郭宝生　耿军义　刘素恩　王凯辉（439）

如何保障转基因牛新品种的产品
安全性…… 石德顺　刘庆友（447）

转基因作物是安全的 …… 王宝祥　江玲（450）

浅谈转基因产品安全 …… 张治国　路铁刚（455）

从动态生态观正确认识转基因生物 …… 陈旭升（459）

转基因技术是解决农业危机的有效
手段 …… 连正兴（465）

国际上几个典型的转基因安全争议事件的真相 …… 王宫伟　金安江　林拥军（469）

对转基因育种争论的实质 …… 焦改丽　吴慎杰（481）

农药有毒，为何说转基因水稻是安全的 …… 李飞　林克剑（487）

转基因植物很可怕吗 …… 王戎疆（491）

转基因食品：上帝的禁果还是牛顿的苹果 …… 应正宙　李奎（493）

转基因抗虫农作物安全吗 …… 沈志成（498）

批准的转基因水稻安全吗 …… 马炳田（505）

转基因技术与传统技术有什么区别 …… 黎裕（508）

转基因植物的安全性争议 …… 王丰（510）

浅谈远缘杂交与转基因作物育种 …… 李兴锋　童依平（515）

经过安全性评价的转基因作物是安全的 …… 王坤波　刘方（521）

科学分析八个所谓“转基因的安全性事例” …… 陈茹梅（528）

老百姓如何科学认识转基因食品 …… 李玲龙（540）

转基因植物——坦然面对、合理应用、
科学发展 …… 付道林（546）

转基因生物食用安全评价的主要
内容 …… 黄昆仑（555）

不要“妖魔化”转基因 …… 宋兆强　江玲（561）

技术发展篇

十位院士谈转基因：大力推进生物技术研究与应用

转基因生物技术的发展一直受到国内外的高度关注。针对目前公众对发展转基因作物安全提出的一些疑问，我国生物技术和食品安全方面的有关院士发表了意见。

袁隆平（中国工程院院士，被誉为我国杂交水稻之父，现任国家杂交水稻工程技术研究中心主任）：虽然中国杂交水稻技术目前在国际上领先，但如果不加强分子育种技术研究，短则5年、长则10年，中国的杂交水稻技术就要落后国际水平了。中国超级稻三期目标研究中正在应用分子技术。今后利用生物技术开展农作物育种是农业科技的发展方向和必然趋势，转基因技术是分子技术中的一类，因此必须加强转基因技术的研究和应用，没有技术就没有地位。对待转基因产品，科学慎重的态度并不是拒绝的态度。

陈君石（中国工程院院士，国际知名食品安全专家，国际食品添加剂法典委员会主席，中国疾病预防控制中心营养与食品安全研究所研究员）：需要告诉公众有关转基因、转基因作物、转基因生物安全等方面的知

识。天然食品不等于就是安全食品，食品安全不存在零风险。转基因食品不构成食品安全问题，因为：转基因食品不含有有毒有害物质；另一方面，转基因作物的研究、开发有一整套严格的监督管理程序，在生产方面，也有确定的生产规范和严格的管理要求，这和其他传统产品的生产是一致的。

许智宏（中国科学院院士，前北京大学校长，北京大学生命科学学院教授，中国科学院上海植物生理生态研究所研究员。现任国际植物组织培养和生物技术协会主席、UNESCO 人与生物圈中国委员会主席）：生物科技的重大突破正在迅速孕育和催生新的产业革命，中国生物产业发展大力推进转基因生物品种研发与产业化，对于建设创新型国家、增强中国在高新技术领域核心竞争力、保障中国粮食安全和农业可持续发展，均具重要战略意义。

李家洋（中国科学院院士、副院长，中国科学院遗传与发育生物学研究所研究员）：面对全球日益严峻的粮食安全问题，可利用转基因培育生物新品种、生物农药和新生物制剂研发等，为人类生活带来一场新绿色革命。转基因作物可增加作物的抗性，有效防止病虫害，大大减少化学杀虫剂使用，减少生产成本，降低环境污染和伤害其他昆虫和人畜。同时，也可以培育优良的作物品种，改善土地生产能力。国内外数亿人口食用多年，尚未发现转基因产品对身体健康产生损害；1 亿多公顷种植转基因作物未证实生态环境遭到破坏。这是

不争的事实。

旭日干（中国工程院院士、副院长，兼任中国科学技术协会副主席、中国畜牧兽医学会副理事长）：转基因生物安全是一个相对概念，它以非转基因生物为参照系来比较两者在安全性方面的差异。从目前国内外的科学研究看，没有发现转基因食品与传统食品在人类食用安全性上存在差别。另一方面，转基因研究应用对基因来源、操作方法和应用环境进行严格控制。目前，经过转基因生物安全评价、获得主管部门批准的转基因生物可以放心使用或食用。

戴景瑞（中国工程院院士，玉米遗传育种专家，现任中国农业大学农学与生物技术学院教授）：我本人前半生基本上是搞常规的、传统的育种，最近 20 年，既搞传统的、常规育种，又参加现代生物技术研发和应用。我体会是，通过转基因技术，可以在原有的传统技术基础之上增加一种新的技术，可以提高育种的水平，可以使新的品种增加一些传统育种解决不了的性状。

谢华安（中国科学院院士，杂交水稻遗传育种专家，福建农业科学院前院长）：目前，全国各地的科学家跨区域合作，携手做了很多工作，转基因作物研发已经有了非常良好的基础。发展生物技术，与传统技术紧密结合，拓宽育种途径，提高育种效率，对突破资源环境约束，壮大民族种业，巩固粮食等主要农产品生产能力和供给水平，保障国家粮食安全至关重要。

杨焕明（中国科学院院士，基因组学家，中国科

学院北京基因组研究所所长、研究员）：尽管现在有各种各样的批评，我仍然毫不犹豫地支持转基因植物和动物。转基因本身没有毒，它们同别的基因有什么相互作用也被研究得一清二楚。

李宁（中国工程院院士，中国农业大学生物学院教授）：现在关注生物安全的人，绝大部分不熟悉生物安全知识。其实我们自己一口就吃进成千上万个基因。让人们接受女人不是男人的一根肋骨变出来的，用了1 800多年时间。当前面对农业生产中的许多问题，转基因相关的生物技术提供了有效的方法。对一个民族、对一个国家来讲，这些方法接受得慢一点的话，就会落后。

刘旭（中国工程院院士，中国农业科学院副院长，作物育种专家）：转基因技术已被列为影响未来全球经济的第三大技术，转基因育种是目前国际上普遍采用的新技术。目前，我国已建立了水稻、小麦、玉米、大豆、棉花等主要农作物转基因技术体系，获得了拥有自主知识产权的新基因上百个和一批具有潜在应用价值的新基因，水稻基因组及重要功能基因克隆研究居世界先进水平，为利用转基因技术培育作物新品种奠定了坚实的基础。面对国际上竞争日益激烈的转基因市场，应充分利用转基因新技术培育环境友好、资源节约、有利健康、高产优质的转基因作物品种，在科学评估、依法管理基础上，推进转基因新品种产业化。

超级杂交稻的培育需要基因工程的加盟

袁隆平　赵炳然

湖南杂交水稻研究中心

一、利用远缘有利基因是培育超级杂交稻的主要技术路线

杂交水稻在生产上的大面积应用（年推广面积约1 600万公顷），为解决我国粮食安全问题发挥了重要作用。有关部门预测到2030年粮食单产要在现有基础上再增加40%以上。单位面积粮食产量的大幅度提高依赖于科技创新与突破。培育超级杂交稻是实现这种创新突破最有效的手段之一。

我国超级杂交稻的研究取得了较好的进展和成绩，2000年实现10 500千克/公顷的第一期目标，第二期12 000千克/公顷的产量指标比计划提前一年在2004年达标，当前正在进行13 500千克/公顷的第三期超级杂交稻的攻关研究。

第一、二期超级杂交稻的培育成功是基于形态改良和亚种间杂种优势利用为主的常规育种技术。要在

12 000 千克/公顷的高平台上取得水稻育种的新突破，在塑造理想株型材料、充分利用亚种间杂种优势的基础上，必须从生理机能上增强水稻吸收光能、营养及抵抗病虫、高温等不利环境的能力。面对如何从生理上突破水稻光能利用率等关键瓶颈问题常规技术迄今收效甚微。

因此，只有在进一步挖掘栽培稻种潜力的同时，转移栽培水稻中不存在的远缘物种有利基因，以拓宽资源利用范围，才能实现新的突破。而利用远缘物种创制水稻新种质，必须采用基因工程等分子育种技术。

二、基因工程技术培育超级杂交稻的研究

近年我们从多方面开展了转基因水稻研究，以研创既具有优良“体型”又具有更强“生理”优势的稻种，为未来培育出产量潜力不断提升的超级杂交稻提供科技储备。

为进一步提高水稻吸收、利用光能的能力，我们正在开展把安全可食的玉米或具有营养保健功能的藻类生物的高光效基因转移到受体水稻中等多个方面的科学探索。如与香港中文大学等单位合作，已经将来自玉米的 PEPC、PPDK 及 NADP-ME 等光合酶基因导入到几个杂交水稻亲本品系，转基因植株的单叶光合效率得到提高，产量性状也发生了明显改变，正在对研究中发现的一些现象、问题进行进一步研究。

目前水稻分子生物学和现代分子生物技术发展迅

猛，随着水稻结构基因组研究的完成，功能基因组研究的不断深入，越来越多的远缘有利基因将得以发掘和利用，基因工程技术在水稻遗传育种中的巨大潜力将得到越来越多的显现，转基因水稻在生产上的大面积应用只是时间问题。

三、基因工程等分子育种技术必须与常规育种技术有机结合

如前所述，基因工程等分子育种技术在具有第三期产量潜力的广适型、强优势超级杂交稻的研究中即将发挥其作用。但是水稻分子育种技术，包括基因工程技术的应用只有落实到优良的植株形态和强大的杂种优势上，才能获得良好的效果。在超级杂交稻的培育过程中，常规育种和基因工程专业人才等各种技术人才的密切配合与联合攻关，至关重要。

基因工程等分子技术的加盟，能够促进远缘物种的利用，意味着拥有新式武器，使未来的育种可能达到更高目的。但基因工程与传统育种技术不存在取代关系。基因工程技术与常规杂交技术不能相互替换，基因（或 DNA 分子）操作必须建立在植株个体和群体操作的基础之上，没有游离于常规水稻和杂交水稻之外的“转基因水稻”。“基因型选择”不能取代“表现型选择”，分子标记辅助选择是对“表现型选择”的辅助，即使是在实施“基因型选择”时也不应该忽视育种基本规律、育种经验的作用。注重原有优势并解决好基因

工程等高新技术与常规生物育种技术的结合问题，是我们与国际生物技术产业竞争的关键。

作为应用科学研究工作者，我们非常赞同引进、采用一切先进的技术来解决水稻育种研究中长期悬而未决的问题，使有关研究取得新突破。对基因工程等新技术在水稻和其他生物改良中的作用以及对人类的影响，我们的态度是开放的、乐观的。但我们反对片面夸大基因工程等新技术的重要性，忽视其他生物技术的作用以及对国际新技术的一味跟踪和照搬等倾向和做法，何况任何新技术，包括基因工程技术，都不可能是十全十美的，在技术上都可能存在一些不足与局限。为我所用、造福于民是基本原则。这与在发扬中医国粹的同时，也利用现代西医救死扶伤，是一样的道理。

同时，我们也反对将转基因作物安全性这一科学问题复杂化，甚至“妖魔化”。我们认为，针对转基因植物的生态安全与转基因食品安全性问题进行深入的研究与科学地评价是十分必要的。在水稻等粮食作物的转基因研究中，从一开始，就应该从安全性角度对基因的来源、转基因技术和转基因产品进行谨慎考虑、选择和鉴定，使转基因水稻不仅为保障我国水稻种业、产业与粮食安全做贡献，也做到培育的转基因水稻符合广大人民的消费心理需求与饮食习惯，同时符合人类生存、发展的需要。

水稻的昨天、今天和明天

金安江　彭光芒　张启发　林拥军
华中农业大学

水稻是植物大家庭中的一位大名鼎鼎的成员。这是因为，它与我们的生活有着太密切的联系。在千家万户的餐桌上，几乎每一餐都少不了摆上一盆白花花、香喷喷的大米饭。在广袤的江南农村，绿油油的水稻秧苗构成的巨幅“绿色地毯”是夏日最常见的风景。在中小学生的课本里，“稻花香里说丰年，听取蛙声一片”是孩子们必读的经典名句。在中国知识分子的传统文化观念中，脱离劳动实践，缺乏生产知识，“四体不勤，五谷不分”，更是为世人所不齿。水稻是如此的让我们熟悉，以致端起一碗米饭不用考虑地享用似乎成了我们的一种习惯；水稻又是那么的陌生，它的成长轨迹中蕴藏着太多也许我们没有留意或不知道的故事。

一、水稻生产是国之大事

在说水稻之前，有必要先说一下粮食。国以民为本，民以食为天。古今中外，粮食从来都是安定天下、稳定民心的战略物资。粮食问题既是经济、政治问题，

也是社会问题，更是影响国家安全的重大战略问题。在中国古代历史上，因粮食问题而引发的社会动荡十分常见。例如，以黄巾起义为代表的东汉末年此起彼伏的农民起义，既源于政治的腐败黑暗，也与严重的自然灾害密切相关，年年饥荒，使农民陷入绝境。在现代社会，粮食的社会影响力更是有增无减。2008 年以来，席卷全球的粮食危机令人记忆犹新，国际粮价飞速上涨，已经在一些国家引发了社会动荡，甚至直接导致了政权更迭。尤其令人印象深刻的是，英国人拉吉·帕特尔在 2008 年出版的《粮食战争》一书中，将粮食列为美国维持世界超级大国地位、打击新兴工业化国家经济的战略武器。

而水稻是世界上主要的粮食作物之一，是全球 2 亿多农户安身立命的基础。全球有 30 多亿的人口，包括几乎整个东亚和东南亚，都以稻米为主食。在中国，水稻是最重要的粮食作物，播种面积占全国粮食作物的 1/3，产量占全国粮食作物近 1/2。因此，作为粮食作物中的“主力军”，水稻生产的重要性无论对中国还是对世界都是不言而喻的。

二、水稻的祖先是“野草”

在人们的印象中，水稻生命周期短，喜高温、多湿的环境，根系发达，碧绿的茎叶生长整齐茂盛，生长期间需要不断地施肥、浇灌、打药、除草，成熟时能长出一串串色泽金黄的稻穗，产量很高，做成的米饭清香可

口、百吃不厌。这是水稻本来的面目吗？回答是否定的。实际上，我们现在种在稻田中的水稻都是栽培稻。追根溯源，栽培稻的祖先是大自然中自生自灭的野生种，即野生稻。它们能够多年生长，生存能力强，外形“面目可憎”，成熟时每穗只结几颗谷粒，谷粒细小，芒长，壳硬，脱壳困难，成熟参差不齐，产量很低，做成米饭很难下咽。在我国云南、广西、广东、海南、江西等省、自治区的沼泽地里，至今还可以看到野生稻的身影。这些野生稻会像杂草一样蔓延，很不受当地农民的欢迎，被称为“鬼禾”。

从令人讨厌的“鬼禾”野生稻演变为令人喜爱的栽培稻，是我们的祖先和育种家们在数千年的历史长河中历经千辛万苦不断“驯化”、选育和改良的结果。野生稻的驯化过程，主要是我们的祖先在采食野生稻的同时，对它进行有目的的选择和有意识的种植，年复一年的“优中选优”，使野生稻的种性逐渐向人类需要的方向发展，最终成为栽培型品种。1973 年，在举世闻名的河姆渡遗址，人们发现了保存完好、数量众多的稻谷。据考古鉴定，这些稻谷的年代在公元前 5000 年，是迄今中国最早的稻谷实物之一，也是世界上目前最古老的人工栽培稻。这是我们的祖先很早就成功进行了稻种驯化和选育的有力证据。

三、水稻的改良靠基因变异和重组

经过科学家们的长期努力探索，现在我们都知道了

基因是控制生物性状的遗传密码。水稻的形态、产量、品质、抗性等重要的生物学性状都受基因的控制。因此，我们的祖先和育种家们对稻种的“驯化”、选育和改良的过程实际上就是对不同类型稻种中的优良基因进行筛选和积累的过程。由于育种技术的不发达，在过去的几千年里，我们的祖先和育种家们对水稻选育和改良的主要方式是对自然突变产生的优良基因和重组体的选择和利用，通过随机和自然的方式来积累优良基因。遗传学创立后的百多年来，随着人们对动、植物遗传机理了解的深入，水稻育种则是采用了人工杂交的方法，进行优良基因的重组和外源基因的导入，实现遗传改良。例如，产量远高于常规稻的杂交稻就是通过科学选配，将具有不同优良性状的父本和母本进行杂交而产生的第一代水稻种子，因具有明显的“杂种优势”，在生产上增产效果十分突出。

1973 年，美国科学家斯坦利·科恩首次开发出转基因技术。相对于人工杂交等传统育种技术，转基因技术与之是一脉相承的，其本质都是通过获得优良基因进行遗传改良。但这一技术能够跨越物种界限，将某一生物的外源基因更精确、高效地导入到受体生物的基因组中，使之获得人们所期望的新性状。因此，转基因技术随后被广泛应用于动、植物的遗传改良。鉴于水稻特殊的战略地位，许多国家的科学家在政府支持下，很早就把目光投向通过转基因技术进行水稻抗病虫、抗旱、抗逆、营养高效利用、高产、优质等重要农艺性状的改良

上，如美国、加拿大、墨西哥、日本、伊朗、中国等。其中，美国已经批准了耐除草剂转基因水稻和转溶菌酶、乳铁蛋白、人血清白蛋白基因的3个药用转基因水稻品种的商业化种植。伊朗已经批准了抗虫转基因水稻的商业化种植。中国则在2008年设立了转基因重大科技专项，并将转基因水稻列为重点研发的8大转基因产品之首。

四、水稻“任重道远”

经济社会的快速发展使人们对生活品质提出了更高的要求。具体到吃饭问题上，今天的人们不光要求吃饱，还要求吃出健康，吃出品味，甚至吃出人与自然的和谐。但实际的情况离人们的要求还有很大一段距离。今天的水稻可谓“任重道远”。

首先，世界上还有很多人处于饥饿状态。2009年11月13日，在世界粮食安全首脑会议召开前夕，为了警醒和敦促发达国家向受饥饿威胁严重的发展中国家提供援助，联合国秘书长潘基文、国际粮农组织总干事迪乌夫等联合国官员发起绝食行动，因为全球还有“10亿人处于慢性饥饿中”。为了不断提高水稻产量，国内和国际上纷纷开展以培育“超级稻”或“超级杂交稻”为目标的研究计划。这些计划尽管进展顺利，但对提高水稻总产量并没有产生多大帮助。

其次，水稻产量的持续提高还面临着一系列严峻的挑战。这些问题包括日益严重的病虫害和无节制的农药

使用、过量化肥的使用、水资源的缺乏与干旱的频繁发生、耕地面积的减少、土地盐碱化、追求高产采用的高投入与环境可持续发展的难以协调等。特别是，病虫危害使得几乎所有水稻产区都减产，无节制的农药使用不仅大大提高种植成本，而且严重污染环境，威胁生产者与消费者的健康。化肥施用量的剧增和不恰当使用在降低农民收入的同时，导致大面积水体富营养化、稻米的产量降低，还影响稻米的蒸煮食味和加工品质。在全球水资源匮乏的背景下，目前中国水稻生产用水占据了国内用水总量的一半，在中国许多水稻产区，干旱仍然是制约水稻生产最主要的因素。

水稻的可持续发展是现代农业可持续发展的重要组成部分。对中国而言，在外部生产资料投入趋近饱和的情况下，要想实现保证国家粮食安全、促进农民增收、提高食物品质、保护生态环境、节约自然资源等几大重要指标诉求上的平衡，必须依靠转基因技术等现代生物技术手段来突破当前农业生产模式的瓶颈，进一步挖掘水稻本身的潜力，从而为现代农业的发展提供强大的动力。

五、高科技水稻满足多元化需求

面对不断变化的社会需求和水稻生产的困境，科学家们正在确立和实施新的育种理念，如实施“品种设计”战略，通过杂交育种、转基因育种、分子标记辅助选择等各种技术的整合与集成，对水稻从基因（分

子）到整体（系统）进行不同层次的设计和操作，以达到育种目标，最大化满足人们对各种类型水稻品种的需求。这将会为明天的水稻创造“无限”的可能。明天的水稻已经在逐渐地向世人展示它们诱人的“模样”。由于大米缺乏合成维生素 A 的前体 β-胡萝卜素，瑞士、英国等国的科学家通过转基因技术先后培育出两代富含 β-胡萝卜素的金大米（Golden Rice），已在亚洲和非洲地区试种，以帮助发展中国家应对因维生素 A 摄入不足而出现的每年数百万人死亡和儿童失明问题。国际水稻研究所的研究人员在金大米的基础上，还为了解决铁吸收的问题，往金大米中再转入 3 种基因：一种是来自真菌的酶基因，这种酶能够把肌醇六磷酸（能与铁紧紧地结合，使得小肠难以吸收食物中的铁）降解掉。一种是来自菜豆的能够储存铁的铁蛋白的基因。还有一种是来自印度香米的基因，它生产的蛋白质有助于人的肠道吸收铁。

从“十一五”开始，中国科学家们大力推进“绿色超级稻”培育战略，以最优良的水稻品种为起点，综合应用品种资源研究和功能基因组研究的最新成果，充分利用水稻和非水稻来源的各种基因资源，在基因组水平上将各种育种技术有机整合，培育“少打农药，少施化肥，节水抗旱，优质高产”的绿色超级稻。目前，这一计划已取得许多令人鼓舞的进展：研发的转 Bt 基因抗虫水稻可使农药施用量减少 70% ~80%，单产提高 8%，已经获得了农业部颁发的安全证书，这将

使消费者在不久的将来有机会吃到更环保的大米。利用转基因技术和分子标记辅助选择已培育出一大批抗病、抗除草剂、抗旱、抗盐碱、抗高温和冷害、养分高效利用以及优质高产新材料或品系。可以预期在未来 10 ~ 15 年内，“绿色超级稻”将成为现实。

【作者简介】

金安江，男，1979 年出生，助理研究员，华中农业大学国家农业生命科学技术科普基地科普专家团成员。主要研究领域：科技传播、高等教育管理。

彭光芒，男，1957 年出生，华中农业大学教授，国家农业生命科学技术科普基地科普专家团成员。主要研究领域：大众传播社会学、科技传播。

张启发，男，1953 年出生，华中农业大学生命科学技术学院教授，中国科学院院士。主要研究方向：植物基因组。

林拥军，男，1963 年出生，华中农业大学生命科学技术学院教授。研究方向：植物分子生物学。

坚定不移推进
我国转基因技术研究应用

黄大昉
中国农业科学院生物技术研究所

农业是现代生物科学发展前沿和生物技术应用最重要的领域之一。推进转基因技术研究与应用是发展现代农业、实现科技创新、确保粮食安全的战略选择和必由之路，也是目前国际科学技术竞争的焦点。

一、全球转基因作物发展势头强劲，不可阻挡

最近，国际农业生物技术应用服务组织（ISAAA）发布了全球转基因作物育种产业发展的最新统计资料。2009年，全球有25个国家商业化种植转基因作物，另有32个国家批准转基因产品进口或进行大田试验；包括玉米、大豆、棉花、油菜等12种作物在内的转基因作物总种植面积继续快速增长，总面积已达1.34亿公顷，较2008年增长7%，较产业化初始的1996年增长近79倍。全球大豆种植面积的3/4（77%）、棉花总面积的近一半（49%）、玉米总面积的1/4（26%）、油

菜总面积的1/5（21%）均为转基因品种。转基因作物育种巨大的经济、社会效益和显著的生态效益已得到充分显现，其推广应用速度之快更创造了近代农业科技发展的奇迹。伴随生物安全管理日趋规范和科学实践的不断积累，转基因作物安全性进一步得到保障，公众的认识也逐步走向科学和理性，转基因产品不仅受到广大农民欢迎，也为越来越多的消费者所接受。生物技术发展趋势已不可阻挡。

除了上述几种作物，一些国家近年也批准了其他多种重要粮食和经济作物的商业化种植或大规模试验应用。以水稻为例，美国于1999年批准了耐除草剂水稻LLRICE06和LLRICE62的商业化种植，加拿大和墨西哥批准进口，可以食用。从1998年开始，美国批准含溶菌酶、乳铁蛋白、人血清白蛋白3种用于保健治疗的转基因水稻在控制条件下种植，面积不断扩大，2007年种植区域除堪萨斯州外还增加了北卡罗来纳州。伊朗于2004年也批准了转基因抗虫水稻的商业化种植。

还值得注意的是，以提高作物抗逆性和改善营养、增进健康为主要目标的新一代转基因作物的研究开发速度近年显著加快，已成为国际技术竞争的热点。目前国内外正在积极研究的“第二代”转基因作物，包括富含维生素、不饱和脂肪酸等营养成分的水稻、大豆、玉米，具有保健、防病或抗癌功能的蔬菜、油料作物等。这些作物不仅因产品附加值的显著提高而受到生产者的青睐，预计也会受到广大消费者的欢迎。不少第二代转

基因作物又被称为“植物生物反应器”，即利用转基因作物生产功能蛋白（药用蛋白、营养保健蛋白、饲料用酶制剂、生物材料、工业原料等），较之以防治病虫草害为目标的第一代转基因作物市场开发前景更为广阔。

二、发展转基因作物育种是保障我国粮食安全的战略选择

我国是拥有13亿人口的农业大国。中国政府高度重视农业和农村经济的发展，我们仅用了全球9%的耕地，生产了世界25%的粮食，养活了世界21%的人口，取得了举世瞩目的伟大成就。然而，我们应当清醒地看到，面对着越来越大的保障农产品供给的压力和今后10年增产500亿千克粮食的目标，面对着耕地锐减、资源短缺、环境污染、灾害频发、水域富营养化等诸多的矛盾，面对着超过4 000万农民脱贫致富的艰巨任务，保障粮食等主要农产品有效供给仍是我国农业和农村经济发展的首要任务。

以转基因技术为核心的生物技术是一门新兴的、综合性的学科。它以现代生命科学的发展为基础，能够按照预先的设计改造生物体（包括植物、动物和微生物）或加工生物原料，为人类生产出所需的产品（如粮食、医药、食品、能源、化工原料等），可以实现传统技术手段的更新，加快农业生产方式的转变，大幅度地提高农业生产率，从而为我国农业科技的发展提供重要的、

难得的发展机遇。

拥有自主产权的抗虫棉的研究开发是我国独立发展农作物生物育种，打破跨国公司垄断，抢占国际生物技术制高点的成功事例。截至2008年底，我国已获审定的抗虫棉品种共有160个；河北、山东、河南、安徽等棉花主产省抗虫棉种植率达到了100%，累计推广应用面积已达2 100万公顷，新增产值超过440亿元，农民增收250亿元。抗虫棉的应用不仅有效控制了棉花、玉米、大豆等作物棉铃虫的危害，还由于降低了70%～80%的杀虫剂用量，有效保护了农业生态环境，减少了农药中毒事故。抗虫棉的开发还有力促进了我国农业生物技术研究水平的提升，推动了新型棉花种子业的形成；产品不仅在国内市场上争得了绝对优势，而且走出国门，在国际棉花种业市场占有了一席之地。

三、推进我国转基因技术研究与应用，抢占国际竞争制高点

我国政府高度重视并一贯支持转基因生物育种的发展。早在上世纪80年代，中国农业生物技术产业迅速崛起。经过10余年的努力，我国建立了比较完整的转基因作物育种研发和管理体系，成为世界上为数不多的具有转基因作物独立研发能力的国家之一。然而，应当看到，虽然我们取得了长足的进步，但目前仅在棉花、水稻、玉米等少数作物、少数基因上取得一定的优势或特色，自主创新能力仍然不强，产业化机制尚不健全，

整体实力与发达国家还有较大差距。从全球来看，转基因作物育种技术及其产业在经历了技术成熟期和产业发展期之后，目前已进入至关重要的、以抢占技术制高点与经济增长点为目标的战略机遇期，围绕基因、人才和市场的国际竞争正日趋白热化。尽管竞争策略有所调整，某些跨国公司力图抢占和控制中国转基因作物市场的基本战略没有根本改变。还应注意，近年来个别具有国际利益集团复杂背景的极端环保组织势力迅速扩张，在对“基因安全”的认识上不断制造混乱，企图干扰我国政府决策，阻止转基因技术的发展。总之，对于未来农业生物技术领域国际竞争的激烈性与复杂性，我们要有足够的准备和全面的对策。为此，更应抓住转基因重大专项实施的契机，坚定不移地推进转基因技术研究与应用。

【作者简介】

黄大昉，男，1942 年出生，研究员，国家农业转基因生物安全委员会委员、国家自然科学基金委员会监督委员会委员。从事植物病虫害生物学与农业生物技术研究。

转基因技术漫谈

李阳生　朱英国
武汉大学

生物工程的兴起和发展是20世纪生命科学领域最重大的事件之一。转基因技术自出现的那一天起，围绕它的争论就一直没有停止过，这倒颇有些像伟大科学家达尔文发表《物种起源》，确立生物进化论后，对生物进化的途径、方式和动力的争论一直不绝于耳。

现在社会民众对转基因技术、转基因产品存在一些误解，不少人对转基因产品的安全性不放心，对转基因技术的发展和应用存在忧虑，造成这一现象的重要原因是转基因技术的知识科普做得不够。因此，有必要让更多民众知道转基因技术和产品的方方面面，为转基因技术持续发展和广泛应用营造一个良好的社会环境。

一、转基因技术是人类社会发展的现实选择

2008年的世界粮食危机引发了许多发展中国家发生暴乱，海地和马达加斯加政府在粮食危机造成的社会动荡中垮台。这让全球社会再次认识到粮食对维持人类个体的生存和发展、社会稳定和进步的无可替代的作用

以及在建设更加公正、友好、和谐世界中发挥着关键作用。

我国的基本国情决定了在相当长的时间内我国庞大的人口基数和新增人口仍会使粮食消费维持较高的水平，而随着工业化和城镇化进程加快，耕地将继续减少，农业生物品种资源、水资源、气候变化、生态环境等制约因素也日益突出，确保国家粮食安全是农业生产面临最重要的任务。

我国农业生产的现实面临着许多问题，如：粮食生产效益低，体魄强壮的劳动力外出务工，妇女、小孩、老人留守从事农业生产；自然灾害（旱灾、水灾、热害、冷害等）频繁发生，水资源矛盾加剧；主要农作物病虫害加重，大量喷施农药造成环境污染；化肥利用率低，过重施用化肥，造成江河湖泊富营养化、地下水污染等。目前，农业生产水平还处于低水平状况。以长江流域水稻生产为例，水稻播种面积近 1 867 万公顷，占全国水稻面积 64%；产量 1.2 亿吨，约占全国稻谷总产 66%，但水稻平均单产 6 750千克/公顷，只有科学试验中水稻品种产量潜力 50% 左右。

2003 年秋，在优质高产水稻新品种红莲优 6 号现场观摩会上，当我作了育种新技术科普宣传和新品种特征、特性介绍后，会间休息时一位经销商来找我说，农民最希望育种家能培育出高产、好吃、好种的良种，播种季节把种子往田里一撒，成熟时开机械去收割，水稻生长期间不需要去管理。这位经销商说的话与我们提出

来的“理想水稻品种”是不谋而合。所谓“理想水稻品种”就是产量高、品质好、广适性、抗病虫能力强、抗逆境能力强、营养高效利用、适合机械化生产的优良稻种。具体指标：水稻生长期平均每天稻谷产量100千克/公顷；米质达到国家颁布的优质米标准2级以上；弱感光性，在适宜的稻作区能广泛种植；抗病、抗虫能力介于3~1级；耐热、耐涝渍、耐冷、耐旱、耐直播、抗倒伏；肥料利用率超过60%。尽管目前农业现实生产中还缺乏“理想作物品种”，但它是所有作物育种家孜孜以求的目标。

传统常规育种技术无法实现“培育理想作物品种”的目标，近几年兴起的分子设计育种为实现育种家梦寐以求的育种目标提供了可能。作物转基因技术是分子设计育种技术体系中最重要的技术，在解决农业生产所面临的现实问题中发挥不可替代的关键作用。正是因为转基因作物在产量、经济、环境和物质财富等方面带来的持续、显著的效益，自1996年种植转基因作物以来，种植转基因作物的面积逐年增加，2009年有25个国家的1 400万小农户和大农场主种植了1.34亿公顷的转基因作物，比2008年增长了7%，即900万公顷，达到历史最高点。1996—2009年转基因作物种植面积增长了79倍，使转基因成为农业近代史上利用最快的作物技术（ISAAA，2010）。

我国为什么要重点研究发展转基因水稻？一方面，水稻是亚洲最主要的粮食作物，世界50%以上的人口

以稻米为主食。我们通常叫的水稻是指亚洲栽培稻，它有两个亚种：籼稻和粳稻，籼稻种植面积超过70%。水稻也是我国第一大粮食作物，对保障我国的粮食和食品安全起非常重要的作用。另一方面，我国水稻功能基因组等基础研究处于国际先进水平，杂交水稻育种等应用研究国际领先。此外，我国水稻，尤其是籼稻的转基因技术及其产业化具有比较优势。因此，如果我国转基因水稻商品化，既不怕国外公司进来争夺国内市场，我们也有能力进入国际市场，参与国际竞争，保持我国水稻品种改良在国际的优势地位。虽然美国植物转基因技术综合实力最强，但水稻不是美国最主要的农作物，水稻转基因技术并不具备优势。水稻是日本最主要的粮食作物，水稻的基础研究实力很强，但日本主要种植常规粳稻品种，在籼稻育种及杂种优势利用方面没有优势。欧洲植物转基因在争论中还停滞不前。因此，我们重点选择水稻进行转基因技术及其产业化研究，抢占发展的先机和研究的制高点，做到有所为有所不为，才能在激烈的国际竞争中继续保持我国水稻品种改良的技术优势，促进我国民族种业的发展。从某种意义上讲，我国发展转基因水稻，并积极推进产业化，既是国家粮食安全战略层面上的布局，也是农业生产现实的需求。

二、基因转移现象在自然界广泛存在

地球生命的化学物质组成、生命大分子的结构和功能、细胞特征等研究清晰地告诉我们，地球上的生命有

着共同的起源，并通过漫长的进化过程逐步形成今天地球多姿多彩、生机勃勃的生物世界，地球因此而冠以“生命星球”。近10年，大量生物的基因组测序分析显示不同物种基因组的相似性远比我们原来预计的要高得多，人类的基因和黑猩猩相似度高达98.77%，与猕猴的基因相似度约为93%，与小鼠的基因相似度超过80%。人类执行生物功能的蛋白质有61%与果蝇同源，43%与线虫同源，46%与酵母同源。人类所特有的基因非常少，绝大多数的基因在其他生物中能找到同源基因。在原核生物、低等单细胞真核生物之间存在广泛的遗传物质的转移和交换，如大肠杆菌与枯草杆菌之间存在高频率基因水平转移。硅藻是单细胞真核生物，这类微型藻广泛分布于海洋与淡水中，约占地球上初级生产力的20%。通过比较分析已经完成基因组测序的两种硅藻——假微型海链藻（*Thalassiosira pseudonana*）和三角褐指藻（*Phaeodactylum tricornutum*）的序列，发现硅藻与细菌之间存在双向基因转移，硅藻从细菌获得了数百个基因，而且基因转移在硅藻演化中似乎是普遍存在的，产生了基因的非正规组合。不同类群基因组研究告诉我们，从其他生物获取基因是基因组进化和形成新基因重要途径之一，转基因事件在古老的地球生物之间就发生过，并延续到今天。

在自然界中，高等植物也广泛存在自发的转基因现象，如植物界的异花授粉、天然杂交以及农杆菌天然转基因系统等。异花授粉植物的群体是来源不同、遗传特

性不同的两性细胞结合而产生异质结合子所繁衍的后代。常规的植物育种方法就是利用同种生物不同的基因型，或者不同近缘物种进行人工杂交，如高产水稻与抗病水稻杂交，从分离的后代中选育出具有双重特性的新的水稻品种；高产优质的水稻（亚洲栽培稻）与抗虫耐逆境的野生稻人工杂交，培育出既高产优质又抗虫耐逆境能力强水稻新品种。农杆菌可以称作为天然的植物基因工程大师，它是普遍存在于土壤中的一种革兰氏阴性细菌，能在自然条件下趋化性地感染大多数双子叶植物的受伤部位，并诱导产生冠瘿瘤或发状根。根癌农杆菌和发根农杆菌的细胞中有一段 T-DNA，农杆菌通过侵染植物伤口进入细胞后，可将 T-DNA 转入到植物细胞中，并插入到植物基因组中。可以说，农杆菌这一天然的植物遗传转化系统在自然界中早已存在，人类在弄清楚生物的遗传物质 DNA 分子，开发 DNA 操作技术，认清天然 DNA 分子转移系统后，再创建了基因工程技术。早期，研究人员只能利用农杆菌对一些双子叶植物进行基因转移，经过不断对农杆菌的质粒进行改造，现在已经能够利用农杆菌对越来越多的双子叶植物和许多单子叶植物（包括水稻、玉米、小麦等粮食作物）进行基因转化。由此可见，遗传物质转移事件在自然界早已存在，不是从无到有的新鲜事物。人类只是更有目标、更多选择、更高效率、更大规模利用转基因技术进行生命科学基础研究和生物技术产品开发，造福于人类。

三、合理利用转基因技术趋利避害，造福人类

近代的科学技术发展史证明，科学技术大大地拓展了人类的生存空间，增强了人类改造和征服自然的手段和能力，丰富了人类的生活，提高了人类生活的质量，加快了人类社会的变革和文明进步，充分显示了其造福于人类的一面。与此同时，科学和技术也逐渐暴露出对自然和社会危害的另一面，如自然环境的破坏和污染，大量物种濒危或灭亡，大规模杀伤性武器、生物武器使人类命运未卜。科学技术是把双刃剑，善良的人们可以利用它造福于人类，而邪恶的人却能用它来危害人类的生存。例如，核能作为清洁能源潜力无限；但潜在的核恐怖主义威胁人类社会，核污染、核泄漏随时可能损害人类的生命和健康。网络技术极大地提升了人类获取信息能力，改变了人们交流方式，天涯若比邻；但也存在网络色情、犯罪等问题。电力技术既可以优化人的生活，又可以摧残人的生命。汽车能提高人类的机动能力，改善生活质量，又会带来交通堵塞、事故、大气污染，还加重矿石能源危机等。肥料、农药的使用显著提高农业生产的效率，促进了集约化农业生产的发展，但肥料、农药大量使用不仅加重了土壤、水体的污染，也可能残留在粮食、蔬菜、瓜果等食物中，危害人类健康。

转基因技术又称为“遗传工程”、“基因工程”、

“遗传转化”，根据研究和产品开发的需要，将人工分离和修饰过的基因导入到受体基因组中；所导入基因能稳定表达，引起受体的性状可遗传修饰。这一技术包括外源基因的克隆、表达载体、受体细胞、转基因途径、遗传转化体的选择和检测、遗传稳定性分析等。像人类已经广泛利用的核能技术、信息技术、电力技术、汽车技术、集约化农业技术一样，对转基因技术也要全面认识和对待。转基因技术是生命科学具有里程碑式重大突破，必将给医学、农业、环境带来新的生物产业革命，并将开启人类生物经济时代。同时，它也可能存在潜在的风险，若误用和滥用甚至有可能给人类带来意想不到的负面影响。那么我们是沉溺“争论”而裹步不前，用争论去压制转基因技术的发展呢？还是正视问题、客观争辩、完善技术、强化管理、促进发展呢？我们认为正确的态度应该是：从事转基因研究的科技工作者要重视转基因技术和产品潜在问题，不能回避，要不断完善转基因技术，有效控制它潜在风险；民众要去了解转基因技术发展和产业化相关的知识，要能包容转基因技术存在不断完善的过程，媒体要客观地评价和分析；政府要制定严格的生物安全的管理措施，确保转基因技术作为国家高技术战略不受干扰，确保转基因产业健康发展。2010 年中央 1 号文件已经指出：“抓紧开发具有重要应用价值和自主知识产权的功能基因和生物新品种，在科学评估、依法管理基础上，推进转基因新品种产业化”。

转基因技术及其应用既是人类社会发展的现实选择，也是科技发展的必然趋势。我们应当从战略高度重视转基因技术及其应用，不断开发环境友好的转基因技术，积极推进其产业化。同时，开展多渠道、多层次的知识科普，不断加强宣传教育，让转基因技术知识的传播和普及跟上转基因技术发展和应用的步伐，让更多的民众了解转基因技术相关知识，对转基因产品及其安全性问题有更客观公正评价，为转基因技术的可持续发展营造良好的社会氛围。

【作者简介】

李阳生，男，1964 年出生，博士，教授，博士生导师。主要从事水稻杂种优势研究和利用、生物技术和功能基因组研究。

转基因育种是绿色农业成功的保证

刘守仁

新疆农垦科学院

基因是编码蛋白质或 RNA 等具有特定功能产物的遗传信息的基本单位，是染色体或基因组的一段 DNA 序列，而每个基因则由众多碱基对按照一定的方式排列而成，从而表现出每一种生物个体独特的特征或面貌。

育种的目的就是针对特定物种，通过各种手段培育出或提高原来生物自身不具备或者不够完美的性状，如动物产肉、产奶、产毛、抗病，植物抗逆、抗旱、抗除草剂等。

在生物进化的历史长河里，基因转移和基因改变的现象频繁发生。人类基因组测序结果告诉我们，人类自身就存在许多基因转入的痕迹，人类从病毒那里遗传到的基因和从猿猴那里得到的一样多。在动、植物优良品种培育的过程中，最常用的杂交育种本质上是一种广义的转基因方式。杂交育种是在保留原有性状的同时，通过杂交和回交的方式，经过长时间选择、纯化，从而起

到引入目的基因的同时表现出相关性状的作用。由于杂交育种方法周期长、见效慢以及大量基因所存在的连锁现象等局限性，使得利用杂交育种的方法在品种改良上所获得的遗传进展日趋减小，尤其在同时具备高产、优质、抗逆等多个优良性状的品种选育方面进展不大，已很难满足现代育种技术向精确、高效和多优发展的需要。转基因则能克服这些局限性，有可能打破基因连锁，获得超级育种材料的性状。转基因技术能够直接干预基因本身，而不再是被动地等待基因无序的转变，如传统育种中采用的基因突变和基因诱变，进而实现优良性状基因序列定向转入到生物个体内，从而实现优良基因序列的重新排列组合和有目的地表达，打破生物种群之间的界限，克服生殖隔离，实现优良基因序列的集中体现。随着现代生物技术的发展、人们生活水平提高和经济发展的需要，主动干预个体发展进化的要求越来越强，转基因技术的发展则为人们提供了强有力的手段。

我们知道，在自然情况下，生物个体自发突变的频率是很低的，而且一般对生物体是有害的。然而，突变的存在为生物进化提供了原始材料，被视为物种进化的推动力，不理想的突变终将会被自然选择过程淘汰，而对物种有利的突变则会逐代累积下去，充分体现物竞天择，适者生存。

转基因技术与自然突变、人工诱变、杂交育种在本质上并没有区别，只是转基因技术加快了这种需要经过

漫长时间才能完成的事件，使之在短时间内就有可能实现，并且更加符合人们的需求。自然突变虽然大量存在，但针对某一个体、群体、品种是难以发现的。人工诱变会产生大量的突变体，但不具有目的性、方向性，性状难以控制。杂交育种虽然具有较强的针对性，但要通过长时间的选择才能实现，同时也具有一定的盲目性，很大程度上受种间隔离和基因连锁的限制。综上所述，虽然在创造转基因生物的过程中，与自发突变一样，可能会出现许多负面的个体，但终究会在自然选择—适者生存的法则中走向灭亡，转基因技术也必然会在科技的不断进步中得到完善。

近年来，随着转基因研究的深入，转基因生物已经越来越贴近人们的生活，有关转基因产品是否安全一直是人们争论的焦点。转基因产品的安全性问题主要体现在产品本身的安全性问题、转基因产品的制作技术方面的安全性问题和转基因产品研发的主权安全性问题。

一、转基因产品本身的安全性问题

转基因产品本身的安全性问题主要是指食物中毒和环境污染。有人认为转基因产品在制作过程中由于需要提取高浓度的 DNA，就会想当然的认为浓缩 DNA 的同时也会浓缩一定的有毒物质；有些人认为抗虫和抗除草剂等特性会对人造成毒害；更有些人认为转基因植物会污染环境。其实，这些都是非常不科学的想法，既然我

们有浓缩 DNA 的方法，我们就同时具有纯化 DNA 的技术，没有高纯度的 DNA 是无法实现转基因过程的。同时，在转基因的过程中会利用到一些工程菌或者动、植物细胞，如果这些单细胞生物都不会中毒，对于我们这些“庞然大物”更不需要担心。世间万物各有不同，羊只吃草，狼却要吃肉，让羊吃肉必然活不下去，难道虫子消化不了的东西人就消化不了吗？同时，不知道这些人会不会生病，会不会吃药，有没有担心消炎药会在杀死病菌的同时会不会把自己也消灭掉？对于环境污染则更值得商榷。自然界中的植物成百上千，大多数植物的花粉都会随风飘散，大自然还是那么的五彩缤纷，不是所有的花粉都能够相互影响，大可不必杞人忧天。

目前国内外大肆炒作转基因产品的安全性问题，可能是基于三种原因。其一是不了解中国国情，其二是有意渲染转基因食品的危害性而忽视了其对人类食品供应积极的一面，其三是害怕中国成为一个强劲的竞争对手，抢夺了他们的市场。中国自有中国的国情，庞大的人口压力和可耕土地的日益缩减造成我国粮食的安全形势日益严峻，而单纯依靠增加农产品种植面积或养殖规模以及生产技术水平显然已经越来越不能满足食品供应的需要。要从根本上解决中国粮食安全问题，必须依靠科学创新，虽然我国杂交水稻技术研究取得了重大突破，但袁隆平院士也曾明确表示，如果不加快发展农业生物技术，杂交水稻的优势

将会在5～10年内丧失。利用生物技术开展农作物育种是农业科技发展的方向和必然趋势。有的国家作为全球最大的转基因农作物生产国，农产品出口数量巨大，同时我国每年也出口大量的粮食，无形中成为有的国家的竞争对手，因此，有的国家不希望中国通过转基因手段提高我们自己的农业生产，它会在抵制转基因制品宣传中暗中出力。南美现在需要花巨大的资金来从有的国家购进转基因作物的种子。因此，我们要在严峻的事实面前认清发展方向，不要让中国再步南美的后尘。

二、转基因产品制作的安全性问题

转基因产品的研发必然是对最优秀的产品进行提高，堪称优中选优。通过几十年的传统育种改良已经无法再进一步的情况下，利用转基因技术来突破这个瓶颈，因此转基因产品的基础是好的。有些转基因产品所转的基因有可能就是来源于这个品种本身，其只在部分器官表达的基因可以在更多的部位表达，以提高该基因产物的产量，如促进生长素生产的家畜等，可以使个体变得更大，提高畜、禽的产肉量；有些基因可能来自另一个品种，如转入人初乳基因的转基因牛，牛奶相当于人奶的营养价值，这更加说明了转基因的魅力。其实人在自然进食时也是主食、副食、甜点、饮料一起摄入体内的，在肠胃道内就是一个多基因的大杂烩，并不知道哪些基因是小麦的，哪些基因

是猪的，酸性的消化液会把它们都变成有利于吸收的简单营养物质，并不会像人们想象的那样整体进入人体细胞内，改变人体的基因结构。针对转基因产品制作过程中的抗性基因和标记基因的可能危害，科学家们也在探求更加稳妥安全的技术。比如，在最终的转基因产品中，这些非目的基因都可以删除掉，最终获得的是只带有单一目的基因的转基因产品，甚至利用基因打靶技术，我们最终可以做到定点插入和敲除，转基因产品最终将处于科学家的掌握之中，在国家的法律规范之中，不断造福于人类。

三、转基因研发项目的主权安全问题

转基因农作物及所有研发项目的开发必须是在现有先进技术水平这一层面上起步，尽可能吸收从事有关高水平的人才和单位参与。科学自古无国界，不论其来自何国度和何种政治信仰，有条件的吸收、采纳外来技术，取其精华去其糟粕是我们一贯的原则。但在当今知识经济的潮流下，我们更应该加强自主知识产权的保护工作，在此方面我国确实有不少惨痛的教训可以借鉴，如中国许多历史悠久的传统产品，因为缺乏商标和品牌保护意识，被不少国外公司钻了空子。

尽管目前对转基因还存在伦理和社会方面的忧虑，但生物技术的巨大进步为人类改造世界开辟了广阔的空间。随着科学技术的普及和社会的发展，转基因生物的

神秘面纱终究会被人们逐一揭开，最终走向平常百姓家。转基因技术是农业动、植物新品种培育技术进步的必然结果，也是绿色农业成功的保证，更是提高中国农业竞争力的必由之路。

转基因技术是农业科技发展的必由之路

吴孔明

中国农业科学院植物保护研究所

转基因只是一种技术，回答转基因产品是否安全，首先要明确转的是什么基因。现在水稻转的 Bt 基因，作为生物农药已经安全使用近 70 年了，它的杀虫机理很清楚，它产生的晶体蛋白只能和鳞翅目几种害虫中肠受体蛋白特异性结合，而人体肠道上没有这个受体。现在农业上病虫害的种类越来越多，发生范围越来越大，仅靠原来化学农药为主的技术不能满足现代农业生产发展的需求，转基因技术是农业科技发展的必由之路。国家应该抓住这个机会，我们没有太多时间去等，也没有太多的选择。走得越早、走得越快，对于整个国家的发展，对于解决社会经济发展过程中的各种问题，尤其是粮食安全和食品安全，就越主动。

一、转基因只是一个技术，本身是中性的

我们可以先把一个大的背景聊一聊。转基因实际上是科学发展的一个技术创新成果。无论是转基因水稻，

或者其他转基因作物，它们都是现代科技手段下农作物品种选育的产物。

对品种的选育，从人类开始种植农作物的时候就开始了，从以前的若干野生水果，到现在我们吃的各式各样的粮食作物，很多品种都是人类持续地从自然界中改良挑选出来的。一开始，我们挑一些大的、好的，然后通过杂交进行遗传选育，例如我们拿水稻品种跟野生稻去杂交，增加水稻的遗传资源，这些都是传统的育种方法。

但随着科学技术发展，特别是在20世纪末期的时候，分子生物学有了较大的突破。以前的杂交都是近缘杂交，你不可能让牛跟马杂交产生后代。后来发现生物的性状都是由基因控制的，科学家可以把那些表达性状非常清楚的基因弄出来，把它转到农作物里面去，这时我们叫它转基因农作物。实际上这个基因也是来源于生物，只不过来源于其他生物。从某种意义上来说，转基因作物是科学技术发展的一个成果。

一般民众不清楚什么是转基因。实际上转基因只是一个技术，本身是中性的，既可以用这个技术生产出有问题的东西，也可以用这个技术生产出没有问题的东西。我们没法说转基因安全不安全，而只能说某个转基因产品安全不安全。比如我们发现了电，然后制造灯泡用来照明，这是安全的。但电还可以把人电死，这又是不安全的。电，其实是一种手段，是一个中性的东西，关键看用它来做什么。老百姓不清楚，总觉得吃了转基

因食品，会不会在人身上变成什么东西。所以我想表达一个基本的观点，转基因是一种科技手段，我们可以利用这个手段做出若干产品，有的安全，有的可能就不安全。若能利用这种技术生产一些我们认为安全的东西，不仅可以满足社会需要，还可以推动经济的发展。我们知道有些蛋白有毒，如果将这个东西转到作物中，让人去吃，那肯定不行。但我们也肯定有些东西本身是安全的，人吃了之后，没有副作用。这时候就需要我们对它的安全性做一个评估，通过国家的相关规定、标准，然后再往市场上走。

所以要回答转基因产品的安全性，首先我们就要问一个问题，你转的是一个什么基因？就是说源头不在转基因技术上，而是在所转的基因上面。我们所转的这个基因，按照我们现有的科学，按照国内外的安全标准，它是不是安全的？国家其实对食品是有一个定义的，什么东西叫食品，在什么情况下能吃，什么情况下不能吃，国内外对食品都有一系列的标准，我们只要拿这个标准去检验就可以判断食品的安全性。

二、转 Bt 基因水稻的安全性问题

我们国家过去批准的转基因农作物主要是棉花，棉花转的是 Bt 基因。我先介绍一下 Bt 转基因的背景。在整个生物圈中，很多因子是互相制约、互相影响的。在食物链中，那些危害作物的昆虫，有它的天敌。大约是 100 年前，在德国苏云金小镇的一个磨房里，人们发现

一些昆虫死了，他们将这些昆虫弄到实验室里研究，发现它们体内有一种细菌。然后科学家把这些细菌接种到其他昆虫身上，结果也死了。后来科学家把这个细菌命名苏云金杆菌，英文名简称 Bt。这个杆菌后来作为一种生物农药来使用，在世界各地建了很多 Bt 工厂，虫子吃了 Bt 后就死了。

昆虫吃了 Bt 为什么会死亡呢？后来，科学家发现这个细菌里面可以产生一种晶体蛋白，这个蛋白到昆虫体内，与昆虫肠子上的受体蛋白结合，导致肠壁弥漫穿孔。虫子体内就是一根肠道，肠子穿孔，吃的东西就流到肠外体液中，得败血症，最后就死亡。但苏云金杆菌有很多亚种，有很多株系，每个株系只对一种或某几种昆虫有效，一把钥匙开一把锁，彼此之间特异性非常强。

在我们国家，Bt 已经用了很多年，像我 1980 年参加工作的时候，一直都在用 Bt。但实际使用中 Bt 的效果很不稳定，它毕竟是一种生物，向农作物上一喷，一刮风下雨就冲没了，或者太阳的紫外线一照射也就死了，所以一直很难大规模使用。上个世纪 80 年代的时候，科学家就将 Bt 控制产生这种蛋白的基因研究出来了，以后可以直接利用这些基因培育出能够杀死虫子的蛋白。这就意味着，以前我们是建工厂，生产细菌，完了做成一小瓶一小瓶的，让农民去用。现在，随着转基因技术的成熟，我们可以把那一小片杀虫基因弄出来，把它转到农作物中去，这样就可以产生 Bt 棉花、Bt 玉

米、Bt 马铃薯、Bt 水稻。Bt 到现在为止已经发现了400 多个基因，每个基因表达一种蛋白，这种蛋白只对某一种或某几种昆虫有效，因此，人类利用 Bt 基因的前景是非常广阔的。

对于一些人十分顾忌 Bt 基因的安全问题，应该如何看？首先，Bt 在世界上以农药的形式已经使用近 70 年了。其次，Bt 杀虫的机理已经非常清楚，它的蛋白质只和昆虫特异性受体蛋白结合，这种蛋白吃到你体内，在胃里迅速降解，变成氨基酸，被人体消化吸收。即使进入肠道也和你的肠子上的蛋白结合不了。所有这些在科学机理上已经非常清楚。更重要的是，我们现在只是转 Bt，而不是转其他的，比如将蝎子毒素基因转到棉花里面，虽然这样做也能杀虫，但我相信不可能批准它的商业化种植。因为你光以杀虫为目的，对其他生物的影响如何？但是 Bt 不一样。所以在这么一个背景下，按照国际上的食品标准以及国内的食品指标体系进行评价确认安全，我们才会去推广转 Bt 基因作物的商业化种植。

有人可能会质疑，安全评估中，你这个小白鼠试验只做了这么短的时间，能说明问题吗？说不定转基因食品吃上个三四代人才会发现问题呢？

其实所有的科学研究都是通过一些模型、通过一些指标来判断的。选择什么样的指标、选择什么样的动物来进行食品安全试验，我觉得我们国家在食品检验方面，某种意义上已经和国际接轨了。这里不仅仅是小白

鼠吃几十天的问题，小白鼠肯定要吃，这里还有很多其他标准。我不研究这块，不好去评价，但我反过来问，你质疑这个东西两代以后、三代以后行不行，是不是为了要证明这一点，先让我们吃上几代人，再来推广呢？现代科技的发展日新月异，新的产品层出不穷，我们是不是对这些技术的安全性都需要试用几代人？比如说，我现在手头这个手机，手机有辐射，这是不争的事实，但这个手机通过评价了，是可以安全使用的。如果按照你的那个逻辑，是不是我也可以问，人使用手机 50 年后会不会出问题？是不是需要先找几代人试验 50 年然后再去推广？一样的道理嘛。如果这样，我们的社会就会失去许多发展的机会。

转基因这东西，美国人已经种了 10 来年了，也吃了 10 来年了。如果说美国人像中国一样吃水稻，那我相信美国人早就种了。水稻主要在亚洲，这方面基本没有人弄。伊朗早几年前就弄了，但伊朗影响不大，全国也就那几万亩水稻。所以，亚洲水稻还是要看中国或印度。相对于其他亚洲国家，我们中国的科学技术是处于领先地位的，所以我们必须走在前面。其实，现在国内，我们已经在吃很多转基因食品了，我们国家每年消费 75% 的大豆（4 000 万吨）都是从南美、北美进口的，这些大豆基本上都是转基因大豆。这些大豆在国外也都种 10 多年了。我们大家也都吃了这么多年了，也没有听到说谁谁就有问题了啊。在美国，大豆转基因批了，小麦批了，马铃薯、玉米、水稻也批了，基本上人

可以吃的东西都批准了。如果说美国人把这个东西都给动物吃，那美国人吃什么啊？这些吃了转基因的动物最后不也是流到人的身体中吗？整个食物链最后还是连在一块的。

三、技术专利与专家的独立性

很多人说我国转基因技术研发中，用了很多国外的专利技术，质疑国内是否要对某些跨国公司交种子税等。我觉得这种担心大可不必，我了解的情况是转基因水稻，没有对国外申请人在中国的有效专利造成侵权。

现在什么人最关心专利侵权？专利持有人最关心。但是到目前为止也没有哪个公司、哪个人说咱们侵犯了他的专利。你看咱们中国的转基因棉花已经种了十几年了，却从来没有一个外国人跑来说，你这个地方侵犯了我的权利，你得赔！你不能说，这个东西我们不能商业化，商业化就是侵外国人的权了。外国人自己都没有喊，我们在这里喊什么呢？

有人可能会想，国外的人比较阴险，刚开始不收专利费，等你铺开后，再来讹诈你，让你交钱。

其实这个问题，我们可以这么看，我们研究转基因水稻，实际拿出成果是在 1997 年、1998 年，到现在已经过了 12 年。而专利在国际上的保护期限也就 20 年，即使咱们的研发涉及别人的专利，在这么长一个时间跨度中，也超过了专利保护期。收取专利费，从何谈起呢？我们现在有很多其他的东西，例如汽车，有多少技

术是我们发明的啊？例如农药，中国现在是世界第一大农药生产国，去看看有几个农药是我们中国自己的专利？但我们在国外的专利有效期过去后生产农药，还成为世界第一大农药出口国，也没有哪个公司跑到我们这里来说我们侵它的权啊。为什么呢？我们生产的这些东西都是专利过期的东西，20 年保护期早过了，根本不存在这个问题。还有人会认为，现在转基因方面的专家和一些跨国公司或者某某基金会都是一伙的，他们之间有莫大的关联关系，因此对于这些专家的独立性应予以质疑，他们是出于个人私利来推动转基因产业化。其实这种想法过于上纲上线了。

中国顶尖的科学家一定是站在一个世界平台上来开展研究工作的，闭门造车是不可能参与国际竞争的。他工作的性质、内容，使得他不可能不跟国外发生一定的联系。你看，我们国家在科研方面还花了很多钱送我们这些科学家到国外去，与别人建立研究合作关系，这些都是正常的科学交往。你现在不能拿科学家跟外国有交往关系，就把他们说成卖国贼、汉奸了。比如说这个转基因水稻，张启发院士是给哪个国家干的？最后收益归哪个国家了？或者说是归了洛克菲勒基金会？一些人没有把这些事情搞清楚。

网上还提到我了，说我跟洛克菲勒基金会、跟美国农业部（USDA）有不浅的关系。我也不知道他们是从什么地方把这些东西捣鼓出来的，我自己都快忘了。以前我是和 USDA 有过一个合作，这个合作是个什么东西

呢？中国大豆蚜虫，或者说亚洲的大豆蚜虫，跑到美国去了，怎么跑去的不清楚。以前大豆起源于中国嘛，美国人把大豆引种了，但是当时大豆蚜虫没过去，后来大豆蚜虫也过去了，并且对大豆产量的影响非常大。在上个世纪80年代的时候两国政府间签订一个协议，由我们与美国农业部下属单位成立一个害虫生物防治联合实验室，即两个国家在害虫防治方面展开一些合作。可以说这个东西跟转基因一点边都不沾。后来洛克菲勒基金给了一个小项目，请我们围绕转基因棉花的害虫防治方面进行一个综述，这些东西不存在问题，都是公开、透明的。这个事情不是走的私人程序，而是通过中国农业科学院官方正式联系的。现在有人把这件事情挂到网上去，把这说成受帝国主义资助，来窃取某某机密等。我们是做病虫害防治研究工作的，专门研究植物保护，更多的是从国家发展的角度、从社会公益的角度，为国家农业生产管理提供一些对策，这其中不存在个人的利益关系。但是，现在这些都搅和到一块去了，包装包装就挂到网上去，其实就是这么个事情。

四、单靠农药防治病虫害，农业难以持续发展

现在在病虫害防治上，我们的主要手段就是农药。我在网上看到，武汉检测出海南岛的豇豆里面有甲胺磷、水胺硫磷等高毒农药，并规定3个月不准从海南岛进口豇豆。但是有没有人想过，病虫害不用农药怎么解

决呢?

现在大家都能吃到很多反季节的新鲜蔬菜，到超市里一看，很多东西应有尽有。一直到东北、新疆，温室大棚里种满了各种新鲜水果。但是这种反季节、反地域种植也带了很多问题。过去，南方的虫子就呆在南方，北方太冷了，北方的很多虫子冬天一冻就死了。但是现在北方也种南方的东西，原来只能分布在长江以南的虫子现在已经遍布整个北方地区。由于环保和食品安全的要求，现在我们不能使用高毒农药了，而且要求农药使用量必须越来越少，然而病虫害的种类却越来越多，发生范围越来越大，整个产业还能支撑下去吗?

以水稻为例，我们现在每年大概要种 2 667 万公顷水稻，水稻的害虫种类有很多且变得越来越严重，其中主要是螟蛾科害虫，二化螟、三化螟等，它们都在稻茬子里越冬。以前我们国家比较穷，都是农民自己用镰刀去割，人工割的时候，稻茬子比较贴近地皮，因为农民把稻草割回去晒干还有其他用处。这样的做法基本上把虫子都割走了。另一方面，冬天农民没什么事，就来冬耕，把田里灌上水，再翻耕一次，冬耕冬灌，这样害虫发生的范围、频率都要小很多。但是现在我们遇到了问题，农业正朝着机械化方向发展，用机械割稻，因为地不平，得把坑坑洼洼的地皮因素考虑进去，因此机械割不可能紧贴着地皮，必须留出一定的高度来，这样在稻茬里面越冬的虫子就比原来多了。同时，现在很多农民大部分都到城里务工，家里留下的都是老人、小孩，冬

天也不去翻耕土地了。这样一来，水稻鳞翅目虫害在我国大面积发生，并且越来越严重。如果说，我们要防治，那就只有靠打药。算一算吧，2 667 万公顷水稻，就算一年发生 677 万公顷，打 1 ~2 次药，每公顷按最便宜的单价 150 元、300 元算，那一次药 10 亿元、20 亿元就出去了。同时这个农药打下去，还存在大米中残留的问题，流到环境中，还会带来一系列生态问题。

很明显，传统的农药杀虫技术已经不足以满足现代农业发展需求，必须找到新的技术手段来突破。现在科学家把 Bt 基因转到水稻，虫子吃了就死了，也不用打农药。如果转 Bt 基因水稻能得到大规模地种植，可以预计对降低防治成本、提高农民收入、保护生态环境都会有非常重要的作用。其实这项工作，我们的科学家已经辛辛苦苦做了近 20 年了，前 10 年，将这个产品研究出来，后 10 年由方方面面的专家、检测机构来检测、评价，同时我们生产上又有很大需求，假如你是决策者，你会做出什么样的决策？一代人 30 年，是不是要让这东西再吃上几代人，再过 100 年后，看看中华民族有几个人吃出问题，再来决策呢？科学机理上这东西是非常清楚的。通过使用一个我们已经评定为安全的东西来替代过去的化学农药，这可能是解决我们国家粮食安全、环境安全、生态安全的一条没有其他选择的、必须走的路子。你走得越早、走得越快，对于整个国家的发展，对于解决农业生产发展中的各种问题，越主动。

五、国家的战略高度：自主创新与产业化

有人认为科研可以与产业化分开，商业化对于研发技术等没有太大作用。我认为这种说法讲不通。

自主创新得有一个环境来推动啊。任何一项科研项目总得有个目的，总是得有一个动力，这个动力来自什么地方？例如，我们现在做这个转基因技术研究，肯定是为了解决中国国民经济发展中的一些问题。如果没有强大的国家需求，如果没有强大的市场需求，国家是一分钱也不会朝这个方向投的，这些钱都是老百姓的纳税钱、血汗钱。现在投钱搞这方面研究，是需要科技进步来支撑整个国家的发展。立项以后，就是要起到解决国民经济的重大需求的重要作用。最后转基因这个东西能不能做起来，能不能做大，不仅取决于国家的扶持，还要有良好的市场环境。按照你的说法，现在把两头都割裂开了，那可能做好吗？市场的强大需求是源头，如果没有商业化，谁来出钱啊？

细看近几年的中央文件，我们会发现国家对转基因技术这件事情还是非常重视的。国家是从一种较高的战略高度，来看转基因技术对中国社会发展的推动作用的。

中央提出要建一个创新型国家，非常清楚，一个重大技术的创新很可能就可以开辟出一个新的产业来，以此来引领整个国家前进的方向。谁有创新，谁就能启动推动经济发展的引擎。我觉得这是中央一个高瞻远瞩的

战略决策。这么多年以来，我们在技术上一直跟在别人屁股后面走，反正在别人后面也不构成威胁，专利上、知识产权上的若干搭便车、搞擦边球的事情也没人管。但是你一旦发展起来以后，国际游戏规则得遵守啊，还像以前那样迟早行不通。到这个时候，如果没有大力的自主创新，整个国民经济要发展就很难。

我们过去谈农业，大家觉得它非常原始，祖祖辈辈都那样，把种子往地上一撒，有虫子就打打药，缺水就浇浇水，缺肥就施施肥。基本上就是靠天吃饭。后来，毛主席说了八字宪法，“土、肥、水、种、密、保、管、工”，分成八个不同的工作，让不同的人去干这些事。但是现在到什么程度了？现在科学技术已经能够将这八个方面的东西集成到一颗小小的种子上了。我不知道大家有没有感受，我们现在的电视机、电冰箱重量是越来越轻了，原来可是又厚又大又重，对吧？那个“大哥大”，你说现在还有市场吗？农业现在也在科技集约化，防止害虫的，科学家给它弄个杀虫基因；抗旱的，再弄一个抗旱基因。其实质就是把各种技术都融到了一颗种子里。

所以我觉得中央是在一个非常高的战略高度，来推动转基因技术的研发工作。中央不能和我们一样，它必须跨时代地去看问题。如果说我也是个普通老百姓，不了解这其中的缘由，我也会说，你这个东西弄来干啥？咱也没有吃过，会不会有问题？吃个几代人会不会得什么病？大家已经吃得很好了，没有必要去弄些新东西引

起大家的争议。但从一个国家层面应该看到的问题是，经济在发展，土地却越来越少了，土地资源有限，人口却在增加，同时大家对生活条件的要求也在提高。你拿钱买，谁卖给你啊？你看我们现在缺什么，什么东西就在国际市场上暴涨。铁矿石不是这样吗？我们是一个大国，我们面临的资源约束是非常明显的。如果我们的粮食出问题了，那是要死人的，这个性质与缺少铁矿石还不一样。

从我的角度来看，我们国家应该要抓住这个机会，我们并没有太多时间去等了，我们也没有太多的路供选择。说实话，转基因这个问题，大家都非常关注，这也是一件好事。如果一件事情大家都不关注了，也都不愿意提了，这也不好。从创新型国家的角度再回到这些转基因产品上，其实这些产品只是一小块东西，它们背后所隐藏的那才是决定未来几十年发展方向的东西。

我觉得，普通民众不清楚这方面的事情是十分正常的，尤其像三聚氰胺这些问题发生后，民众对食品安全信心不足，“宁可信其有，不可信其无”，这些都是可以理解的。对于这件事情，我们要和公众交流沟通。媒体报道不要走极端，不要好就好的一塌糊涂，坏就是问题一大堆。最好还是理性地、科学地看待这个问题。

【作者简介】

吴孔明，研究员，国家农业转基因生物安全委员会主任委员。

理性认识转基因
促进生物育种健康发展

张春义

中国农业科学院生物技术研究所

以转基因技术为核心的生物技术是一门新兴的、综合性的学科。它以现代生命科学的发展为基础，能够按照预先的设计改造生物体（包括植物、动物和微生物），为人类生产出所需的产品（如粮食、医药、食品、能源、化工原料等），可以实现传统技术手段的更新，加快农业生产方式的转变，大幅度地提高农业生产效率。由于转基因技术对社会、经济、环境等方面所具有的重大影响，各个国家纷纷斥巨资加速抢占转基因生物育种产业的制高点。在美、欧等发达国家政府的大力支持下，近年跨国公司通过企业重组、并购，加大了转基因作物产业化的规模，如美国孟山都公司、美国杜邦—先锋公司、瑞士先正达公司、德国拜耳和巴斯福公司等已经迅速成为全球农业生物技术研发的主体，围绕基因、人才和市场的国际竞争日趋白热化。

跨国公司一直把我国作为转基因产品市场开拓的重点。为了在激烈的国际竞争中占有一席之地，我国也在

下大力气持续增强转基因技术自主研发的实力，在转基因作物产品研发的某些领域建立了领先优势。然而，由于相关信息沟通渠道不够畅通等原因，使得相当一部分人对转基因技术及转基因产品心存疑虑甚至产生误解。本文重点就转基因作物育种与常规育种之间的关系以及转基因食品是否安全等人们普遍关心的问题抛砖引玉，希望能使大家对这些问题产生进一步的思考。

一、纯粹的“天然食品”并不存在

转基因技术可以应用于动物、植物和微生物。作物转基因是在常规育种技术的基础上，利用现代分子生物学技术将某些生物的基因转移到作物的遗传物质中去，使其有效表达出相应的产物（蛋白质或核酸），在产量、抗性、营养品质、消费品质等方面向人们所需要的方向转变。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”。

人们通常所说的非转基因作物是指利用常规育种技术培育出来的作物品种。许多人以为非转基因作物更安全，殊不知，常规育种技术的本质是两个生物体之间的基因重组，而这样的重组过程涉及成千上万个基因。同时，即使没有人为的通过物种杂交产生新品种，基因交流在自然条件下也时时刻刻在发生着，这是一种客观存在，不以人的意志为转移。现在我们吃的东西多是通过基因交换或杂交（即基因重组）而来。在作物的进化过程中，有很多很多未知基因在不同个体之间相互转移

并发生重组。由于参与这种基因重组过程的染色体片段非常大，其中有有利的基因，也有不利的基因，所以这样一种自然变异过程完全是随机的、不可控的。从严格意义上来讲，现今的农作物基本都是经过人类长期选择的“转基因”生物，而不是原生态的天然物种。纯粹的“天然作物食品”，今天几乎不存在。

而转基因则是精确可控的事件。在转基因研究的过程当中，我们要对一个或几个基因及其编码蛋白了解的非常清楚，对基因的片段大小、功能和作用机理，转基因在基因组中的插入位点、表达强度以及转基因植物的病理和毒理等诸多方面有非常清晰和全面的了解，一旦发现有任何潜在的问题即停止相关的研究。例如，巴西坚果一个富甲硫氨酸基因在进行大豆转基因产品研发和转基因安全评价时，科学家发现它有可能导致大豆产生过敏源，相关的转基因工作立刻取消，体现了转基因安全的自我可控性。因此，转基因培育的作物新品种经过了比任何自然变异而产生的新品种更为严格更为科学的安全性评价。从这个意义上讲，转基因技术是比较准确和精确的育种技术。转基因抗虫玉米种植后，不仅因少打农药降低了对环境和产品的直接污染，而且能使谷物免遭腐生真菌的二次污染，转基因玉米中的真菌毒素含量远远低于非转基因玉米。

一般情况下，转基因作物与非转基因作物除了目标性状以外，其他性状是相同或相近的。由于科学家可以针对不同的目标性状对作物进行专门的改良，因而转基

因食品在这些目标性状方面具有其独特的优点。例如，可增加作物单位面积产量，可以降低生产成本，可增强作物抗虫害、抗病毒等的能力，提高农产品的耐贮性，延长保鲜期，可表达有利于人类营养健康的物质，等等。转基因技术的最大好处是可以实现向人们所需要方向的“无中生有”。比如，棉铃虫对棉花生产危害巨大，虫害发生严重时可以导致棉花绝收。如果不采用转基因技术，能否让棉花抵抗棉铃虫的侵害呢？答案是否定的，因为棉花的“父亲”、“母亲”甚至祖先中没有抗虫基因的存在，无论怎么进行常规育种也难以培育出抗棉铃虫的棉花。如果希望棉花不被棉铃虫所侵害，有效的办法是利用转基因技术把来自于微生物的抗虫基因转移到棉花中去，从而培育出能抵抗棉铃虫的棉花新品种。

二、转基因技术充分体现“兼容性”

作物转基因技术的载体是种子，其目标是获得各种优良性状（比如抗旱、抗虫、抗除草剂、营养成分改善）的良种。在农业增产的诸多因素中，良种的贡献率在30%左右，由此可见，通过转基因技术手段创造良种对农业生产是非常重要的。但是，从事生物技术育种的科学家们从来就不认为只靠“种子”这一个环节能包打天下和解决所有的农业问题。“农业八字宪法”中已经指出，种子只是农业生产诸要素当中的一个，良种要发挥它的增产潜力，必须与其他的农业增产措施相

结合。而转基因育种的生命力就在于它是在最好的传统育种技术基础之上发挥其功能和效力。

有许多人由于对转基因技术的本质理解不深刻而对其产生各种错误的解读，其中一个典型就是把转基因技术和其他农业增产技术完全对立起来，以为二者之间是非此即彼、有你没我的“仇人”关系。实际上，转基因育种技术是开放的、兼容的、友好的，这一点不但体现在它和其他育种技术的关系上，也体现在它与其他农业增产技术的关系上。它是以最好的品种材料为技术载体并与各种常规和现代生物育种技术（比如分子标记辅助选择和单倍体技术）相融合，同时，转基因技术在一个优良的生态农业条件下将会发挥出更大的效益。“土、肥、水、种、密、保、管、工”，多管齐下才是最佳选择。总之，转基因育种技术是在最先进的常规技术和最好的品种基础之上不断发展的高新技术，当它与其他农业生产技术相结合则会迸发出更加强大的生命力！

三、已批准上市的转基因食品可放心食用

任何物种（包括植物在内）在漫长的进化过程中都经历了人工选择或自然选择，它们的存在是这两种选择的结果。人工或自然选择究其实质是遗传变异选择。因此，变异是物种进化的基础，变异是绝对的，而稳定是相对的。换言之，没有任何一个生物体与其亲本祖先是完全相同的，而常规育种就是一个对遗传变异进行人

工选择的过程，转基因育种和常规育种没有本质上的不同。

现在，转基因食品已开始进入了我们的日常生活。我国市场上出售的大豆油，绝大部分是用抗除草剂转基因大豆生产的，而美国人吃的食品中，60%～70%都含有转基因成分。美国人“惜命”世界闻名，如果美国人因为食用转基因食品而产生健康问题，那一定会闹出大乱子不可。而事实是，美国作为世界上转基因作物研发最为成功的国家，在其十几年的转基因作物大面积商品化推广的过程当中，从未发现任何有关安全性的问题。但即便如此，科学家们仍然以前所未有的审慎态度对待转基因安全。转基因安全是在人类科技进步和发展过程中出现的一个新的科学问题。我们应该以科学的态度加以重视、加以深入研究和探讨，而不应把转基因安全和地震、SARS等混为一谈，谈“转基因”色变。目前关于转基因安全性的争论在很多时候已经脱离了科学的范畴，许多其他问题（例如国际贸易等）使其复杂化。因此，理性地看待转基因安全问题非常重要。

在生物技术育种20多年的发展过程中，关于转基因食品安全性的科学研究报告数不胜数，其中仅有个别所谓的“转基因食品安全性问题”事例报道，而这些所谓的研究或是因为实验设计不合理，或是因为对实验数据的错误解释，已经分别被国际上不同的学术结构或科学家小组所完全否定。因此，从科学实践的角度来看，凡是经过严格审批的转基因产品在十几年的大规模

应用过程中还没有发现一例是不安全的。

结语

转基因技术作为当今最具活力、发展最为迅速的新兴技术，正在对人类生产和生活的方方面面产生着巨大影响。纵观世界文明发展史，任何一项新技术从诞生到广为人们所接受，其间经历了相当的曲折。生活在21世纪的我们，应该更加能够理性科学地认识和对待转基因技术。尤其是在全球经济一体化的形势下，如果我们不大力发展转基因技术，就无法在事关国家、民族命脉的粮食安全问题上拥有主动权。

【作者简介】

张春义，男，1968年出生，博士，研究员，博士生导师。主要研究领域为植物营养代谢工程及代谢调控研究。

转基因释疑

朱猛进　赵书红

华中农业大学农业动物遗传育种与
繁殖教育部重点实验室

自农业部颁发转基因作物安全证书以来，由某环保组织参与、个别持有偏见的社会知名人士、专家学者领头的反转基因阵营在国内掀起了一场声势浩荡的反转基因浪潮。由于少数别有用心者故意不遗余力地反复散布不正确的转基因言论，导致国内相当数量的普通民众对转基因产生了错误的认识，甚至在局部形成了群体性恐慌和抗拒心理。因此，纠正公众对转基因形成的错误认识，让公众获取正确的转基因知识，客观理性认识转基因和转基因食品已显得非常迫切。在目前针对转基因的言论中，有些明显属于谣言，例如网上流传的转基因是他国用来灭绝中华民族的“生物武器”就是典型的谣言。对于那些明显荒唐的谣言和涉及人身攻击的诽谤言论，稍有理智的人是完全可以辨别的，但有些言论是由贴有专家、学者标签的人提出，或者需要一定的专业知识才能判断，对这些普通公众不易分辨的言论进行纠正和解释比反驳谣言更为重要。

本文主要对公众不易分辨的几点认识误区进行纠正和解释。

一、转基因技术是纯人工技术，违反了自然规律

很多人都认为转基因技术是纯人工技术，在自然界中不存在转基因，搞转基因生物品种（系）违反了自然规律。事实上，自然界中存在各式各样的转基因现象，自然界中的转基因是推动生物进化不可或缺的基本机制之一。大家所熟知的近缘、远缘杂交的本质就是一种转基因现象。在动、植物驯化、驯养以及后来长时间的种植、饲养过程中，杂交育种作为最有效的遗传改良手段之一已经广泛应用于农业生产系统。在杂交育种过程中，对于受体动、植物而言，杂交可以视为一种规模化的转基因导入，这种转基因导入通常具备如下特点：①转基因规模是某个物种（亚种）的一半遗传物质，而不是单个基因。②基因转移多发生在同一物种内或亲缘关系较近的物种之间。③基因不是简单导入受体基因组，而是替换受体的半数染色体。除了天然杂交这种规模化的转基因现象之外，自然界也存在基于单基因水平的跨物种转基因现象——横向基因转移（lateral gene transfer，LGT）现象（又称基因水平转移或侧向基因转移）。基因横向转移是基因突破物种界限，从一个基因组转移到另一基因组，这是自然界中最典型的转基因现象。越来越多的证据表明，跨物种的基因横向转移尽管

发生频率较低，但仍然广泛存在于自然界。科学家们发现，在病毒、噬菌体、细菌（如肠球菌、苜蓿属共生根瘤菌）、蓝藻（Cyanobacteria）等低等生物的不同基因组之间，发生基因交换的自然现象十分普遍。对于高等生物，也有直接或间接证据表明很多物种在基因组的进化过程中经历了多次基因横向转移事件，甚至包括人类自身。例如，寄生细菌（Wolbachia）能够将基因稳定地转移到昆虫以及其他无脊椎动物基因组中，使其成为受体基因组的固有基因，包括黄蜂、蠕虫和果蝇等。在人类基因组测序计划完成后，科学家也发现了人类基因组序列中存在多种病毒基因，并推测这些病毒基因可能是通过基因横向转移这种自然发生的转基因机制而进入人类基因组，从而推动了人类基因组的进化。

这些证据雄辩证明，转基因现象在自然界中广泛存在，转基因并不是由人首先创造出来的人工产物。就像 PCR 技术是依据生物体内 DNA 复制机制而建立的生物技术一样，转基因技术也只是利用自然界本来就存在的转基因现象，而且是在可控条件下进行可预期的基因转移，其安全性远远超过自然界的基因横向转移。所以说，转基因并不可怕，转基因并不违反自然规律，它只是人类利用、模仿自然界本身就有的生命现象，将其发展成可操作的生物技术，借此能动地改造、利用和保护为人类提供生活资料的动、植物品种，从而最终实现人类与自然界之间的和谐与可持续发展。

二、当前没有推广转基因新品种（系）的必要性

目前，有个别学者提出，依靠现有生物品种（系）和非转基因育种技术可以足够维持我国人口所需的粮食和畜产品，现在还没有必要推广转基因新品种（系）。这种言论获得了较多人的支持，使得部分公众对推广转基因新品种（系）的必要性产生了怀疑。事实上，这是一种片面言论。

目前，我国中西部还有很多处于温饱边缘和亟待小康化发展的人口，要保障这些人口脱贫化、小康化发展，粮食与畜产品的总量、品质都需要大幅提升。在国家层面上，提高粮食和家畜的产量和品质是保障我国人民全面进入小康生活的必要条件之一。我国人口众多，土地等可利用资源紧张，以我国现有生产规模和生产效率，粮食与畜产品的总量和品质还不足以保障绝大多数中国人都能进入小康甚至中等发达国家生活的行列。由于中国人口基数太大，粮食安全是重中之重，通过大量进口粮食和畜产品显然不太现实，也根本不具可行性，因为世界上没有任何国家和地区能在充分保障本国人民的同时还具备让数量庞大的中国人吃饱、吃好的能力。只有立足于国内，充分挖掘现有生物品种（系）的生产潜力，大幅提升生产规模和生产效率才是解决问题的根本所在。

由于现有作物和家畜品种已经过多年的高强度选

择，依靠非转基因传统育种技术继续大幅提高现有作物和家畜品种生产潜力的空间正在变得越来越小，不寻求新的途径很难解决我国当前面临的资源总量有限与人口发展之间的突出矛盾。在现有可利用的资源基础上，通过包括转基因技术在内的现代生物技术提高作物和家畜的生产规模和生产效率是解决我国资源与人口发展矛盾的重要途径，也是现实条件下最好的选择之一。

某些学者不顾我国广大人口需要迫切发展的事实，煞有介事地提出了目前没有推广转基因新品种（系）的必要性的片面言论。虽然在逻辑上，转基因新品种（系）的推广与我国人口的小康化发展没有直接的因果关系，但推广综合生产效率更高的转基因新品种（系）肯定可以为其提供间接的物质保障。

所以，从整个国家发展的层面上来看，尽快推广转基因新品种（系）不是没有必要，而是非常迫切。尽管转基因可能面临着某些潜在生态风险，但不能以此成为扼杀转基因新品种（系）的理由，毕竟转基因技术与其他科学技术的应用一样，只能在解决一个又一个问题中不断发展和完善。

三、转基因技术是不成熟的新技术

普通公众对转基因技术的另一个认识误区是：转基因技术是新技术，还不成熟，急于推广一项不成熟的技术是不明智的。这种认识显然是错误的。事实上，转基因技术已有很长的发展历史，发展至今已经相当成熟，

并不是什么新技术。早在1980年就出现了世界上第一个转基因小鼠，随后于1982年美国华盛顿大学Palmiter等研制出首个真正意义上的转基因动物——超级小鼠。世界上第一例转基因植物——转基因烟草也在1983年出现。在过去的几十年里，除了大家已经熟知的转基因棉花、转基因西红柿、转基因木瓜等转基因植物品种之外，转基因鱼、转基因猪、转基因牛、转基因绵羊、转基因山羊等转基因动物也相继出现。迄今为止，很多生命都进行过转基因操作，包括微生物、植物和动物，其中甚至包括人类自身。比如，目前已经得到较大范围应用的基因治疗技术就是一种用来局部修正、替代人体内致病基因的广义转基因技术。可以说，从诞生之日算起，转基因技术已有30年左右的发展历史，尽管目前仍有新改进和新发展的空间，但其核心技术已经相对成熟，转基因技术算不上真正的新生物技术。

四、必须在保证转基因的绝对安全后方可应用

有人提出必须在保证转基因的绝对安全性之后方可应用，这种言论似乎有合理的成分，极易获得普通人的认同。事实上，任何科学技术的应用都有潜在的风险，比如电可以让人触电而死、汽车可以撞死人、抗生素可以让细菌产生抗药性，但我们不能因此排斥对电、汽车和抗生素的应用。所以，我们要求转基因百分之百地绝对安全是不可能的。在逻辑上，转基因应用的绝对安全

性在长时间尺度上是一个不可证伪的命题，所以我们只能依据实质等同原则，只要能保证转基因新品种（系）及其产品不比传统的同类生物品种及其产品更有危害性，即转基因的相对安全性得到了充分的评估就可以应用。与已有育种技术相比，转基因育种技术的可预测性和可控性均大为提高，转基因新品种（系）的相对安全性可以得到很好的保障。实际上，部分公众对转基因安全性的担忧更多地体现为心理认同的问题。与生态安全相比，普通公众可能更为关心与自身健康更为直接的转基因食品安全。目前，公众所担心的转基因食品安全问题，都能从技术上加以解决。比如，组织特异性表达技术、“外源基因去除”技术等可以保证转基因及其表达产物在食品中不出现或极微量出现，不会对食品安全构成威胁。事实上，目前已经商业化或正在步入商业化程序的转基因新品种（系）都经过了十分严格的安全性评估，转基因食品的相对安全性是可以得到保障的。世界卫生组织在《关于转基因食品的20个问题》的文件中谨慎但肯定地说：“目前在国际市场上可获得的转基因食品已通过风险评估并且可能不会对人类健康产生危险。”自转基因新品种产业化以来，转基因食品已经进入我们日常生活。事实已经表明，非转基因食品并不比转基因食品更为安全，转基因食品不会对人体产生临床意义上的身体伤害，我们并不必把它视为洪水猛兽。

【作者简介】

朱猛进，男，1974 年出生，博士，副教授，硕士生导师。先后主持、承担和参加省部级课题 10 余项。

赵书红，女，1967 出生，博士，教授，博士生导师，国际动物遗传学会比较与功能基因组常务委员会委员。

科学理性看待转基因技术

孙书存　阮航
南京大学生命科学学院

2009 年 12 月初，中国生物安全网上公布的“2009 年第二批农业转基因生物安全证书批准清单”上，出现了转基因水稻——由华中农业大学研发的抗虫转基因水稻“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”。这两个转基因水稻品种的安全证书首次获得农业部颁发，备受争议。

水稻是我国主要粮食作物，如果转基因水稻被批准进行大规模商业化种植，那将是我国几千年农业史上的一个重要里程碑。然而对于转基因作物的潜在安全问题，很多人提出了相关的质疑。要评价转基因技术及转基因农作物的是非善恶，首先必须了解转基因技术是怎样一回事。

转基因技术是指将人工分离和修饰过的基因导入到生物体基因组中，由于导入基因的表达，引起生物体性状的可遗传修饰。经转基因技术修饰的生物体在媒体上常被称为“遗传修饰过的生物体”或者“转基因生物”(Genetically modified organism，简称 GMO)。

上世纪 80 年代末，科学家们开始把 10 多年分子研

究的成果运用到生物新品种培育上。1994 年，首例转基因植物产品——耐贮存西红柿进入市场，1996 年后转基因植物的产业化迅速发展，势不可挡。至 2009 年在全球 25 个国家转基因植物推广应用总面积达到 1.34 亿公顷，1996—2009 年间全球转基因作物种植面积增长 79 倍，累计种植面积已达 10 亿公顷，相当于我国耕地面积的 3.75 倍。目前，大面积推广应用的转基因植物主要是抗虫、抗除草剂的品种。为了满足人们生活质量提高的需求，科学家正在培育抗旱耐盐、改良品质、增加营养、医疗保健及生物能源用的第二代、第三代转基因植物，不仅可使消费者直接得益，还将为解决与广大消费者日常生活紧密相关的全球性水资源短缺和能源危机做出重大贡献。转基因植物的大面积推广应用在创造了极大的经济效益的同时，还在减少农药使用、增加农民收入与降低农田环境污染方面做出了积极的贡献。

在国家“863”高新技术研究与发展计划及国家科技攻关计划的资助下，我国转基因植物的研究和应用取得了显著的进展，主要是在植物抗虫、抗病、抗逆、品质改良、叶绿体等基因工程和生物反应器方面，有些研究已经达到国际先进水平。据 1996 年国家生物技术学会统计，我国投入研究和开发的转基因植物达 47 种，涉及各类基因 103 种。近年来有近 20 种转基因植物进入了田间试验或环境释放阶段。目前我国有 6 种转基因植物被批准进入商品化生产，包括我国自己培养的耐储存西红柿（1997）、抗虫棉（1997）、观赏植物矮牵牛

(1997)、抗病毒甜椒（1998）、抗病毒西红柿（1998）以及转基因番木瓜。在上述转基因作物中，种植面积最大的是抗虫棉，已经成为我国主要的棉花来源。

可以看出，我国进口和自行生产的转基因农作物，包括观赏用、纺织用以及食用的转基因作物及其产品其实早已进入我们的生活，但主要粮食作物，却一直没有被推广。我国是个人口大国，目前已超过13亿人，专家估计我国人口峰值将会在2050年达到16亿人，其后才会缓慢下降。人口的增加意味着更大的粮食需求，利用基因工程培育可抵御虫害的优质品种是水稻增产的重要途径。当然，让生物体表达本来不属于自身的基因，是一种“非正常”的情况，必然会引起各种各样的担心，特别是作为食物时，更会引起人们的疑虑和恐慌。实际上，疑虑和恐惧源于不了解。

转基因食品是新事物，大多数人对它了解甚少，加之宣传不够，而仅有的一些报道也是冠以“转基因食品惊现市场”、“转基因食品偷偷流入市场”这样的标题，使人们对转基因食品的安全性存有疑虑。国际上，尤其是西欧出现了强烈抵制转基因食品的潮流。欧盟对转基因食品的生产和销售制定了一系列法规，要求基因改变不得超过基因总量的1%，市场上出售的转基因食品必须贴标签，还要求有关国际机构对转基因食品的无害性及其对环境的影响进行科学检验。对转基因食品无害性的评估主要有以下几方面：是否有毒性、引起过敏反应、营养或毒性蛋白质的特性、注入基因的稳定性、

基因改变引起的营养效果及其他不必要的功能等。如果在这些方面通过了安全评价和检测的转基因食品，是完全可以放心食用的。早在2005年6月，总部设在日内瓦的世界卫生组织（WHO）就在其发布的一份关于转基因食品的最新总结报告中称，新的转基因食品有希望增进人类的健康和发展，转基因食品只要在流入市场前通过安全评价和检测，消费者尽可以安全享用。其实，转基因食品的安全性通过了全面的安全性评估，尤其是经过微生物毒素、农药残留和营养含量等方面的检测，不亚于传统食品的安全性。例如，转基因抗虫玉米中黄曲霉毒素等微生物毒素含量比常规玉米低。转基因抗虫植物由于减少施用农药的次数和数量，因此降低了产品中农药的残留量，提高了食品中农药残留方面的安全性。有的转基因食品更营养，如提高β-胡萝卜素含量的转基因水稻，对克服贫困地区因维生素A营养缺乏导致的夜盲症将起到积极作用。有的转基因技术也可提高水稻中铁元素的含量，能改善亚洲妇女常见的贫血症。应用转基因技术还可以减少某些食物中的致敏成分，使得对这些食物过敏的人群也可以放心地食用。利用转基因技术还可改变种子油的成分，降低饱和脂肪酸的含量，或降低重金属在果实、种子中的沉积等，使食品朝着更健康更营养的方向发展。

英语中有一句谚语，a knife can protect you，but kill others（刀子可以自卫，也可以杀人）。人类认识到原子能的威力源于第二次世界大战中美国投放在日本的两

颗原子弹，原子能的首次登场就向世界展示了其毁灭性。然而今天，世界各地大大小小的核电站正在向人类提供廉价清洁的能源，为人类的发展做出了巨大的贡献。转基因技术与原子能一样，是一把双刃剑，技术本身没有对错，关键在于掌握了技术的人怎样去使用该技术。转基因技术是现代生物技术的核心，运用转基因技术培育高产、优质、多抗、高效的新品种，能够降低农药、肥料投入，对缓解资源约束、保护生态环境、改善产品品质、拓展农业功能等具有重要作用。目前，世界许多国家把转基因生物技术作为支撑发展、引领未来的战略选择，转基因技术已成为各国抢占科技制高点和增强农业国际竞争力的战略重点。在这一方面，中国绝不应该落后于世界发展潮流，应该大力发展转基因技术，创新自主知识产权，为我国的农业发展和科技进步做贡献。在这个过程中，科学工作者应该发挥应有的作用，创造出可靠安全高效的转基因农作物品种。同时，管理工作者应该努力提高管理水平，加强对转基因技术的监管，建立高度科学的、严格的农业转基因生物安全性评价与管理体系，确保正确安全使用转基因技术。

中国农业应当选择生物技术

陈茹梅
中国农业科学院生物技术研究所

“仓廪实而民知礼节”，将2 000多年前的政治家管仲说的这句话翻译并稍微引申一下，意思就是粮食安全影响到国家安全。仓廪如何才能“实”？这一重大农业生产问题的出路在哪里？

一、中国农业现状

当前，中国农业生产面临的主要问题和矛盾是什么？用以下16个字基本可以概括：人多地少，环境污染，资源消耗，气候异常。

我国是一个农业大国，底子薄，社会生产力不发达，80%的人口生活在农村，仍处于社会主义初级阶段，人口多耕地少的矛盾异常突出，这个矛盾还将随着人口增长和工业的发展而更加尖锐。我国农业具有精耕细作的优良传统，从传统技术的角度看，农业已达到相当高的水平。近代农业，主要是以“石油”为主的“工业式农业”，它虽然使劳动生产率和土地生产率较之传统农业成倍、成10倍地提高，但这种方式不但不

能维护和提高土地的自然肥力，而且还严重损害着它，导致农业资源的破坏和生态环境恶化。当前，农业面临严重挑战，突出表现在种植业生产上，粮食徘徊不前，棉花出现滑坡，油料开始减产。自然资源相对不足、分布不均匀或不能充分利用是影响农业持续发展的一个重要问题。农业的物质和技术基础脆弱，农用物资供应不足。长期以来，我们靠消耗大量资源来发展经济，多数产业的技术和管理落后，产品质量差，经济效益低，社会劳动生产率只相当于世界先进水平的5%左右，这些差距归根结底是科学技术水平和管理水平的差距，如果没有科学技术上的新突破，农业生产很难获得大幅度增长，很难再上一个新台阶。离开科技进步和科学管理，不可能在有限的耕地上生产出足够的粮食和其他农产品，更不可能在人口增加的情况下，保持目前的温饱水平，更谈不上向小康以至更高水平前进。

为什么要把推进转基因新品种产业化作为国家战略？道理很简单：中国人口太多，耕地太少，用传统农业技术已经无法解决国人的吃饭问题。中国自己生产的粮食只能养活95%的国人，要保证余下的5%的人不饥饿，每年就不得不进口数千万吨粮食。为了保持粮食的产量不下降，我们不断加大化肥用量，“成功”摘取了世界最大化肥生产国和消费国的两顶“桂冠”。据新华网2006年10月25日的报道，我国2006年有800万吨化肥缺口要从国外购买，“我国高达67%的化肥用在粮食作物上，接近50%粮食产量来自于施用化肥”。大量

化肥从农田排放到环境中，造成水体污染，很多水库、河流、湖泊实际上变成了粪池。为了减少越来越严重的虫害造成的粮食减产，我们还不断加大农药用量，又一次“成功”摘取了世界最大农药生产国和消费国的另两顶“桂冠”。据拜耳中国官网2009年3月18日发布的消息：“中国农药使用过程中还存在施药机械落后、用药超量和超范围使用的问题。据统计，中国每年农药的使用面积达1.67亿公顷以上，受农药严重污染的面积达0.13亿公顷，占全国耕地面积的1/7以上。中国农药有效利用率不到30%，其余部分包括有毒有机溶剂和助剂经迁移转化残留于土壤、水体及大气环境中，对环境和人体健康构成潜在危害。”巨量的化学农药在毒杀粮食害虫的同时，还毒杀了害虫的天敌和有益微生物，增强了害虫的抗药性，并残留在环境中和我们的食物中。

世界最大的水稻生产国和消费国是我们，世界最大的化肥生产国和消费国也是我们，世界最大的农药生产国和消费国还是我们！中国用世界8%的耕地养活了世界22%的人口，消费了世界35%的化肥和33%的农药（进口农药占1/4）。食品安全问题堪忧！据中国植保咨询网2009年9月1日报道，我国每年农药中毒人数有10万之众，致死率约20%。农药残留和污染造成的病死人数至今尚无官方统计，想必更是一个惊人数字。

种植传统杂交稻不可缺少的化肥、农药及其巨大需求导致化肥和农药的价格持续上涨，造成水稻生产成本

越来越高。农民种水稻赚不到钱，国家只好提高粮食收购价，这又导致超市里的食品不断涨价。10 多年前，我们用 0.2 元能买 1 千克大米，现在，我们用 0.2 元甚至买不到 0.1 千克大米。

产量——求大于供，质量——农药残留，成本——节节攀升，粮价——不断上涨，生态——严重污染，耕地——日趋减少。这就是中国农业的现状。

二、国际竞争日趋激烈近乎白热化

（一）保障国家粮食安全，民族种业要做大、做强

我们不妨先看看《南方农村报》2009 年 12 月 8 日的一篇报道：国外种业巨头对中国市场的占领。“我国 8 000 多家种子企业，没有一家市场份额达市场总量的 5%，前 20 强的销售额加起来还不如一个孟山都”。“2000 年，我国种业市场对外开放，美国杜邦、美国圣尼斯、瑞士先正达、荷兰瑞克斯旺等外资种业集团趁机大举抢滩中国市场”。“2006 年，我国前 10 大企业的销售总额为 48 亿元，仅相当于全球 10 强种子企业销售额的 6%”。“韩国进口的萝卜种子 800 元/千克仍供不应求，国产萝卜种仅 8 元/千克，却无人问津；国外引进的杂交芥蓝种子 600 元/千克，而国内自繁的芥蓝种低至 60 元/千克也无人买”。“据了解，目前国内蔬菜种子 50% 以上的市场份额已被外资占领，几乎涉及所有蔬菜品种。最近几年，国外大公司又进行联合，开始进军我国大田农作物种子市场”。“早在上世纪 80 年代，

美国孟山都、法国利马格兰、瑞士先正达等陆续在东部地区设立办事处。由于种子对当地气候、土壤有一定适应性，外资种业加紧实施管理人员和技术研发等方面的本土化策略。‘洋品种’蔬菜依仗其在品质、产量、抗病性等方面的优势，占据市场80%以上利润。种子售价之高，令人咂舌，荷兰甜椒品种开出了每克种子180元的天价，1克种子相当于1克铂金”。

换句话说，跨国种业凭借强大的技术、资本、营销优势，基本上控制了从粮食到蔬菜的中国种子市场。只有一个例外，这就是水稻种子。水稻是中国的主粮，一直以来都是中国农业科技人员的主攻对象。因此，中国水稻育种技术在世界上是领先的。在转基因研发领域拥有绝对超强实力的外国种业巨头对此一直虎视眈眈。控制水稻种子市场的意义绝不仅仅是为了多赚中国农民几个铜板，它的政治意义和社会意义更是不可估量。因此，围绕作物种子问题，中国和发达国家之间的资本较量和技术竞争从来就没有停止。中国的转基因水稻获得安全证书，宣告第一回合中国小胜。

（二）跨国公司在国际种业市场上的竞争已对我国形成了强大的冲击，种业危险加大

目前在我国登记注册的外商投资农作物种业公司已有76家，其中包括26家独资公司、42家合资公司、8家中外合作经营公司。而这些名义上只能占合资公司49%股份的公司却实际上掌握着种子公司的核心资源：技术与专利。尽管我国法律规定，外资企业最多只能持

股49%，但国外种业巨头拥有强大的研发能力，有效地实现了外资的实际垄断。我国玉米、大豆和蔬菜瓜果等种业多受控于境外资本，尤其是大豆基本上被国外转基因产品垄断。玉米种子除了少量地域性较强的品种外，很少能见到纯粹的国产种子，已呈全线失守之势。而在我国具有传统优势的杂交水稻领域面临的冲击也在加大。更严重的是，跨国公司通过控股、合建研发平台、资助育种项目、建立销售网络等方式全线布局我民族种业，从研发资源到种子市场经营资源逐渐掌握控制权，将直接威胁到我国农业的命脉。

自2000年《中华人民共和国种子法》颁布、种子市场放开以来，国内种子企业成长时间短，处于发育的幼嫩期，资源、技术、资金及人才基础薄弱，除极少数企业在育种方面自主投入外，大多数种子企业甚至没有研发机构和科研人员，很难形成一定的育种实力，更谈不上成为国际化生物育种企业。目前真正可以在科研方面每年有百万元以上投入的国内企业，全国还不到10家。

据统计，目前种子企业在国家注册的3 000万以上注册资金的有120多家，在省级注册的500万元以上注册资金的有7 000多家。如此多的种子经营单位导致我国种子行业过于分散，经营规模小，经济效益低下，竞争力缺乏。目前大宗农作物种子业务年销售额超过5亿元的企业不足3家（在国内市场竞争中还是有较好的表现），而且没有一家企业在不同大宗农作物种子业务

的市场份额中能够超过10%，没有一家企业年利税能够超过1亿元，大部分种子企业经济效益不稳定，波动频繁。以上国内公司在国际上的影响相当有限，与国际大公司相比，在规模上差距非常巨大，以2008年度销售额为例，我国前20强种子企业销售额的总和仅相当于美国孟山都公司销售额的22%。

跨国公司凭借他们在人才、技术、资金、管理、营销等各个方面的强大优势，纷纷进入中国，抢占中国市场份额，使中国的农业生物技术面临一个严峻的国际竞争势态。世界前10强的种业企业在世界种子贸易额中所占份额达35%，而我国前10强种业企业同期只占全球种子市场销售额的0.8%。以孟山都为例，2008年净销售收入113.65亿美元；2009年第二季度，包括转基因品种在内的玉米种子销售毛利润达到14.12亿美元，增长20%；而包括转基因品种在内的大豆种子毛利润达到3.73亿美元，增长39%。而与之形成鲜明对比的是，中国的种业公司的业绩却不容乐观。登海种业公司2008年实现营业总收入4.15亿元，净利润257.59万元，而其销售收入的主要来源则是与美国先锋公司合作的品种，其中登海先锋的先玉335销量在2008年突破1万吨，毛利率为70.83%。登海先锋种业公司是《中华人民共和国种子法》正式实施后首家中外合资种业公司。公司近两年的业绩增长主要源于登海先锋的利润增长。

世界五大种业公司先锋、孟山都、先正达、利马格兰、圣尼斯等不到10年时间已在中国种子市场站稳了

脚跟，对中国种业的发展形成了巨大的冲击。国内种业发展举步维艰，对民族种业发展和国家粮食安全是极大的挑战。

不仅是种业，在加工和商品零售业，外资逐步控制我国市场的局面也不容乐观。例如，现在我国的食用油加工企业几乎被“四大粮商”完全控制，政府通过宏观调控希望食用油市场价格平稳，而“四大粮商”操控的企业表面上完全同意，但是却在关键时刻，借口检修轧油加工设备，有意通过停产控制存量，引致销售商感觉货源紧张，囤货惜售，搞得人心惶惶，价格悄然上涨。这仅仅是食用油，如果我们的粮食生产和加工将来也被外资公司控制，那么对民众生活的影响将会不堪设想。一些人在国外别有用心的组织的煽动下，盲目反对转基因，反对生物技术育种的产业化，甚至滥用舆论压力向政府和民众传递错误的信息，这样做只能导致我们贻误时机，把我们国家的粮食安全拱手交由外资公司去控制，最终形成“人为刀俎，我为鱼肉”的被动局面，甚至成为他国和我国政府谈判的要命的“筹码”，那更加祸国殃民。

三、生物技术与常规育种——“1 +1”大于2

农业八字宪法“土、肥、水、种、密、保、管、工”，种子占有非常重要的地位。搞生物技术丝毫也不排除其他农业增产措施，如传统常规技术和精细农业，

相反，应该相互结合。转基因技术育种就是在最好的常规品种基础上进行转基因。目前的良种是高新技术的载体，种子对农业增产的贡献率大约在30%～40%，良种还影响到八字宪法中的其他措施。如孟山都玉米单粒播，研制转基因新品种可以减少化肥使用、节水、耐旱等。

要实现转基因产业化必须与常规技术结合，常规技术是基础，生物技术是常规技术的重要补充和发展，它不能代替常规技术，它必须在最高水平的常规技术基础上来解决常规技术不能或者不容易解决的问题，这是一种重要的补充和发展，而且它的发展不是一般发展，是方向性的发展，必须以最优良的常规品种为载体来实现，必须建立在先进的种业基础上。如国外抗除草剂玉米和大豆的培育是以优良的品种作为初始材料进行的，同时在培育过程中始终与常规育种技术紧密结合，进行转基因新品种的选育。因此，生物技术与常规技术绝对不是对立的，也不是简单的结合，所有有利于常规技术的革新和改进以及品种优化，都将为生物技术的发展提供坚实的材料基础，都是生物技术非常欢迎的。

以转基因技术为核心的生物技术育种和常规育种的结合将会是“如虎添翼”，得到“1+1大于2”的令人欣喜地结果！

结语

农业是国民经济的基础，农业持续发展是整个长期

稳定、协调发展的决定性因素，关系到建设、改革和社会安定的全局。邓小平指出，“将来农业问题的出路，最终要由生物工程来解决，要靠尖端技术”。在未来世界范围的竞争中，生物技术占有举足轻重的地位，它的成败对于以农业为主的发展中国家所产生的影响更为重要。尤其像中国这样以传统农作物为主要出口农产品的国家，随着生物技术的迅速发展，非生物技术的传统农产品将在产量、质量和价格上纷纷失去竞争力。

2007—2010 年连续 4 年，4 个中央 1 号文件，一次比一次更清楚、一次比一次更明确、一次比一次更具体地向全中国、全世界传递出重要信息：推进转基因新品种产业化是国家战略。这是国家的战略选择，更是当今国际竞争形势下针对我国国情和生态环境下的必然选择。

水稻也能穿上“铁布衫”

魏守辉

中国农业科学院植物保护研究所

水稻是世界三大粮食作物之一，作为水稻生产和消费第一大国，我国有一半以上的人口以水稻为主食。为了解决人们温饱问题，新中国成立以来，我国大力发展水稻生产，总产量稳步提高，这为保障国家粮食安全做出了巨大贡献。

但是，我国水稻单产相对较低，面对日益缩减的耕地和膨胀的人口，增产的任务还非常艰巨。杂草危害是影响水稻产量的重要因素之一，一般可致水稻减产 1 ~ 2 成，草荒严重的田块甚至颗粒无收，草害防治已成为困扰水稻生产的最大问题之一。近年来，随着我国农村劳动力的转移和水稻轻简种植方式的推广，草害问题更为突出。

除草剂是防除稻田草害的一把利刃，使人们可以快刀斩乱麻、多快好省地解决杂草的危害问题。然而，稻田的“刀”（除草剂）品种繁多，性能各异，尽管可以实现“稻草光”、“稻草完”、“一次净”，但用好这些“刀”也不是件容易的事儿。需要使用者明确基本的用

“刀”原则，要求根据不同的杂草选择适宜的“刀”，掌握好使用时机、使用力度及合理的挥“刀”技巧，并且还要严格控制环境条件，否则这些“刀”往往会敌我不分，伤及无辜。虽然这些秘籍都刻在“刀鞘”（除草剂标签）上，但很多人通常视而不见，总是喜欢拿“刀”随便乱挥乱砍。

水稻在刀光剑影中苟且偷生，其处境自然异常的艰难，如果再要求它为我国13亿人口提供口粮，那真是为难它了。不过，近年来科学家想出了一个办法，可以给水稻穿上“铁布衫”，纵使千刀万剐其自巍然屹立、毫发无损，而杂草不管大小老幼则纷纷茎断根绝。什么方法能产生如此神奇的效果呢？

是转基因！

原来，有一种除草剂叫草甘膦，常被誉为除草剂界的屠龙刀，刀刃锋利无比，对植物界的所有花花草草不仅吹毛立断，而且可以斩草除根。不过，科学家从其他生物体内找到了一种抗除草剂草甘膦的基因，通过转基因技术，可以将这种基因导入水稻体内，水稻获得这种基因后，犹如穿上了“铁布衫”，可以特异性地抵抗草甘膦的误杀，而杂草则毫无防护，只有坐以待毙了。

水稻穿上了“铁布衫”，农民又有屠龙刀在手，这样防除稻田杂草就方便多了。不管是水稻育秧田、移栽田或抛秧田，是旱直播还是水直播；不管是禾草、阔叶草，还是莎草；不管杂草大小、多少，在屠龙刀的刀锋

下均纷纷折戟身亡。

穿上“铁布衫”的水稻和屠龙刀草甘膦双剑合璧，真是天下无敌！

【作者简介】

魏守辉，男，生于1974年，博士，副研究员。主要从事杂草生态与抗除草剂转基因作物安全评价研究。

我国为什么要发展转基因技术

卢长明

中国农业科学院油料作物研究所

一、我国的人口增长与食物保障问题

中国用大约7%的世界耕地，喂养超过20%的世界人口。中国生产的稻米占世界30%，玉米占20%，棉花占26%，油菜子占33%。尽管如此，我国自产的农产品远远不够自己消费。我国每年要进口3 000多万吨大豆（占消费量的60%以上），还要进口数量不等的玉米、棉花和稻米等作物产品。1992年以来，我国谷物增长幅度低于人口增长幅度，我国对国外农产品的依存度在逐年上升。如何保障我国的食物安全和可持续发展，问题摆在了所有中国人的面前。

当前，影响我国粮食生产的关键因素是粮食播种面积和粮食单产水平。由于工业化和城镇化进程加快等，我国粮食总播种面积呈下降趋势，但随着科技进步、农业投入加大等因素影响，我国粮食作物单产水平却不断上升。2008年我国粮食单产提高对总产提高的贡献率达到81%。据联合国粮农组织预测，未来世界粮食增

产总量约20%来自播种面积的增加，约80%来自单产的提高。可见，确保粮食安全的关键是稳步提高粮食的单产水平。

二、良种的重要性

良种推广、化肥应用、灌溉和提高机械化水平是粮食增产的主要手段。在单位面积产量增加的要素中，良种的贡献率占40%以上，是提高粮食单产的首要因素。化肥使用在过去几十年里发挥了重要的增产作用。但现在我国化肥的使用量已经达到4 600多万吨，占世界的1/3，单位化肥使用量已经是世界平均水平的3.5倍，继续通过增加化肥使用来增加产量其空间是非常有限的。

品种的遗传改良不但可以增加产量，改良品质，提高品种的抗病、抗虫和抗旱能力，还能培育适合机械化操作以及适合各种环境条件的品种。良种一旦培育成功可以在不增加投入的情况下获得更高的经济效益。在世界农业生产中，良种发挥了十分重要的作用。

在高产育种方面，墨西哥玉米小麦改良中心培育出一批矮秆小麦品种，使小麦产量从每公顷3～5吨，提高到8～9吨，使墨西哥从原来的一个小麦进口国变为出口国。菲律宾国际水稻研究所培育出一批水稻矮秆品种如“IR8”等，使水稻单产成倍增加，单产达7 500千克/公顷以上。我国1949年水稻单产仅1 890千克/公顷。新中国成立后水稻品种经过数次更换，每次更换都提高10%左右水稻产量。杂交水稻品种的增产作用

尤其明显。超级稻采用理想株型塑造与籼粳杂种优势利用相结合，从而大幅度提高稻谷产量。自 1998 年以来，农业部确认了 69 个超级稻品种，这些新品种、新组合“百亩片”单产均达 10 500～12 000 千克/公顷的潜力。

在品质育种方面，美国培育出玉米品种“U-24”，蛋白质含量高达 20%，赖氨酸含量达 5%。菲律宾国际水稻研究所育成 IR20、IR22、IR24 等一批高产优质品种，蛋白质含量比一般品种提高 2%。我国传统油菜品种芥酸含量高达 40% 以上，目前的新品种芥酸含量都在 3% 以下，菜子油的品质得到显著改善。

在抗性育种方面，菲律宾国际水稻研究所已育成一批抗稻瘟病、病毒病、白叶枯病、稻飞虱、稻叶蝉和二化螟等多抗品种，如 IR36、IR64。美国孟山都公司通过转基因方法育成抗虫、抗旱和抗除草剂玉米品种。我国广东育成的窄叶青水稻品种高抗稻瘟病，中国农业科学院利用转基因技术育成抗棉铃虫棉花品种。

育种不但在高产、优质、抗病、抗虫、抗逆境等方面成果卓著，还在不育系、高光效品种、肥高效品种选育等方面发挥了重要作用。随着生物技术的发展，育种领域不断拓展。很多用传统育种方法无法实现的目标都将成为可能。例如，利用转基因技术获得耐烂西红柿品种、培育自然界不存在的蓝色玫瑰品种、获得高维生素 E 金大米、生产高附加值药品的油菜品种等。利用生物技术可以使传统品种的利用价值大大拓展，经济价值和社会价值都将显著提高。

三、转基因技术是传统育种技术的延伸

培育良种的方法主要有：①选择育种：直接从一个品种群体中选择自然变异个体，培育成新品种。②杂交育种：通过不同品种杂交和多代自交，在后代中选择具备双亲优良特性的品种。③诱变育种：利用射线等物理因素或诱变剂等化学因素处理植物组织，人工创造遗传变异，从中选择所需要的突变类型。④转基因育种：从一种生物中分离需要的目的基因，导入到另一物种中，培育新品种。

（一）选择育种

100 年前，人们主要利用生物群体自然存在的变异，通过人工选择获得改良的品种。这种方法至今仍有使用。例如，在一块高秆水稻田中，发现有一株水稻长得很矮，不倒伏，产量高，于是留下成为抗倒高产品种。这种品种改良方法的遗传基础是将自然中存在的基因突变保存下来。自然突变的频率一般只有 $1/10^8$，获得自然优良突变的可能性还要小很多。利用自然界不存在的变异选择育种是无能为力的。

（二）杂交育种

1900 年以后，遗传学迅速发展，人们发现可以通过杂交将不同品种的优良特性聚合在一起，获得更加优良的品种。例如，将高产的感病水稻品种与低产的抗病品种杂交，在后代中选出高产抗病的品种。这种方法已经应用了近 100 年，至今仍是主流的育种方法。

不同物种由于存在生殖隔离，一般无法杂交，因此杂交育种主要局限在同一物种的不同品种之间进行。由于品种间的遗传变异是有限的，利用品种间杂交的育种方法其潜力已经趋于耗尽。为了拓展育种的变异来源，人们一直在不断寻找打破物种隔离的方法，例如利用远缘杂交手段创造新的变异或实现不同物种间基因的重组。

远缘杂交在育种中发挥了十分重要的作用。例如，动物中的骡子来自驴和马的远缘杂交。普通小麦和甘蓝型油菜都是来自于不同物种的远缘杂交。我国的杂交水稻使用的不育系就是来自野生稻与栽培稻远缘杂交。但是，远缘杂交一般非常困难，只有少数近缘种之间可以杂交成功。近 30 年来，人们研究了很多促进远缘杂交成功的方法，如花粉蒙导法、子房培养法、胚珠培养法等。尽管如此，远缘杂交仍然不能摆脱物种隔离因素的影响，绝大多数物种间仍然是不可能杂交成功的。即使杂交成功，杂交后代也很难存活和繁衍后代。

（三）诱变育种

诱变育种是在人为条件下，用物理、化学因素诱导动、植物的遗传特性发生变异，再从变异群体中选择符合人们某种要求的单株/个体，进而培育成新的品种或种质的育种方法。它是继选择育种和杂交育种之后发展起来的一项现代育种技术。理、化因素的诱导作用，使得植物细胞的突变率比平时高出千百倍，有些变异是其他手段难以得到的。

据世界原子能机构1985年统计，当时世界各国通过诱变已育成500多个品种，还有大量有价值的种质资源。当然与其他技术一样，诱变育种也有自身的弱点：一是诱变产生的有益突变体频率低。二是还难以有效地控制变异的方向和性质。另外，诱发并鉴定出数量性状的微突变比较困难。

（四）转基因育种

随着科学技术的发展，人们现在可以打破物种界限进行基因转移，从而达到品种创新和品种改良的目的，这种不受物种生殖隔离限制而进行基因转移的方法就是转基因技术。它是将已知功能的基因人工分离出来后直接加入到生物体内使生物发生相应变异的技术。

转基因技术与传统育种技术有两点重要区别。第一，传统杂交育种技术只能在相同生物物种内进行基因转移，而转基因技术则不受生物物种生殖隔离限制，可以在不同物种间转移基因。例如，将鱼的基因转到农作物上提高农作物的抗寒性，将细菌的基因转到农作物上使农作物免受害虫危害等。第二，传统的杂交育种技术是在生物个体水平上进行的，两个品种杂交后，来自母本的基因和来自父本的基因混到一起，通过父母基因的重新组合产生新的变异。而转基因技术是从一个物种获得一个功能清楚的基因，并将这个基因转移到需要它的物种中，达到品种改良的目的。因此传统的杂交育种往往是一次转移大量的基因，对于后代的表现较难预期和把握。转基因技术只转移一个或少数具有明确功能的基

因，后代表现容易预期和把握。可见，转基因技术是传统育种技术的发展和延伸。

我国人口多，人均资源贫乏。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，发展转基因技术是不可犹豫的选择。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。可见，转基因技术的应用潜力是非常巨大的，不能不发展。

四、正确认识转基因技术

（一）转基因技术完全可以安全应用

1996 年以来，我国大面积种植转基因抗虫棉花，美国和阿根廷等国大面积种植转基因抗除草剂大豆、抗虫玉米，加拿大大面积种植抗除草剂和雄性不育转基因油菜。2009 年全球转基因作物种植面积持续强势增长，达到 1.34 亿公顷，六大洲的 25 个国家均有种植。2006 年美国含转基因成分食品超过 3 000 种，大豆、玉米、油菜产品以及棉籽油早已成为人们餐桌上的食品。世界上数亿人口食用多年，并未真正发现转基因产品对身体健康产生损害，也未发现转基因生物危害环境，说明转基因生物并不可怕，其安全性是可控的。

（二）转基因成分不等于毒药

很多人不了解什么是转基因成分，以为转基因成分一定对健康有害，是认识的误区。

转基因成分是指食品中含有的外源基因 DNA 以及由它编码的蛋白质。转基因产品不一定都带有转基因成分。不带转基因成分的转基因产品与非转基因产品是没有差异的。例如，转基因大豆油与非转基因大豆油的化学成分完全一样，用灵敏的仪器都很难检测出转基因成分。这是因为，大豆油是从大豆中提炼出来的脂肪酸油脂，其他成分（如 DNA 和蛋白质）都被去除。

含有转基因成分的食品不一定不安全，因为转基因产品的基因和编码的蛋白质都进行了筛选和安全评价，采取了个案分析原则进行具体评价（经过安全评价和批准上市的产品是安全的），不含有转基因成分的食品应该与传统食品没有区别。如果不是专门改变营养成分，一般来说，精炼食品（油脂、白糖、淀粉等）与常规食品是完全等价的。

转基因品种在商业化生产之前，必须按照实质等同性原则对化学成分进行分析，进行毒性和过敏性试验，化学成分发生了非预期显著改变，或者证明有毒的转基因品种是不能批准商业化的。

（三）转基因品种对环境的影响与非转基因品种是等同的

有人担心转基因品种危害环境。实际上，转基因品

种对环境的影响与非转基因品种是同等的。品种对环境的影响取决于品种的特性，例如是否抗虫，抗什么虫，而与是否转基因无关。抗除草剂品种对环境的影响也是同样的道理。并不因为抗除草剂特性是来自转基因技术，它的风险就更大。

与非转基因品种一样，转基因品种也可以对环境造成危害。如抗虫的非转基因品种种植时间长了，可能变得不抗虫，这个问题在转基因品种中同样存在。即使是非转基因品种的推广，也要充分考虑环境的安全性问题。转基因品种推广之前都要求进行环境安全性评价，只有对环境安全的品种才能推广应用。

（四）要求转基因生物“零风险”是不科学的

任何科学技术在发展过程中都存在一定风险，转基因技术也不例外。将“转基因”混同于农药中毒、食品污染是认识的误区。科学家通过科学研究，已经排除或澄清了许多风险问题，要求转基因生物“零风险”等提法并不科学。科学、理性的态度是加强管理、深入研究，在努力预防和规避风险的同时加快发展。转基因技术的机遇和风险同在。因为转基因技术可能带来风险就拒绝它是不明智的。汽车会压死人是否要生产汽车？原子弹可以毁灭人类是否需要发展原子能技术？细心思考一定会得到结论。

转基因生物的研制都要经过严格的风险评价，只有政府管理部门认为安全才会批准释放，不安全的东西是不能释放的。

五、发展转基因技术不可犹豫

随着人和水稻全基因组测序的完成，世界进入了后基因组时代，基因的争夺战已经打响。利用已知基因的功能为人类造福成为未来世界发展的必然趋势。为了抢占农业竞争的制高点，世界主要国家都高度重视农业转基因技术的创新和产业化，纷纷加大投资力度，加速转基因品种的生产应用。美国的孟山都公司、德国的拜耳公司、瑞士的先正达公司等都投巨资发展转基因技术。2008 年，全球有 25 个国家累计批准 24 种转基因作物商业化应用。以抗除草剂和抗虫为主的大豆、玉米、棉花、油菜等转基因作物种植面积，已从 1996 年的 170 万公顷迅速增至 2009 年的 1.34 亿公顷，增幅高达 79 倍。以转基因技术为核心的农业生物育种产业已成为美国等发达国家的重要新兴产业。2009 年止，美国、加拿大、中国、欧盟和日本共进行转基因作物田间试验共计 28 182 次，美国占世界转基因作物田间试验 52%，加拿大占 28.7%，我国占 10%，欧洲占 8%，日本占 0.5%。可以看出世界转基因技术的基本态势。欧盟尽管过去对农业转基因技术应用态度谨慎，但 2008 年商业化种植转基因作物的欧盟国家已增加到 8 个，作物种类有所拓展，态度日趋积极。巴西、阿根廷、印度等发展中国家对转基因作物研发投入成倍增加，发展势头尤为强劲，已成为全球转基因生物育种一支重要力量。日本和欧洲各国虽然在转基因育种方面进展缓慢，但是它

们在基因克隆与功能基因研究方面非常积极，很多方面明显领先于中国。

全球化的今天，落后就要被欺负。我国在转基因育种研究方面与发达国家已经形成明显差距，因此，在发展转基因技术方面我们不能够再犹豫。我们应该坚决支持转基因技术的发展。

【作者简介】

卢长明，男，1959 年出生，博士，研究员，博士生导师。主要从事基因工程与转基因安全研究工作。研究领域包括：油料作物基因工程、转基因产品成分检测和转基因植物环境安全研究。

转基因技术与转基因作物

吉万全

西北农林科技大学

20世纪80年代发展起来的转基因技术，似乎以超出常规经验的速度“闯入”了普通公众生活。与日俱增的转基因产品（棉花、玉米、大豆、油菜、西红柿以及一些高效廉价的药物、疫苗等）出现也让公众感触到了这种神奇的转基因技术，似乎正在使传统的植物和动物像工业品一样，按照人们的经验设计而制造。面对这种既能改善和方便人们生活，又极大超出了公众常识理解与判断的高新技术，难免也给人们带来了众多的生物安全疑虑。只有了解转基因技术，才能更为科学地理解和判断转基因作物及其产品。

随着生物基础知识的普及，人们对“基因”一词已不再陌生。基因是决定生物各种特性和在繁衍过程中能向后代遗传的物质。现代的转基因技术，就是指人们通过一系列实验室操作，将从动物、植物或微生物中分离得到的有利基因（如抗病、抗虫、高产、优质等）直接转入到另一种生物体，使之赋予更优良或新性状并能稳定遗传的方法。转基因作物，即是通过这种转基因

方法对作物进行品种改良的产物。就作物本身而言，自然界也一直不停地进行着随机的“转基因”现象（如天然杂交等），千百年来人类通过对这种“转基因产品”有意无意地选择与栽培形成了许多比原始种更适合人类需要的品种和类型。植物杂交育种技术是人类能主动创造植物新品种、提高粮食产量和品质进而托起农业生产文明的重要技术革命，而其本质也是通过控制授粉方法强制不同品种和类型植物间进行“转基因”，进而选择出聚多数优良基因于一体的新品种。由于传统的杂交育种技术一般只能在同一物种内实现基因转移，而且这种转移多以成群基因同时相互随机方式进行。因此，也极大地限制了优良基因的利用范围和对新品种特性出现的预见性。现代转基因技术，则可通过实验室方法提取和改造不同物种优良基因，打破不同物种间天然杂交屏障实现生物优良特性的聚集与组合，为更有效地创制植物新品种开辟了新的发展空间。

尽管转基因技术与传统育种技术是一脉相承的，其本质都是通过获得优良基因进行遗传改良，但这种以前所未有的速度和效率，几乎能“随意”改变生物遗传本性的高新技术所创造生物产品，已大大超出了公众的常规想象范围。有人担心，利用转基因技术改变生物，会打破生态平衡，带来毁灭性的生态灾难；还有人担心，在转基因技术产生巨大利益的另一头会不会潜伏着不为人知的“异形”怪物，等等。这些担心与疑惑有其一定的理由，任何新技术的诞生和利用会存在利益与

潜在风险的矛盾。事实上，目前的转基因操作一般都是经过明确定义的基因，功能清楚，后代表现可准确预期，并通过了严格的安全评价。因此，转基因技术是对传统技术的发展和补充，通过规范管理、科学评价、严格检测和深入研究，完全可以预测、消除和防范各种风险。统计资料表明，2009 年全球已有 25 个国家商业化种植转基因作物，另有 32 个国家批准转基因产品进口或进行大田试验；全球大豆种植面积的 77%、棉花总面积的 49%、玉米总面积的 26%、油菜总面积的 21% 均为转基因品种。转基因作物育种推广应用速度之快，创造了近代农业科技发展的奇迹。

【作者简介】

吉万全，男，1963 年生，博士，教授。从事小麦生物技术与育种研究。

转基因技术应用于农作物新品种培育的必然性

李文滨

东北农业大学

作物增产、农民增收和保障粮食安全是我国经济和社会发展的重要基础。改革开放以来，我国农业生产取得了巨大成就，成功地解决了13亿人的温饱问题。但随着人口的增长和投入的增加，环境恶化和环境资源的消耗，我国农业生产中的一些限制因素逐渐凸显，农业的发展又面临新的严峻挑战：①主要作物的病虫危害逐年加重，每年喷施的大量农药既加重了农民负担，使农民增产不增收，又严重破坏了人类赖以生存的生态环境，还造成了食物中的大量农药残留，危害人类健康。②我国大部分地区作物生产的施肥量已经超过了土地的承受能力，大量施肥除加重农民负担外，土壤退化、江河湖海的污染已对农业和环境可持续发展构成严重威胁。③旱灾频繁，受旱面积大。除西北长期缺水、华北旱灾频繁外，旱灾在长江流域发生的频率近年也有很大提高。据统计，我国农业耗水约占全国总耗水量的70%，而水稻的用水几乎占整个农业耗水的70%，水

资源短缺的矛盾日趋突出。④我国北方及沿海地区盐碱地面积很大，南方热带、亚热带普遍为酸性土壤。这些不良环境对作物的种植和产量潜力的发挥有很大的限制作用。⑤我国的主要作物的品质较差，既不能适应人民生活水平提高的要求，又因其偏低的售价影响了农民的积极性，亟待改良。⑥近 20 年来各种作物产量均呈现徘徊局面，新育出的品种在产量潜力上没有大的突破，最近几年更是由于种种原因，多种作物单位面积产量出现下降的趋势。

面对着越来越大的保障农产品供给的压力和今后 10 年增产 500 亿千克粮食的目标，面对着耕地锐减、资源短缺、环境污染、灾害频发等诸多的矛盾，超过 4 000 万农民脱贫致富的艰巨任务，保障粮食等主要农产品有效供给仍是我国农业和农村经济发展的首要任务。以转基因技术为核心的生物技术是一门新型的、综合性的学科。按照预先的设计改造生物体（包括植物、动物和微生物）或加工生物原料，为人类生产出所需的产品（如粮食、医药、食品、能源、化工原料等），可以实现传统技术手段的更新，加快农业生产方式的转变，大幅度地提高农业生产力，从而为我国农业科技的发展提供了重要的、难得的发展机遇。

转基因技术被称为“人类历史上应用最为迅速的重大技术之一”。转基因技术与传统育种技术有两点不同：第一，传统技术一般只能在生物种内个体上实现基因转移，而转基因技术不受生物体间亲缘关系的限制，

可打破不同物种间天然杂交的屏障。第二，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经过明确定义的基因，功能清楚，后代表现可准确预期。

由于转基因技术与传统技术的本质都是通过获得优良基因进行遗传改良，因此，将转基因技术与常规育种技术紧密结合，能培育多抗、优质、高产、高效新品种，大大提高品种改良效率，并可降低农药、肥料投入，在缓解资源约束、保障食物安全、保护生态环境、拓展农业功能等方面潜力巨大。

近年来农业生物技术在我国取得了长足的发展和进步，对我国的农业可持续发展做出了积极贡献。上世纪90年代中期转基因抗虫棉成功育成，我国抗虫棉种植率达到了100%，累计推广应用面积已达2 100万公顷，新增产值超过440亿元，农民增收250亿元；降低了70%～80%的杀虫剂用量，有效保护了农业生态环境，减少了农药中毒事故。抗虫棉的开发还有力促进了我国农业生物技术研究水平的提升，推动了新型棉花种子业的形成；产品不仅在国内市场上争得了绝对优势，而且走出国门，在国际棉花种业市场占有了一席之地。

从全球生物技术研究进展及其商业化推广来看，从1986年首批转基因棉花被批准进入田间试验以来，至今已有百余种转基因植物问世，水稻、玉米、棉花、油

菜、大豆、烟草、甜菜、亚麻、马铃薯、西红柿、西葫芦、番木瓜等10余种作物的上百个转基因品种被批准进行商业化生产。国际农业生物技术应用服务组织（ISAAA）发布了全球转基因作物育种产业发展资料。2009年全球有25个国家商业化种植转基因作物，另有32个国家批准转基因产品进口或进行大田试验；包括棉花、大豆、玉米、油菜等作物在内的转基因作物总种植面积继续快速增长，总面积已达1.34亿公顷。全球大豆种植面积的77%、棉花总面积的49%、玉米总面积的26%、油菜总面积的21%均为转基因品种。

转基因作物育种巨大的经济、社会效益和显著的生态效益已得到充分显现，转基因作物安全性进一步得到保障。植物转基因技术的发展是大势所趋，不可逆转。我们应当抓住现代农业发展的契机，推进传统农业由高投入、粗放型向高技术、集约型生产方式的转变。

动物转基因技术的应用前景

张　涌
西北农林科技大学

自 Palmiter 等（1982）把大鼠生长激素基因导入小鼠受精卵，获得超级巨鼠之后，各国科学家对转基因技术应用于动物生产的研究产生了极大兴趣，并相继获得转基因兔、羊、猪、牛等。早期的转基因通过受精卵原核注入方法，即以单细胞期受精卵为靶细胞，利用显微注射技术将构建好的载体 DNA 直接注射入受精卵的雄原核，并将注射的受精卵移入假孕母体输卵管继续发育，获得转基因动物个体。该方法的优点是转入技术相对简单，易于操作。缺点是目的基因是否整合、可否表达等情况无法在细胞阶段得到确证，必须在得到转基因动物后才能验证，这就增加了生产费用和时间。1997 年克隆羊 Dolly 的诞生使得体细胞克隆技术成为制作转基因动物的一种新方法。科学家们将该技术与基因工程技术结合，形成了动物转基因克隆技术，并相继获得转基因克隆羊、转基因克隆猪和转基因克隆牛。这种方法的最大优点是在细胞水平对目的基因的整合和表达情况进行检测，选择目的基因整合在高效表达位点的细胞进

行体细胞克隆胚胎生产，可使获得的转基因克隆动物全部表达目的基因。动物转基因克隆技术的建立和发展极大地加快了动物转基因技术的迅猛发展和进入商业化的步伐。这项技术正在对动物生产产生一场新的革命，并在提高生长速度、生产性能，改善产品品质、抗病育种、功能蛋白生产等方面取得了可喜的进展，显示出诱人的应用前景。

一、动物转基因技术在医药领域的应用

（一）利用转基因动物乳腺生物反应器生产药用蛋白

所谓“基因药物工厂”就是利用转基因动物乳腺生物反应器生产具有生物活性的重组蛋白。药物蛋白虽能在微生物发酵罐中被大量的生产，然而，要保持药物蛋白完整的生物活性，必须对其进行翻译后修饰，而细菌和酵母却不能对药物蛋白进行有效的翻译后修饰加工。利用转基因动物乳腺生物反应器生产药用蛋白不但产量高、成本低，能够保持药用蛋白天然活性，而且乳汁中的蛋白易于抽提和纯化，克服了传统方法中的种种缺陷。目前，利用乳腺生物反应器生产药用蛋白已进入到了商业开发阶段。转基因山羊和绵羊乳腺生产的一些产品，如抗凝血酶Ⅲ（ATⅢ）已被欧盟和美国批准上市，α-抗胰蛋白酶、组织纤溶酶原激活剂（tPA）已进入了临床试验阶段。在生产ATⅢ的同家公司中，已有11种蛋白在转基因山羊乳腺中表达，表达量高达每升1

克以上。转基因兔乳中获得的α-葡糖苷酶具有孤儿药物成分，能成功治疗庞帕氏病（在美国，所谓的“孤儿药物”是指用于治疗那些患者数量少于20万人的稀有疾病药物）。转基因兔乳中生产的C1抑制因子已经过Ⅲ期临床试验阶段并被登记注册。当前一种防治牙病的溶血球菌突变株的抗生素已经过Ⅲ期临床试验阶段，不久的将来有望投入使用。在2008年，全球市场所需的源于转基因家畜的重组蛋白价值超过10亿美元，2013年将达到186亿美元。

（二）利用转基因动物生产抗体

许多单克隆抗体已在转基因山羊乳腺中获得。一种双特异性抗体在转基因牛血液中获得了表达并能从血清中纯化。这种抗体比较稳定，能靶向介导T细胞的激活并杀死肿瘤细胞。在转基因动物方面，最引人注意的进展就是转人工染色体动物的诞生。含有整个人免疫球蛋白重链和轻链基因座的人工染色体转入牛成纤维细胞，然后将阳性细胞作为核移植供体细胞。在转基因牛后代血液中获得了免疫球蛋白的表达。这种染色体系统的应用使得医用多克隆抗体生产迈出了重要的一步。

（三）利用转基因动物生产血液成分替代品

功能性人血红蛋白已在转基因猪体内获得。这种蛋白可以从猪血中纯化，而且其与氧结合的特性和自然态的人血红蛋白相似。然而，用转基因猪生产人血红蛋白的最大障碍就是猪血中人血红蛋白含量过低，有待进一步提高。

二、动物转基因技术在农业中的应用

转基因动物在家畜品种改良方面具有巨大的应用潜力。转基因技术在实际生产中的应用包括：提高家畜奶、肉、毛等产量和品质，提高生长率、饲料利用率，增强家畜抗病能力等。

（一）改善肉质

可通过改变动物体内影响肉质的基因来改善肉质。Rendement Napole（RN）基因与肉质的酸度有关。敲除RN基因后，肉中pH改变，肉的嫩度增加。一些与生长相关的基因也能影响肉质。研究表明，敲除小鼠体内myostatin基因，其产肉性能会大幅度增加。

改变肉中脂肪和胆固醇含量也是改善肉质的一条途径。通过改变脂肪和胆固醇吸收的代谢途径，可使肉中相应的脂肪和胆固醇含量降低。转有菠菜和线虫脂肪酸脱氢酶的转基因猪已经成功诞生，其体内的不饱和脂肪酸明显增加。转有脂肪酸脱氢酶的转基因猪体内横纹肌中不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸比增加，这种富含不饱和脂肪酸的肉质被食用后，有利于降低患中风和冠状心血管病的风险。

（二）提高生长率、饲料利用率

通过转基因技术改变动物饲料利用效率也能提高家畜生产性能。通过改变动物胃肠道中的酶，提高其对营养成分的吸收率，从而提高饲料利用率。例如，可在猪或鸡体内转入植酸酶或木聚糖酶等基因，提高饲料利

用率。

转基因动物为揭示复杂的生长基因调控机制提供了有利的手段。转有外源 GH 基因的转基因家畜和鱼已获得。研究表明，转入 GH 基因的鱼体内 GH 水平的增加使其生长率显著增加了30% ~40%。转入 GH 基因一年后，其体重增加了 5 ~11 倍。将生长激素基因转入猪体内，转基因猪在一些重要的经济性状（如生长率、饲料转换率和脂肪/肌肉比等）表现出了明显的改善。转人胰岛素样生长因子-1 的转基因猪背腰增宽了 30%，瘦肉率增加了 10%，脂肪率降低了 20%。

（三）改善乳质

1990 年 12 月，美国的一家生物技术公司获得 1 头转人乳铁蛋白基因公牛，用该公牛的精液使非转基因母牛授精，生产的雌性后代中有 1/4 在其乳汁中表达了人乳铁蛋白，牛奶中人乳铁蛋白含量为 1 000 微克/毫升。现在该公司已经培育了 100 多头转人乳铁蛋白基因的奶牛。为提高牛奶的营养价值，我国科学家先后获得一批转人乳清蛋白、人乳铁蛋白的转基因羊和转基因牛。这些转基因动物的乳汁更接近人奶，具有比自然牛奶更高的营养价值。

乳酪的产量与牛奶中 κ-酪蛋白的含量直接相关，转入一个超量表达的 κ-酪蛋白基因能够增加奶中 κ-酪蛋白的含量。2003 年，Brophy 等在 *Nature Biotechnology* 上报道，通过转基因克隆技术提高牛自身基因组 β-酪蛋白基因、κ-酪蛋白基因的拷贝数，使牛奶中 β-酪蛋

白的含量提高了8% ~20%，κ-酪蛋白的含量提高了两倍，大大改变了κ-酪蛋白与总蛋白的比例。此外，针对对牛奶过敏的人群和对乳糖消化能力差的人群，国内外科学家正在研发能生产低乳糖和非免疫排斥奶的转基因奶牛。

（四）提高羊毛产量和质量

可应用转基因技术控制毛的质量、颜色、产量甚至收获的难易度。转基因技术已经是用来检测毛质的重要指标。将来可用转基因技术改变羊毛纤维的一些特征，如增加纤维弹性及韧性，降低毛制品衣物的缩水性。

国外研究者尝试在转基因山羊乳中生产一种很有价值的纤维——拟蜘蛛丝牵丝蛋白。蜘蛛在织网时，需要合成7种丝。每种丝都有其不同的作用，并且这些丝不同于普通的丝。其中牵丝蛋白韧度非常强，能伸长35%，其产生的抗拉能量比钢还大。而且，这种纤维可以广泛用于医疗器械、弹道防御、航空和制衣等领域。

新西兰科学家获得转IGF-1基因的绵羊，转基因羊净毛平均产量比非转基因羊提高了6.2%。Bawden等将毛角蛋白Ⅱ型中间丝基因导入绵羊基因组并使其在毛皮质中特异表达，结果转基因羊毛光泽亮丽，羊毛脂的含量明显提高。2005年，澳大利亚科学家通过测定成年转生长激素基因绵羊的生产性能发现，生长速度和羊毛产量都比对照组显著提高。这些研究结果表明，可以通过转基因技术提高羊毛产量和品质，从而培育产毛量高和品质好的转基因羊新品种。

（五）提高家畜抗病性能

奶牛乳房炎是严重危害奶牛养殖业的一种传染性疾病，严重影响奶牛产奶量、乳脂率以及牛奶的品质。世界范围内每年因奶牛乳房炎造成奶产量下降380万吨，直接经济损失高达350亿美元，仅美国的经济损失就达20亿美元。金黄色葡萄球菌是引起乳房炎的主要病原体之一，目前不管是疫苗还是抗体都不能有效地抑制或者抵抗这种葡萄状球菌。2001年，Kerr等将溶葡球菌酶基因转入小鼠乳腺中，发现溶葡球菌素基因高表达的小鼠对由金黄色葡萄球菌引起的乳腺炎具有明显的抵抗能力。2005年Donovan等将编码溶葡球菌酶的基因转入奶牛基因组中获得转基因牛，其乳腺中表达的溶葡球菌酶也可以有效预防由葡萄球菌引起的乳房炎，转基因牛葡萄球菌感染率仅为14%，而非转基因牛对照感染率达71%。Maga等（2006）研究表明，转基因山羊表达的重组溶菌酶能有效抑制引起乳房炎的金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的生长。我国科学家经过多年研究，已经获得转人溶菌酶、人防御素基因的抗乳腺炎克隆牛。

疯牛病（羊搔痒症）是严重影响人畜安全的重大疾病。现已证明，应用转基因技术可有效预防和控制这种疾病。2000年，McCreath等利用基因打靶技术和核移植技术培育出了去除引起羊搔痒症和疯牛病的PrP基因的转基因羊。2007年，日本研究人员报道通过基因打靶技术将牛的PRNP基因双位点灭活，获得了存活了两年以上的转基因牛。在体外试验证明，这些转基因牛

能够很好地抵抗疯牛病，这为生产不含朊蛋白的肉、奶制品提供了一种很好的方法。我国已经获得敲除 PRNP 基因的克隆牛。

口蹄疫病毒（FMDV）是一种在偶蹄类动物间传播并具有高度传染性的病毒，猪、牛、羊的发病率极高，并能形成大范围流行。国际兽疫局（OIE）将其排在 A 类家畜传染病首位。国内外科学家应用 RNA 干涉技术，针对口蹄疫病毒的保守区基因序列，设计了一批可显著抑制该病毒复制的小 RNA 干涉片段。现已证明这些小 RNA 干涉片段的转基因细胞株可有效抑制口蹄疫病毒。上述研究结果，为研制抗口蹄疫病毒的转基因动物奠定了坚实基础。根据现在的研究进展，我国预计在两年内获得抗口蹄疫转基因克隆牛和抗口蹄疫转基因克隆猪。

结核病是全球广泛传播的人畜共患病。人与牛之间可以相互传染。国外科学家近年发现胞内病原抗性基因 1（Ipr1）具有提高机体对结核分枝杆菌的免疫能力和抑制结核分枝杆菌在细胞内繁殖的功能。我国科学家已经将 Ipr1 基因转入牛的体细胞，并初步证明了该基因可增强牛巨噬细胞对结核分枝杆菌的杀伤作用，有效抑制结核分枝杆菌的增殖。上述研究结果，为研制抗结核转基因动物奠定了坚实基础。根据现在的研究进展，我国预计在两年内获得抗结核转基因克隆牛。

牛病毒性腹泻病毒（BVDV）是一种严重危害初生牛犊的病毒。2007 年，Lambeth 等针对病毒基因组，应用 RNAi 干涉技术设计了有效的小 RNA 干涉片段，可以

在细胞水平明显抑制 BVDV 病毒的感染和复制。我国科学家已经获得可显著抑制该病毒复制的小 RNA 干涉片段，并在此基础上，获得转小 RNA 干涉片段基因的牛体细胞株，为研制抗病毒性腹泻病转基因牛奠定了基础。

我国是一个家畜养殖大国，但又是一个家畜养殖业极不发达国家，现在仍然处于“数量多、质量低、成本高、产出少”的数量养殖型的初级阶段。良种匮乏，牛、羊、猪个体质量差，产出低，成为我国畜牧业发展的瓶颈。此外，家畜的乳腺炎、口蹄疫、结核、蓝耳病、猪瘟等造成的经济损失极大，严重威胁我国畜牧业生产的可持续发展。针对上述阻碍畜牧业发展的重要问题，集成基因工程和胚胎工程技术，定向导入和重组能够提高奶、肉、毛产量、品质和抗病性能的基因，进行胚胎转基因育种，培育优质、高抗家畜新品种，从根本上提升畜牧养殖业的整体水平和综合竞争能力，现在这已成为构筑我国现代畜牧业的基石和进一步实现跨越式发展的极为关键的条件和迫切需要。这对于推进优质、高效畜牧业发展和社会主义新农村建设，确保我国食物安全和国民生活水平的提高都具有十分重要的战略意义。

【作者简介】

张涌，男，1956 年出生，博士，教授，博士生导师，国家级“有突出贡献专家”，国务院学位委员会学科评议组成员。多年从事动物胚胎生物工程的理论和技术研究，先后主持国家级重大专项课题。

转基因技术与转基因食品

王晓芳　张玉　朱祯
中国科学院遗传与发育生物学研究所

自1996年转基因作物大规模商业化应用以来，转基因食品已成了广大公众既熟悉又陌生的一个术语。然而“转基因”究竟是怎么回事？为什么要发展转基因技术呢？这项科技的应用会给人类社会带来什么样的变化？关于这些问题的解答还是要从基因说起。

什么是基因？基因是生物体遗传信息的载体，从最简单的细菌到我们人类，繁杂生命的各自特点都是由基因决定的，它操纵和调控一切生命的存在或衰亡。比如，孩子为什么会长得像父母？为什么有的人天生卷发？花儿为什么会五颜六色？等等，这些都与基因有关。基因在化学本质上就是脱氧核糖核酸分子，简称DNA。在细胞中，承载遗传信息的DNA由两条呈螺旋状的链子组成，这样的两条DNA链进一步缠绕组成染色体，我们人类有23对这样的染色体，分别来自父亲和母亲，目前在电子显微镜下人们可以直接观察到它们。

DNA是由4种核苷酸组成的，我们用字母A、T、

C 和 G 来表示。一个物种的基因组所蕴含的遗传信息量是非常庞大的，就人类基因组的碱基数量来说，如果全部人类基因组的 DNA 序列也就是 A、T、C 和 G 这 4 个字母以 5 号字体打印在 A4 纸上，所用纸的厚度得有 1 000 米那么高，相当于 3 个埃菲尔铁塔，比两个东方明珠还要高！这样浩繁的内容堪称为“天书”！在这部“天书”中，核甘酸就相当于字母，每 3 个字母代表一个字，即一种“氨基酸”，不同数量的字按一定的顺序排列组成一句具有完整意义的语句，即“蛋白质的氨基酸序列”，通常组成这个语句的核苷酸序列，我们也称之为基因序列，很多个基因排列在染色体上组成物种的基因组这部天书。现已逐渐破译多个物种的天书，如人类、水稻、拟南芥、家蚕等。尽管现在已经可以“读出”多个物种的天书，但是要完全“读懂”并了解其内部涵盖的生物学意义，还需要进一步精读。读懂这一部部天书所蕴涵的生命——生老病死的绝大多数遗传信息是对人类智慧的一项挑战。

我们明白基因是什么，就容易理解什么是转基因技术。转基因就是根据人们的需要将适合的外源基因导入到某个生物体基因组中，使生物体产生新的性状，这一技术称之为转基因技术。人们常说的“遗传工程”、“基因工程”与转基因技术意义是相近的。经转基因技术修饰的生物体在媒体上常被称为“遗传修饰的生物体”（Genetically Modified Organism），简称 GMO。从生物学角度来讲，转基因和常规杂交育种在本质上都属于

遗传物质的转移，没有什么本质上的不同，只不过自然界的基因的转移是通过有性生殖过程来实现的，而在转基因技术中的基因转移是通过体外 DNA 重组和转化技术来实现的。比如，我们将控制蓝色色素合成的基因转到白色的玫瑰品种中，由此得到转基因蓝色玫瑰。大家都知道，世界上根本就不存在蓝色的玫瑰，因此通过有性杂交也不可能得到蓝色的玫瑰，只有通过转基因技术才能获得，而控制蓝色的基因可以来自其他花卉品种，也可以来自其他生物。转基因育种的最显著的特性就是打破了生物物种之间的生殖隔离，实现了遗传物质在不同的物种之间转移。比如，在水稻和小麦物种之间，或者在微生物和植物之间，这在常规育种中是做不到的。目前科学家已将来自苏云金芽孢杆菌的 Bt 杀虫基因转到棉花中，培育出了转基因抗虫 Bt 棉，仅依靠常规育种技术这是无法实现。

与常规育种技术相比，转基因育种更为精确。通常常规育种过程中会伴随大量的冗余基因转移，而这些冗余基因往往与恶劣性状连锁，是我们育种目标所不需要的。转基因技术所转移的是经过明确定义的基因，基因的序列和功能清楚，插入到寄主染色体的位点也是清楚的，因此后代表现是可以准确预期的。

1996—2009 年，转基因作物种植面积空前地增长了 79 倍，使转基因技术成为近代史上利用最快的重大创新技术。2010 年全球有 29 个国家批准种植转基因作物，创造了巨大的财富。然而这仅仅是转基因育种技术

应用的第一个阶段，主要培育了抗虫、抗病毒、抗除草剂、抗逆境生存的作物品种，并得到广泛的应用。目前主要推广的转基因品种有：抗除草剂的转基因油菜和大豆，抗虫的转基因玉米和棉花，极大地降低了生产投入，增加了作物产量。在这一阶段中广大农民受益，同时也为缓解贫穷和饥饿，减少耕地开发和森林采伐，保持水土做出了卓越贡献。

目前正在加紧努力实施利用转基因技术改善作物的口感品质和营养的研究，我们称为第二阶段。这一阶段将会给予了广大消费者更多的选择，比如，瑞士科学家开发出产生β-胡萝卜素的“金米”。β-胡萝卜素可以在人体内转变为维生素A，食用这种转基因“金米”可使世界上贫穷国家的50万儿童免于失明。转基因油菜，不饱和脂肪酸Ω-3脂肪酸，即深海鱼油的主要成分含量大增，有助于改善中老年人的心血管功能。未来还会有第三个阶段，即按人类需要工程设计的阶段，可根据人类的需要来设计转基因物种，比如治疗性、功能性食品：专门为糖尿病人吃的大米，还有植物工厂、生物能源等。这些过去我们认为不可能实现的梦想，借助于转基因技术都可以实现，这项技术将彻底改变人类的生活。

“民以食为天”，粮食问题涉及千千万万人的生存。近年来粮食价格持续攀升，全球粮食库存在最近30年间不断下降。面对中国出现的粮食问题，邓小平曾提出，“将来农业问题的出路，最终要由生物工程来解

决，要靠尖端技术”。温家宝总理也表示，“我力主大力发展转基因工程，特别是最近发生的世界性粮食紧缺更增强了我的信念”。这里所提到的“生物工程技术”和“转基因工程”都是指转基因技术。

著名外交家，前美国国务卿基辛格曾经说过“如果你控制了粮食，你就控制了所有的人”。在未来全球粮食掌控的竞争中，美国已占先机。据2004年西班牙《起义报》报道，在世界转基因作物市场上，美国公司占据了83%，德国公司占有12%，瑞士公司占5%。现在已有越来越多的国家掌握了转基因作物种植经验，转基因产业是一项战略产业，它已成为未来国际发展的重点，我们应该坚定不移的利用转基因技术为人类造福，迎接国际上的挑战。

近年来，世界各国都正在努力掌握转基因作物的研究和应用技术。被誉为现代智囊“大脑集中营”的美国兰德公司在一篇题为《2020年的全球技术革命》研究报告中指出，转基因植物是16个未来应用最广泛的科技领域之一。转基因技术被誉为“人类有史以来应用速度最快的重大发明之一”，转基因技术的广泛应用被称为新的“绿色革命”。我们对于转基因技术要懂得合理利用，对于转基因食品要秉持与非转基因食品“实质等同”的科学原则去衡量，正视转基因植物为农业乃至社会的可持续发展做出的贡献，以积极的科学发展的眼光看待“转基因时代”的到来。

【作者简介】

朱祯，男，1951 年出生，研究员，博士生导师，国家“863”计划现代农业技术领域专家组成员。长期从事转基因育种研究。

张玉，女，1979 年生，博士。主要从事水稻 Dof 家族两个转录因子的功能研究工作。

王晓芳，女，1982 年生。主要从事昆虫激素相关基因在植物抗虫方面应用的研究。

浅谈植物转基因技术

张大兵
上海交通大学

利用分子生物学的手段将目标基因克隆后，经生物或物理化学方法将目标基因转入其他物种的基因组中，从而在该物种的基因组中增加了新的基因，这种技术称为转基因技术。利用转基因技术获得的含有外源基因的生物称为转基因生物。以转基因生物为原材料制作加工而成的食品即称为转基因食品。转基因生物主要包括转基因植物、转基因动物和转基因微生物。目前国内外广泛商业化应用的主要是转基因植物。人们利用转基因技术，已成功培育出了许多植物新品种，并在大田生产中推广应用，取得了巨大的经济和社会效益。

植物转基因技术的关键是将目标基因插入到受体植物的基因组 DNA 中，使之能随植物的基因组一起复制遗传。目前国内外鉴定的有用的目的基因有很多种，如有的基因提高水稻光合效率，有的基因可以提高维生素 A 的合成、抗旱、耐盐碱、抗寒等。

转基因技术根据其转化方法的不同主要可以分为四类：农杆菌介导法、DNA 直接插入法、花粉管通道法

和植物病毒介导法。农杆菌介导法就是指利用农杆菌转化受体细胞，将目标基因插入受体细胞基因组的转化技术。该方法是目前研究最多，机理最清楚，应用最为广泛和成熟的植物转基因技术。DNA 直接插入法是指不需要借助质粒载体的转化而实现外源目标基因插入的方法。这类方法主要包括：基因枪法、脂质体法、聚乙二醇法（PEG 法）等多种形式。花粉管介导法是将含有目标基因的溶液注射到开花授粉后的植物花房中，目标基因通过花粉管通道进入受精卵，进而整合到受精卵的基因组中。这种方法转化效率高，操作简便，得到转基因植株性状稳定快，在我国得到了广泛的应用。植物病毒介导法主要将外源目的基因插入到病毒中，利用这种病毒转染植物，从而将外源基因转入植物细胞中。

随着转基因技术的快速发展和完善，转基因植物已经越来越广泛，与人们的生活也越来越密切。据统计，全球抗虫、抗除草剂、抗病和品质改良的棉花、水稻、大豆、玉米等转基因植物已达 140 多种。如日本到 2010 年 2 月已经批准了 101 种转基因作物的使用；目前我国批准了 30 余种转基因生物的使用，如转基因棉花已经大规模应用。最近，我国为转基因抗虫水稻“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”发放了安全证书。

转基因技术可谓是一种新技术，对于某种新事物的出现，我们不能单纯的判定它是“不安全”或“绝对安全”的。目前美国、欧盟、日本、中国等国家和地

区对转基因生物都有严格的管理法规，并对转基因生物进行严格的安全性评价，在大量科学数据基础上，才批准转基因生物的商业化应用。应该说，经过安全性审批的转基因生物没有安全性问题。

动物转基因技术的国际竞争动态与趋势

石德顺　刘庆友
广西大学

通过20多年的研究发展，动物转基因技术发展趋势呈现以下的特点。

一、转基因动物研究方法的发展趋势

1999年以前，转基因动物的生产方法主要是受精卵原核期注射（Pronuclear injection，PI），它结合了基因克隆、超数排卵、人工授精、显微注射和胚胎移植技术。PI方法产生的转基因牛、羊等大家畜的比例只有0.5%～3%。据Eyestone统计，PI后移植的4 285枚奶牛胚胎，最终获得4头转基因奶牛，成功率0.09%。再加上整合基因因位置效应的沉默，而且产生的嵌合体转基因动物有的没有发生生殖系整合，获得一头生殖系整合乳腺高表达的转基因动物研发费用巨大。1997年体细胞克隆绵羊多莉诞生后，科学家随后研制转基因克隆牛（1998）和转基因克隆山羊（1999），转基因克隆动物技术以转基因阳性细胞为供体，理论上后代100%

为转基因动物，结合卵母细胞体外成熟培养技术，大大减少了受体动物饲养量，降低了研发成本。近年来还出现了高效率的转基因动物技术有慢病毒载体系统（LV），应用 LV 介导外源基因可以整合到小鼠的生殖系，出生老鼠 80% ~100% 都表达外源基因。LV 病毒介导转基因猪效率高达 70%，外源基因的表达率高达 94%。LV 介导的转 eGFP 基因牛研究中，胚胎 GFP 基因表达率为 92% ±8%，胚胎移植后转基因动物阳性率达到 83%。2005 年许田的研究小组首次应用转座系统 Piggy Bac 研究获得转基因小鼠，阳性率 40% 以上。2008 年美国科学家 Scott 等获得了转座子转基因猪，转基因效率同样大大提高。2009 年广西大学石德顺课题组发现 PB 转座子可以显著提高水牛体细胞的转基因效率。胚胎干细胞、生殖干细胞和诱导多能干细胞（iPSCs）技术的快速发展，同样为干细胞介导转基因动物生物反应器的研发奠定了良好的工作基础。而标记基因 GFP 等荧光蛋白家族的广泛应用（2008 年 EGFP 发现，获得诺贝尔奖），及其与 PI、精子载体法、转基因克隆及基因打靶技术的结合，同样可以通过荧光显微镜对转基因胚胎进行直接鉴定，大大提高转基因动物的生产效率。

未来的重点研究方向：一是当前主流技术转基因克隆动物技术优化，通过应用新的筛选标记基因减少细胞毒害，通过导入新基因提高重组效率，通过结合流式细胞仪找到新的筛选路径，通过胚胎体外培养系统的优化

提高转基因胚胎的质量。二是新的荧光标记基因开发及其与 PI、精子载体法等转基因动物技术的结合，通过优化红色荧光蛋白等探索自然光下能够发出荧光的新基因，减少紫外照射对转基因胚胎的伤害；通过结合荧光标记基因鉴定胚胎并移植，提高转基因动物生物反应器的效率。三是高效率转基因动物生物反应器新技术的探索，积极探索干细胞介导、慢病毒载体系统和转座子转基因技术在动物生物反应器中的应用，研究开发高效率、低成本的转基因动物生物反应器的平台。

二、转基因动物功能基因的发展趋势

随着基因组测序技术和基因扫描技术的快速发展，越来越多的动物功能基因被挖掘，转基因动物制作的核心思想在于目的基因和调控元件的选择，未来的发展趋势主要为：

一是通过 QTL 选择重要的功能基因。畜禽的重要经济性状，大部分为多基因控制，下一步的转基因家畜新品种培育中，首先应该选择与产奶、生长、抗病及繁殖性状有强相关的基因座，通过导入显著影响生产性状的基因，提高畜禽肉、蛋、奶的产量和质量。

二是通过研究基因网络发现更多的候选基因。生物的单个基因无法实现自己的功能，往往是通过基因与基因的相互作用，形成复杂的基因网络，最终实现基因的功能，在网络的节点上往往又存在一些微调的开关。比如 MSTN 肌肉生长负调控基因的敲除会引起小鼠的肌肉

快速增长且肌纤维变粗，同样转入 MSTN 的调控基因依然能够实现调控肌肉生长的目的。通过对基因网络的深入研究，候选相关节点的基因，则有望避免因个别基因的增加或者失活引起对动物生长发育和机体产生的负面影响。

三是通过对重要功能基因的时空特异性、丰度的调控，改良转基因动物的生产性状。许多动物基因存在着可变剪切，时空表达，在不同的发育阶段和不同的组织类型表达的丰度不同，行使的功能亦不相同。未来的一个重要发展趋势是通过基因组测序仪器对组织特异性表达的基因进行深入挖掘，结合 QRT－PCR 技术，获得一批组织特异性表达的基因，并按表达丰度分为高丰度表达、中丰度表达和低丰度表达。通过应用这些基因的启动子结合发现的重要功能基因，真正实现对基因的精确调控，减少转基因对动物的负面作用。最终实现人类按照社会需求和意愿，对畜禽生产性状进行分子设计，使转基因动物造福于全人类。

三、转基因生物研究模式团队作战的趋势越来越明显

以动、植物生物反应器技术为例，它涉及了现代农业高新技术（转基因动、植物）、现代工业技术（药用蛋白的大规模纯化）、现代医药业技术（药用蛋白质的候选、设计、动物试验、临床试验）和现代商业（证券融资和药物推广）多个领域，是一个多学科交叉融

合的技术。因动、植物生物反应器药用蛋白研发周期长、费用高，单凭一个课题组或者团队、一个企业很难完成，GTCB 上市的 ATryn 药物经历了近 20 年的研发，从研发到上市亏损了 3 亿多美元。2006 年 6 月 rhATⅢ获得 EMEA 批准上市后，9 月法国最大的生物制药公司 LFB Biotechnologies 找到 GTCB 签订合作协议拟注资 2 000 万美元，共同合作开发用山羊乳腺来生产其拳头产品重组人血浆蛋白和单克隆抗体；11 月丹麦 LEO Pharma 公司马上找到 GTCB 合作，愿意承担 Atryn 在欧洲、中东和加拿大的独家代理，而付出的代理费为 7 300 万美元；GTCB 还购买了 Mayo Clinic 公司的 CD137 抗肿瘤单克隆抗体的专利，拟用山羊乳腺来生产 CD137 的单克隆抗体。当前和今后一段时间内多行业、多课题组和多领域的合作，对动、植物生物反应器制药的研发尤为重要。目前国内的企业很难能够拿出大量的资金进行长期投入，而国际实际发展需求和国内居民医疗卫生保障需求的现实，需要我国政府对高风险、长周期的动、植物乳腺生物反应器战略技术进行重点的扶持，从农业高新技术和生物制药两个领域投入，培育出高附加值的能够用于商业开发的药用蛋白生物反应器，从而吸引国内外企业进行技术和成果转化，使政府的投入成为引擎，促进动、植物生物反应器制药业的腾飞，推动我国生物制药业的发展。

转基因动物将会改变我们未来的世界，转基因动物生物反应器可以生产出更加适合人类临床使用的蛋白质

药物，转基因的畜禽新品种将会自然抵抗人畜共患病，减少流行病的传播和对人类生存的威胁，降低肉食品的药物残留，全面提高全人类的生活质量。

【作者简介】

石德顺，研究员，博士生导师。长期从事动物细胞与基因工程的研究工作，先后研究成功了我国首例胚胎细胞克隆牛，世界首例受精卵冷冻保存的试管牛、体细胞克隆水牛、转基因水牛和转基因克隆水牛。

科学认识转基因作物及食品

陈亮　郝东云
吉林省农业科学院

转基因技术又称重组 DNA 技术、遗传工程或基因工程，其主要原理是将某种生物的基因导入到另一种生物体的基因组中，改变后者的遗传性状，使之更加优良。转基因技术已在植物改良、医药、畜牧业、渔业、食品工业、环保等领域研究并得到广泛应用。目前在转基因作物及食品的使用和消费上存在一些分歧，其中既有赞成的，也有反对的，这也就造成了一部分公众对转基因的误解。使公众对转基因作物及食品具有一定的科学性认识，对一些争议问题做出有明确的回答显得十分必要。

一、食品中的基因在被食用后发生了什么反应?

我们的身体对转基因食品和非转基因食品的消化过程是一样的。食品中存在着上万种基因，转基因食品只是比原有食品增加了一两种外源基因而以。广义上说基因就是核酸，所有的核酸在化学成分上都是完全相同

的，与其来源无任何关系。核酸在被人体摄取后，大多数被降解为小片段，为人体利用，参与人体的新陈代谢。只有在极少数的情况下，这些小片段才会进入其他器官，但科学试验证明这些进入其他器官的核酸绝对不是完整的，根本不具有任何的生物学功能。一些科学家的试验结果认为这些极少数的出现在其他器官中的核酸片段更可能是试验中的污染所致。欧洲食品安全局对食物中的基因被人体摄入后的结果曾经发表了如下声明："基因被人体消化后，在人的胃肠道中可以观察到其被迅速降解成较小的核酸片段。大量的科学试验研究结果表明来源于转基因植物的核酸片段不能在任何组织内被检测到"。

迄今为止，没有任何确凿的试验数据证实转基因作物中导入的外源基因与普通植物的基因有区别。然而，在2005年底，俄罗斯科学院的Irina Ermakova博士公布了她的研究结果：与喂饲普通大豆的老鼠相比，喂饲转基因大豆的老鼠表现出了发育停滞以及较高的未成年死亡率。她声称老鼠是死于转基因所诱发的突变，其依据是很早以前提出的外源基因插入植物基因组可能引起高度突变的这一假设。她的研究结果并未被发表于科学评审的学术期刊，仅仅出现在研讨会上面。在新南威尔士的国会辩论中，该结果并未被用于欧盟转基因作物种植的禁令。许多其他科学家的研究结果与Ermakova的研究结果恰恰相反，并未发现喂饲转基因大豆对老鼠的同胎生仔数、体内组织的特性或后代的死亡数目有任何负

面影响。*Nature Biotechnology* 的主编曾邀请 Ermakova 提供其研究工作的详细记录，在这次调查中 Ermakova 承认自己的研究结果存在问题，有必要进行同行专家的评审以及严谨的重复试验。

综上所述，一少部分人对于食用转基因食品后，食品中的外源基因会转移到人身上的担心完全是没有必要的，并且我们从来也没有担心过平时所吃食物的基因会转移到身体中。

二、Bt 蛋白对人体有危害吗？

Bt 蛋白是一种由土生细菌 *B. thuringiensis* 产生的天然杀虫剂。在细菌体内形成的完整结构的结晶 Bt 蛋白是没有任何毒性的，当被昆虫吃掉后，Bt 蛋白在昆虫肠道碱性环境下才能加工成毒性蛋白，该毒性蛋白还要和昆虫肠道细胞表面上特定的受体结合才能起作用。而人的肠胃环境是强酸性的，无法对其进行毒性加工修饰，并且人的消化道细胞表面上也根本不存在这种受体。最近，大量关于 Bt 蛋白的安全性研究结果表明，Bt 蛋白并不具有毒素蛋白的典型特征，Bt 蛋白与目前已知蛋白数据库中的毒素蛋白没有任何的同源性。为了验证 Bt 蛋白对哺乳动物是否具有毒性，科学家利用体外纯化的 Bt 蛋白喂饲 10 只雄性和雌性的老鼠，剂量大约是人体消费转 Bt 基因玉米水平的 200 ~ 1 000 倍，研究结果并未发现喂饲高纯度的 Bt 蛋白与老鼠的体重、存活率、总的病理水平等有关。实际上，Bt 蛋白进入

哺乳动物肠胃后，在胃液的作用下几秒钟之内即全部降解。由此可见，保证了转基因作物用来抗虫的 Bt 蛋白不会对人体造成任何伤害。

Bt 蛋白已被安全地应用了约40 年，只是在1995 年以前有两起所谓的对人的不良反应报道，但这两起报道都不是原始的结晶体 Bt 蛋白的直接接触造成的。据1991 年的报道，由于 Bt 蛋白喷雾的吸入使 133 个农民中的两个造成皮肤过敏。2006 年美国有机物消费者协会利用上述个例提出警告“转 Bt 基因的农作物会危害公众健康”。事实上，上述报道中的两个农民的呼吸道感染根本无法确认口腔接触到 Bt 蛋白将导致过敏反应的发生。尽管目前已对转 Bt 基因食品的安全进行了大量的评估，但在2005 年 7 月绿色和平组织在纽约时代周刊及其他报纸上发表声明：根据 Moreno – Fierros 的研究结果，食用转 Bt 基因作物后会引起过敏性反应。事实上，他们所参考的 Moreno – Fierros 的研究结果是这样的：由于老鼠被喂饲过量的 Bt 蛋白后胃部的 pH 值迅速提高以阻止 Bt 蛋白降解，因此 Bt 蛋白可以作为提高疫苗效价的辅助剂，这与 Bt 蛋白是否会引起过敏性反应是毫无联系的。

真菌毒素是由真菌产生的具有毒性的二级代谢产物，黄曲霉毒素、脱氧雪腐镰刀菌醇等真菌霉素甚至可以致癌。与普通玉米相比，转 Bt 基因玉米籽粒中真菌侵染所产生的毒素较低。由于昆虫咬食籽粒后会留下伤口，真菌借此侵染籽粒。除了产量提高上的效益，转

Bt 基因玉米的另外一个经济效益是可以降低籽粒中真菌侵染所产生的毒素。国际市场上对于感染了真菌毒素的玉米籽粒控制得很严，其相应的化验成本都会造成经济上的损失，以 2007 年美国的统计数据为例，转 Bt 基因玉米在降低黄曲霉毒素与脱氧雪腐镰刀菌醇方面的直接经济利益分别是 2 200 万和 1 400 万美元。更重要的是，在一些欠发达国家，某些真菌毒素是农作物、食品及饲料等植物性产品的主要污染源，转 Bt 基因玉米的应用可以显著降低真菌毒素的水平，因此对人、畜的健康很有益处。

三、转基因作物及食品真的应该被禁止直到它们被证明百分之百是安全的吗？

当今世界科学技术日新月异，几乎每件新事物，例如汽车、杂交种、人造黄油、巴氏灭菌牛奶、疫苗等，都是伴随着风险而出现。只有消费者亲自体验过这些新产品后，他们才会愿意去选择这些产品，因为他们会发现新产品的好处大大超过其风险。以追求绝对安全为由，限制具有巨大社会需求的转基因技术的发展，实在不是一种明智的做法。

转基因食品的接受与否依赖于以下因素：风险及效益的科学性认知、安全性的保证、个人的价值观。自从第一个转基因作物被商业化种植以来，农民获得的经济效益显而易见，但是一些消费者却对这些效益视而不见。从长远的发展来看，转基因作物及食品应

该可以吸引消费者，甚至给环境带来更大的益处。消费者认识到转基因作物的益处主要依赖于被开发的是哪些产品、它们是如何被加工的等方面。事实上，与尽最大地可能使用一切可利用的技术相比，人类目前这样不停地消耗宝贵的资源所造成的危害其实更大。第二个与转基因食品接受与否相关的因素是其要有安全的保证。无论是在美国还是在欧洲，进入市场的转基因食品都需要经过广泛地安全性评估。虽然目前转基因食品不能保证百分之百是安全的，但传统方法获得的食品也不能完全保证就是百分之百安全的。众所周知，今天所吃的主要食品在最初都没有经过毒性检验，也未对它们进行过长期安全效应评价，但人们并没有认为这些食品是不安全的。而一些已知长期大量食用不利于健康的食品，如高脂肪、高热量食品和有致癌物质的烧烤食品等，却仍然被人们所接受。目前对转基因食品的安全性评估很严格，目的就是保证其与传统食品相比具有同样的安全性。第三个与转基因食品接受与否相关的因素是个人的价值观，这部分内容真的无法用科学数据衡量。

四、转基因作物的应用对植物多样性的影响大吗？

由于一些人认为外源基因会从转基因作物漂移到近缘野生种及杂草中，因此抗除草剂与抗虫的转基因玉米的商业化种植所带来的基因漂移现象可能会引起农业生

态多样性的改变。其实这种多样性改变的情况并非可能在转基因植物的种植中出现，在传统的非转基因植物的种植中也是普遍存在的。

大约在1万年前，粮食作物首先从野生物种开始进化，然后人类的选择使其遗传背景产生了深远的影响，那些具有优良变异的植物种被选择并繁衍下去。农业生态系统的多样性不仅反映了物种的丰富程度，也包括它们之间互作的多样性。一般来说，农业生态系统的多样性随着农业实践和植物育种工作的改变而持续下降。早在19世纪60年代，通过传统育种手段选育出了一些作物的高产品种，从而导致产量增加，本地品种被显著替换并伴随着遗传多样性的下降，特别是谷物和豆类地方品种的减少。这些对生物多样性的负面影响被称为遗传性侵蚀，它可以显著导致杂草物种的减少、非目标性昆虫的死亡、昆虫及野生动物天然栖息地的破坏等。Frankel提出了遗传性侵蚀的一些特征用以描述农业对生物多样性的影响：①在农业现代化以前，作物种稳定地处于多样性的中心。②包括新品种在内的现代农业技术的引入导致了生物多样性出现不稳定。③原有的与外来引入的品种的竞争使原有品种被替代。④原有品种的替代破坏了原有作物群体的遗传多样性。一般来说，农业的面积越大，那么对周围动、植物的影响也就越大。由此可见，简单地认为转基因作物的种植会造成农业生态系统多样性的改变是不科学的。

五、转基因作物的花粉漂移到野生物种及非转基因作物会发生什么现象?

大多数植物借助花粉使基因从一个亲本转移到另一个亲本。关于基因的漂移是否会带来经济或环境上的风险，根本无法通过是传统杂交种还是转基因品种进行衡量。许多重要的农作物与其近缘野生种甚至杂草都存在生殖上的相容性，也就是说一些基因能够在作物与杂草之间漂移。这种野生群体间的异交现象可能会对受体植株造成一些有益的或有害的效应，甚至根本没有任何效应。

花粉漂移是自然界中一种普遍存在的现象。由花粉漂移产生的基因漂移的频率受到许多因素的影响，例如，物种的生物学特性、环境等。成功地杂交授粉需要亲本植物具有以下特征：①同时开花。②距离足够接近使花粉可以从供体转移到受体。③授粉后能够产生可育幼胚。成功地授粉还依赖于花粉活力及传播的距离。在美国，抗除草剂的性状已被广泛引入转基因作物，例如，芸苔、玉米、棉花和大豆等。抗除草剂基因的漂移是否会产生抗除草剂的杂草，主要依赖于物种、地理位置、性状特性等因素。普通野生稻（*Oryza rufipogon* Griff.）在美国被认为是一种有害杂草，但其与栽培型水稻存在生殖上的相容性，并且二者的生长位置一致、开花时间重叠，二者之间的基因漂移现象较普遍。由于抗除草剂性状已被转入栽培稻，有必要确定天然条件下

抗除草剂基因从转基因水稻漂移到普通野生稻和杂草稻（*O. sativa f. spontanea*）的比例。研究结果表明，抗除草剂基因漂移到杂草稻的比例是0.01%～0.05%，转移到普通野生稻的比例是1.21%～2.19%。虽然频率较低，科学的试验结果证实了基因漂移现象的发生。由此可见，确实需要避免此种类型的异交，以降低杂草物种的生态适应性。在另外的研究中，由遗传诱变育种方法（绝不是转基因方法）产生的抗除草剂的植物材料被用于评估基因的漂移及受体植物的适应性，结果表明，基因漂移并不局限于转基因品种，其效应仅依赖于性状本身，而与基因引入的方法无关。当然，在一些植物遗传多样性较高的地区，为了降低转基因性状漂移对环境可能造成的影响，应该尽可能使转基因作物的种植远离野生物种，此外还可以借助遗传性应用的限制性技术（GURTs），阻止外源基因传递到下一代。

检测让转基因明明白白

谢家建
中国农业科学院植物保护研究所

一、无处不在的基因

基因并不是一个神秘莫测的名词，我国民间流传的谚语“种瓜得瓜，种豆得豆”，就是借用自然界的某些相似现象来暗喻遗传学上子代和亲代基因的遗传规律。1865 年孟德尔通过豌豆杂交实验等系列研究，发现生物体之所以能够传代是因为有一种叫做“基因”的物质存在。1953 年，科学家沃森和格雷克发现了脱氧核糖核酸（DNA）的双螺旋结构，揭示了基因的本质。

现在人们已能准确地回答“什么是基因”，基因就是 DNA 大分子中携带遗传信息的功能片段。DNA 通过复制使遗传信息在传代中保留下来。所以说基因存在于所有生物中，而那种“只有转基因生物中才有基因”的说法是明显错误的。

二、转基因——基因的外科手术

转基因，就是用现代遗传工程技术（或称基因工

程或转基因技术），把一个或几个特定的外源基因转入到目标生物的基因组中，让外源基因在目标生物体中发挥作用，使生物体产生某种我们想要的新性状。当然，也可通过干扰或抑制基因组中原有某个基因的表达，去除生物体某个我们不需要的性状。

这种对生物基因组改造的技术与外科手术对生物体器官的修复和移植的方法有些类似。不同的是，外科手术的操作对象是生物体的器官，是基于生物体的解剖结构，而转基因技术的操作对象是基因的微观结构，是基于对基因结构的修饰和改造。

把目的基因转入植物、动物和微生物细胞，就得到转基因植物、动物或微生物。以转基因植物、动物、或微生物直接生产的食品或作为原料加工制作出来的食品，就是转基因食品。

三、转基因是可以检测出来的

转基因生物与相应的非转基因生物相比具有特有的DNA、RNA、蛋白质和代谢产物等成分，通过分子生物学技术可以快速、准确地进行是否含有这些转基因成分的分析。而且每一个转基因作物品系都有自己唯一的特征，根据对这些特征的检测，可以准确地进行身份鉴定。

根据国内外对转基因作物通行的管理要求，申请商业化应用的转基因作物均要提供详细的转入基因、基因结构和插入位点等信息。所以通过转基因检测，我们不

仅可以知道是不是转基因，而且还能准确的判定是哪家公司研发的哪个转基因作物产品。

四、转基因检测的主要原理和方法

对转基因产品的检测可以从 DNA 水平、RNA 水平、蛋白水平和代谢物水平等方面进行。目前国内外对转基因产品的检测比较成熟的方法是基于 DNA 水平的 PCR 方法和基于蛋白水平的 ELISA 方法。

PCR 方法是通过特异性的引物选择性扩增转基因 DNA 片段，经过指数式的增长获得大量产物，通过对产物的检测来判断是否含有转基因。

ELISA 方法是以免疫学反应为基础，将抗原、抗体的特异性反应与酶对底物的高效催化作用相结合起来的一种方法。现在许多公司通过制备特异性抗体开发出了许多检测针对不同转基因蛋白的试剂盒和快速检测的试纸条。

五、我国的转基因检测机构

我国已经建成了区域性和综合性结合的转基因检测体系。截止 2010 年底，已经有 20 余个省份超过 30 家转基因检测机构获得了国家主管部门的资质认定，具有开展转基因检测的法定检测资质，能接受社会委托，出具具有法律效力的检测报告。

同时我国也建立了比较完善的转基因检测标准体系，截止 2010 年底，农业部等部门已经颁布转基因的

成分检测、环境安全检测和食用安全检测标准超过80项，覆盖了玉米、大豆、油菜、棉花、水稻等主要作物。

【作者简介】

谢家建，男，生于1975年，副研究员，博士。主要从事转基因生物分子特征和检测技术研究。

转基因动物国际竞争的动态与趋势

汤茂学　李奎
中国农业科学院北京畜牧兽医研究所

转基因技术是指利用分子生物学技术，将某些生物的基因转移到其他生物体中，使受体生物在原有遗传特性基础上增加新的功能特性，培育新的品种，生产新的产品。转基因技术在农业生产、疾病模型和医药研究等诸多领域有着广泛的应用前景。

转基因动物是用实验导入的方法使外源基因在染色体基因组内稳定整合，并能遗传给后代的一类动物。从目前的生物技术发展趋势可以看出，转基因动物的研究和应用将是21世纪生物工程技术领域最活跃、最具有应用价值的内容之一。同时，转基因技术的发展与应用一直是国际竞争的焦点，新技术的革新将会引领转基因的发展，而转基因新产品的成功培育将会更好地为人类和社会服务。

一、转基因技术的发展

动物转基因技术导入外源基因的方法有：体细胞核移植法、显微注射法、逆转录病毒感染法、脂质体介导

法、精子介导法、胚胎干细胞插入法等，转基因克隆技术是目前最为有效的制备转基因动物手段之一。

随着 RNA 干扰技术、转座子系统和锌指核酸酶（ZFN）等生物技术的快速发展，进一步促进了转基因动物的发展，同时，干细胞技术的发展更为动物转基因领域带来新的契机。1998 年 Fire 等发现 RNA 干扰，序列特异性双链 RNA 导入有机体，使细胞内同源 mRNA 降解，产生特异的基因沉默，RNA 干扰的作用提供了一种高效的抑制特异基因表达的技术手段，被应用于功能基因组和反向遗传学的研究。随着 RNA 干扰的深入研究，它将在医学领域研究中产生一种新的技术革命，为转基因动物抗病育种和人类基因治疗等方面开辟一条新的途径。1997 年，明尼苏达州大学 Ivics 等成功恢复了转座子 Sleeping Beauty 的活性，2005 年上海复旦大学丁昇等和 2010 年夏威夷大学 Stefan 等成功利用转座子 PiggyBac 制备出转基因小鼠。因此，利用高效的转座系统可在低等生物和哺乳动物中可有效进行大规模地转基因和基因诱变分析，有助于系统地研究基因功能，并进一步推动人类生物学和疾病研究。2007 年，Sigma - Aldrich 和 Sangamo Biosciences 联合推出 ZFN 技术来实现高频率的基因组编辑，改造的 ZFN 能够识别并结合指定的位点，引起靶 DNA 的双链断裂，并具有高效率和碱基对精确性。随后细胞利用天然的 DNA 修复过程“同源定向修复”或“非同源末端连接”来治愈靶的断裂，可形成基因组编辑的三种不同结果：基因修复、基

因删除和定向的基因插入。

目前动物转基因技术发展迅速，转基因的成功效率和对转入外源基因的调控能力不断提高。通过进一步发展克隆技术，把 RNA 干扰、转座子系统、ZFN 技术和体细胞克隆技术结合起来，为转基因动物的制备提供一个良好的平台，完善外源基因的表达调控，实现可控表达。可以预见，通过灵活应用各种生物技术，在不远的将来即能发展出更新和效率更高的转基因技术，用于制备各种功能特异的转基因动物。总体来说，转基因技术向着定点、稳定、高效等方面发展。

二、国际转基因动物的应用领域

目前，国际转基因动物制备非常广泛，主要集中在疾病动物模型、生物反应器、器官移植的研究，应用在畜牧业生产、医药领域、环境保护等方面。与国际转基因动物快速发展趋势相比，欧洲、日本、韩国等发达国家对转基因及其转基因产品仍持谨慎态度，对转基因操作和转基因产品都制定了相应的法规和标识制度。

转基因动物有效促进了畜牧业生产的发展，给普通人民带来了实实在在的利益。科学家成功制备出转牛生长激素基因猪和 Ω-3 脂肪酸去饱和酶基因猪，促进了猪的生长速度，提高了料肉比，同时，改善了猪肉营养成分，对人类的经济生产和健康生活都具有重要的意义。

加拿大奎尔夫大学的科研人员通过多年努力，成功培育出植酸酶转基因猪。同普通猪相比，这种环保型转基因猪排出的粪便所含的磷成分显著减少，大大降低了对环境的污染。

美国密苏里大学 Prather 教授实验室成功获得了 α-1,3-半乳糖转移酶基因敲除核移植仔猪。猪基因组中 α-1,3-半乳糖转移酶基因被敲除后，可直接阻止猪细胞表面 α-1,3-半乳糖的存在，从而消除了异种器官移植的主要障碍，对进一步探索异种移植物的可能性具有推动作用。

丹麦科学家成功生产出携带人类老年痴呆病致病基因的克隆猪；美国科学家制备出白内障猪疾病模型、肺部纤维化囊肿猪疾病模型；德国科学家成功制备出糖尿病转基因猪模型。因此，利用转基因技术制作功能基因组动物模型对研究人类疑难疾病致病机制以及治疗等方面具有重要意义。

转基因猪作为生物反应器参与人类重要蛋白的生产。科学家已成功制备出在血液中表达人血红蛋白、人血清白蛋白、人重组红细胞生成素、抗人白细胞免疫球蛋白、凝血因子Ⅷ等转基因猪，其中有的产品已实现产业化生产，有的取得重大研究进展，呈现良好的应用发展前景。

随着转基因技术的发展，转基因动物制备日趋成熟与稳定，医学疾病模型研究和生物制药等领域快速发展将为人类提供更好的服务。

三、国际动物转基因技术的发展趋势

通过转基因技术的革新，转基因动物制备的发展趋势向着“简单、快速、高效、安全”方面发展。

“快速”，就是大大缩短转基因动物制备的周期。以前，制备转基因动物是个漫长的过程，而今后通过生物技术的进一步发展，可以省去许多环节，加快转基因动物制备的周期。

“简单”，就是通过新技术的革新如核移植、手工克隆等技术方法，使得转基因操作更加简单、便捷。

“高效”，就是结合先进仪器设备，大大提高转基因动物制备的效率。尤其提高外源目的基因的导入、整合效率，如期待核转染仪器将进一步革新。另外，摒弃各类载体系统的缺点，整合各类优点，发展新的基因运载系统值得期待。

“安全”，则是转基因发展的重要趋势，伴随当前动物转基因技术的随机插入、多拷贝，病毒载体等具有安全隐患的缺点正被慢慢淘汰，取而代之的是特异表达、单一拷贝，易于筛选，阳性率高的技术，以期制备出大量功能特异、安全健康的转基因动物。

【作者简介】

汤茂学，男，1983 年出生，博士，转基因动物专业。

利用转基因育种较传统育种的优势何在

路铁刚　张芊
中国农业科学院生物技术研究所

发展生物育种是确保粮食安全、提高农产品产量、缓解人口剧增与土地锐减之间矛盾的根本途径。在生物育种的发展上，我国有过深刻的教训。近年来，国内大豆生产与加工之所以陷入受制于人的被动境地，其根本原因并非对国内非转基因大豆保护不力，而在于大豆转基因技术自主研发实力不足。

正是在这样的大背景下，我国将生物育种列入了今后重点发展的战略性新兴产业。这是国家在启动了转基因生物新品种培育等16个重大科技专项之后，再次将生物育种上升到国家战略。生物育种主要包含传统育种和转基因育种。

传统育种，主要是常规育种和杂交育种，它们的最终目的都是通过不同的技术手段，将各种有利于提高粮食产量和品质的优良基因不断聚集到某个品种中，让它获得较高的产量和抵御干旱等灾害的能力。传统育种虽然对农业产业的发展起到了很大的推动作用，但在以下

几个方面存在重要缺陷：

一是农艺性状的转移很容易受到种间生殖隔离的限制，不能利用近缘或远缘种的基因资源对选定的农作物进行遗传改良。不同物种间的优良基因很难加以利用。

二是通过有性杂交进行基因转移，不能准确地对某个基因进行操作和选择，易受不良基因连锁的影响。如要摆脱不良基因连锁的影响则必须对多世代、大规模的遗传分离群体进行检测。因此在获得某种优良抗性的同时，可能会影响植株的育性。

三是利用有性杂交转移基因的成功与否一般需要依据表观变异或生物测定来判断，检出效率易受环境因素的影响。

四是利用传统育种所获得的抗性，易受品种和地域环境的影响。即在北方培育的抗逆新品种，种植到南方，可能其抗逆性表现不明显。

转基因育种，主要指将高产、抗逆、抗病虫、提高营养品质等已知功能性状的基因，通过现代科技手段转入到目标生物体中，使受体生物在原有遗传特性基础上增加新的功能特性，获得新的品种，生产新的产品。转基因现象在自然界中广泛存在，例如高等植物中普遍存在的异花授粉和天然杂交等。转基因育种与传统育种技术是一脉相传的，其本质都是通过获得优良基因进行遗传改良，然而在基因转移和整合的范围和效率上，转基因育种具有明显的优势：

第一，转基因育种所利用基因资源不受物种的限

制，不同植物之间，乃至微生物、动物界的基因都可以加以应用。因此极大丰富了可利用的基因资源，为新品种的培育提供无限可能。

第二，转基因育种能准确地对某个基因进行操作和选择，也可同时转入多个基因。植物抗逆反应是一个极为复杂的过程，个别基因的改良往往不易达到获得明显抗性的效果。因此可以同时转入多个基因，加强同一抗性或培育具有多种抗性的新品种。

第三，转基因育种成功应用的前提是对目的基因功能的证实与明确。拥有大量的功能明确、具有实用价值和自主知识产权的关键基因，使得转基因育种有的放矢，利于目标性状品种的检测。

第四，对于功能明确、具有实用价值的基因，利用转基因技术进行育种，可使其功能在同一物种的不同品种间得到稳定表现，即所获得的性状不易受品种差异及地域环境差异的影响。

由此可见，转基因育种较传统育种具有准确、直接、高效的特点。在实际应用中，由于转基因技术与传统育种技术的本质是一致的，都是通过获得优良基因进行遗传改良，因此，将转基因技术与传统育种技术紧密结合，能培育多抗、优质、高产、高效新品种，大大提高品种改良效率，并可降低农药、肥料投入，在缓解资源约束、保障粮食安全、保护生态环境、拓展农业功能等方面潜力巨大。

【作者简介】

路铁刚，男，1964 年出生，博士，研究员，博士生导师。长期从事水稻生物技术及功能基因组学研究，承担国家和国际科技项目多项。

张芊，女，1980 年出生，博士，助理研究员。长期从事水稻生物技术及功能基因组学研究，承担国家自然科学基金项目。

转基因技术将为人类丰衣足食提供保障

郑兆鑫
复旦大学

自从上世纪40～50年代生物学家发现DNA是生物遗传物质后，便开创了近代生物学，进入分子生物学时代。它使生命科学迅猛发展，生命科学在理论上阐明生命活动的本质，在生产实践中建立了生物工程技术。集中表现为通过遗传工程技术将外源基因导入动物或植物细胞，使这种外源基因和动、植物本身的基因组整合在一起，因此能稳定地遗传给下一代，创造新的动、植物品系。这一技术是未来人类防病、治病和丰衣足食的有力保障。但是有关转基因技术和转基因食品的争论一直是科学界和媒体的热点，早在20年前欧美国家已经开始争论，近年来，我国公众也卷入这场争端。支持者认为它给人类带来了福音，因为它为人类解决粮食短缺问题提供了强大的技术支撑。反对者则视其为洪水猛兽，认为它会对人类的环境安全和食品安全带来威胁。

转基因食品不是洪水猛兽，并且，从某种程度上来讲，转基因食品或许更安全。因为发展生物工程技术，

生产转基因食品是人类发展的需要。某种程度上可以说，只有依赖生物工程技术发展，才能源源不断为人类提供食品，使未来人类得以生存和发展。据联合国测算，从现在到2050年，全球人口将从63亿激增至89亿~94亿，增长幅度近40%。到那时，为了解决全球人口的温饱问题，我们必须把食品的产量在现有的基础上提高2倍甚至3倍。我国是世界上人口最多的国家，按人均土地占有量来计算，只达到世界的1/7，而要养活的人口却达到世界总人口的20%以上。虽然，上个世纪80年代开始改革开放以来，经济飞速发展，国家增加农业投入，我国粮棉产量和畜牧业都获得巨大发展，基本上满足全国人民日益增长的巨大需求。但是随着生产力不断提高，困难必将日益增大，农业面临严重挑战，粮食曾徘徊不前，棉花产量滑坡，油料开始减产。如果没有科学技术上的新突破，农业生产很难获得大幅度增长，很难再上一个新台阶。转基因等生物技术是解决这一难题的关键。

再说农业中另一个重要的领域——畜牧业。中国是世界上养殖业大国。据统计，猪每年存栏8亿头以上，加上牛和羊预计达到12亿头左右。每年必然消耗大量粮食，用作饲料。由于牲畜传染病流行，会造成重大损失。以猪为例，口蹄疫和蓝耳病都是养猪业的头号杀手。猪口蹄疫在世界很多国家流行。一旦爆发可使该地区和国家的国民经济遭受巨大打击。例如，1997年我国台湾在享受多年无口蹄疫地位后，爆发口蹄疫，直接

损失约10亿美元；由于猪出口受到消费国禁止，损失订单14亿美元，造成70万人失业。又如2001年英国发生口蹄疫，直接和间接损失达90多亿英镑，当年经济增长率下调1.5个百分点。我国近年在报刊上已见到口蹄疫散发的报道，如上海、广东等地，损失也很大。又如猪蓝耳病2006年在我国大流行，蔓延10个省份，造成200万头以上猪只感染，40万头猪发病致死，对当年猪肉供应都造成困难。如果要彻底或者大大改善这类剧烈传染病流行，用转基因技术改良和培育新的转基因抗病猪，可能是一条比其他已用技术更为有效、值得探索的途径。

可能有许多人因为转基因的安全性而对其持有反对的态度。其实我们只要仔细回忆一下人类发展药物的历史，就会理解安全不安全是一个相对的概念。安全与否是一个事情的两个方面。安全不安全是相对的、动态的，昨天认为安全的事物，随着科学发展，认识提高，在今天看来则可能不那么安全。但是由于这些药物能挽救病人生命，是人生存必需的，就不能因噎废食，因为某种缺点而拒绝使用和停止发展。例如抗菌素的发展就是如此，第一个发现的抗生素是青霉素，投入市场正值二次世界大战，它对战争创伤引起的败血症、肺炎、伤寒、霍乱有非常好效果，因此挽救无数生命。但是随着临床应用发现有少部分人群对它敏感，可能造成休克甚至死亡。又如链霉素是二次世界大战后上市的抗结核杆菌特效药，它也救了无数肺结核病人的生命，但是后来

也发现当注射过量，它的副作用是会引起病人耳聋，而且是损伤性的，不会因停药而消失。除了这些早期发现的抗菌素有副作用外，后来发现的抗菌素大都有不同程度的毒副作用。可是科学家们并未停止发掘新的抗菌素，因为抗菌素还是最有效的药物之一，现在人们最担心的是新的抗菌素发现的几率愈来愈小，因此希望人们不要乱用抗菌素，因为抗菌素滥用可能促使抗药性病原菌出现，致使抗菌素失效。如果一旦现有抗菌素丧失有效性，新的抗菌素没有替换，人类又将进入100年前没有抗菌素药物的时代，可以预期人类面临大规模瘟疫和死亡的时代又要到来。所以，每一个头脑清醒的人，不应该拒绝科学成果。

我们要从实践中建立有效的、严格的审批制度，从而保证投入市场的药物和食品安全可靠。更重要的是用严格的制度保证处于可控状态，使处于经常的监督之下，能避免未知因素扩散。转基因技术发展是人类智慧的结晶，是对人类今后生存和发展产生关键性影响的科学技术。人类如果能够有序地发展生物技术，合理地种植转基因作物和发展转基因动物，并对其加以管理和应用，它将会成为地球上最具有发展前景的技术。转基因技术是在现代先进的科学技术基础上发展起来的。科学家对研究的对象，有更理性而深入理解。各个国家都建立科学而严格的审查制度，对使用的基因，携带材料，受体动、植物的安全性以及对环境的影响都有评估和监控。更重要的事实是，转基因作物的种植和产品应用

(食用)，已达15年，而且转基因食品种类还在不断增加，但是至今没有发现由于食用转基因食品而对健康造成损害的事例。因此，政府批准的转基因食品是安全的。

尽管人类面临人口增长、能源短缺、环境恶化的压力，但是科学在发展，人类对客观事物的认识更加深化。只要我们不断学习和总结，不盲目拒绝科技发展成果，人类就将不断进步。

【作者简介】

郑兆鑫，男，1935年出生。研究领域：微生物遗传学与遗传工程。完成口蹄疫基因工程疫苗的研究和开发，研究了RNA干扰对口蹄疫病毒复制的影响。

常用的转基因食品检测技术与发展需求

曹际娟

辽宁出入境检验检疫局

在平时生活中，我们可能没有明显地感觉到粮食紧缺，只是在抱怨为什么粮食价格又上涨了，偶尔也会听闻朋友、邻居等相劝去抢购一点大米和面粉吧，储存在家里防止供应脱销。我们看到的是餐桌上的食物，而食物从田间到餐桌却要经过育种、耕种、灌溉、施肥、收割、运输、储存、加工、买卖、烹饪等无数个环节，在这些过程中可能会面临着因种子低劣而减产、病害传播而低收、战争混乱而荒地、自然灾害而绝收的窘境，也面临着耕地面积不断减少而人口日益增多导致供求失衡的矛盾，更会有些地区或国家因粮食需求与贸易壁垒间的摩擦而引发粮食价格波动的现象。粮食紧缺是当今世界无法回避的现实问题。粮食就是垄断一切的东西，哪个国家能生产和囤积满足老百姓需求的粮食，而不引起老百姓不必要的恐慌，它就是强国。

转基因作物的出现，给种子优质改良提供了科学途径，给作物病害减产提供了控制方法，给灾害粮食绝收

提供了补救措施。归根到底是给粮食紧缺的人类带来了生存机遇。与此同时，也引发了人们对转基因食品安全性的争论和挑战。

一、开展转基因食品检测的必要性

转基因食品，就是用基因工程作物所生产的食品。转基因作物在带来巨大效益的同时也存在许多争议，如转基因食品的安全性及对生态环境的影响等。因此，欧盟、日本、中国等先后出台了相应的法律和管理方法，对转基因食品实行强制标识或自愿标识。欧盟规定食品中转基因成分超过0.9%则必须进行标识；瑞士、墨西哥、澳大利亚和新西兰的限量标识为1%；挪威的限量标识为2%；韩国的限量标识为3%；日本的限量标识为5%。2002年我国农业部颁布的《农业转基因生物标识管理方法》，规定对转基因生物必须进行标识。这就说，让民众享有知情权和选择权。

对转基因食品贴示标签，区分转基因与非转基因食品，或对食品中转基因含量的多少加以限制，这都需要有准确、有效的检测方法。随着转基因产品的不断市场化，建立有效的检测方法，是进一步加强我国在转基因食品监管方面的重要技术保障。

2000年以来，我们逐步开展转基因食品检测技术研究，并制定了一系列的检测方法标准。目前，转基因食品检测已经成为我们实验室日常检测工作的一部分。

二、常用的转基因食品检测技术

常用的转基因食品检测方法主要有两大类：一类是蛋白质水平的检测，如酶联免疫法（ELISA 法）和胶体金试纸法。另一类是核酸水平的检测，如 PCR 定性方法和实时荧光定量 PCR 方法。

（一）蛋白质水平的检测方法

ELISA 法是在抗体抗原免疫学反应的基础上，产生肉眼可见的凝集反应。抗原只和它自己（或具有相同抗原决定簇）诱导产生的抗体发生反应，因此，该方法具有很好的特异性，并且仪器简单，操作简便，对检测人员要求不高。

胶体金试纸法主要将特异的抗体交联到试纸条上和有颜色的物质上，当纸上抗体和特异抗原结合后，再和带有颜色的特异抗体进行反应，就形成了带有颜色的三明治结构，而且固定在试纸条上。如果检测样品中没有转基因成分（抗原），则没有颜色。该方法不需要特殊的仪器设备，适用于现场检测或筛选检测。

但是，上述两种蛋白质水平的检测方法却具有局限性，因为食品的复杂成分会干扰检测效果，并且加工过的转基因食品中的蛋白质抗原性很容易破坏，从而会影响检测结果的灵敏度。此外，该方法需要大量的抗体和抗原。目前，商品化的 ELISA 检测试剂盒和胶体金试纸条只能检测少数几种转基因产品，且一种试剂盒或试纸条只针对某一特定转基因产物，不能针对多种混合成

分的食品样品进行检测。

（二）核酸水平的检测方法

PCR 定性方法是20 世纪80 年代中期发展起来的体外核酸扩增技术。该技术能在一个试管内将所要检测的目标基因片段在数小时内扩增至 10 万～100 万倍，即从一根毛发、一滴血、甚至一个细胞中就能扩增出足量的 DNA 供分析和检测，是生物领域中的一项革命性创举和里程碑。PCR 法检测样品需要5～6 小时即可完成。但该方法对实验室布局和检测人员要求非常严格，否则极易造成污染而导致假阳性结果。

实时荧光定量 PCR 方法是在 PCR 基础上发展起来的，可以实时监测整个 PCR 进程并且实现转基因成分含量的检测。该方法需要 3～4 小时即可完成检测，并且可以对转基因成分准确定量，具有很好的应用价值。但主要缺点是操作的仪器较贵。

上述两种核酸水平的检测方法具有适用范围广的优势，只要样品中 DNA 存在，就能被检测，不受食品混合、复杂成分的干扰，适用于转基因原料、初加工和深加工食品的检测，而且有很好的特异性和灵敏度，已经发展为常用的转基因食品检测方法。目前，所有商业化的转基因食品都有相应的 PCR 检测方法标准。

三、对转基因食品检测技术的发展需求

随着转基因新品种的研究和不断问世，仍需要深入、扩大开展转基因食品检测技术的研究，建立新型、

实用、高通量的检测方法。特别是在对转基因背景一无所知的情况下，需要提高对各种候选待检目标逐一筛查检测的工作效率。

生物芯片技术具有高通量、微型化、自动化和信息化的特点，从理论上可以解决高通量的问题，但目前却存在着操作繁琐、灵敏度有待提高的缺点。解决生物芯片技术优势和实用性的瓶颈难题是转基因食品检测研究的方向之一。此外，同时具有芯片高通量和实时 PCR 简便快捷检测优势的锁式探针实时 PCR 的新型检测技术，正被研究人员所关注，有望在不久的将来会应用于转基因食品的检测。

随着人们对转基因食品安全性的呼声越来越高，科学家们也越来越多地研究采用全新的同源或近缘物种的优势基因，去转化研制新的转基因作物，这就给新的转基因食品检测方法的建立带来了难度，但此举却给转基因食品的食用安全性带来了更加有力的保障。

【作者简介】

曹际娟，女，1968 年生，博士，研究员。研究方向：食品安全。

浅谈转基因

刘小侠　贺娟　张青文
中国农业大学昆虫系

一、转基因的概念和发展概况

转基因是指利用分子生物学手段，将人工分离和修饰过的某些生物的基因转移到其他物种，以改造该物种的遗传特性[1]。换言之，就是将一种生物的遗传物质片段取出来，再放入另一种生物中去，使后一种生物具备新的性状[2]，令其表现出优于原来性状的一项技术。

第一个转基因生物——转基因烟草于1983年问世以后，转基因技术得到了很大的发展。1983年4月，美国威斯康星大学研究小组把来自法国的菜豆蛋白基因成功转入向日葵中。1986年，美国环保署首次批准了将转基因作物释放到环境中的提案，这标志着转基因植物从实验室研究开始进入田间试验。1994年，首次商品化的转基因作物——延熟保鲜转基因西红柿被推向市场。转基因技术研究及应用的发展日渐成熟，截至1997年底，全球转基因植物的田间试验已经高达25 000例。并且，已有51种转基因植物产品被正式投

入商品化生产[3]。

全球转基因植物种植面积的增长非常迅猛。资料统计：1996年全球转基因作物面积仅170万公顷，1997年就增长到1 100万公顷，2000年约为4 420万公顷[4]；2006年全球转基因作物种植面积首次突破1亿公顷[5]，2007年为1.14亿公顷，2008年为1.25亿公顷[6]；2009年达到1.34亿公顷，与1996年相比，转基因作物种植面积增长了79倍[7]。

由于转基因技术带来的经济效益，全世界种植转基因作物的国家也在逐年递增。1996年，全世界只有6个国家种植转基因作物，2003年上升为18个国家；2009年，已有25个国家开始进行转基因作物种植，其中包括15个发展中国家和10个工业化国家，美国是最大的转基因作物种植国[7]。

2008年，中国转基因作物种植面积为世界第六位，棉花、西红柿、杨树、矮牵牛、抗病毒木瓜和甜椒6种作物已商品化种植。2009年11月，中国为转基因抗虫水稻和转植酸酶基因玉米颁发了生物安全证书，这是具有里程碑意义的决策，推动了未来更多转基因作物的种植与推广。

二、转基因的优势

现在，转基因技术已逐渐应用于农业生产、食品和医疗卫生、能源开发等领域，也取得了相应的成果。研究表明，利用转基因技术进行农业生产可以有效降低生

产成本，同时，由于抗除草剂、抗病、抗虫以及耐寒、耐旱、耐盐等基因的转入，转基因作物无论从生长势、竞争力以及产量、品质等方面都明显优于非转基因作物，很大程度地提高了生产效率。目前，全球很多国家，尤其是很多发展中国家正处于人口迅速增长、粮食供应短缺的困境下。很多专家认为，利用转基因技术进行农业生产可以帮助解决这些问题。

现在，人们餐桌上已经出现了很多转基因食品，很多都具有优良的营养保健作用。如加拿大科学家成功培育出来的转基因油菜，含有大量的高不饱和脂肪酸，用它提炼出来的植物油能有效防止心血管疾病，营养又健康。

在医疗卫生领域，可以应用转基因技术，以植物为“生物反应器”，制备生产大量蛋白、酶等有益生物代谢产物，为医疗业提供大量的药物来源。例如，很多有用的动物蛋白都是由烟叶作为“生物反应器”生产出来的；马铃薯、香蕉和胡萝卜作为“生物反应器”培育出来的抗乙型肝炎病毒疫苗对医疗事业做出很大贡献[1]。

当今世界正面临煤炭、石油等矿物资源逐渐枯竭的危险，世界能源危机问题迫在眉睫。生物能源作为新型可再生能源，其开发和利用应该被人们予以重视。以农作物为原料生产乙醇、生物柴油等生物燃料有着光明的发展前景，以能源植物为主的生物质能将是人类未来的理想选择[8]。

三、可能存在的危害

在转基因技术发展的同时，全世界在转基因作物安全问题上也开始了激烈的争论。很多持反对意见的专家认为，转基因生物威胁到生物多样性，对人类赖以生存的生态环境产生严重影响。除此以外，很多人对转基因食品的安全性依然持非常怀疑的态度。欧洲一些国家的媒体甚至把转基因食品称之为“恶魔食品”[9]。目前关于转基因技术可能带来的风险主要在以下几个方面。

（一）对生态环境的影响

1. **“超级杂草”的产生。**1995 年，加拿大首次商业化种植了通过基因工程改造的转基因油菜。但在种植后的几年里，其农田便出现了对多种除草剂具有耐抗性的野草化的油菜植株，即超级杂草。由于多种抗性转基因油菜在相邻地块的种植，导致出现了野草化油菜植株能对多种除草剂产生抗性。研究表明，各种转基因油菜的花粉，可以借助风、昆虫等进行相互传播，这样，经过多代的传播和种植，许多抗性基因很可能被同时转移到同一种油菜中，能抗多种除草剂的油菜就产生了[10]。加拿大的转基因油菜转变为杂草事件引起了世界各国的高度重视。与此相似，其他作物中转入的抗除草剂基因也能以花粉“漂移”到邻近杂草中，使杂草抗性增强，对其的防治工作将会变得更加困难。事实上，这种油菜在喷施另一种除草剂 2,4-D 后即被全部杀死。应当指出的是，“超级杂草”的说法并不科学，因为即使发现有

抗多种除草剂的杂草，还是可以通过更换除草剂和其他除草措施得到有效控制。

2. 影响生物多样性。对邻近杂草、近缘野生植物而言，一方面，抗除草剂转基因作物的大面积种植使得人们倾向于使用单一的除草剂，这大大地增加了对杂草的选择压。那些本身具有抗性基因的少数杂草群具有很大生长优势，逐渐取代原生型杂草成为优势种群，杂草种群因此发生了很大变化。此外，由于转基因作物的优良品质广受大众的青睐，种子公司肯定也会迎合大众的喜好，种质资源逐渐趋于单一化，野生品种资源逐渐丧失。另一方面，转基因作物很有可能通过花粉将抗性基因传播到近缘野生植物中，基因重组后改变种群结构[11]。但可喜的是，在一些转基因作物种植区，由于减少了农药使用，该地区的生物多样性增加了。

3. 靶标害虫的抗性问题。抗虫转基因作物的长期大面积种植会对害虫种群结构的发展产生很大影响。抗虫基因在植物体内持续表达，害虫长时间地受到 Bt 蛋白的选择。在这种选择压下，大部分不适应的害虫被淘汰，少数抗性个体逐渐发展成优势种群，抗性品种的种植也失去了意义。目前已报道在美国、澳大利亚的田间出现了抗性小菜蛾。此外，害虫还能顺应环境的改变而改变自身的一些特性，如取食范围等，增强自己的生存能力。抗虫基因作物的种植，迫使害虫扩大其寄主范围，取食其他作物[10,11]。这样一来，对于其他作物的害虫防治又将是一大难题。但这个问题可以通过变化抗

虫基因、设立避难所等方法解决。

4. 对非靶标生物的影响。关于转基因对非靶标生物的影响，有几个非常著名的实验。1998 年，匈牙利裔蛋白质研究专家 Pusztai 在苏格兰 Rowett 研究所宣布，老鼠在食用了转雪花莲凝集素基因的马铃薯 10 天后，免疫功能明显下降，器官生长异常，体重也有所下降。这个实验结果引起了很多科学家的高度关注。然而，Pusztai 的实验正确性遭到了很多质疑[12]。英国政府对此非常重视，委托皇家学会组织了同行评审，评审结果指出 Pusztai 的实验结论不成立，存在六方面的错误，即不能确定转基因和非转基因马铃薯的化学成分有差异；对食用转基因马铃薯的大鼠未补充蛋白质以防止饥饿；供试动物数量少，饲喂几种不同的食物，且都不是大鼠的标准食物，缺少统计学意义；实验设计不合理，未作双盲测定；统计方法不当；实验结果无一致性等。

1999 年 5 月，由美国康奈尔大学研究小组报道的实验结果在 *Nature* 上发表。研究表明，在一种名叫马利筋的乳草上撒有转 Bt 基因的玉米花粉，让斑蝶幼虫取食这种植物叶片，4 天后发现，幼虫死亡 44%，而对照组则没有幼虫死亡。这个实验结果震惊了世界。然而，在那些反对转基因的研究者们认为已经找到很好证据证明他们观点的时候，这个实验却受到了很多的质疑。例如有人提出，实验中斑蝶取食转 Bt 基因花粉的量远远大于在自然界中的取食量。况且自然界中很多因素都会影响斑蝶的取食情况。至今，关于转基因作物对

非靶标生物安全性问题的争议仍然十分激烈[13]。

（二）食品安全

转基因食品安全问题已成为当今讨论的热点话题。我国发放安全证书的过程是“经过严格的实验研究、中间试验、环境释放、生产性试验和申请生产应用安全证书等五个阶段的多年安全评价，依据国家农业转基因生物安全委员会评价结果做出的决定”[14]。

对于转基因食品安全问题，我们应该在众多争议中抱以客观、审慎的态度。转基因食品是人类解决饥饿的有效科技手段，还是人类的灾难？这个问题的解答需要更多的科学研究和安全风险评估。

四、展望

虽然转基因安全问题已经受到很多国际组织和政府的高度关注，但受科学技术和很多因素的影响。自1992年联合国环境发展大会签署了《生物多样性公约》以来，无论是国际上还是我国都颁布了很多关于转基因安全的管理法规，也采取了很多有效的策略。2002年我国农业部发布了《农业转基因生物安全评价管理办法》、《农业转基因生物进口安全管理办法》以及《农业转基因生物标识管理办法》。2010年1月31日，中央1号文件《中共中央、国务院关于加大统筹城乡发展力度，进一步夯实农业农村发展基础的若干意见》发布，文件特别提到“要推进转基因新品种产业化”[15]。

对于转基因技术，在没有任何确凿以及足够多的证据证明它确实对人类和整个生态环境弊大于利之前，每个研究机构、个人都应该以平常心看待它。总之，转基因生物对生物多样性和食品安全虽然可能存在一些风险，但经过安全评价，已将风险降到最小、可控的程度，它能给人类带来福音。在植物保护，解决全球饥饿、能源危机以及农业的可持续发展方面都有着举足轻重的作用。在现代基因工程技术如此蓬勃发展的生物信息时代，人类需要客观、科学、理性地采取有效手段最大限度地减轻这些威胁，转基因生物技术才能更好地为人类服务，造福社会。

【参考文献】

[1] 朱彦涛，徐虹，郭蔼光，等. 植物转基因技术与当代社会发展. 中国农学通报，2008，24（4）：509～522

[2] 刘卫东. 植物转基因技术及安全性研究进展. 南京农专学报，2002，18（1）：6～12

[3] 李仁，王锋，张晓俊，等. 转基因作物与生物安全. 福建农业学报，2000，15（增刊）：149～152

[4] Clive James. 张银定，王琴芳译. 2000 年全球转基因作物商品化概述. 生物技术通报，2001（3）

[5] Clive James 著. 孙国凤摘编. 2006 年转基因作物商业化的全球态势. 生物技术通报，2007（2）

[6] Clive James（国际农业生物技术应用服务组织）.

2008 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势——第一个十三年（1996—2008）. 中国生物工程杂志，2009，29（2）：1～10

[7] Clive James（国际农业生物技术应用服务组织）. 2009 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势——第一个十四年（1996—2009）. 中国生物工程杂志，2010，30（2）：1222

[8] 朱祯，刘翔. 转基因作物——恶魔还是救星. 农业生物技术学报，2000，8（1）：1～5

[9] 陈英明，涂修亮，刘义得. 转基因植物的生态影响. 湖北大学学报（自然科学版），2002，24（3）：272～276

[10] 刘娜，李葱葱，徐文静，等. 转基因作物环境安全性研究进展. 分子植物育种，2006，4（1）：9～14

[11] Ragauskas A J，Williams C K，Davison B H，et al. The path forward for biofuels and biomaterials. Science，2006，311：484～489

[12] 贾士荣. 转基因作物的安全性争论及其对策[J]. 生物技术通报，1999，15（6）：1～7

[13] Losey J E，Rayor L S，Carter M E. Transgenic pollen harms monarch larvae [J]. Nature，1999，399：214

[14] 孔彦. 转基因食品及其发展. 甘肃联合大学学报（自然科学版），2007，21（3）：50～52

[15] 李颖. 转基因大米：我们5年后的口粮. 广州日报，2010，3，23

【作者简介】

刘小侠，女，博士，副教授。主要从事转基因植物安全性评价方面的科研、教学工作。

张青文，男，博士，教授。主要从事植物抗虫性、转基因植物安全性方面的科研、教学工作。

浅谈转基因技术在抗逆水稻新品种培育中的应用

张芊　路铁刚

中国农业科学院生物技术研究所

水稻是全球重要的粮食作物之一。世界上近一半人口，包括几乎整个东亚和东南亚的人口，都以稻米为食。然而当前世界范围内水稻的生产远不能满足消费需求，未来水稻生产将会面临更大的挑战。目前，我国水稻平均单产为6 500千克/公顷左右，总产量1.8亿~2.0亿吨，占粮食总产量的38%、口粮的70%。我国水稻生产用全国1/4的耕地面积生产出了全国1/3的粮食，养活了全国1/2以上的人口。可见，水稻生产在我国粮食安全中占有举足轻重的地位。我国是一个灾害频发，且资源相对短缺的国家。干旱等逆境在水稻生产中造成严重减产。水稻用水量约占农业耗水量的70%，占我国总耗水量的一半左右。对水资源仅占世界人均拥有量1/4的中国来说，这无疑是一个沉重的负担。我国大约有667万公顷盐碱地，主要分布在东北、华北、西北等干旱和半干旱地区以及长江以北的沿海地区。随着我国人口的增长及工业的高速发展，可耕地急剧下降，

而不合理灌溉、耕作等又造成了大量良田的次生盐渍化。近年来，干旱、高温、冷害频繁发生，严重影响我国水稻生产。因此，在提高水稻单产的同时，提高水稻的抗逆性具有重要意义。

提高作物的抗逆性指提高作物对干旱、低温、高温、盐碱的耐受力。目前，利用转基因技术可以将任何物种的基因转入水稻中来提高水稻的抗逆性。此外，植物抗逆反应是一个极为复杂的过程，个别基因的改良往往不易达到获得明显抗性的效果。转基因技术可以同时转入多个基因，加强同一抗性或培育具有多种抗性的新品种。这是传统育种所无法比拟的。已经导入水稻的抗逆基因主要有烟草中的 CMO 基因、甜菜碱生物合成酶基因 codA 和水稻耐淹能力有关的基因等，将其转入水稻中分别获得了具有抗旱、耐碱、耐盐和耐渍的转基因水稻植株。

我国从事抗旱、抗盐碱的工作起步较早，克隆了一系列抗逆相关基因。然而转基因抗逆水稻仍处于研究阶段，尚未关于其在生产中应用的报道。目前，我国所选育和推广的稻作品种存在抗性不足的问题，无论在品种的数量、质量上都不能满足世界和我国对抗旱、耐盐、耐高温和冷害水稻品种的需求。尽管由于植物抗逆的复杂性，植物抗逆反应中的许多细节还不清楚，但随着现代生物技术的发展，通过基因工程方法来提高植物的抗逆性是可行的，目前的研究结果也是令人鼓舞的。2008 年我国启动的转基因作物研究重大专项，使得我国关于

利用转基因技术提高水稻抗逆性的工作不再限于实验室研究。这一重大决定，将极大促进转基因技术在提高水稻抗逆性新品种培育的实际应用与推广，为增强我国作物育种的国际竞争力奠定了基础。

【作者简介】

张芊，女，1980 年出生，博士，助理研究员。长期从事水稻生物技术及功能基因组学研究，承担国家自然科学基金项目。

路铁刚，男，1964 年出生，博士，研究员，博士生导师。长期从事水稻生物技术及功能基因组学研究，承担国家和国际科技项目多项。

转基因技术的优势

刘裕强　江玲
南京农业大学

所谓转基因技术是将人工分离和修饰过的基因导入到生物体基因组中，导入基因的表达，引起生物体性状的可遗传修饰。根据其导入的生物体不同又可分为转基因植物和转基因动物。

转基因植物可通过原生质体融合、细胞重组、遗传物质转移、染色体工程技术获得，有可能改变植物的某些遗传特性，培育高产、优质、抗病毒、抗虫、抗寒、抗旱、抗涝、抗盐碱、抗除草剂等的作物新品种。而且可用转基因植物或离体培养的细胞，来生产外源基因的表达产物，如人的生长素、胰岛素、干扰素、白介素2、表皮生长因子、乙型肝炎疫苗等基因已在转基因植物中得到表达。

转基因动物主要通过细胞融合、细胞重组、遗传物质转移、染色体工程和基因工程技术将外源基因导入精子、卵细胞或受精卵，再以生殖工程技术获得。通过生长素基因、多产基因、促卵素基因、高泌乳量基因、瘦肉型基因、角蛋白基因、抗寄生虫基因、抗病毒基因等

基因转移，可能育成生长周期短，产仔、生蛋多和泌乳量高，生产的肉类、皮毛品质与加工性能好，并具有抗病性，已在牛、羊、猪、鸡、鱼等家养动物中取得一定成果。还可将转基因动物作为生物工厂，如以转基因小鼠生产凝血因子 IX、组织型血纤维溶酶原激活因子（t-PA）、白细胞介素 2、α1-抗胰蛋白酶，以转基因绵羊生产人的 α1-抗胰蛋白酶，以转基因山羊、奶牛生产 LAt-PA，以转基因猪生产人血红蛋白等。这些基因产品具有高效、优质、廉价与相应的人体蛋白具有同样的生物活性，且多随乳汁分泌，便于分离纯化。

自古以来，我们的祖先就从未停止过作物和牲畜的遗传改良。过去的几千年来的改良方式主要是对自然突变产生的优良基因和重组体的选择和利用，通过随机和自然的方式来积累优良基因。遗传学创立后近百年的动、植物育种则是采用人工杂交的方法，进行优良基因的重组和外源基因的导入而实现遗传改良。因此，转基因技术与传统技术是一脉相承的，其本质都是通过获得优良基因进行遗传改良。但在基因转移的范围和效率上，转基因技术与传统育种技术有两点重要区别。第一，传统技术一般只能在生物种内个体间实现基因转移，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。第二，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，所转移的是大量的基因，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

转移的一般是经过明确定义的基因，功能清楚，后代表现可准确预期。因此，转基因技术是对传统技术的发展和补充。将两者紧密结合，可相得益彰，大大地提高动、植物品种改良的效率。除在基因转移的范围和效率上比传统技术具有不可比拟的优势外，转基因技术对农业生产还具有十分重要的意义：

提高了抗逆性，减少了农药的使用量，提高了单位面积的产量，增加了农民的收入。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的优势。培育抗病虫、抗除草剂、抗旱、耐盐碱、养分高效利用等的转基因新品种，将显著减少农药、化肥和水的使用，缓解养殖污染，改善生态环境。由于转基因新品种在增产、优质优价、低耗等方面的优势，已使全球转基因作物种植农户累计获得纯经济效益 340 亿美元，农民增收 25% 左右。抗除草剂转基因大豆的应用，实现了密植和免耕，有利于水土保持。我国棉农也因种植转基因棉花，每公顷减支增收 1 950 元，累计实现农民增收 200 多亿元。

丰富了食品的种类，提高相关产业的发展。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制成功，部分转基因药物上市销售，使转基因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。

运用转基因技术培育高产、优质、多抗、高效的新

品种，能够降低农药、肥料投入，对缓解资源约束、保护生态环境、改善产品品质、拓展农业功能等具有重要作用。目前，世界许多国家把转基因生物技术作为支撑发展、引领未来的战略选择，转基因技术已成为各国抢占科技制高点和增强农业国际竞争力的战略重点。我国是一个人口大国，解决13亿人口的吃饭问题始终是头等大事。在工业化、城镇化快速发展的过程中，突破耕地、水等资源约束，保障国家粮食安全和农产品长期有效供给，归根结底要靠科技创新和应用。我国政府高度重视并一贯支持转基因生物育种的发展。早在上世纪80年代，在“发展高科技，实现产业化”方针的指引下，中国农业生物技术产业迅速崛起。经过10余年的努力，我国建立了比较完整的转基因作物育种研发和管理体系，成为世界上为数不多的具有转基因作物独立研发能力的国家之一。然而，应当看到，虽然我们取得了长足的进步，但目前仅在棉花、水稻、玉米等少数作物、少数基因上取得一定的优势或特色，自主创新能力仍然不强，产业化机制尚不健全，整体实力与发达国家还有较大差距。从全球来看，转基因作物育种技术及其产业在经历了技术成熟期和产业发展期之后，目前已进入至关重要的、以抢占技术制高点与经济增长点为目标的战略机遇期，围绕基因、人才和市场的国际竞争正日趋白热化。总之，对于未来农业生物技术领域国际竞争的激烈性与复杂性，我们要有足够的准备和全面的对策。

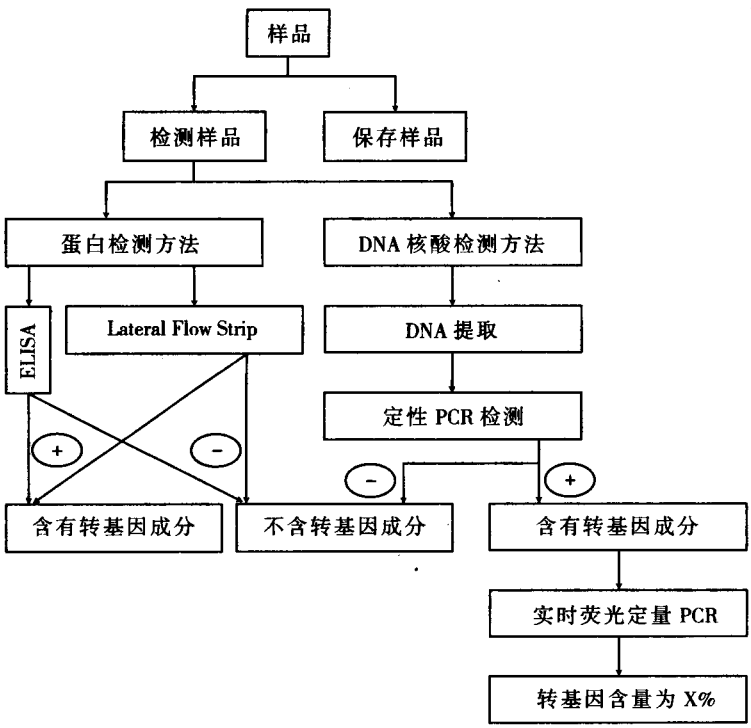
我国转基因产品检测方法研究和应用现状

张大兵
上海交通大学

到2009年底，全球已经有57个国家批准了155种转基因作物的商业化应用，我国已批准了转基因棉花、西红柿、甜椒、番木瓜、水稻和玉米等农业转基因生物安全证书，同时我国近年来每年批准进口大量转基因大豆等产品。为了实施转基因产品的标识制度，加强对转基因作物的释放、加工及其进出口的管理，一些国际性组织，如国际标准化组织（International Organization for Standardization，ISO）组建的转基因食品检测标准技术委员会（ISO/TC 34 WG 7），主管转基因食品国际标准的制（修）订工作。ISO先后颁布了标准，规定了转基因生物及其产品的检测分析方法、DNA提取方法和转基因产品检测过程中的术语定义和注意事项。此外，一些相关地区和国家，如欧盟等，已经建立转基因产品检测技术标准化工作组，研究相关检测技术，制订技术标准，并建立相关转基因产品的检测机构。我国自2001年开始，相继颁布了《农业转基因生物安全管理条

例》、《农业转基因生物标识管理办法》、《农业转基因生物进口安全管理办法》以及《农业转基因生物安全评价管理办法》，并设立了相关机构对转基因作物进行管理和制定相关标准。

目前，国内外常用的转基因产品的检测方法主要是针对外源插入的目的核酸 DNA 分子或者其编码的蛋白质分子，检测的技术流程参见下图。



转基因产品检测流程图

一、基于外源蛋白质的检测方法

这类针对外源基因表达的蛋白质的检测方法，是以抗原、抗体为基础的免疫学方法，通过检测外源基因表达的蛋白来定性、定量检测转基因产品。建立这些检测方法通常需要将外源结构基因表达的蛋白产物制备成特异性的单克隆或多克隆抗体，主要有酶联免疫吸附法（Enzyme linked immunosorbent assay，ELISA）、免疫侧向流动试纸条（Lateral Flow Strips，LFS）等。与ELISA 相比，免疫侧向流动试纸条的不同之处是以硝化纤维代替聚苯乙烯反应板为固相载体，对外源蛋白特异结合的抗体上联结了显色剂，被固定在试纸条内，当试纸条一端被放入含有外源蛋白的植物组织提取液中，另一端吸水垫的毛细管作用使提取液向上流动，当特异抗体与外源蛋白相结合时，呈现颜色反应。试纸条上含有两个“捕获”区域：一个“捕获”结合外源蛋白的抗体蛋白复合物，另一个“捕获”显色剂。当所形成的夹心复合物及未反应的显色剂被试纸条上的相应“捕获”区捕获时，这些捕获区显红色区带。当在试纸条上只显示 1 条区带（质控线）时，为阴性结果，表明不含有被检测的转基因蛋白；而当显示 2 条带时，则为阳性结果，表明含有被检测的转基因蛋白。与以 DNA 为基础的检测方法相比，该方法的样品处理简单，具有快速、简便、适合现场操作等优点，一般 5～10 分钟即可获得检测结果。目前中国市场上针对 Bt Cry1Ac/Ab

的快速检测试纸条，主要为中国农业科学院生物技术研究所与重庆金标生物技术有限公司联合开发的产品以及美国 Envirologix 等国外公司的产品。

二、以外源插入 DNA 分子为基础的检测方法

针对转基因产品的核酸检测方法，主要有 PCR 检测技术和基因芯片技术等。目前，PCR 方法是最主要的转基因产品检测方法，从种子到不同程度的加工产品都可采用此类方法进行检测，也是实验室普遍采用的方法，主要包括定性 PCR 方法、复合 PCR 方法、竞争性定量 PCR 方法、荧光定量 PCR 方法等。PCR 检测方法的优点在于它的特异性和灵敏度。针对待检测目的 DNA 片段的特异性不同，可分为四种检测策略：筛选检测、基因特异性检测、构建特异性检测和品系特异性检测。目前，我国也已经初步建立了以品系特异性 PCR 为主的转基因植物及其产品检测方法，并出台了相关规范和国家技术标准等，见下表。

中国制定的部分转基因产品检测技术标准

序号	标准名称	标准代号
1	转基因植物及其产品成分检测——耐贮藏西红柿 D2 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 1193 号公告 -1 -2009
2	转基因植物及其产品成分检测——耐除草剂油菜 Topas 19/2 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 1193 号公告 -2 -2009

（续）

序号	标准名称	标准代号
3	转基因植物及其产品成分检测——抗虫水稻TT51-1及其衍生品种定性PCR方法	农业部1193号公告－3－2009
4	转基因植物及其产品成分检测——抗虫玉米Bt10及其衍生品种定性PCR方法	农业部953号公告－1－2007
5	转基因植物及其产品成分检测——抗虫玉米CBH351及其衍生品种定性PCR方法	农业部953号公告－2－2007
6	转基因植物及其产品成分检测——耐除草剂油菜T45及其衍生品种定性PCR方法	农业部953号公告－3－2007
7	转基因植物及其产品成分检测——耐除草剂油菜Oxy-235及其衍生品种定性PCR方法	农业部953号公告－4－2007
8	转基因动物及其产品成分检测——促生长转ScGH基因鲤鱼性PCR方法	农业部953号公告－5－2007
9	转基因植物及其产品成分检测——抗虫转Bt基因水稻定性PCR方法	农业部953号公告－6－2007
10	转基因植物及其产品成分检测——抗虫和耐除草剂玉米Bt11及其衍生品种定性PCR方法	农业部869号公告－3－2007
11	转基因植物及其产品成分检测——抗除草剂油菜MS1、RF1及其衍生品种定性PCR方法	农业部869号公告－4－2007
12	转基因植物及其产品成分检测——抗除草剂油菜MS8、RF3及其衍生品种定性PCR方法	农业部869号公告－5－2007
13	转基因植物及其产品成分检测——抗除草剂油菜MS1、RF2及其衍生品种定性PCR方法	农业部869号公告－6－2007

（续）

序号	标准名称	标准代号
14	转基因植物及其产品成分检测——抗虫和耐除草剂玉米 TC1507 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 869 号公告－7－2007
15	转基因植物及其产品成分检测——抗虫和耐除草剂玉米 Bt176 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 869 号公告－8－2007
16	转基因植物及其产品成分检测——抗虫玉米 MON810 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 869 号公告－9－2007
17	转基因植物及其产品成分检测——抗虫玉米 MON863 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 869 号公告－10－2007
18	转基因植物及其产品成分检测——抗除草剂油菜 GT73 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 869 号公告－11－2007
19	转基因植物及其产品成分检测——耐除草剂玉米 GA21 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 869 号公告－12－2007
20	转基因植物及其产品成分检测——耐除草剂玉米 NK603 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 869 号公告－13－2007
21	转基因植物及其产品成分检测——耐除草剂玉米 T25 及其衍生品种定性 PCR 方法	农业部 869 号公告－14－2007

PCR 检测方法可以分为定性 PCR 检测、复合定性 PCR 检测、竞争性定量 PCR 检测、荧光定量 PCR 检测等。定性 PCR 检测方法是一种快速、灵敏的核酸检测方法，检测灵敏度较高，主要用于判断一个样品是否含有转基因成分，或具体含有那种转基因品系。在荧光能

量传递技术（Fluorescence Resonance Energy Transfer，FRET）基础上建立的实时荧光定量 PCR（Real - time PCR）技术，具有特异性强、灵敏度高、准确可靠、高效快速等优点。由于采用的荧光基团发光原理的不同，该方法又可以分为很多种，例如 SYBR Green I 荧光染料、FRET 技术、TaqMan 探针、Molecular Beacon、sunrise、scorpion、Self - quenched 技术和 UT - PCR 等。

我国科研人员已在转基因产品检测方法研究和标准化方面开展了大量工作，在国际上系统地验证了转基因生物（水稻、棉花、油菜、西红柿和番木瓜）内标准基因，并组织国际协同实验验证了前期研究获得的内标准基因及其定性、定量 PCR 检测方法，获得了理想的验证结果。同时，成功分离了转基因大豆、玉米、棉花等特征性分子序列，并应用于实际转基因产品的定量检测和分子特征验证。针对国际上主要商业化种植生产应用的近 30 种转基因大豆、玉米、棉花、油菜、西红柿和番木瓜等品系，系统开发建立了筛选、基因、构建和品系特异性检测方法，研制了一些新型检测转基因产品的方法，如 TaqMan、UT - PCR 方法等，检测方法灵敏度达到 10 个拷贝，并在此基础上制定了相应的转基因产品检测国家标准，这些方法以及标准已成为我国各检测机构转基因检测的依据。

为了加强我国转基因产品检测技术研究和标准化工作同国际先进实验室间的合作和交流，强化国内转基因产品检测机构间的信息资源共享，开发建设了一个转基

因产品检测方法数据库（GMDD. shgmo. or），得到了欧盟、美国等转基因产品实验室的认可和好评。通过本数据库的建设，进一步加强了同国际上先进实验室的合作。针对目前国际上对转基因产品定量检测的要求，开展了基体和质粒标准分子的研究，构建了适合转基因玉米定量检测的质粒标准分子等。这些为我国转基因产品检测监测提供了基础。

目前，我国已建立了包括检测技术研究、标准制定、实验室和信息服务四大体系的转基因产品检测技术平台，基本满足了目前我国对转基因产品进行全面有效监管的需求。随着转基因产品的种类越来越多以及科学技术的快速发展，我国将会加大对转基因生物检测监测的投入，预期今后会有越来越多新型、快速、简便、低成本、自动化、高通量的检测方法应用到转基因产品检测工作中。

植物基因工程中选择标记基因的使用

曹修岭　于嘉林
中国农业大学

在植物基因工程操作中，有一类基因通常并非我们希望其在最终产物中存在，但是在操作的过程中我们却离不开它们。它们的作用就相当于一个标签，让我们能够在所操作的成千上万个细胞中选出那很少的几个已经符合条件的细胞，然后把这少量的符合条件的细胞进行精心培养，使其正常生长为完整的植株。这类具有标签作用的基因，我们就称为选择标记基因。

可以看出选择标记基因在基因工程操作中的重要性。想象一下如果没有选择标记基因作为标签指示作用，基因工程操作的难度会有多大。在一次处理的上万个细胞中，真正能够符合我们要求的或许只有几个，如果一定要一个一个地检查哪个是符合我们要求的，无异于大海捞针，这样的工作量几乎是不可能完成的任务。如果是某些人非要一个一个地检查，那得需要多大的物力财力。即使最后得到了想要的细胞，培养成植株，他的付出也是得不偿失的。

选择标记基因并非一类特定的基因，也就是说并不是一些东西天生就是作为选择标记基因而没有其他的用处。只要在我们的基因工程操作过程中能够充当一个标签的作用，并且使我们的操作能够方便简单，符合我们条件的基因都可以作为选择标记基因。

所以，符合以上要求能够作为选择标记基因的有很多。在基因工程的不断发展过程中，随着科学技术各个分支的不断发展和人们对基因功能认识的不断深入，选择标记基因也处在不断发展完善的过程中。到现在为止，在基因工程操作中大量应用的选择标记基因大体可以分为四类，分别是抗生素抗性基因、除草剂抗性基因、化合物解毒酶基因和植物糖类代谢酶基因。它们在相应的选择培养基上都可以起到标签的作用，使得符合我们条件的细胞能够突出的显现出来。下面我们就分别举例介绍一下这四类选择标记基因的作用原理和各自的特点。

一、抗生素抗性的选择标记基因

这类选择标记基因是通过编码一种或多种酶来解除抗生素的毒性，使得已经转入了此选择标记基因以及和此选择标记基因连在一起的我们想要转入基因的细胞，在有抗生素存在的情况下能够存活。我们将此类存活的细胞进行培养，然后就能得到转入我们想要基因的植株。而那些没有转入此选择标记基因以及和此选择标记基因连在一起的我们想要转入基因的细胞，就不能编码

这种解毒的酶，而在有抗生素的培养基中死去。这样我们在基因工程操作中将转化完的所有细胞都放到含有相应抗生素的培养基上培养，那些能够存活的细胞就是我们想要得到的细胞了。

抗生素抗性基因和其对应的抗生素构成一个筛选体系。利用抗生素抗性基因进行细胞转化，利用含有其对应抗生素的培养基筛选出那些转化成功的细胞。现在常用的抗生素抗性的选择标记基因有：新霉素磷酸转移酶基因（*npt* Ⅱ）、潮霉素磷酸转移酶基因（*hpt*）、氯霉素磷酸转移酶基因（*cat*）和链霉素磷酸转移酶基因（*spt*）等。这些抗性基因与其对应的抗生素构成各自的筛选体系。不同的筛选体系有不同的特点，在基因工程中各有各的应用领域。

新霉素磷酸转移酶基因（*npt* Ⅱ）与 G418 筛选体系。G418 属于氨基糖苷类抗生素。该类抗生素能干扰植物细胞叶绿体及线粒体中蛋白质的合成，从而影响植物的光合作用和能量代谢，导致植物细胞死亡。新霉素磷酸转移酶基因（*npt* Ⅱ）编码的新霉素磷酸转移酶能够修饰该类抗生素分子，从而影响该类抗生素功能的发挥而使抗生素失活。所以在含有 G418 的培养基上，只有那些转化成功的细胞能够存活下来，而没有转化成功的细胞则因能量代谢受到影响而死亡。

新霉素磷酸转移酶基因在植物遗传转化中应用的最早，Bevan. M. W 等人在 1983 年已将其用作植物遗传转化的标记基因。美国食品和药物管理局（FDA）在

1994 年批准的首例商业化应用的转基因延熟西红柿即是用的该基因作为标记基因。目前，该基因仍然是最常用的转基因植物选择标记基因。

潮霉素磷酸转移酶基因（*hpt*）和潮霉素 B 筛选体系。潮霉素磷酸转移酶基因（*hpt*）编码的潮霉素磷酸转移酶（HPT）能够解除抗生素潮霉素 B 的毒性而起到选择标记的作用。潮霉素 B 在植物基因工程中的应用，有对愈伤的选择效果明显并且对植株的分化影响小等优点。潮霉素磷酸转移酶和潮霉素 B 在植物基因工程中已经发展成为一个非常有效、作用广泛的筛选体系，在单子叶植物、双子叶植物、裸子植物中均有应用。在哺乳动物中应用亦十分广泛。

二、除草剂抗性的选择标记基因

这类基因能够赋予转化成功的个体抗除草剂的性状。相比于抗生素抗性的筛选体系，除草剂抗性的筛选体系在转基因植株后代纯化筛选中有其独到的优势。近年来被广泛用作选择标记基因的除草剂抗性基因常用的有：*epsps* 基因、*bar* 基因、*gox* 基因等。

epsps 基因和草甘膦筛选体系。*epsps* 基因编码的酶称为 5-烯醇式丙酮酸莽草酸-3-磷酸合成酶，该酶在植物自身氨基酸合成过程中发挥重要作用，该酶的缺失会造成植物因氨基酸的缺乏而死亡。草甘膦是目前世界上使用最广泛的除草剂之一，它能特异性地抑制植物中该酶的活性，阻断氨基酸的合成，造成氨基酸的缺乏，从

而导致植株死亡。

epsps 基因是植物体内的一个正常基因，其编码的酶也是植物体内一个正常存在的酶。当草甘膦的浓度达到一定的量时，就能抑制植物体内大部分该酶的活性，使得植物因缺乏氨基酸而死亡。但当我们将能够过量表达该酶的突变基因转入植物以后，在一定的草甘膦浓度下，转入过量表达该酶突变基因的细胞内就会有一部分该酶不会被抑制而能正常合成氨基酸，正常生长。而那些没有成功转入此基因的细胞就会因酶的活性全部被抑制而死亡。这样我们要转入的基因就会因与此突变基因连在一起而存在于那些存活的细胞中。我们将这些存活的细胞挑出进行培养，就能得到转基因植株。

在后续的操作中，我们将得到的转基因植株的后代种子种在地里，只需要喷一遍一定浓度的草甘膦就能将那些在遗传重组中丢失了相应基因的植株淘汰掉，而保留下那些仍然含有该基因的植株，这样经过几代选择，我们就能得到能够应用的种子材料了。这也是除草剂抗性基因和除草剂筛选体系的独特优点。在后续的纯化筛选中操作简便易行。目前，该筛选体系已经应用于大豆、小麦等的基因工程中。

另外，*bar* 基因和草丁膦筛选体系是目前应用最广泛的除草剂类选择标记筛选体系。其作用机制和上面介绍的抗生素筛选体系的作用机制有些相似，这里不再介绍。自 1986 年分离和克隆了该基因以来，已广泛用于各种植物转化。目前，*bar* 基因在水稻、玉米等 20 多种

植物的遗传转化都有应用。

三、化合物解毒酶选择标记基因

这类标记基因的作用机制和抗生素抗性标记基因、除草剂选择标记基因相似，标记基因编码产物是酶，可催化对细胞生长有毒的化合物转变成无毒的化合物，从而使得转化成功的细胞能在含有有毒化合物的培养基上生长，而没能转入相应选择标记基因的细胞则被杀死。下面就来看两个例子。

来源于甜菜的碱醛脱氢酶（BADH）基因编码的碱醛脱氢酶在植物中能催化有毒的甜菜碱醛转变成无毒的甜菜碱，可作为安全的标记基因应用于植物基因工程中。2001 年 Daniell 等以甜菜碱醛脱氢酶基因作为选择标记基因，应用于烟草叶绿体基因组的基因工程操作中获得成功。

谷氨酸-1-半醛转氨酶（GSA－AT）基因也是一种化合物解毒酶选择标记基因。GSA－AT 是植物体内叶绿素生物合成途径中的一个酶。Gabaculine 是一种植物毒素，它能强烈地抑制 GSA－AT 的活性，从而导致叶绿素的生物合成发生中断。*hemL* 是一个具有 Gabaculine 抗性的 GSA－AT 突变基因。细胞中转入 *hemL* 基因后可以产生对 Gabaculine 的抗性。2001 年 Gough 等以 *hemL* 基因为标记基因转化烟草成功。

化合物解毒酶选择标记基因与抗生素抗性和除草剂抗性选择标记基因相比，有其自身的优势，因为大多数

化合物解毒酶基因都是分离自天然植物中的基因，其编码的酶也都是将对植物有毒的化合物转化为无毒代谢物，这样不仅使其在基因工程操作过程中具有选择标记作用，其存在于转基因植物中也不会造成环境的污染和生态问题。

四、植物糖类代谢酶选择标记基因

糖类代谢酶选择标记基因是根据植物细胞对不同糖类碳源的代谢能力，近几年发展出的利用糖类作为筛选剂的筛选系统，在安全标记基因方面显示出巨大的应用潜力。

与抗生素类、除草剂类、化合物解毒酶基因这三类选择标记基因作用机制不同，糖类代谢酶选择标记基因编码产物是某种糖类的分解代谢酶，转化成功的细胞能利用相应糖类作为主要碳源，可在筛选培养基上生长。而没能成功转入相应糖类代谢酶基因的细胞不能利用此糖类，处于饥饿状态，生长受到抑制。这样利用选择剂糖类作为主要碳源的筛选培养基就能将成功转化的细胞在众多细胞中分离出来。

目前已用于植物基因工程的此类选择标记基因有木糖异构酶基因、磷酸甘露糖异构酶基因和核糖醇操纵子，它们能分别使转化细胞利用木糖、6-磷酸甘露糖和核糖醇为碳源作为选择剂。下面就以木糖异构酶基因为例说明一下其作用机制。

木糖异构酶基因和 D-木糖筛选系统：许多植物细

胞不能代谢利用 D-木糖，但可利用 D-木酮糖。木糖异构酶能催化 D-木糖转化为 D-木酮糖。在以 D-木糖为碳源的筛选培养基上，转化成功的细胞因能编码木糖异构酶，从而催化 D-木糖转化为 D-木酮糖，拥有充足碳源而获得优势生长。没能转入木糖异构酶基因的细胞则因不能编码此酶而碳源缺乏，生长被抑制。这样连着木糖异构酶基因的我们要转入的基因就会在那些生长良好的细胞中。我们进行选择后培养，就能得到我们所要的转基因植株。

以糖类为筛选剂的筛选系统标记基因产物安全（编码的酶已广泛应用于食品工业）、筛选剂价格低廉、筛选程序简单、效果显著，而且转基因植株生长比较旺盛，并且不影响转化植物的代谢平衡，有望成为安全性标记基因筛选系统的主流。

在植物基因工程近 30 年的发展历史中，选择标记基因的应用也经历了从单一到多样的发展过程。从开始的抗生素选择标记基因到今天各种作用机制的选择标记基因层出不穷。选择标记基因也逐渐向着更加安全、更加环保的方向发展。

【作者简介】

曹修岭，男，1986 年出生。主要从事于分子植物病毒学和转基因玉米方面的研究。

有哪些方法可以用作植物转基因

曹修岭　于嘉林
中国农业大学

植物的遗传转化是以植物器官、组织、细胞或原生质体作为受体，通过某种技术或途径转入外源基因，获得外源基因稳定表达的可育植株。遗传转化可以打破物种界限，有目的地实现物种之间或物种内部遗传物质的交流，为植物的遗传改良开辟了一条新的途径。

植物遗传转化方法就是通过特定的方式将外源基因导入到受体细胞内，使之发生定向的、永久的遗传变异。目前，已经建立了多种转化系统。对于大多数遗传转化系统而言，遗传转化方法是遗传转化系统的关键环节，决定着转化的成败及效率。用于植物的遗传转化方法有许多：农杆菌介导法、基因枪法、电击法和 PEG 法等。

在转基因植物中，用农杆菌介导法获得的转基因植物占 80%，但大多集中在双子叶植物上。自从基因枪问世以后，单子叶植物中的禾谷类作物的遗传转化获得了迅速发展。农杆菌介导法和基因枪法已成为目前用于遗传转化的主要方法。

一、农杆菌转化法

农杆菌包括引起植物冠瘿瘤的根癌农杆菌和引起发根病的发根农杆菌。根癌农杆菌和发根农杆菌有相似的遗传背景。在农杆菌介导的转化中，80%左右是由根癌农杆菌介导的，大约20%是由发根农杆菌介导的。这里主要介绍根癌农杆菌介导的转化。

根癌农杆菌Ti质粒上有一段转移DNA（T-DNA）和Vir区，在农杆菌侵染植物时，这段T-DNA可以插入到植物基因组中，使其携带的基因在植物中得以表达。Vir区共24个基因，它们表达的蛋白与T-DNA的加工和转移有关。

1985年，Horsch首先创造的叶盘法（leaf disk method），拓宽了受体的取材范围，大大简化了农杆菌的转化操作，是一种简便、可靠的遗传转化方法。由于T-DNA能进行高频率的转移，而且在Ti质粒中可插入最大到50kb的外源片段，因此Ti质粒就成为植物基因转化的理想载体系统。

农杆菌侵染植物是两个连续的过程，农杆菌通过伤口和宿主细胞接触，并有效地附着结合到宿主细胞上。然后受伤的植物细胞通过分泌和释放一种可扩散的诱导物，活化Vir基因，诱导其顺次表达各种T-DNA加工和转移相关蛋白，进而实现对T-DNA的酶切、环切、复制、运载并插入寄主细胞的基因组中。转化是否能够成功的关键在于：①农杆菌能否吸附到植物细胞壁上。

②植物能否释放诱导 Vir 区基因表达的信号分子。③植物感受态细胞是否存在。

农杆菌转化法在植物遗传转化中的应用：过去认为受农杆菌宿主范围限制，农杆菌介导的遗传转化仅限于双子叶植物。1987 年 Grimsly 首先将玉米条斑病毒的 cDNA 克隆至质粒上，用农杆菌侵染的方法将玉米条斑病毒的 cDNA 导入玉米，使植株表现了系统感染症状。这个报道有力地证明了农杆菌能够侵染玉米这种单子叶植物。随着载体系统和转化方法的改进，农杆菌介导的遗传转化不再局限于双子叶植物，在一些单子叶植物如水稻、玉米和小麦等重要的农作物上也相继获得成功。

进入 20 世纪 90 年代后，农杆菌转化法在水稻、玉米等重要的农作物上取得突破性进展。首先是 1991 年 Gould 和 Shen 等利用农杆菌转化玉米茎尖分生组织获得转基因植株。1998 年 Lupotto 也实现了农杆菌转化玉米的成功，Southern 杂交结果显示外源基因能够稳定遗传到下一代。

二、基因枪转化法

1987 年美国康奈尔大学的 Sanford 等人首先发明了火药式基因枪。基因枪法又称微弹轰击法，它是通过一定的装置（火药或气流或高压放电）加速包被外源 DNA 的金属颗粒（钨、金粉等），使其穿过细胞壁和膜进入受体细胞，可以非特异地将外源基因导入植物的细胞、组织和器官。

气动式基因枪中具有代表性的是 PDS－1000/He，利用由不同厚度的聚苯四甲酰亚胺膜制成的可裂圆片来调控氦气压力。当氦气压力达到可裂圆片的临界承受压力时，可裂圆片破裂并产生强烈的气流，使微弹载体携带微弹高速运动，遇到刚性的阻挡网，微弹载体被阻遏，而微弹利用惯性继续向前高速运动，轰击靶细胞或组织，从而携带外源基因进入细胞内。基因枪法不再受到受体基因型的限制，又能避开原生质体再生的障碍，从而使植物的遗传转化翻开了新的一页。

基因枪转化法在植物遗传转化中的应用：应用基因枪法转化最早的是 Klein 等人在 1987 年将携带有细菌氯霉素乙酰转移酶（*cat*）基因的烟草花叶病毒的 RNA 导入洋葱的表皮细胞，使此基因得到表达。后来，随着对物理参数（如金属粒子的理化特性、DNA 与金属粒子的结合和靶组织特性等）、环境条件（如受体植株、外植体和靶组织所适宜的温度、湿度和光照等）和生物因子（如外植体及其轰击前后的培养条件等）等的技术优化，不断完善的基因枪转化技术能实现对许多受体材料的转化，包括原生质体、悬浮细胞系、愈伤组织、外植体（幼穗、幼胚或成熟胚），甚至可以直接轰击转化花粉。

1990 年 Gordon－Kamm 等用基因枪将 *gus* 基因和 *pat* 选择抗性基因导入玉米悬浮细胞系，获得了正常可育的转基因植株。1993 年 Koziel 等将苏云金杆菌 CryIA（b）毒素蛋白基因的编码序列，分别与 CaMV35S 启动

子和玉米多种组织特异启动子组合连接，用基因枪法转化玉米幼胚，获得了高水平表达的抗虫玉米，而且能够稳定遗传。1994 年，Register 等将玉米花粉特异表达启动子或花药绒毡层特异表达启动子驱动的 *UidA* 基因和 CaMV35S 启动子驱动的 *Npt* Ⅱ、*Bar* 或筛选基因，连接到质粒，用基因枪转化玉米胚性悬浮细胞，获得了遵循孟德尔遗传规律的转化后代。目前，研究者仍在对基因枪转化的方法进行优化。

基因枪法的优点是无宿主限制，受体类型广泛，操作迅速、简单，能有效地转化质体。由于取材广泛，金属微粒的喷射面广，转化频率高，所以具有广泛的应用前景。缺点是转化的 DNA 片段太大时 DNA 片段容易断裂，基因枪转化过程中，同源序列可通过 DNA－DNA、DNA－RNA、RNA－RNA 的相互作用，导致转录或转录后水平的基因沉默。另外，外源 DNA 往往成簇地整合到受体基因组中，而且可能以多种方式发生重排，所以转化体中的外源基因常常是多拷贝的。但对于这些不足，目前已有研究者在研究其机理并寻求解决办法。

三、其他遗传转化方法

（一）电击法

电击法基本原理是电脉冲使细胞膜产生可逆性的“微孔”，外源 DNA 可通过这些微孔进入受体细胞原生质体内。

1985 年 Fromm 等用电击法将 *pat* 基因导入了玉米

原生质体，得到了该基因稳定表达的愈伤组织。随着玉米原生质体再生技术的研究取得进展，1988 年 Rhodes 等用电击法转化玉米原生质体，首次获得了完整的转基因植株。电击法还可以对幼胚、愈伤组织和胚性悬浮细胞系进行遗传转化。1992 年 D' Hallum K 等以玉米幼胚和愈伤组织为受体，用电击法导入 *neo* 基因，获得了可育的转基因植株，并且 *neo* 基因能稳定地遗传给后代。1993 年 Sukhapinda 等用电击法转化从玉米花粉愈伤组织分离的原生质体，将 *gus*A 和 *npt* Ⅱ转入原生质体，获得单倍体转化植株。1994 年 Laursen 等以果胶降解酶处理悬浮细胞系后，通过电击法导入 *bar* 基因，也获得了可育的转基因玉米。

电击法操作简单，不受宿主限制，在遗传转化技术研究的初期得到了较为广泛的应用，但是它的转化效率较低，而且对有壁细胞或组织的转化效果较差。

（二）PEG 法

其基本原理是在二价阳离子（Mg^{2+}、Ca^{2+}等）存在的情况下，PEG 能够有效地诱导 DNA 产生颗粒状沉淀，从而使细胞膜能够通过内吞噬作用吸收这种 DNA 颗粒。

1993 年 Golovkin 等用 PEG 法将 H89 的原生质体与含有鼠二氢叶酸还原酶（DHFR）突变基因（氨甲喋呤抗性）的质粒共培养，此基因插入了玉米 Ds1 转座子中。筛选得到的愈伤组织，在不含激素的培养基上再生长出植株。同年 Omirulleh 等用 PEG 法将外源基因导入

到了 HE89 的原生质体中，建立了植株再生的转化体系。

PEG 法虽然转化效率较高，但必须以裸露的原生质体为受体，而且还受到基因型的限制。

（三）脂质体法

是用带正电荷的脂质体作载体携带外源基因，与带负电荷的细胞膜融合，把外源基因导入细胞。用脂质体法转化原生质体，其毒性较电击法和 PEG 法小，且适于运输大分子 DNA 穿过质膜。

Antonelli 等（1990）用该法将基因组 DNA 转入 BMS 玉米原生质体，获得转化了的再生愈伤组织，转化率高达 8%。

脂质体法的优点是转化受体为单个细胞，易于筛选，不易形成嵌合体，对于原生质体再生能力好的植物品种，是非常好的转化方法。

此外，人们也尝试用子房注射法、超声波转化法、带壁组织直接电击法等，但这些方法在操作的简便性和可重复性方面各有其欠缺，没有得广泛的应用。碳化硅晶体纤维法以其操作的简单性也许会有前途，但还需进一步研究。

【作者简介】

曹修岭，男，1986 年出生。主要从事于分子植物病毒学和转基因玉米方面的研究。

产业应用篇

抗逆转基因作物的开发是解决我国粮食问题的重要途径

马有志

中国农业科学院作物科学研究所

干旱等逆境是影响作物生长和产量提高的主要非生物胁迫因子。我国干旱、半干旱地区占全国耕地面积的51%，其中没有灌溉条件的旱地约占耕地面积的65%。全国每年有4 667万公顷农田受干旱威胁，受旱面积2 173万公顷，受灾面积893万公顷，对我国粮食生产造成巨大损失，干旱对农业生产所造成的损失几乎是其他自然灾害造成损失的总和。

培育抗逆作物品种是保障作物高产、稳产的重要途径。然而传统的常规育种长期使用同类抗性亲本，致使抗旱种质资源单一，遗传基础狭窄，绝大多数育成品种抵御干旱的能力脆弱。虽然通过远缘杂交途径可提高作物的抗逆性能，但其耗费时间长，效率低，无法满足当前作物生产对优异种质的需求。

近年来转基因作物新品种广泛应用的成功经验说明，利用转基因技术已成为培育作物抗逆新品种的重要手段。通过关键基因克隆和遗传转化途径创制转基因作

物优异种质，结合常规育种技术，开展抗逆转基因工程育种将成为提高作物抗旱性的快速、有效途径。目前，国际上已采用基因枪法、农杆菌介导法和花粉管通道法等方法获得了一些耐盐、耐旱转基因作物材料。2008年7月，澳大利亚农业生物科学中心宣称，他们目前正在进行的抗旱转基因小麦研究表明，抗旱转基因小麦可能帮助提高小麦单产，并可能帮助全球解决食品危机，估计将在5～10年内投放国际市场。目前，在澳大利亚种植的转基因小麦（含有从玉米和苔藓等植物中提取的基因）试验结果显示，在干旱条件下，转基因小麦单产要比非转基因小麦高出20%。

我国是一个人口大国，预计到2030年人口可达到16亿左右，到时每年粮食需求将增加1.6亿吨。而我国耕地面积仅占世界平均水平的7%，即使保持现有耕地面积不变，到2030年粮食单产仍需提高1/3以上，目前仅仅依靠传统技术很难达到预期的目标。因此，保证我国粮食安全是一个极其紧迫的任务。在耕地面积不可能扩大的基本国情下，保障我国粮食安全的任务尤为艰巨。

抗逆转基因作物的开发是提高我国粮食产量的有效途径。然而，我国转基因技术的研究和开发距发达国家还有一定差距。我国应该加紧技术储备，以备国际转基因粮食的冲击。既要发展农业，又要抵制国外冲击。例如大豆，面对大量低价的进口转基因大豆的冲击，中国大豆主产区黑龙江的豆农们束手无策，收获的大豆积压

在库，以低于种植成本价格销售，种植面积逐年萎缩。因此，建立和完善转基因作物高效育种技术体系，将对我国作物种质资源挖掘、利用和育种技术创新产生重要的推动作用，对提升我国农业科研和粮食的国际竞争力、稳定社会具有积极而深远的经济和政治意义。

生物技术是现代农业增产的必由之路

陈茹梅　张少军
中国农业科学院生物技术研究所

据统计，世界人口目前是66亿左右，而世界现有耕地只有13.69亿公顷，中国现在有13亿人口，耕地面积为12 247万公顷，这些耕地面积已到了增长的极限。专家预测，到2015年，世界人口将突破78亿。从这些数字中能看出什么，已经不言而喻。

现在世界各国都开始注意到，在保证生态平衡的前提下，现有耕地不能减少，否则世界将会陷入粮食危机中。随着人口的增长和社会的发展，需要更多的粮食，这部分粮食的来源只能是从现有甚至更少的耕地中获得更高的额外的粮食产量。

农业发展早期，在资源允许的条件下，农业增产的主要方式是通过增加耕地面积来获得更多的粮食产量。但在人口密集、工业发达的现代社会，在充分考虑到人类及其他物种生存的前提下，耕地的面积已经到了极限；资本发展的过程，除了产生了阶层的分化，也一直伴随着环境的破坏。在农业发展到比较先进的时候，人

们主要是靠改进耕作技术来提高作物的产量。人们不断的积累耕作经验，并不断的更新耕作工具，节省了劳动力，提高了农业的生产效率。犁的发明是农业发展的一个划时代的标志，每一次劳动工具的更新，都能大幅度地提高从农田获得的物资量。

现代的农业被社会科学家称作“石油农业”，也就是说，现代农业的增产更多依赖于化肥的使用和消耗石油的机械的投入。工业化和城市化的发展过程中，农业机械的使用使得农业的集约化生产及大规模解放农村劳动力成为现实。化肥的大规模使用，暴露了一系列的问题，在使用化肥的过程中人们逐渐发现，土地变得板结，土壤结构被严重的破坏。同时，人们还发现，水质也被化肥严重的污染，这使得本来就有限的淡水资源更加紧张。甚至有人预言，将来的世界大战的导火索将不是意识形态引发的矛盾，而是对水资源和能源的争夺，这个预言现在已初露端倪。

一、粮食增产应考虑作物本身的潜力

粮食是我国国家安全的基础，只有我们将自己的粮食问题解决好，粮食有了保证，我们才不会受制于人。

作物的进化一直为人类意志所干涉。在长期的耕作活动中，人们有意识地选取作物的一些优良性状，并试图让这些性状能够在子代的作物中保存下来，这可以说是最早的作物改良了。显然，这种传统的改良方法带有太多的投机性，更会因为没有科学的继代方法而隐藏这

些性状。

可见，我们无论是增加耕地面积、改良耕作技术或者是提高农业投入，对于粮食增产的促进都已经十分有限。因而，我们不得不从增加作物本身潜力的方面来考虑粮食增产。

近年来，生命科学飞速发展，人们在几百年的时间里，对于生命的认识有了质的改变，从“神创论”到“物种进化学说”，从细胞的发现到 DNA 双螺旋结构的建立，从克隆羊到人造基因组的完成，人类对于自然和生命的认识不断地深化，从分子水平探求着生命的真谛。

科学技术一直是作为一种进步的力量促进社会生产力的发展，提高了人类的生活水平。从科学的角度出发，既然传统的农业增产方式潜力有限，我们只能从作物本身的潜力来解决迫切的粮食问题。就作物本身而言，就是要探究作物的基因组及其基因功能，或者找到其他优良性状的基因，整合到作物中来，使得作物产出更多更好的粮食，因为基因才是决定作物性状和产量的最本质的因素。

二、“纠结”的转基因——普及科学知识已迫在眉睫

自转基因技术出现的那一天起，围绕它的争论就一直没有停止过。争论本身并非坏事，适当的争论可以修正错误，接近真理。但是，如果沉溺“争论”而裹步

不前，或者用争论去压制事物的发展，则“争论”绝对算不上好事。说到这里，我们不得不对反对转基因的人士一个科学的交代。

首先，我们必须得承认，严格转基因作物商品化的审批制度和程序是必需的，但这并不意味着我们要对所有的转基因作物一棒子打死。

在《中国社会科学》有人发表一篇题为《超越科学看转基因问题》的文章，作者主张，“为了避免转基因一类新技术的危害，我们应该超越科学，用哲学的、历史的眼光审视新技术的应用，由科学家来提供证明其无害的‘科学依据’，而不是由质疑者提供证明其有害的‘科学依据’”。

作者从一个法学的角度，即谁主张谁举证的原则出发，要求科学工作者给出“转基因食品无害的证据”。从辩论的角度来讲，他的要求完全合理，这也暴露了我们在科学知识普及上的缺陷：科学研究者和这个领域之外的人们的沟通实在太少了，如果在将生物技术应用到农业生产的初期就做好知识普及的话，相信就不会有这么多人不明就里，对所有转基因的东西都抱有恐惧心理了。

作者还从“大科学”的概念出发，认为政府、企业和科学研究者之间存在着巨大的“利益链”。那什么是“大科学”呢？普赖斯认为，大科学的特点是：投资强度大、多学科交叉、需要昂贵且复杂的实验设备、研究目标宏大等特点，比如人类基因组计划。当前的科

学研究由于投资较大、规模大，需要科学家之间、科研机构之间以及政府间的合作。所以，合作者之间存在着投资问题，若是将这投资关系视作利益的争夺，是与民夺利，那是过于偏激的。

在基因工程方面，我们在对农业生产的转化即转基因方面并不是走在最前面的，西方国家在1990年还没有正式种植转基因作物，到了1999年种植面积已达4 000万公顷。全世界转基因种子的销售额在1995年仅为7 500万美元，而1998年已飙升至15亿美元。美国对于转基因食品的接受程度是最大的，市面上一些产品早已经包含了转基因成分，比如饮料、啤酒等，但并没有遭遇多少质疑。

有些反对转基因的人质疑转基因作物的研究人员是受了美国洗脑，这种说法是不理智和不负责任的。实际上，科研工作者都有自己的民族感情，都在自己的领域兢兢业业，毕其一生精力潜心于科研工作，努力推动着我们国家、我们民族的科学事业的前进。

在生命科学领域，我国的科学家就有很多的独创性成果，也取得了优秀的成绩。中国农业科学院的科学家分离了植酸酶基因，并成功将其转化到玉米当中，以期改善饲料中磷利用率低和环境中磷污染问题。这个植酸酶基因，就完全是我国科学家独立发现、分离，并完成后继一系列工作的，他们对这个基因的性质已经了解得很清楚了，对其安全性有十足的把握，并且已经完成一系列的安全评估和试验，我们国家对这个基因就有完全

的自主知识产权。

所以说，一些反对转基因的人认为“转基因是西方国家毒害中国人的阴谋”之说是站不住脚。中国人同样也是充满智慧的民族，历史上，我们在相当艰苦的条件下完成了两弹一星的研究任务。事实证明，我们国家的科学家也是有能力去承担高新的科研任务。那么，为什么现在有些人反而不相信中国的科学家了呢？为何不相信中国的科学家也有能力承担起生命科学的研究重任，为国家的科学技术的发展和粮食生产做出贡献呢？

我们从反对转基因技术人士的观点中不难发现，他们提出的论点和他们的依据，未能摆脱“文学院”的束缚。他们反对转基因，大部分都是一棍子全打下，所有的转基因都未能幸免。然而，唯物主义的学者们是需要全面、发展地看问题，如果反对转基因的人士未能从唯物主义的辩证观点出发，那么所有的这些争论只不过是一场毫无意义的闹剧，甚至会由于科研工作者的不善辞辩，眼睁睁让一些过右的言论激发人们过分的抵制情绪而无能为力，甚至使我们的国家、使我们的民族再次在科学上落后于人。

今天，转基因技术的发展正面临着公众接受的挑战，而要让公众接受，树立转基因技术的正面形象，首先要做的是与民众的沟通以及对相关科学知识的普及。众多从事生物技术的科研工作者已经开始了这一方面科学知识的普及工作，并愿意解答人们对于转基因知识的疑问，也愿意接受社会各界的监督。

【作者简介】

陈茹梅，女，1972 年出生，博士，研究员。主要从事植物基因工程研究。

张少军，男，1987 年出生，硕士，植物分子生物学专业。

张大叔的烦心事儿与高兴事儿

——也说抗除草剂玉米

李香菊

中国农业科学院植物保护研究所

最近张大叔在玉米地喷除草剂时遇上了一件烦心的事儿。他播种后按照农药门市部赵经理的指导喷了莠去津除草剂，结果玉米出苗了，草也长出来了！在东北管这些杂草叫“三菜”——兰花菜、苣荬菜、刺儿菜。用这个“莠去津”除草，结果一个“菜”也没治住。张大叔没办法，又到镇上买来另一种除草剂烟嘧磺隆，俗称玉农乐，本以为这回喷上草该治住了，没成想草没除掉，有的玉米却打了蔫。张大叔着急了，看着绿油油的玉米苗发了黄，他跑了植保站、种子站到处询问。后来经专家鉴定才知道：一是由于他除草心切，用的烟嘧磺隆超了量。二是由于他在打药时，药筒里有上次留下的“草甘膦”没有倒掉。植保站李站长告诉他，“草甘膦”是一种喷到植物上就会杀死植物的除草剂，专业上叫灭生性传导型非选择性除草剂，只能在没有庄稼的荒地、道路边等地方喷施防治杂草，不能随便用到庄稼上。喷药后必须清洗干净喷雾器，否则，再喷庄稼就会

造成药害。喷药时刮风也会漂移到附近的庄稼上影响产量。这下张大叔清楚了，他去年喷果树地里杂草的时候正赶上刮风，旁边的玉米就莫名其妙的发黄干枯了，原来是这个原因。张大叔告诉李站长，“草甘膦”可是个好药，他每年在果树地用3～4次，对大草、多年生杂草、别的除草剂杀不死的草都有效果，尤其是治“三菜”更是没得说，要是能用到玉米除草上就好了。李站长兴奋地告诉他：“快了，国外科学家已经培育出抗草甘膦的玉米品种，咱们国家也快成功了。”正在这时，很多农民围了过来，要求李站长给他们说说抗草甘膦玉米的好处。

李站长告诉他们，种植抗草甘膦玉米是利国利民的大好事。

第一，种植抗草甘膦玉米是我国生态安全的需要。以前，我们国家在玉米除草上，主要采用莠去津等除草剂做土壤喷雾，这个药剂存在着很多问题。突出表现在环境污染、杂草抗药性和作物药害。莠去津“影响人体生理功能、诱导性别改变、器官畸变和癌变”在美国早有报道。我国玉米田莠去津已连续使用30年了，年应用面积2 667万公顷左右，95%以上的玉米田都喷施过莠去津。由于其易淋溶、降解缓慢，已造成面源污染。长江流域、淮河流域、洋河流域等多个水体监测点都检测到莠去津，部分监测点莠去津残留量达0.67～81.3微克/升，超过我国（0.2微克/升）及欧盟（0.1微克/升）饮用水标准，开始影响蝌蚪、小球藻等生物

的生长发育。地下水、饲料、粮食、蔬菜中也零星检出了莠去津成分。成为我国生态安全和食品安全的潜在威胁。而除草剂草甘膦是环境友好的药剂，它对生物毒性很低：大鼠急性经口半致死剂量 > 5 600 毫克/千克，虹鳟鱼半致死浓度为 120 毫克/升，毒性远远低于莠去津的 1 780 毫克/千克和 4.5 ~ 11.0 毫克/升。使用草甘膦对人畜、蜂、鸟、鱼、蚕等环境生物安全，对土壤、水源等基本没有污染。用这个药除草，可以很好地保护我们的环境。

第二，种植抗草甘膦玉米是我国粮食安全的需要。近几年，玉米田推广烟嘧磺隆除草，效果较好，但由于片面追求除草效果，施药量较大；加上有的玉米品种对烟嘧磺隆敏感，每年都会发生药害，导致玉米减产。玉米田另一个主打除草剂品种乙草胺，也会造成玉米一定程度药害，有时这种药害不易观察到，称为“隐形药害”。尤其是施药后遇到不利的环境条件如降雨、积水、低温等，玉米减产幅度高达 47%。抗草甘膦作物对草甘膦的耐受性是其推荐剂量的 3 倍以上，正常喷施不会造成玉米减产，也不会因为环境条件影响而产生药害。

第三，种植抗草甘膦玉米是杂草可持续治理的需要。目前，玉米田杂草对莠去津的抗药性问题非常突出。以前每公顷用 3 千克莠去津就能除草，现在由于杂草的抗药性，东北地区每公顷用 6 千克效果也不理想了。因此，从杂草可持续治理的角度考虑，已经到了该

更换安全、高效除草剂的时候了。

第四，种植抗草甘膦玉米是农民增产、增收的需要。东北春玉米种植区，播后苗前土壤封闭性除草剂占80%以上，主要品种有莠去津、草净津、乙草胺、丁草胺、异丙甲草胺、地乐胺等。为扩大杀草谱，常施用其混剂如乙阿合剂、金都阿等。由于北方春旱、多风，缺少灌溉条件，整地质量差，加上玉米田难除杂草和多年生杂草较多等原因，土壤处理剂很难起到理想的效果。农民经常是喷一次土壤处理剂，再喷一次茎叶处理剂，还要加上“三铲三耥”才能很好地控制杂草，增加了种植成本，喷药次数多也容易发生药害。种了抗草甘膦玉米以后，玉米苗期选择合适时候喷一次草甘膦，几块钱的成本就可以很好地解决这些问题了。

张大叔的儿子小张是个科技迷，他问李站长：“抗草甘膦玉米在咱们东北以外的省份有需求吗?”李站长说：“需求大着呐。华北地区玉米田更需要草甘膦除草。这个区域是小麦、夏玉米一年两熟制，收获小麦后不翻耕‘贴茬’种植夏玉米，玉米出苗前就有很多杂草在麦田出苗了，这些杂草用上面提到的莠去津、烟嘧磺隆防除根本就控制不住。由于它们和夏玉米比较，在出苗时间和空间上占有优势，连阴雨的年份玉米常出现草荒。农民兄弟们只能用莠去津、乙草胺混用加上草甘膦或百草枯在玉米出苗前喷施，增加了成本，有时还会因为草甘膦或百草枯晚用了1～2天，赶上玉米顶土，造成玉米药害甚至全军覆灭。在南方多熟地区，玉米田

生长季节正赶上高温、多雨，杂草生长迅速，一般有一次降雨就会有一次杂草出苗高峰。近几年保护性耕作的兴起，翻动土壤少了，多年生杂草多了起来，其他除草剂控草难度很大。抗草甘膦玉米就有很大优势。”

“据说抗草甘膦玉米是转基因的，现在网上有很多批评转基因作物的帖子，转基因玉米对人真有害吗?”小张问。李站长给他解释说，这些反对转基因作物种植的言论是没有科学根据的。至2009年，全球有25个国家种植转基因作物，种植面积达1.34亿公顷。美国种植和利用转基因玉米十几年了，人家2009年3 500多万公顷玉米中有85%以上为转基因抗除草剂玉米，这些玉米有50%用作饲料，还有的用作榨玉米油，有的作为食品添加剂被消费者食用。在种植和利用转基因玉米之前，科学家经过了长期的科学评估，证明抗草甘膦玉米对人畜、对环境生物都没有不良影响。当然啦，我国非常重视转基因作物种植前的环境安全评价，也做了大量工作，没有数据表明抗草甘膦作物有害。

经李站长这么一说，老张眉开眼笑说：“有盼头了，说不定过上三五年，俺也能种上抗草甘膦玉米了，再也不用为除草剂药效不好和药害的问题烦心了。”

【作者简介】

李香菊，女，生于1963年，博士，研究员。主要从事转基因抗除草剂作物环境安全评价和除草剂应用技术研究。

转基因抗虫棉，就是“中”

薛中立　刘金海
中棉种业科技股份有限公司

近日，笔者到河南省南阳市检查转基因抗虫棉试验示范落实情况，在唐河县上屯镇桐树园村贾书军的0.27公顷转基因抗虫杂交棉中棉所63棉田里，看到麦后移栽的棉花长势喜人（当地棉农习惯上把麦后移栽的春棉叫做茬棉）。棉农拉着笔者的手，激动地表示：“用俺老百姓的话说，转基因抗虫棉，中。我去年种了0.27公顷。麦后移栽抗虫杂交棉中棉所47，每公顷产籽棉达到5 865千克。看来今年又是好收成。”

陪同的唐河县田园科技公司张春亮老师，给笔者举了几个高产典型的例子：2008年湖阳镇辛店村史学生老两口0.21公顷小麦，单产6 825千克/公顷，麦后移栽茬棉，实卖籽棉972千克，每公顷产籽棉4 556千克，共卖34 100元。2009年前期干旱，后期多雨，郭滩镇郭滩村吴林科小麦单产7 200千克/公顷，收麦后移栽0.33公顷中棉所63，平均每公顷产籽棉3 960千克。

张春亮老师说，种植茬棉主要有以下优点：①解决

了粮棉争地的矛盾。小麦满幅种植，达到了棉麦双丰收。麦茬棉与麦套棉比，小麦一般增产 25% ~30%，增收 2 400 ~3 600 元/公顷。②节本增效。小麦采用机械收获，减少投资 600 ~750 元/公顷。棉花整地、施肥、移栽、定植方便，用工减少 50% 以上。同时解放了青壮劳动力，他们可以放心的外出打工。③麦茬棉枯（黄）萎发病轻。多点田间调查，麦套棉发病株率 2.8% ~7.3%，而麦茬棉发病株率为 0，防病用药减少投资 450 元/公顷左右。④不早衰。麦茬棉减少了麦棉共生期争水、争肥、争光的矛盾，有利于棉花苗期营养生长，植株叶功能延长 20 ~30 天。⑤综合增效显著。据田间测产调查，麦茬棉籽棉单产比麦套棉产量仅低 11.7%，但综合效益高于麦套棉 2 250 ~3 000 元/公顷。

针对目前有人误解转基因抗虫棉的情况，张老师谈了他自己的看法。

首先，转基因抗虫棉，降低了人畜中毒的比例。人的生命贵于一切。当年没有抗虫棉时，防治棉铃虫全县农药中毒事件每年都有 400 ~500 例，中毒死人情况时有发生。抗虫棉引进后，再也没有这些事了。

其次，转基因抗虫棉降低了植棉成本。种植抗虫棉，节省了治虫用药和劳动力成本，每公顷可节约 450 ~750 元。美国抗虫棉 33B 刚进入时，卖到了 60 元/千克还供不应求。如今，国产的转基因抗虫棉价格便宜、产量还高。尤其是杂交抗虫棉的推广种植，用种量更少，单产更高。

第三，转基因抗虫棉保护了生态环境。据专家讲，转基因抗虫棉能抗虫的原因是，棉铃虫幼虫取食抗虫棉叶片后，Bt 蛋白可与其肠道上皮细胞的特异受体结合，引起害虫肠麻痹，造成害虫死亡。减少用药后，充分保护了棉田内的生态平衡。也是现在倡导的“低碳经济”具体表现。

第四，转基因棉花对人没有危害。我们人体肠道没有 Bt 蛋白的结合位点，因此不会对人体造成伤害。我们种植转基因抗虫棉已经 15 年了，多数老百姓的食用油以棉清油为主，没有发现有什么情况发生。

最后，张老师恳切地对笔者说，种植转基因抗虫棉好处多多，我也认为，转基因抗虫棉，就是“中”。目前，棉田内的棉盲蝽象、枯黄萎病有逐年加重的趋势。希望你们专家继续努力，刻苦攻关，早日拿出抗多种病虫草害的转基因棉花新品种，为我们棉农解决生产中的实际问题。

【作者简介】

薛中立，男，1965 年出生，副研究员。主要从事农业推广与种子产业化工作。

刘金海，男，1966 年出生，硕士，研究员。长期从事棉花产业开发工作。

转基因技术及其对我国农业发展的意义

杨向东

吉林省农业科学院

转基因技术是指利用分子生物学方法，将来源于不同生物（或同种生物）的有利基因导入到目标生物中，使目标生物在原有遗传特性基础上增加新的功能特性，获得新的品种，生产新的产品。作为传统杂交育种技术的延伸与发展，农业转基因技术打破了物种之间的界限，实现了有利功能基因在不同物种之间的交换和转移，因而大大提高了作物育种效率，加快了农作物新品种培育和更新换代的速度。自20世纪70年代转基因技术首次出现以来，时至今日，转基因技术已在农作物品种改良方面显示出巨大的发展潜力。截止2010年底，全球转基因作物累计种植面积已达到10亿公顷，相当于我国耕地面积的8倍。其中仅2010年，转基因作物种植面积达到了1.48亿公顷，约占全球作物种植面积的10%。

转基因技术已成为人类历史上应用最为迅速的重大技术之一。

一、转基因技术应用现状及趋势

自1996年首例转基因农作物产业化应用以来，全球转基因技术研究与产业应用进入飞速发展阶段。转基因农作物新品种研发已从抗虫、抗除草剂等第一代产品，向改善营养品质和提高产量的第二代产品转变。一大批富含维生素、不饱和脂肪酸、氨基酸等营养成分的优质、高产转基因农作物新品种陆续研发成功，并显示出良好的市场开发前景。此外，转基因技术应用进一步向医药、加工、能源、环保领域等方向渗透和发展。利用植物作为生物反应器生产功能蛋白包括药用蛋白、饲料用酶制剂、生物材料、工业原料等也已成为转基因研发的一个重要领域。伴随着转基因作物研发速度的逐步加快，转基因作物产业化应用规模也在进一步扩大。根据国际农业生物技术应用服务组织（ISAAA）发布的统计资料，2010年全球转基因作物种植面积比1996年增长了87倍，种植转基因作物的国家已到达29个，全球转基因作物市场价值达105亿美元。2010年，全球转基因大豆种植面积占大豆总种植面积的3/4以上，转基因棉花种植面积约占1/2，转基因玉米种植面积占1/4以上，转基因油菜种植面积占1/5以上。美国作为转基因作物种植面积最大的国家，2009年种植面积为6 400万公顷，其次为巴西，种植面积为2 140万公顷，阿根廷为2 130万公顷，印度840万公顷，加拿大820万公顷，中国370万公顷，巴拉圭220万公顷，南非210万

公顷。预计到2025年转基因植物种植面积将达到2亿公顷。转基因作物推广应用这一前所未有的增长速度创造了近代农业科技发展的奇迹。

二、转基因技术对我国农业发展的意义

我国作为拥有13亿人口的农业大国，如何保障国家粮食安全和农产品长期有效供给始终是我国政府面临的头等大事。近10多年以来，由于气候变化、部分地区水资源短缺以及可耕种土地面积逐年萎缩等因素的影响，我国各主要农作物的产量均出现徘徊局面，新育出的品种在产量潜力上没有大的突破。更为重要的是，由于缺乏较好的抗性或品质资源，部分农作物在抗病、抗虫、抗除草剂、耐盐、耐旱、品质改良等方面的改良效果一直不明显。

综合来看，目前我国农业生产中面临的主要问题包括：①主要农作物的病虫危害逐年加重，影响了农作物产量和品质的提高。同时，大量施用农药不仅增加了农业生产成本，而且严重破坏了生态环境，危害人类健康。②部分地区水资源日趋短缺，旱灾发生区域和频率逐步扩大，降低了农作物的产量。③盐碱地、酸性土壤等不良环境限制了作物的种植和产量潜力的发挥。④化肥的大量施用增加了农业生产成本，并造成土壤退化、江河湖海的富营养化，阻碍了农业和环境可持续发展。⑤主要作物的品质较差，国际竞争力较低，亟待改良。

由于转基因技术打破了物种界限，突破了常规育种

中种质资源的限制，实现了有利基因在不同物种之间的重组转移，加快了对农作物品种抗性、品质、产量等多种性状的协调改良，从而为解决上述农业发展中的诸多制约因素提供了一条有效的技术途径。

目前，我国已利用转基因技术培育了一大批抗虫、抗除草剂、抗病转基因农作物新品种，主要包括棉花、西红柿、番木瓜和甜椒等。以抗虫棉为例，1998—2009年，我国转基因抗虫棉累计推广应用面积已达2 100万公顷，新增产值超过440亿元，平均每公顷减支增收1 950元，累计实现农民增收250亿元。转基因抗虫棉的种植不仅有效控制了棉铃虫的危害，而且大幅度降低了农药使用量，有效保护了农业生态环境，减少了农药中毒事故。抗虫转基因棉在我国的成功应用为其他转基因农作物新品种的培育和商业应用提供了一个极好的范例。目前国际上发达国家转基因农作物研发速度逐步加快，一大批新型转基因农作物新品种包括Smartsta™玉米（携带8个基因，抗地上害虫、地下害虫且耐除草剂）、高油酸大豆、高Ω-3油用大豆、富含维生素A的“金米”等即将或已投放市场。这些转基因作物新品种的商业化种植将进一步巩固发达国家在这一领域的垄断地位。在这一国际背景下，我国应该牢牢抓住机遇，进一步加大转基因技术研发力度，提升我国转基因农作物新品种研发水平，突破资源环境约束，提高粮食产量和品质，保障国家粮食安全。

【注】

本文所引用数据部分来源于国际农业生物技术应用服务组织（International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications，ISAAA）发布的2009年全球转基因作物育种产业发展最新统计数据。

【作者简介】

杨向东，男，1976年生，博士，副研究员。主要研究领域为大豆转基因育种、大豆无性系变异育种以及植物生物反应器。

我国转基因水稻产业化中的知识产权问题解析

刘旭霞　林拥军
华中农业大学

2010年中央1号文件确立了“继续实施转基因生物新品种培育科技重大专项，抓紧开发具有重要应用价值和自主知识产权的功能基因和生物新品种，在科学评估、依法管理基础上，推进转基因新品种产业化”的国家战略。这不仅是对农业部2009年8月17日颁发转基因抗虫水稻和植酸酶玉米生物安全证书的政策回应，也说明我国转基因水稻产业化又向前迈进了一大步。

但反对转基因作物产业化的声音一直没有停止过。主要集中在我国是否拥有转基因水稻的自主知识产权、转基因水稻产业化是否会使我国面临专利侵权指控、是否会使我国农民面临知识产权侵权纠纷等方面。其中尤以反对转基因作物产业化的绿色和平组织发布的《国外专利陷阱中的“中国”转基因水稻》[1]、《谁是中国转基因水稻的真正主人》[2]调查报告为甚。该组织强调“中国转基因水稻更因涉及多项

国外专利而对国家的粮食主权埋下定时炸弹”。该观点被广泛引用并传播，使公众难以正确认识中国转基因水稻的知识产权现状。

一、中国拥有转基因水稻的自主知识产权

自主知识产权是指申请单位经过其主导的技术创新活动，在我国依法拥有知识产权的所有权，或依法通过受让取得的中国企业、事业单位或公民在我国依法拥有知识产权的所有权或使用权[3]。在转基因技术方面，自主知识产权问题则为其产业化的核心问题，也是保障我国粮食安全及促进我国转基因领域科技取得进一步发展的关键因素。

在我国推行转基因水稻产业化的过程中，绿色和平组织认为，中国转基因水稻品系“没有任何一种拥有独立的自主知识产权。一旦这些转基因水稻被商业化种植，中国可能对它的主粮失去控制权”，“必将使中国转基因水稻陷入外国的‘专利陷阱’，也意味着中国13亿人的主粮控制权被完全拱手交给国外生物公司”[4]。这种质疑看似关心，其真实目的是阻碍转基因水稻的产业化进程。

从微观层面看，中国在转基因水稻新品种的培育上，不可能掉进外国的“专利陷阱”。通过对已获国家生产应用安全证书的“华恢1号”和“Bt汕优63”考察发现：“华恢1号”所用受体品种为已处于公共领域的恢复系“明恢63”，所用外源基因是我国科学家人工

改造合成的 Bt 杀虫蛋白融合基因 Cry1Ab/Cry1Ac，而所用转基因水稻培育方法已由华中农业大学、浙江大学在中国获专利授权。“华恢 1 号”已申请植物新品种权。“Bt 汕优 63”的父本为“华恢 1 号”，而其母本保持系珍汕 97A 是 1972 年育成，现已处于公共领域。因此，这两个材料完全由中国享有独立自主的知识产权。若推行转基因抗虫水稻品种“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”的产业化种植，不可能存在中国失去知识产权“控制权”问题。

为了解转基因水稻的专利布局，我们通过给定的转基因水稻专利检索关键词[5]及逻辑式，利用最新版本的 HIT－恒库检索软件，在中国国家专利局专利数据库、欧洲专利数据库及美国专利数据库中进行了相关专利检索，检索起始时间为 1980 年 1 月 1 日[6]，截至 2008 年 12 月 31 日。从对转基因水稻及相关专利的检索结果看，日、中、美三国是水稻基因及相关专利的申请大国，在 1989—2008 年间，日本和中国已经超过美国，在转基因水稻技术领域取得优势地位。尤其是中国，在 2000 年之后，水稻基因和转基因技术专利申请量，呈逐年上升趋势。近 10 年的专利申请总量和年申请量，均远远高于美、日等国。截止 2010 年底，中国共受理水稻育种方法的发明专利申请 308 件，其中仅有 7 件来自国外。从技术要素上考虑，转基因水稻专利申请具有我国特色和优势。我国的技术研发主要集中在转基因水稻的抗病基因、抗逆基因和丰产性状改良等方

面。而在品种权申请上，截止2010年底，中国共受理水稻植物新品种权申请2 284件，授权1 148件，其中仅有8件来自国外。中国目前推广种植的水稻绝大部分都是国产品种。中国在转基因水稻的专利布局上已经有自己独特的技术优势，完全有能力通过自主创新的知识产权形成核心竞争力。

从宏观层面看，近年来我国政府的科技投入较过去有显著增加，科研人员及政府机构的知识产权保护意识也不断增强，这为我国在转基因技术自主知识产权创造提供了良好条件。我国转基因水稻研究一直处于世界领先水平。本世纪以来，我国科学家相继完成了一系列水稻品种基因组“精细图”的测序及序列分析，水稻功能基因组研究进入了国际领先行列，建立了较完整的功能基因组研究的技术平台，克隆出了数以百计的功能明确和对水稻产量、品质、抗病、抗逆、营养高效等主要性状改良有重大应用前景的具有自主知识产权的基因，为我国转基因水稻的进一步发展注入了强大动力。同时，我国科学家还培育了世界上一半以上的转基因水稻材料，用于水稻转化的目的基因达50多个，性状涉及抗逆、品质、生物反应器、高产等。2011年6月，“主要动植物功能基因组研究”“863”计划重大项目顺利通过验收，中国水稻功能基因组研究整体水平进入世界先进行列，可为实现分子设计育种提供基因资源和技术基础，这些技术储备为我国转基因水稻产业化，夯实了知识产权支撑。

二、中国转基因水稻产业化可以避免国外知识产权侵权指控

转基因水稻的产业化推广是否会使我国面临国外的知识产权侵权指控？当转基因技术的专利申请人及品种权申请人为国外申请人时，如果推行产业化的转基因作物利用了国外申请人在我国拥有的知识产权时，可能使我国面临知识产权侵权的指控。绿色和平组织的报告称，“由华中农业大学研发的 Bt 转基因水稻中至少涉及了 11～12 项国外专利”。通过专利授权检索我们发现，绿色和平组织的报告中所指称的 12 项国外专利，仅有 4 项在中国提出了专利申请，1 项未获授权。对于在中国没有提出申请或即使申请但未授权的专利，无法在中国领域内得到法律保护。这是由知识产权的法定性、地域性等特点决定的。公告号 CN1347457“植物转化方法”的发明，2000 年 4 月 19 日在中国提出专利申请，2004 年 9 月 22 日被中国知识产权局专利局驳回。在授权的 3 项中，1 项公告号为 CN1263946 的“合成杀虫晶体蛋白质基因”发明（其申请日为 1989 年 9 月 9 日），已于 2009 年 9 月 9 日在中国过期失效。我国专利法规定的发明专利保护期是 20 年，从专利申请之日起开始计算。另 2 项专利的权利内容，和我国自主研发的转 Bt 基因抗虫水稻采用的技术、方法、材料完全不同，公告号 CN1210402 的“广谱 δ-内毒素”发明专利权利要求中的 Cry1Ab/Cry1F 融合基因，与 TT51-1 中的

Cry1Ab/Cry1Ac 融合基因非同一基因；公告号 CN1253570C“分离的在植物转化中可作为嵌合基因终止区的 DNA 序列”的发明专利的权利要求与 TT51-1 中使用的基因转录终止子没有同源性或等同性。

判断一项技术在产业化中的运用是否侵犯专利权，首先要看使用人是否是专利权人。其次，即使不可避免地需要运用他人享有专利保护的技术，也可以通过许可的方式获得合法授权。被控侵权时，司法实践中判断是否构成专利侵权，原告必须举证证明被控侵权人的产品或者依该方法获得的产品，要么全面覆盖了其申请的专利权利要求，要么与其申请的专利实质等同。从绿色和平组织报告列举的专利看，要么没有在中国提出过专利申请，要么虽申请但未授权，要么已经过了法定保护期，要么从技术说明与权利要求看既无法覆盖也不等同。因此，根据我国现有知识产权法律制度，绿色和平组织报告中所列举的专利不会对我国转基因水稻产业化产生知识产权障碍。

同时，注重对国外转基因水稻专利技术的合理应用，是缩短我国转基因水稻研发周期，减少科研投资的智慧选择。对于国外申请人在我国申请并未获得授权、在我国申请获得授权但即将到期或过期以及并未在我国获授权而在其他国家或地区申请的专利技术，应当引导育种者加以利用。对于国外申请人在我国获授权的专利技术，育种者可以通过专利法的交叉许可制度或与专利持有人签订合同等方式，对这方面的技

术加以利用。对于无法通过上述方法获得不可避免地运用的专利技术，通过运用专利法规定的强制许可制度颁发强制许可证，也可以保障我国转基因水稻产业化的顺利进行。

三、农民不会因种植转基因水稻面临知识产权侵权纠纷

绿色和平组织以孟山都公司的转基因大豆事件，并借其在各国提起的转基因大豆专利诉讼的案例，告诫将来种植转基因水稻以及受基因漂移影响的常规水稻的中国农民，可能面临与加拿大农民同样的法律诉讼。得出这一结论是毫无根据的。

一方面，农民不可能因基因漂移获得转基因水稻种子。从技术上说，复旦大学戎俊等人所做的“Bt/CpTI转基因稻及其非转基因亲本对照在间隔种植条件下的转基因漂移”研究[7]表明，在转基因和非转基因水稻植株间的距离只有20厘米距离内，相邻水稻植株的穗子几乎部分交叠在一起的情况下，转基因漂移的频率仅在0.275%～0.832%之间。如果在两者之间设置一定的空间和时间隔离，转基因水稻向非转基因稻基因漂移的频率会更低。孟山都公司提起的因基因漂移影响侵权案件所涉及的品种，要么是异花授粉的玉米，要么是异花授粉的油菜品种。而水稻属于自花授粉作物，目前转基因水稻研发培育的都是杂交稻亲本，农民不可能因为基因漂移获得转基因种子。

另一方面，中国农民依法享有留种权。从知识产权制度上讲，中国和其他国家对转基因水稻的保护有明显不同。我国专利法保护基因的提取方法、技术、基因序列和细胞，但不包括植株、种子和后代。即使外国公司和自然人在我国获得了转基因作物技术和方法以及基因材料的专利保护，依据我国法律，他们也不能针对转基因作物研发中的“下游”产品——转基因作物的使用者（包括农民）提起有关的专利诉讼。我国植物新品种保护条例第十条规定了农民自行留种的法定豁免权。我国参加的《保护植物新品种国际公约》（UPOV）1978 年文本，也赋予了农民留种权。同时依据（UPOV）1978 年文本第十六条的相关规定，品种人不可能将其权利主张延伸至转基因水稻的收获材料和最终消费品。因此，中国的农民即使通过自留种种植转基因水稻，也不会在中国面临法律纠纷，更谈不上承担相应的法律责任。

出口转基因农产品引起的知识产权纠纷一定会败诉吗？2010 年 7 月 8 日欧盟法院对孟山都诉阿根廷转基因大豆专利侵权案件作出的判决，可为我国提供借鉴。孟山都提起诉讼的 DNA 序列虽在欧盟几个国家申请了专利，但并未在阿根廷获得授权，在阿根廷就无法得到专利保护，因此阿根廷相关厂商和农民无需向其缴纳专利使用费。这也是基于知识产权的地域性、法定性特征。孟山都公司试图借其在欧盟获得的专利权起诉出口到阿根廷转基因大豆侵权，以获取专利使用费及专利侵

权赔偿。但欧盟法院对孟山都专利保护的范围做出了限制，即根据 1998 年欧盟生物技术指令 98/44/EC 的规定：基因专利保护的是“活”的生物材料，不再保护虽然含有这种 DNA、但已是“死”的生物材料的转基因大豆衍生品[8]，因此判决孟山都公司败诉。这一典型案例的判决也用事实回答了农民不可能卷入跨国知识产权诉讼。

四、转基因水稻产业化，中国能掌握自己的命运

美国在转基因大豆上的技术优势已经变成了产业优势，在世界范围内形成了较强的竞争力，占据了国际大豆市场的主动权。从“技术”到“有产权的技术”再到“生产力”，这个过程已经很漫长。国家已投入大量的资金进行转基因作物品种的培育。我们在转基因水稻品种的培育上已经具备了世界先进的技术，该技术的运用可以降低我国农业生产成本，形成农产品的价格优势和产业竞争力。我国在转基因水稻上的技术优势只有尽快转化产业优势，才可以在粮食领域具备产业竞争优势。我国著名知识产权学者吴汉东教授认为：“世界范围内的‘粮食战’其实归根结底是‘品种战’、‘专利战’！最后还是要表现为‘法律战’！”知识产权制度不仅为新技术的研发提供法律激励，也为知识产权的转化提供法律保护。我国推进转基因水稻知识产权战略和对之进行符合国情的司法保护，我们不仅可以在转基

因水稻产业专利和植物新品种技术布局上有所作为，也完全可以通过利用已有的法律制度避免陷入“陷阱”。转基因水稻产业化，中国能够也完全应该掌握自己的命运！

【注释】

[1] 见 http：//www. greenpeace. org/raw/content/china/zh/press/reports/ge - rice - foreign. pdf

[2] 见 http：//www. greenpeace. org/raw/content/china/zh/press/reports/3045095. pdf

[3] 科学技术部等2006年12月31日发布的《国家自主创新产品认定管理办法（试行）》

[4] 绿色和平组织报告：《谁是中国转基因水稻的真正主人》，见 http：//www. greenpeace. org / china/Global/china/_ planet - 2/report/2009/2/3045095. pdf

[5] 专利检索所用关键词为：转基因水稻、水稻、稻、抗病稻、高产稻、优质稻、转基因、基因、位点、标记、克隆、遗传、培育、水稻育种、育种、抗病、高产、优质

[6] 20世纪70年代前的申请过于陈旧，对研究转基因水稻专利相关问题的意义不大，故此段时间未加入检索中

[7] 戎俊等．Bt/CpTI 转基因稻及其非转基因亲本对照在间隔种植条件下的转基因漂移［J］．生物多样性，2006，14（4）：309～314

[8] 该案具体报道见 http://www.martindale.com/international-law/article_Jones-Day_1094204.htm，最后访问时间为 2011 年 1 月 10 日

【作者简介】

刘旭霞，女，1969 年出生，教授。研究方向：知识产权法、经济法。

林拥军，男，1963 年出生，博士，教授。研究方向：植物分子生物学。

转基因新品种产业化势在必行

陈赛华　江玲
南京农业大学

从落后的原始社会到拥有先进生产力的现代社会，人类文明得到了飞速的发展，这主要取决于人类对自然界的探索、发现及创造。

进入科技蓬勃发展的21世纪，转基因技术又掀起了新一代的技术革命，该技术可以在短期内完成自然界几千年的自然演化过程，这将极大地推进人类社会的进步。

于是，转基因技术被提到了空前的战略高度，我国自2007起连续4年发布4个重要中央1号文件，一再明确地提出“推进转基因新品种的产业化”，由此可见，转基因技术的利用已经迫在眉睫。

尽管转基因产品目前仍有争议，但人类几千年的文明史证明，任何经得起考验的技术必然具备强大的生命力，它必须满足两个重要的因素，一是强烈的社会需求，二是无可比拟的优势。通过对这两个方面的分析，我们就能理解，我国为什么必须发展转基因技术并推进转基因品种的产业化。

一、中国粮食产业的现状

（一）产量——求大于供，危机重重

俗话说：民以食为天。对于拥有十几亿人口的中国来说，确保粮食安全是头等大事。近年来，我国的农业面临着严重的挑战，突出表现在种植业生产上，粮食一度徘徊不前，棉花出现滑坡，油料开始减产。目前，中国自己生产的粮食只能养活95%的国人，要保证余下的5%的人不饿死，每年就不得不进口数千万吨粮食。非转基因的杂交水稻已经达到产量极限，近20年来，每年单产增加都没有超过1%。人口太多，而耕地减少，粮食产量停滞不前，亟待新的育种技术来突破。

（二）质量——农药残留，生态污染

中国用世界8%的耕地养活了世界22%的人口，这是奇迹。可你是否也知道，与此同时我们也消费了世界35%的化肥和33%的农药。据新华网2006年报道："我国高达67%的化肥用在粮食作物上，接近50%粮食产量来自于施用化肥。"大量化肥从农田排放到水库、河流、湖泊中，造成大量水体污染。据拜耳中国官网2009年3月18日发布的消息："中国农药使用过程中还存在施药机械落后、用药超量和超范围使用的问题，农药有效利用率不到30%，有毒有机溶剂和助剂经迁移转化残留于土壤、水体及大气环境中，对环境和人体健康构成潜在危害。"巨量的化学农药在毒杀粮食害虫

的同时，还毒杀了害虫的天敌和有益微生物，增强了害虫的抗药性，并残留在环境中和我们的食物中。

近年来，农药中毒和环境污染事故屡有发生，给农业生产、人们身体健康造成较大的损害。农药残留不仅使农业蒙受损失，还会对人身健康造成严重危害。误食农药残留超标的食物会导致人、畜急性中毒，轻者出现恶心、头晕、呕吐等症状，重者可能导致死亡；长期食用农药残留超标的农副产品则会引起人、畜慢性中毒，导致畸形、癌变甚至突变的发生，进而影响到下一代的身体健康。由此可见，农药的使用严重影响了粮食的质量，同时也造成了生态的污染，不利于可持续发展。

（三）市场——外企入侵，竞争力弱

种植传统杂交农产品不可缺少的化肥、农药及其巨大需求导致化肥和农药的价格持续上涨，造成农产品生产成本越来越高。而与此同时，一些跨国大公司对我国巨大的农业和农产品市场垂涎三尺。转基因作物品种就是他们敲开我国农产品市场大门的法宝之一。当国外转基因大豆进入我国时，国内有一种声音说我国是大豆的发源地，为防止野生资源被转基因品种污染，我们不宜搞转基因大豆的研究，而试图用常规品种与国外公司的转基因大豆竞争。但这 10 多年来，进口转基因大豆带着成本低、优质、产量高的绝对优势，逐渐蚕食我国的大豆市场。2010 年，我国进口 5 480 万吨大豆，其中绝大部分是转基因大豆。保守的代价就是让我们失去竞争力，我国大豆产业面对强大的国外竞争形势，显得苍白

无力，这是一个惨痛的教训。

跨国种业凭借强大的技术、资本、营销优势，基本上控制了从粮食到蔬菜的中国种子市场。中国想要提高农业竞争力，加强转基因产品的自主创新与产业化是必须的。我国转基因植物研究起步较晚。1987 年，该项研究被列入我国高科技领域重点研究的“863”计划，在全国陆续展开。目前几十种经济植物的转基因植株已经培育成功，在重点农作物新品种培育方面成绩尤为突出。抗病虫的优良水稻、小麦、玉米、棉花、马铃薯、油菜、烟草新品种育成并在农业生产上开始应用。目前已商业化的转基因作物有：棉花（46 项）、线辣椒（1 项）、甜椒（4 项）、矮牵牛（1 项）、西红柿（6 项），共计 58 项。我国转基因抗虫棉的研究和开发得到迅猛发展，是继美国之后具有自主知识产权的第二个国家。转基因抗虫棉的种植应用可减少农药使用量 40% ~ 70%，大大减少农药中毒事故，产生了巨大的社会、经济和生态效益。

水稻是中国的主粮，美国早在 1999 年就开始转基因水稻的商业化种植了。中国水稻育种技术在世界上是领先的，并且也培育出了自己的转基因水稻，在转基因研发领域拥有绝对超强实力的外国种业巨头对此不会善罢甘休。控制水稻种子市场的意义绝不仅仅是为了多赚中国农民几个铜板，它的政治意义和社会意义更是不可估量。因此，围绕作物种子问题，中国和发达国家之间的资本较量和技术竞争从来就没有停止过。历史告诉我

们，落后就会挨打，我们必须发展转基因产业化，提高竞争力。

二、无可比拟的优势

自从人类耕作以来，我们的祖先就从未停止过作物的遗传改良。过去的几千年里农作物改良的方式主要是对自然界产生的优良性状进行选择和利用，通过杂交、人工选育的方式培育优良品种。转基因技术与传统技术是一脉相承的，其本质都是通过获得优良性状进行改良，只是转基因技术是建立在人们对作物基因功能研究的基础上，从适用范围及效率上讲，转基因技术比传统育种技术更具技术含量，更显优势。

（一）加快育种进程

自上世纪70年代以来，转基因技术发展日新月异，产业化步伐日益加快，尤其在粮食安全领域。解决粮食安全问题，需要在育种方面突破抗病虫害、抗盐碱、抗干旱等技术，传统的育种技术已经很难满足要求，而依靠现代生物技术尤其是转基因技术，不仅可以降低生产成本，提高作物单位面积产量，还可以避免反复杂交或回交选育所需耗费的大量人力和物力，使开发农作物的时间大为缩短。

（二）突破种间生殖隔离

不同的生物种之间存在着的生殖隔离，使得育种家很难甚至不可能将人类所需的优良基因从远缘物种中通过常规的方式转移到栽培物种中，而转基因技术所转移

的基因则不受生物个体之间亲缘关系的限制。比如，1986 年在烟草中表达了人的生长激素，这是第一个使用植物表达的药用蛋白。比利时开发出能生产多肽药物的转基因油菜，马来西亚将人的血清蛋白基因转入橡胶树，使橡胶树可产生人的血清蛋白。荷兰将人的血清蛋白基因转入马铃薯，使马铃薯可产生人的血清蛋白，而这种蛋白是治疗病人休克时广泛采用的一种药物。这些成功例子都反映出转基因能够突破种间生殖隔离的优势，拓宽了人类对于优势资源的开发与利用，从野生近缘种，直至亲缘关系更远的物种中寻找可利用的优良基因，创造丰富的新品种。

（三）有目的改造品种

转基因技术不仅能够使优良基因跨物种交流，而且对于农作物而言，能够实现对品质、抗性和产量等性状进行定向、精确的改良，包括产量、抗逆性（包括抗病、抗虫、抗寒、耐盐碱、抗除草剂等）和营养品质等各个方面，这是常规育种技术短期内难以实现的。

（四）减少环境污染，保护人类赖以生存的自然环境

转基因技术可以生产许多抗性强、适应性广的植物，最大限度地利用土地资源，增加全球植被的覆盖率，减少水土流失和土地沙漠化，减少因 CO_2 增加引起的温室效应。抗病、抗虫转基因作物的广泛种植，可以减少农药的使用量。转基因植物可对土壤中的有毒污染物进行高效吸收或生物降解，通过植物修复系统使受污

染的环境得到修复，如砷超富集转基因植物、清除汞污染转基因植物的研究利用。因此，转基因植物对于强化环境的自净功能，降低污染处理成本，减少环境污染，保护生态环境，具有非常重要的作用。

总之，21 世纪的农业转基因技术将进入大规模产业化阶段，利用转基因技术培育的高产、优质、抗逆植物新品种将不断推动农业生产向前发展。转基因技术将成为解决21 世纪粮食危机的重要途径，生物技术产业的总产值将占世界总收入的 10% 以上。转基因技术的广泛应用符合中国国情，顺应时代要求，对构建和谐社会、促进当代社会可持续发展有重要意义。正如中国科学院遗传与发育生物学研究所朱祯研究员所讲的：中国的农业急迫地需要转基因技术，转基因作物是救星，而不是恶魔。

发展转基因作物产业已是国际大趋势

马有志

中国农业科学院作物科学研究所

近年来，转基因作物的开发与产业化进展非常迅速。在美国，种植的玉米70%为转基因，种植的大豆90%以上为转基因的。2009年全球已有25个国家商业化种植转基因作物，种植面积由1996年的170万公顷发展到2009年的1.34亿公顷，14年间增长了79倍。1996—2007年，全球转基因作物累计减少杀虫剂使用35.9万吨，带来了巨大的生态效益、经济效益。目前，转基因作物产业化的国际竞争日益激烈，转基因产品更新换代越来越快，特别是在小麦、水稻等粮食作物转基因产品研发方面，近年来进展也已加速。美国、加拿大、澳大利亚等国家正在加快转基因小麦及水稻等食用作物的转基因研究及安全性评价进程。美国和伊朗两个国家批准允许转基因水稻商业化种植，美国、加拿大、墨西哥和伊朗4个国家允许转基因稻米及产品食用或饲用。

1999年，美国批准了安万特公司的转bar基因耐除

草剂基因水稻 LL RICE 06 和 LL RICE 62 的商业化种植，2000 年批准上述两个品种可以食用。2006 年 8 月，美国批准了转 bar 基因耐除草剂基因水稻 LL RICE 601 的商业化种植。从 1998 年开始，美国批准 Ventra Bioscience 公司的转溶菌酶、乳铁蛋白、人血清白蛋白基因的 3 个药用转基因水稻品种，种植面积已由 1998 年的 27 公顷增加到 2007 年的 2 000 公顷，2006—2007 年种植区域增加到堪萨斯州和北卡罗来纳州。溶菌酶、乳铁蛋白和血清白蛋白常见于人奶中，该公司将表达这些蛋白的水稻种子开发成饮料，用于治疗腹泻和作为贫血病人的营养品。

2006 年，加拿大批准了转 bar 基因耐除草剂基因水稻 LL RICE 62 的进口申请，允许其食用和饲用。

2007 年，墨西哥批准了转 bar 基因耐除草剂基因水稻 LL RICE 62 的进口申请，允许其食用。

2004 年，伊朗政府批准了抗虫转基因水稻的商业化种植，当年种植面积 2 000 公顷，2005 年种植面积 4 000 公顷。该品种系伊朗农业生物技术研究所将人工合成的 cry1Ab 基因转入当地香米品种“Tarom molaii”中，选育出抗水稻二化螟的转基因水稻品种，于 1999 年开始田间试验。

此外，2004 年，美国批准了孟山都公司培育的耐草甘膦除草剂小麦品种 MON71800。我们的邻国印度转基因抗虫棉种植规模已超过我国。巴西由于种植转基因大豆，大豆产业国际竞争力大幅提升。欧盟已有 6 个国

家允许种植转基因作物。

国际转基因技术产业的发展态势表明，推进转基因作物产业化是时代的趋势。种子是农业发展的命脉，目前，跨国公司纷纷登陆我国，通过控股、合建研发平台、建立销售网络等方式，从研发资源到种子市场经营资源逐渐掌握控制权，已对我国农业的命脉形成巨大的威胁。全球转基因作物种子市场已由1996年的1.15亿美元增加到2009年的105亿美元，年增长超过13%，为常规种子市场增长率的1倍多，是近年来全球能持续高增长的少数新兴产业之一。其中孟山都、杜邦、先正达、巴斯夫和拜尔等五大跨国公司已控制国际种业的70%的市场。我们作为农业大国和人口大国，如何用占世界7%的耕地养活占世界20%的人口，始终是我们面临的最大挑战。如果我们在转基因作物研究及产业化方面仍然犹豫不决、停滞不前，必将在转基因作物的国际竞争中落后，我国生物产业将面临国际跨国公司垄断的控制，国家粮食安全将面临严重威胁。

转基因抗病虫作物
开创绿色植保新时代

林克剑
中国农业科学院植物保护研究所

我国是农业大国，更是种植业大国，粮、棉、油、糖、果、菜、茶等作物面积和总产均居世界前列。但是，我国生态条件复杂、耕作制度多样，是有害生物多发、频发、重发的国家。目前，我国农作物有害生物（病、虫、草、鼠）1 700 多种，其中害虫 830 多种，病害 720 多种，杂草 60 多种，鼠害 20 多种，可造成严重危害的 100 多种。我国重大有害生物年发生面积 4 亿～4.67 亿公顷次，每年农作物有害生物防治 4 亿～5.33 亿公顷次，挽回粮食损失 6 000 万～9 000 万吨（约占总产的15%～20%）、皮棉 150 万～180 万吨、油料 250 万～270 万吨。因此，种植业持续稳定的发展为确保国家粮食安全和主要农产品有效供给做出了重要贡献，其中植物保护功不可没。

进入新世纪以来，受气候变暖和耕作制度变化的影响，生物灾害损失日趋严重，防控形势十分严峻。目前我国生物灾害造成的粮食损失达 600 多亿元，局部地区

损失已经重于水灾和旱灾。经统计，小麦条锈病2001—2005年连续5年暴发，年最高发生面积560万公顷次。2004—2007年水稻稻瘟病连续4年大发生，年最高发生面积580万公顷次；稻飞虱年平均发生面积2 333万公顷次，造成水稻损失年均约1.5亿吨。2008年小麦吸浆虫死灰复燃，年发生233万公顷次。2003—2009年鼠害年均发生3 667万公顷次。更让我们记忆犹新的是，2000年8月，席卷京津和河北大地，造成沧州、廊坊、衡水、石家庄、邯郸等地区低空内处处飘舞着白色的小虫，市民惊呼白色污染。经专家鉴定，这是一种叫烟粉虱的虫子在肆虐。2005年，受9月份台风和降水较多等气候条件影响，大量稻飞虱虫源从江淮流域稻区回迁至长江流域稻区，浙江、上海、安徽、江西等稻区每公顷虫量在450万～1 500万头，局部漏治田块高达1.5亿头，让人触目惊心。2008年，草地螟成虫发生的区域覆盖了内蒙古、黑龙江的大部以及吉林、河北、山西、北京、天津的部分地区，发生面积约2 000万公顷，单灯诱蛾量都超过万头，在8月初还进入了北京奥运场馆，发生危害面积之大，危害范围之广，为新中国成立以来历年、历代之最。

植物保护是一项重要的防灾减灾措施，是集成农业防治、化学防治、物理防治、生物防治与生态调控等措施而形成的病虫害控制技术体系。在这个体系中，化学防治因成本低、易操作、效果显著而被大家欣然接受，且广泛使用。我国2009年农药产量已经超过260万吨，

其中约1/3用于我国农业有害生物防治。众所周知，农药的罪状，不可谓不多，污染环境，引发食品安全问题，影响身体健康等。海南的“问题豇豆”事件就是典型案例。据统计，我国每年因使用农药引起的中毒人数超过9万人，发生作物药害的面积约20万公顷。但面对如此众多的人口压力，吃饭问题是压倒一切的社会稳定问题，科学家又没有找到比农药更好的答案。所以，农药一直出现在我们的生活中。人们恨它，却离不开它。

转基因本来与农药没有关系。但是目前大多数作物的转基因性状是抗虫，即让棉花或水稻等作物表达出一种蛋白，这种蛋白经害虫取食后，能够杀死害虫，从而代替农药实现害虫控制的目的。目前应用最为广泛的转Bt基因抗虫作物中产生的Bt杀虫蛋白，其来源苏云金杆菌本身就是一种微生物杀虫剂。

从植物保护角度说，最经济、安全、高效地病虫害控制措施就是培育抗病虫作物新品种，当虫灾来临或病害流行时，农作物自己就能“防病灭虫”。过去几千年里，人们一直是利用生物群体自然存在的变异，通过人工选择获得改良的品种。这种品种改良方法的遗传基础是将自然中存在的基因突变保存下来。遗传学创立后近百年来，人们更多是采用人工杂交的方法，通过同一个物种的不同品种间杂交，获得基因重组而实现遗传改良。杂交育种的遗传学基础主要是基因重组，即通过杂交将不同品种中分布的优良基因集中到一个品种中。由

于不同物种一般无法交配，因此传统杂交育种只能在同一个物种内进行。随着科学技术的发展，人们现在可以打破物种界限进行基因转移，从而达到品种创新和品种改良的目的，这种不受物种生殖隔离限制而进行基因转移的方法就是转基因技术。它是将已知功能的基因人工分离出来后直接加入到生物体内，使目标生物发生基因重组，获得我们所需要的抗病或抗虫等性状。所以说，通过转基因技术培育的抗病虫作物品种必将成为最为绿色、经济、安全的害虫防治手段。

当前，我们所倡导的害虫绿色防控技术应该满足三个要求：一是高选择性。即只杀虫，不影响其他生物。二是低残留。即完成杀虫任务，从环境中降解或消失。三是杀虫速度快。由于农作物的关键生长时期很短，必须在这个时间段内将害虫控制住。太早，害虫会继续繁殖（可不要以为人类可以灭了这些害虫）。太晚，对农作物的危害已经造成了。

因此，具有自己杀虫能力的转基因抗虫作物完全满足了以上要求：首先，抗虫转基因作物具有高选择性，其转入的杀虫蛋白不仅对人安全，连害虫都是有区分的，对某些害虫就无能为力，这反而是科学家头痛的问题。其次，低残留。杀虫蛋白质在自然环境很容易被破坏，而且这种蛋白在自然界本来就广泛存在。或许你家的面粉中就有这种蛋白，只不过做成面包后被你吃掉了而已。第三，杀虫速度快，由于害虫直接取食作物表达的杀虫蛋白而被致死，少了细菌侵染的过程。因此，可

以毫不夸张地说，抗病虫转基因作物新品种培育将开辟一个绿色植保新时代。

【作者简介】

林克剑，男，生于1976年，副研究员，博士。主要从事昆虫生态学及农作物病虫害综合防治研究。

推广转基因抗虫棉是时代的呼唤

黄殿成　刘金海
中棉种业科技股份有限公司

1992年6月中旬，河南省安阳市，黄河流域棉区的中心，我国唯一的国家级棉花专业科研机构——中国农业科学院棉花研究所的所在地，正在爆发一场罕见的人虫大战。

这一年，棉田一代棉铃虫在冀、鲁、豫特大爆发。这一代棉铃虫百株累计落卵量竟达2 000多粒，比正常年份的10倍还要多；一个棉叶上面竟然密密麻麻布满80多粒比小米粒还小的棉铃虫卵！棉花研究所紧急动员，科研人员走出实验室，背上装满药液后重达15千克的手动喷雾器，与试验工人一道下地治虫，不少科研人员并不强壮的肩膀上磨出血泡，个别人甚至农药中毒。菊酯类农药、氨基甲酸酯类农药一起上，不行；机动车、人工喷雾器具一起上，仍然不行；超出常规的农药用量，一遍又一遍的防治，棉花叶片已被过量使用的农药烫得萎蔫发焦，还是不行！棉铃虫越长越大，这可怎么办？用最原始的办法——人工捉虫！男女老少齐上阵，每人手握一个空瓶子，里面放一点水，把捉到的棉

铃虫放到瓶子里面，收工时计数，一个棉铃虫奖励1角钱。许多人晚上睡觉时，棉铃虫好像还在眼前蠕动，白天的情景仍历历在目。试验农场有一个工人，把捉到的棉铃虫拿去喂鸡，10只鸡中竟然有两只中毒死亡。棉铃虫终于暂时退却了，可棉株却伤痕累累，80%的棉株生长点受到严重危害，90%的花蕾基本脱落。棉花研究所周围百姓的棉田受危害程度同样是有过之而无不及，不少棉株成了“光杆司令”，许多棉农哭泣着不得不把自己亲手养大的棉株连根拔起，而改种其他作物。

当年，农药为什么对棉铃虫无可奈何？专家认为，我国从20世纪80年代以来，由于长期、大量依赖使用菊酯类农药，使得棉铃虫的抗药性大大增加；北方棉区种植制度的改革，即由一熟棉花改为麦棉套作，棉铃虫有了连续不断而又充足的食物来源，棉铃虫发生基数大为增加，棉铃虫们能够前仆后继，猖狂进攻！当时曾有人戏言，棉铃虫除了电线杆不吃，什么都吃。确实如此，连棉铃虫一向不喜欢吃的杂草上都有其危害的足迹。棉花强忍着被棉铃虫啃噬的痛苦，棉农在拔起的棉柴旁伤心抽泣，事关国计民生的棉花产业频频告急。高层震惊，有关部委提出“三年基本控制棉铃虫爆发危害”的要求。曾有传言：“谁能防止棉铃虫，就给谁树立一尊金像”。传统的农药防治方法对棉铃虫已束手无策。棉铃虫防治，路在何方？

美国依托科技优势，试图垄断中国棉种市场。1988年，美国孟山都公司凭借强大的经济实力和先进的生物

技术，在全球率先培育出抗虫基因高效表达的转基因抗虫棉植株，1990 年与岱字棉公司合作培育成功转基因抗虫棉品种。我国走到了是选择“自主研发”还是“引进品种”的决策十字路口。美国人与中国农业科学院棉花研究所进行了艰苦的谈判，有意让棉花研究所放弃科研，联合开发，并给予一定的经济补偿。这将极大地削弱我国抗虫棉育种的创新能力，甚至导致我国棉种市场被垄断。一旦误入歧途，事关我国经济安全的棉花产业将完全受制于人，后果严重。相似例子不胜枚举。我国不少知名企业，通过与外商合资，虽然获得了眼前的一点蝇头小利，最后却在市场上销声匿迹。棉花研究所审时度势，果断对美方说“NO”。棉花研究所联合优势科研单位，整合行业资源，着力开展自主创新，充分发挥传统育种优势，把现代生物技术与传统育种技术有机融合，在全国各地建立多个生态试验站。1994 年棉花研究所抗虫棉新品系培育成功了。1998 年 3 月，转基因抗虫棉核心技术“编码杀虫蛋白质融合基因和表达载体及其应用”获得国家发明专利，使我国成为继美国之后第二个拥有自主知识产权、独立研制成功转基因抗虫棉的国家。

1994 年，河南省安阳市汤阴县，转基因抗虫棉一经问世，就在广大棉农中引起了轰动。农民很奇怪，棉株上的棉铃虫落卵量并不少，可地里面就是见不到几个棉铃虫，也很少见到棉株受危害，为什么？听了专家的一番解释，他们明白了：“专家通过高科技手段，把一

种来源于棉花外部的苏云金芽孢杆菌的 Bt 基因，转育到棉花体内，它能够主导生成一种杀虫毒蛋白质。这种杀虫蛋白质可以使包括棉铃虫等在内的鳞翅目害虫消化道产生穿孔，从而导致其死亡，对鳞翅目害虫具有专一杀伤作用，而对人、畜在内的高等动物无任何毒副作用。棉铃虫在抗虫棉植株与非抗虫棉植株上的落卵量一样，但抗虫棉上的棉铃虫，从卵壳里刚孵出来，只要啃食像针尖大小的棉花叶片，就一命呜呼了。”农民高兴了，他们抬了几袋子苹果，送到设在村里的抗虫棉种植技术辅导中心，连声感谢到：“你们可解决了我们棉农的心腹之患。这是我们自己树上结的苹果，你们先吃着，过一段时间再给你们送。”村里卖农药的老板可不“乐意”了，往年农药销售量超过 3 吨，这年销售量却还不到 1 吨。农民获得了大丰收，棉铃虫防治初战告捷。

新生事物的发展并非一帆风顺，总是在曲折中前进。转基因抗虫棉的推广也不例外。1996 年，某实习记者的《抗虫棉今年该不该种》一文发表后，针对转基因抗虫棉能否推广的争论在业界开始。一些不法商贩采取浑水摸鱼的手段坑农害农，刚刚培育出的抗虫棉存在棉铃偏小、衣分不高、个别品系尚未完全稳定等自身缺陷以及推广过程中技术服务未能全面及时到位等诸多因素，致使抗虫棉的推广种植出现暂时的低谷。

青山遮不住，毕竟东流去。1999 年，国家发展和改革委员会的前身——国家发展计划委员会优先安排了“国家高技术产业化生物技术专项——转基因抗虫棉种

子产业化”国债项目。该项目以中棉所科技贸易公司为项目法人，联合国内众多科研单位和优势企业，以我国自主研发的转基因抗虫棉品种及其配套技术为依托，通过引入现代企业管理机制，科研、生产、贸易一体化，对加速我国转基因抗虫棉推广，构建我国转基因抗虫棉“创新体系、中试体系、生产体系、加工体系、质量监控体系、营销推广体系”等发挥了重大作用。

2001 年 1 月 11 日，时任国务院总理的朱镕基视察中国农业科学院，看望了农业科技工作者。朱总理听取了院工作汇报，观看了国家“863”计划重大项目“转基因抗虫棉研制、推广”录像，参观了植物基因工程实验室，了解并询问了转基因抗虫棉研制、推广中的问题和困难。朱镕基高度评价了农业科技工作者独立育成的、具有国际先进水平的转基因抗虫棉，提出要加快大面积推广转基因抗虫棉的步伐，全面提升我国棉花品质，减少环境污染，为农村经济发展、农业结构调整和农民收入增加提供强有力的科技支撑。

转基因抗虫棉的推广，取得了经济效益、社会效益、生态效益的三丰收。据不完全统计，1994 年以来，仅中国农业科学院棉花研究所通过省级以上审定的转基因抗虫棉品种累计已达 30 多个。值得一提的是，中棉所 29 是我国首次审定的抗虫杂交棉品种，它集高产、优质、抗虫于一体，优势强，适应广，曾连续多年为全国推广面积最大的抗虫棉品种，2006 年荣获国家科技进步二等奖。中棉所 41 是我国育成的第一个国审双价

转基因抗虫棉品种，高产、广适，抗逆性强，抗棉铃虫性强而持久，纤维品质优良，2009 年荣获国家科技进步二等奖，专家认为，“该品种的育成是我国转基因抗虫棉育种的重大突破”。目前，转基因抗虫棉品种已占我国棉花种植面积的 75% 以上，国产转基因抗虫棉品种市场份额已从 1999 年 18% 跃升为现在的 95% 以上，国产抗虫棉从起初的市场“小弟弟”跃居现在的“大哥大”，居于绝对主导地位。广大农民得到了看得见、摸得着的实惠。转基因抗虫棉与非抗虫棉相比，整个生育期可以减少棉铃虫防治次数 2/3 以上，种植棉花劳动强度大大降低，人、畜中毒次数显著减少，而棉花产量和品质与正常防治棉铃虫的非抗虫棉相当或者略高。转基因抗虫棉的推广，大大减少了我国防治棉铃虫的用药数量，减轻了环境污染，生态效益十分显著。

转基因抗虫棉的研究推广不是一蹴而就，更不会一劳永逸。随着农业生产形势的不断变化，人民生活水平的不断提高，科技水平的不断进步，人类社会对大自然的认识不断拓宽加深，与大自然和谐共处的能力不断提高，新的抗其他虫害、病害，提高棉花纤维品质，提高棉花抗逆境能力的转基因棉花品种会源源不断的问世，必将不断地造福于人类社会。

【作者简介】

黄殿成，男，1966 年出生，副研究员。长期从事农业科技成果转化工作。

转基因——低碳生活之星

马有志
中国农业科学院作物科学研究所

现在一打开网络、电视，充斥眼球的往往是世界人口又增加到一个新的纪录，全球城市化进程加速，各地创纪录的高温频现。以上都传递一个信息，我们需要对人类自身的生存环境进行重新审视。关心地球、善待地球母亲成为人们的共识。环保成为一种新的时尚。

低碳生活现在是都市的一种新的时尚。节水、节电、绿色环保成为时尚人士的行事风尚。很少有人会把农业和低碳生活联系起来。然而转基因作物其实就是农业中的“低碳生活之星”。20 世纪 70 年代末的化肥应用使得粮食的产量有了一个显著的提高。但是为了追求产量，人们一度过量的使用化肥、农药，使得河流污染，海洋富营养化。同时农业还是用水大户，每年 2/3 的水被用于灌溉。要逐步让大家认识，节水必须从农业开始。

转基因作物主要是通过转入外缘的基因来改良自身的性状。在进化过程中，自然界积累了各式各样的基因变异。有耐高温的，有耐高盐的，有能提高作物产量

的，有能增加不饱和脂肪酸的，等等。为了应对生物逆境（高温、高盐碱、干旱等），人们把相关的抗性基因转入到作物中，培育出能在逆境下高产、稳产的新品种。事实上，在当前自然灾难频发的条件下，对作物能在逆境下高产、稳产提出了新要求。科学家现在通过转基因技术培育的养料高效利用的作物新品种显著减少了化肥的利用，耐旱转基因新品种在干旱不浇水或少浇水的情况下获得稳定的粮食产量。不仅农业受惠于转基因，渔业也受益不少。Ω-3 长链不饱和脂肪酸对于软化血管、降低心血管疾病都有显著作用。人们获取 Ω-3 长链不饱和脂肪酸的途径主要是通过食用鱼油，过量的猎取使得海洋中的鱼类到了濒临灭绝的地步。现在科学家通过转基因技术，在植物中利用 Ω-3 长链不饱和脂肪酸合成酶来产生 Ω-3 长链不饱和脂肪酸。这将在一定程度上保护了海洋生物。转基因作物在生物能源、生物制药方面也有诸多应用。

当然，转基因作物也不是完美的，她还有很多需要改进的地方。任何新事物在最初的阶段都是需要面临各种考验的，随着技术的进步，科学的发展，人们终将认识到转基因作物是人类历史上真正的“低碳生活之星”。

转基因作物是我国未来农业发展的必然趋势

周晓今　陈茹梅
中国农业科学院生物技术研究所

转基因作物是指运用科学手段从动、植物或微生物中分离得到所需要的基因，并将其转入作物基因组中，使之稳定遗传并赋予作物新的遗传性状，如抗虫、抗病、抗逆、高产、优质等。其本质是通过获得优良基因进行作物遗传改造。利用转基因技术可以高效的改良作物性状和培育新品种。其实，转基因作物离我们并不遥远，亿万年来近缘物种之间的杂交就是一种自然界存在的基因转移现象，它造就了如今丰富多样的生态资源。此外，一直以来应用到农业生产上的杂交育种技术，也属于一种转基因技术，但是它只能在有限的范围内对作物的遗传基因进行改良，并不能做到针对某一优良性状进行定向改造。因此，转基因技术是传统遗传育种技术的发展与创新，通过此方法获得的转基因作物必然具有更好的农业生产价值，也将是我国未来农业发展的必然趋势。

如今我国农业面临新的严峻挑战。主要经济作物的病虫害逐年加重，大量喷施农药造成环境污染，严重危

害人类健康；过量施肥加重农民经济负担，使土壤种植能力退化，还造成江河湖海等水域的富营养化。此外，我国近年水资源短缺且旱灾频繁，北方及沿海地区盐碱地多，南方热带、亚热带地区土壤普遍为酸性，这些不良环境对作物的种植和产量有很大影响。提高种质资源，发掘低消耗、高产量并且具备较强抗逆能力的新品种，才是从根本上解决问题的方法。外源基因转化的方法可使那些重要经济作物获得各种新的性状，由此可以培育出抗病虫害、耐高盐碱并且具有更高产量和品质的新品种。具体而言，转基因作物具有以下几点优势。

一、转基因作物可以减少环境消耗，增强我国农业的可持续发展

种植抗虫或抗草害转基因作物可减少施用农药的次数和数量，因而降低了农药残留量，不仅环保同时还提高了食品安全性。此外，杀虫剂使用量的减少还节省了矿物燃料消耗，CO_2 的排放也相应减少。种植抗除草剂作物既可减轻农民耕作负担，还可保护土壤和水域免受污染。在我国，种植转基因抗虫棉的 7 年时间里，累计减少农药使用65 万吨，农田环境污染指数降低21%，增产幅度达25%，已经创造了超过221 亿元的经济效益。

二、转基因技术可有针对性地提高作物品质

转基因作物可具有更高的营养价值，例如食用提高

β-胡萝卜素含量的转基因水稻，对克服贫困地区因维生素 A 缺乏导致的眼睛疾病将起到积极作用。转基因技术也可提高水稻中的铁、锌含量，以减少贫血症的发生。此外，通过转基因技术还可以减少食物中的过敏源，降低饱和脂肪酸的含量和减少有害物质在果实及籽粒中的积累。抗病害转基因作物能有效抵抗病菌的感染，从而减少了食物中病菌毒素的含量。以上这些转基因作物的优良性状使我们的食品往更健康、安全的方面发展，对人类和动物的健康有利。

三、转基因作物具有改善人类及动物营养，改善人类生活环境的性状

磷是动物不可或缺的一种营养元素，虽然玉米、大豆等作物含有丰富的磷，但是其总量的 50% ~80% 均以植酸磷的形式存在。由于许多单胃动物的消化道内缺乏植酸酶，所以不能利用植酸磷。因此，一直以来都需要在饲料中添加无机磷或由微生物发酵生产的植酸酶，后者可将植酸磷分解成无机磷，以满足动物生长需要。伴随着转基因技术的发展，内源表达植酸酶的玉米终于诞生了，由其籽粒加工而成的饲料可免于添加植酸酶，由此一方面显著降低了饲料的生产成本，另一方面提高动物对于饲料磷及其他营养物质的利用效率，减少动物粪便中排放的磷和氮，从而减轻集约化养殖动物粪便对环境造成的污染，创造了巨大的生态效应、社会效益和经济效益。

虽然转基因作物具有如此之多的优势，但是由于大部分民众至今仍然饱受争议，焦点主要集中在其加工食品的安全性问题。其实，在美国转基因食品销售的10多年中，尚未发现一例食品安全事故，这足以证明转基因食品是安全的。转基因作物的开发是建立在高度科学和严格的安全评价体系之下的，其种植安全性也一直受到各国政府部门严格监管。国际上已经建立了完善的转基因作物安全评价体系，它包括转化基因的安全性、基因的稳定性、对膳食营养平衡的影响、产生有毒物质的评估、过敏性分析、环境安全性评价等诸多方面。经济合作与发展组织（OECD）已经出台了一系列的农产品营养成分手册，同时国际生命科学学会（ILSI）也建立了各种农作物的营养成分数据库，以此作为评价各种转基因作物营养成分的参考标准。而各国批准生产和销售的转基因食品都是符合此标准的。例如，美国对抗草甘膦大豆进行了成分分析，发现其含油量、纤维、碳水化合物、蛋白质和氨基酸等营养成分均无明显变化。此外，表达苏云金芽孢杆菌杀虫蛋白（Bt）基因的转基因作物也无疑是安全的。此蛋白在被转入植物之前已经作为生物杀虫剂广泛应用了70多年，并且对其杀虫机理具有比较透彻的了解。Bt杀虫蛋白存在于伴孢晶体中，其只在昆虫碱性的中肠中被分解为活性蛋白，并与其在昆虫中肠内的特异受体结合而产生毒性。这一作用机制，使得其只对目标昆虫有效。由于人及哺乳动物的胃液为酸性，肠胃中也不存在与Bt蛋白结合的受体，

因此，当 Bt 蛋白被哺乳动物摄取后，其会在胃液的作用下完全降解，不具任何毒性。多年的研究已反复证明这种 Bt 蛋白对哺乳动物、鸟、鱼无害。

转基因作物同样不会影响生物多样性。优良品种在农业应用中逐渐取代落后品种是一个普遍现象，而转基因作物只是向生物体添加了外源基因，此举本身并不会改变生物多样性。事实上，推广转基因作物的种植，会减少农药的使用量，同时由于单位生产力的提高也减小了农田占地面积，因此是有助于保护生物多样性的。而为防止作物品种多样性的减少，应注意对作物品种资源的保护，以确保各种基因资源被保存下来。此外，在农业生产中还应注意作物品种的合理搭配，避免大面积地种植单一品种给作物造成可能的病虫危害。

综上所述，可见大力推广转基因作物是我国现代化农业发展的必然趋势，但是其科学的发展需要一套完善、严格的监管体系。结合国际转基因作物发展的经验，我国仍需在以下三方面进行强化。一是应进一步制定和规范农业转基因生物安全评价制度，并成立相应的检测机构，确保我国转基作物的发展健康有序。二是需加大对转基因作物的研发投入。虽然我国转基因技术进步迅速且在发展中国家居领先地位，但与美国等发达国家相比，还有一定差距。因此，应鼓励我国科研人员研发具有自主知识产权的基因和新品种，为我国在国际市场的种质资源竞争中取得优势。三是应加强对转基因作物种植的管理。广大科研人员应该深入到基层生产中

去，指导农民正确的种植转基因作物，并保护农业生态环境不受影响。

转基因作物已经离我们愈来愈近，它正在引领农业生产的革命。虽然，目前我国公众对转基因技术和转基因食品还存在疑虑，但是我们应该看到其应用的良好前景及给我国农业发展带来的机遇，客观的分析种植转基因作物的诸多优势。同时，也应该普及生命科学知识，使公众正确的认识转基因技术，并主动地接受转基因食品，使转基因作物能真正的造福于人类。

【作者简介】

周晓今，男，1982 年出生，博士，助理研究员。主要从事植物基因工程研究。

陈茹梅：女，1972 年出生，博士，研究员。主要从事植物基因工程研究。

动物转基因育种介绍

吴珍芳

华南农业大学

基因是一种控制生物性状遗传的物质，直到20世纪中期才被人们所认识。基因是解开生命奥秘的钥匙，随着人们对其认识越多，就有可能掌握它、改造它。动物转基因育种，就是利用现代生物技术将外源基因转移到动物体内，并培育出新的转基因动物品种。

动物转基因育种的过程是怎样的呢？首先是分析目标动物有哪些性状是需要改良和提高的。然后选择性的改良这些性状的目的基因，这需要了解基因的主要功能和特点，并对其进行分离或合成。最后通过一定的生物技术方法将外源基因转移到目标动物体中，使之整合到动物的遗传物质染色体上，并能稳定遗传给后代。

动物转基因育种有哪些作用？转基因育种可以实现常规育种技术难以达到的目标，可以大大加快品种培育的进程。如转基因育种可以根据病毒的特点，特殊设计合成的基因序列转移实现抗病育种。转基因育种还可以转移动物本身没有的基因序列，实现合成特殊的功能药物或保健产品。转基因育种还可以在提高动物生长性能

的同时，转移优良品质的基因，提高动物产品品质。转基因育种还可以针对品种的个别不良性状进行改良，实现定向育种。而这些是常规育种很难或需要很长时间才能做到的。

转基因动物安全吗？答案是肯定的。转基因育种的目的是为人类所需，改良动物性状，提高动物的生产效率和产品价值。转基因动物的产品同样是人类生活需要的蛋白质等营养物质，所转移的基因也是科学家进行严格筛选和大量食品安全验证的，转基因产品对人类健康不构成风险。至于说生态安全方面，培育的转基因品种具有某些性状上的优势是社会经济发展的需要，也是物种进化的需要，与物种的自然选择或人工选择的结果是相同的，只是采用转基因技术把品种培育的时间缩短了。不仅如此，转基因技术大大提高了动物的生产效率，减少了对资源的消耗，及时满足人类生存和发展的需要，更有利于生态安全。

转基因育种与传统育种技术有何不同？转基因育种是传统育种技术的发展，在技术上是一脉相承的。基因突变、自然选择和人工选择是物种进化的主要原因，其本质是少数基因的改变及基因型频率的变化。传统育种采用人工选育和杂交等方法，进行优良基因的重组和外源基因的导入实现物种特性的改良。转基因育种与传统育种技术本质上是相同的，但在基因转移的效率和范围上，转基因育种技术有较之其他方法所不可比拟的优势。传统育种的杂交，是将大量的基因同时进行重组和

转移，而转基因育种只转移需要的基因。自然界基因突变的频率约为 10^{-5} ~ 10^{-8}，而转基因技术可以及时实现基因的突变。传统育种只能在无生殖隔离的物种之间利用自然繁殖体系，进行杂交和选育，而转基因育种可以把亲缘关系较远的生物中的基因或人工合成的基因转移到需要的品种中，不受生物体间亲缘关系的限制，如可以将植物中有用的基因转移到动物体，大大扩大了可利用的基因资源。

转基因技术是 20 世纪末最重要的科技进步之一，近年来，在转基因动、植物研究领域中都已取得了令人瞩目的成就。在转基因作物方面，转基因玉米、转基因大豆和转基因棉花已是国际上的普通农产品。全球转基因动物的研究，将主要集中在抗性、优质、环保、高产、高效等重要经济性状改良和作为生物反应器等，用于解决全球性的食品供应、降低生产成本、减少资源消耗等方面。转基因动物的研究预期将在 3 ~ 5 年后有重大突破，形成市场需求的转基因产品，为人类谋福利，我们期待着这一天的早日到来。

【作者简介】

吴珍芳，男，1970 年生，博士，教授，博士生导师。主要研究领域为分子遗传与猪的育种，主持多项国家科技重大专项。

转基因动物与畜牧生产

石德顺　刘庆友
广西大学

一、什么是转基因动物?

转基因动物是指通过基因工程技术构建重组基因载体，并将重组基因转入动物受精卵或体细胞，获得的一类染色体基因组中整合有外源基因并能稳定遗传给后代的动物。

转基因动物目前主要应用于制作人类疾病或特定基因动物模型，制作转基因动物生物反应器生产重要的人类医用蛋白质以及培育转基因动物新品种来提高畜禽动物抗病能力，改善畜禽产品成分，改良畜禽生产性状。果蝇时代间隔短，实验成本低，是重要的转基因动物模型，常常用于研究特定基因的功能。转基因小鼠是重要的模式动物，目前已经产生的转基因小鼠品系1 500种以上，用于研究特定基因表达增加或减少，对小鼠发育的影响。1999 年加拿大圭尔夫大学科学家研制出转基因环保猪，其粪便中植酸磷的排放量降低了 30% ~77.7%。2010 年加拿大政府宣布环

保猪符合加拿大环境保护法的要求，可以释放到民间进行扩大繁殖。

二、动物转基因技术的优势及战略意义

转基因技术打破了不同生物物种间的界限，可将外源基因直接导入动物个体中，获得新的育种材料，然后通过常规育种选育，可大大加快农业动物新品种的培育速度。转基因动物新品种的培育，不仅可以大大提高动物的生长速度、饲料转化率，改善畜产品（奶、肉、毛）品质，增强动物的抗病能力，降低生产成本，而且还可作为生物反应器生产昂贵的药物，提升人类的健康水平和畜牧业的经济效益。因此，动物转基因技术是对一个国家的社会、经济发展具有重大影响的战略高新技术。

通过转基因动物作为生物反应器进行制药具有其他技术无与伦比的优势：

一是产量大、活性高。以动物乳腺为例，它是高效的蛋白质合成器官，一头优良的奶牛一年可以产奶10 000千克以上，奶中蛋白质含量占总重量的3%，折合全年可产纯蛋白300多千克；即使个体较小的奶羊，一年也能生产20千克纯蛋白。因此，通过基因工程技术把奶牛或奶羊生产蛋白质能力的10%，改变成生产医用蛋白等目标产品，十几头高表达的牛乳腺生物反应器或几十只羊乳腺生物反应器的产量就可以满足全世界对某种药用蛋白质的需求。动物乳腺生物反应器可以生产结构

复杂和分子量大的蛋白，而且生产的重组蛋白药物生理活性好，与人同源性高，非常接近天然产品。

二是成本低、周期短。由于动物乳腺生物反应器生产重组蛋白不需要昂贵的生产设备（如发酵罐），动物饲养和繁殖成本都比较低。国外经济学家曾算过一笔账，若用其他生产工艺（如哺乳动物细胞培养方法）生产1克药物蛋白质，成本为800～5 000美元，而利用转基因动物只需0.02～0.5美元。目前一种新药由研制开发到上市，需15～20年，转基因动、植物制药则可缩短到8～10年。

三是不耗能、无污染。该技术基本上为一畜牧业过程，虽饲养环境要求特别洁净，但仍是给牛、羊草料，由牛、羊奶中提取药品，因此蛋白生产过程不需昂贵设备，不消耗能源，不会产生工业废料，也不会对环境产生污染。因此，动物乳腺生物反应器制药技术是一种可持续发展的新型生物制药技术，也是国内外政府和企业的研究和开发热点。

动物转基因技术目前尚无让农民获得收益的具体事例，但将给农民带来的好处是不言而喻的。如果转基因动物新品种培育成功，农民可以减少饲料和兽药的用量，降低粪便和排泄物对环境的污染，提高产品的售价，且不用担心传染病流行带来的毁灭性打击。因此，动物转基因技术在给农民带来收益的同时，还能产生巨大的社会经济效益。

转基因家畜对农民的好处

苟克勉
中国农业大学

对于农民养殖户来说，饲养家畜的基本目的，就是增加家庭收入。饲养成本低、生长速度快、产量高、少生病的优良品种是养殖户的优先选择和迫切需要。其实，这也是生物学家研制和培育转基因家畜的出发点之一。因此，科学家研制出的具有优良生产性能的转基因家畜，也是普通老百姓的最好选择，他们饲养这些转基因家畜的话，可以有效地降低饲养费用、增加收入，将家畜患病和死亡的风险降到最低。

与普通的家畜品种相比，科学家已经研制成功和正在研制的转基因家畜中，有许多优良性能，下面简略叙述，供养殖户参考。

一、生长速度加快、出栏时间缩短的转基因猪

养猪是我国农民的主要副业，我国原有的太湖猪和其他黑猪品种具有产仔多的优点，但是，我国的这些地方品种猪也有生长缓慢、肥肉过多的缺点。国外的优良

肉猪正好能够弥补我国猪种的这些缺点。随着国外优质种猪的引进饲养和杂交利用，我国的养猪业获得了长足进步，商品猪的出栏率明显提高，瘦肉率也有明显的改善。目前的问题是，我国养猪业的集约化程度比较低，囿于价格和饲养条件的限制，农民对猪种的选择极为有限。因此，为农民提供生长速度快、没有特殊饲养条件要求的新猪种很有必要。快速生长的转基因猪正好能够满足这个要求，可以为我国农村的养猪户提供帮助。1988 年，澳大利亚科学家将猪的生长激素基因导入普通猪的遗传物质中，成功地获得了一头快速生长的转基因猪，4 月龄时，它的体重就能够达到 90 千克，相反，没有转基因的同窝仔猪，达到这样的体重至少需要饲养 5~6 个月。换一种说法，生长最快的时候，普通猪每天大概增重 1.5~1.6 千克，而这头转基因猪每天能长 2.5 千克。另外一个例子是，美国科学家在 1996 年也研制成功了一头这样的转基因猪，转基因猪的心脏、肝脏、肾脏等器官明显大于普通猪，进一步发现，这头猪的胴体脂肪、背最长肌脂肪、皮下背膘厚、眼肌面积等参数降低，而胴体蛋白明显升高。从上面两个例子可以看出，这类转基因猪的生长速度大大提高，出栏时间明显提前了，而且脂肪比例明显降低，很适合我国农民饲养。

二、提高仔猪成活率的转基因猪

一般情况下，仔猪的成活率是养猪业最大的一个问

题。1998 年，美国科学家生产了一种奶中含有 alpha 乳清蛋白的转基因猪，这种酸性蛋白能够促进乳糖的合成，因此这种转基因母猪哺乳的仔猪成活能力明显提高。更多的仔猪成活，意味着饲养繁殖母猪的数量可以适当的减少，降低了养殖户的生产成本，有利于他们的创收效益。

三、肉质改良的转基因猪

利用转基因技术，还能够让家畜自身合成不存在的肉质成分，这些新成分不仅是家畜自身生长需要的，也是人类必需的食物成分，这种转基因猪的附加值明显升高，可以显著的增加农民的收入。目前，科学家正在研制的肉质改良的转基因猪，以多不饱和脂肪酸成分的增加为主。其中一个例子是，2004 年，日本科学家将菠菜的一种脂肪酸脱氢酶基因导入到猪的体内后，转基因猪脂肪的亚油酸（一种动物和人都必需的脂肪酸成分）升高了 20%，而对健康有害的饱和脂肪酸成分减少了 12% 左右。另外一个例子是，2006 年，美国科学家研制成功了一种提高多不饱和脂肪酸如亚油酸、EPA 和 DHA 的转基因猪，猪肉中这类多不饱和脂肪酸的总和从 2% 升高到 8% 以上。这些成分对婴幼儿的大脑发育有非常重要的意义，这个转基因猪的研究结果因而引起了全世界的极大关注和兴趣。像这种改良的转基因动物，不仅对动物本身的生长有益，而且对消费者的健康有益，能够让消费者直接体会到转基因肉制品的好处，

减少消费者一边吃肉一边害怕心血管疾病缠身的顾虑。对于养殖户来说，一方面能够更好的保障饲养家畜的健康状况，另外一方面能够获得更好的经济效益。

四、奶蛋白成分改变的转基因奶牛

目前，全世界饲养的奶牛，基本上是黑白花奶牛，这个品种经过长期的选育后，产奶量非常高，最高的甚至能够达到20～30吨。问题是，如此高产量的后果不可避免地降低了奶的质量，纯牛奶的营养成分远远低于山羊奶或者水牛奶。有鉴于此，数十年来，全世界科学家都在致力于用转基因方法来提高牛奶中的蛋白含量。2003年，新西兰科学家将牛本身的β-酪蛋白基因和κ-酪蛋白基因同时导入到普通奶牛体内，由此生产的转基因奶牛，奶中总蛋白的含量高达5.8%，比普通牛奶4.5%～4.8%的总蛋白水平提高了20%左右；此外，β-酪蛋白和κ-酪蛋白的含量分别升高了8%～20%和200%以上。这些结果说明，这种转基因奶牛的牛奶质量获得了实质的提升，牛奶明显增值，利于养殖户获得更好的经济效益。

改变牛奶成分的转基因奶牛，还有许多种，如不含β-乳球蛋白的转基因牛奶，能够减少一些人对牛奶的过敏。不含乳糖的转基因牛奶，可以供给不消化乳糖的消费者（约占总数的1/5）。含有人奶蛋白质的转基因牛奶，可以用来哺乳婴幼儿，等等。饲养这些转基因奶牛，可以增加养殖户的收入。

五、其他一些特殊性能的转基因家畜

除了上述转基因动物外，农民饲养其他一些特殊性能的转基因家畜，也能有效增加收入。例如，加拿大科学家研制的唾液腺表达细菌植酸酶基因的转基因猪，能够有效地减少猪粪污染；澳大利亚科学家研制的能够提高羊毛质量的转基因绵羊；英国科学家研制成功的能够抵抗疯牛病感染的转基因羊，等等。这些转基因家畜能够从不同侧面增加饲养动物的附加值，节约生产成本，对提高养殖户的收入都有现实的意义。

【作者简介】

苟克勉，男，1969 年出生，博士，副教授，博士生导师。主要从事脂肪酸脱氢酶转基因动物的研制工作，在国际上率先提出外源基因插入宿主动物染色体上的“同源非理性随机整合机制”的学说。

转基因作物带来显著的社会效益

潘光堂　李淑君
四川农业大学玉米研究所

转基因技术是指利用分子生物学技术，将外源基因或经修饰的基因转移到其他物种中，改变生物的遗传物质，进而产生具有优良遗传性状的转基因生物。转基因技术与传统育种技术相结合培育出来的农作物称为转基因作物。近年来，转基因农作物得到了迅速发展，其潜在优势受到越来越多国际组织和国家的高度重视，为解决未来全球人口剧增、资源短缺和环境恶化等问题带来了曙光。

世界范围内转基因作物的种植经验强有力地证明，种植转基因作物有益于维护生态环境。抗虫、抗除草剂和高效利用肥料等类型的转基因农作物的种植可以显著减少作物生长过程中农药的使用量，提高氮肥的利用效率，从而降低农业生产对环境的影响，减少或消除农药对食品的污染。这样，既减少了污染，节约了能源，在生产过程中使用的化石燃料更少，也减少了温室气体的排放。同时，由于产量得到提高，稀缺的农耕土地也得到更好的利用。据 ISAAA 报告，1996—2008 年因种植

转基因抗虫作物，杀虫剂活性成分减少了30多万吨，杀虫剂用量降低了8.4%。仅2008年一年，通过转基因作物吸收的CO_2量约为144亿千克，相当于公路上减少了700万辆车。

利用转基因技术提高农作物品质方面的研究也取得了很大进展。现已成功开发出油酸含量增加的转基因大豆新品系，该类高油酸大豆油还可代替石油产品用于工业应用。开发出富含铁、锌和维生素A，能防止贫血病和预防维生素A缺乏的水稻新品种等一批特优作物品种。在改善植物性食品中蛋白质成分的研究方面，已经成功获得高蛋白质转基因甘薯，为甘薯加工业提供了多样化原材料。华中农业大学叶志彪等科研人员通过转基因手段过的转基因延熟西红柿，并结合杂种优势培育出品质好、常温贮藏期长达40～50天的“华番一号”耐贮藏转基因西红柿。

此外，在全球淡水资源日益紧张的情况下，预计未来具有抗干旱特性的转基因作物将对全球农业生产系统，特别是对干旱严重的发展中国家，发挥十分重要的正面影响。

转基因作物的商业化种植给发达国家和发展中国家都带来了巨大的经济效益和显著的社会生态效益，其发展势头迅猛，且越来越强劲。据最新统计资料显示，2009年全球已有25个国家批准了转基因作物商业化种植，另有32个国家批准转基因产品进口或进行大田试验。包括玉米、大豆、棉花、油菜等12种作物在内的

转基因作物总种植面积继续快速增长，种植面积由1996年的170万公顷增加到2009年的1.34亿公顷，增长了79倍。全球大豆种植面积的77%、棉花总面积的49%、玉米总面积的26%、油菜总面积的21%均为转基因品种。全球转基因作物累计收益高达440亿美元，累计减少杀虫剂使用35.9万吨。转基因作物育种推广应用速度之快，为近代农业科技发展上所未见。

我国人口众多，耕地、水资源紧缺，保障国家粮食安全须要依靠科技创新与应用。因此，与发达国家相比，我国更需要开发和应用适合自身发展的转基因等农业生物技术，为促进农业可持续发展提供科技支撑。2009年，我国为转基因抗虫水稻和转基因植酸酶玉米颁发了生产应用的安全证书。此举抢得了转基因生物产业发展的先机和技术制高点，对增强我国农业国际竞争力具有重要的战略意义。

【作者简介】

潘光堂，男，生于1956年，博士，教授，博士生导师。主要从事作物遗传育种和作物生物技术教学、科研工作。

转基因动物研究进展

张艳丽　王锋
南京农业大学

自从人类学会蓄养动物、耕作植物以来，我们的祖先就从未停止过对物种的遗传改良。过去的几千年里，改良物种的主要方式为：针对自然环境造成的突变或无意的人为因素所产生的优良基因和重组个体进行选育和利用，从而通过随机和自然的积累优化基因。转基因动物技术是将外源基因通过载体人为地导入受体动物体内，让其获得新特性的一门综合性技术。利用转基因技术可以改变动物性状，培育新品种，也可以利用其培育出人类所需要的生物制品，用于医药、食品等方面。转基因技术与传统技术在本质上都是通过获得优良基因进行遗传改良。但在基因转移的范围和效率上，转基因技术与传统育种技术区别于两点：首先，传统技术一般只能在生物种内个体间实现基因的转移，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。第二，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，所转移的是大量的基因，不可能准确的定位于某个基因进行操作和选择，对后代的表型

预见性较差。而转基因技术所操作和转移的是经过明确定义的基因，功能清楚，可准确预测后代，在定向改造生物体中有着无法可比的优越性。

自1982年美国科学家将大鼠生长激素（GH）基因导入小鼠受精卵中获得转基因超级鼠以来，转基因动物已成为当今生命科学中一个发展最快、最热门的领域。世界各国都争先开展此项技术的研究，并相继在兔、羊、猪、牛、鸡、鱼、猫等动物获得转基因成功。转基因动物正在改变着生物医药、农业生产、环境保护、生物材料，甚至是整个生命科学的研究与发展面貌。

一、在农业领域的应用优势

（一）改良动物的生产性能

随着生活水平的提高，人们对肉、奶等食品的需求不仅是色、香、味，更是营养价值的全面提高。转基因技术在改良家畜的肉质、产奶、产毛等经济性状具有不可替代的优势。在动物遗传育种中，传统的动物品种改良方法是通过纯系繁育和配套杂交，该方法带来了明显的经济效益，有力地促进了动物产业的发展，提高了人们的生活水平。但品种改良周期比较长，也会产生负面的影响。转基因动物技术通过改造动物的基因组，使家畜、家禽的经济性状改良更加有效，如使生长速度加快、瘦肉率提高、肉质改善、饲料利用率提高等。通过转基因技术可以制备出不同特性的牛奶以使其满足更多人的需求。例如，奶中所含的乳糖会使一部分人由于过

多饮用造成腹部不适，通过敲除合成乳糖的α乳白蛋白位点或在乳腺中表达乳糖酶，均可有效地降低奶中乳糖的含量，而其成分和产量基本不受影响，这深受糖尿病病人和那些不能分解乳糖的人们的欢迎。此外，可以通过增强酪蛋白基因的表达，增加酪蛋白含量以促进乳品加工产业的发展。通过敲除β乳球蛋白消除过敏源，以产生不引起人过敏反应的牛奶。通过转入人乳铁蛋白基因生产含有大量人乳铁蛋白的人源化牛奶。目前我国已先后成功获得了转有人乳清白蛋白、人乳铁蛋白、人岩藻糖转移酶、人溶菌酶等多种珍贵蛋白的转基因奶牛，为我国的“人源化牛奶”产业化奠定了重要的基础。

（二）提高动物的抗病能力

畜禽传染病一直是严重威胁畜牧业的毒瘤，不仅直接影响到畜禽产品生产，同时也降低了产业投入的积极性，转基因家畜在抗病育种方面具有明显的优势。利用转基因技术将一些抗病基因导入畜禽的动物基因组中，可以让其获得特异性抗病毒或抗病能力。例如，将禽白血病毒包衣糖蛋白基因组导入肉鸡的基因组中，转基因鸡能大量表达游离包衣糖蛋白，当禽白血病毒侵染宿主时，过量的包衣蛋白与宿主细胞表面受体特异性结合，从而阻断病毒的感染途径，使鸡获得抗感染能力。奶牛乳房炎是严重危害奶牛养殖业的一种传染性疾病，严重影响奶牛产奶量、乳脂率以及牛奶的品质，金黄色葡萄球菌是引起乳房炎的主要病原体之一。目前不管是疫苗

还是抗体，都不能有效地抑制或者抵抗这种葡萄状球菌。有研究将编码溶葡球菌酶的基因转入奶牛基因组中获得转基因牛，证明在其乳腺中表达的溶葡球菌酶可以有效预防由葡萄球菌引起的乳房炎，转基因牛葡萄球菌感染率仅为14%，而非转基因牛对照感染率达71%。

二、在医药领域的应用优势

（一）建立诊断和治疗人类疾病的动物模型

转基因动物模型是一种层次较高的研究体系，通过精确地失活某些基因或增强某些基因的表达来制作各种人类疾病的模型，所以研究的结果通常具有较高的真实性。例如，导入乙型肝炎病毒基因，建立肝细胞癌的转基因小鼠模型，可以对不同发育阶段的肝脏基因表达谱和蛋白组学进行研究，还可用于发现早期诊断的功能基因。现已建立起疾病动物模型的遗传病有：癌症、动脉硬化症、镰刀状细胞贫血、地中海贫血、红细胞增多症、肝炎、免疫缺陷、自发性高血压、淋巴系统病、透纳氏症、心肌顿抑和老年痴呆症等。

新开发的药品用于人体之前首先要进行动物试验，但许多疾病没有适当的动物模型来进行药物的评价。利用转基因动物可建立敏感动物品系及与人类相同疾病的动物模型，以利于药物筛选。其优点是准确、经济、试验次数少、显著缩短试验时间，现已成为一种人们进行快速筛选的手段。例如，随着癌基因的不断发现，越来越多的肿瘤疾病模型被用于药物筛选。

（二）生产医用蛋白

转基因乳腺生物反应器作为一种全新生产模式，在生产高附加值蛋白方面展现出广阔的应用前景。乳腺生物反应器好比在动物身上建“药厂”，我们可以源源不断地获得目的基因的产品。它的优越性还表现在产量高、易提纯，表达产物已经过充分的修饰和加工，具有稳定的生物活性。截至目前，全世界从事乳腺生物反应器商业化开发的公司已有十几家之多，表达水平可以进行商业生产的药物有近40种。许多重组蛋白，如抗胰蛋白酶、抗凝血酶Ⅲ、组织型纤溶酶原激活物等已进入最后的临床研究阶段。粗略估计，全球每年对转基因药物蛋白的需求超过250亿美元，这些药物蛋白如果使用传统方法将很难得到并且代价太高，应用转基因动物生产基因药物是一种可以获得巨额经济利润的新型产业。据美国红十字会和遗传学会预测：动物乳腺反应器生产的药物将占所有基因工程药物的95%，到2015年，美国用动物乳腺反应器生产的药物，年销售额可高达350亿美元；到2020年，动物乳腺反应器生产的药物将占所有基因工程药物的95%，具有巨大的市场价值。

（三）生产可用于人体器官移植的动物器官

目前全世界大约有25万人依靠合适的人体器官移植维持生命。但大多数情况下，同种器官移植面临着以下两个问题：一是供移植用的器官来源不足，二是人类移入的器官多发生免疫排斥现象。因此，利用转基因技术改造异种来源器官的遗传性状，使之能适用于人体器

官或组织的移植，是解决移植短缺的最有效途径。目前最为理想的转基因动物模型是猪，猪作为人类器官移植的供体动物有以下一些优势：妊娠期短、产仔数多、后代生长快，而且不存在伦理方面的问题。更重要的是，猪的不同发育时期的器官，诸如心脏、肾等与不同年龄的人的器官在大小上比较接近，极有可能代替病人的某些器官。科学家们尝试将猪基因组中引发排斥反应的基因敲除后，可消除猪作为人类器官供体的一个主要障碍，进一步推动了器官移植的发展与应用。有研究也表明，携带人类免疫系统基因的转基因猪作为人类异种器官移植供体的前景美好，方法可行。

三、在其他领域的应用优势

用动物乳腺生产工业蛋白质，比如蛛丝蛋白是转基因动物应用的一个新领域。蜘蛛丝是目前已知最为坚韧且有弹性的天然动物纤维之一。它不仅具有优异的机械特性，还具有耐腐蚀、耐低温、抗酶解的特性。但由于蜘蛛不能像家蚕那样大规模群体饲养，所以从蜘蛛中获取大量蛛丝是行不通的。由于其巨大的分子量，通过化学合成的方法也无法获得蛋白。因此，利用动物乳腺来生产就成为一种行之有效的方法。加拿大 NEXIA 魁北克生物技术公司的研究人员将蜘蛛体内的牵丝蛋白基因转入山羊体内，培育出羊奶中含牵丝蛋白的转基因山羊，用此种方法生产的人造蜘蛛丝比钢强 4～5 倍，因此他们将这种产品称为“生物钢”。

动物产生的磷污染在农业上是一个很严重的问题，科学家可通过转基因技术，将在大肠杆菌中发现的一种可产生植酸酶的基因，与从鼠身上取出的一种可指挥唾液腺产生的酶的基因进行部分组合，培育出粪便含磷量减少75%的转基因猪，并将这种猪的商标确定为“环保猪”。这种新型猪的唾液所产生的植酸酶可以有效地消化植物磷，对于环保大有裨益。预计在未来几年内，这些对环保有益的猪将会商品化。

四、增强我国农业国际竞争力的重要手段

自1996年首例转基因农作物商业化应用以来，发达国家纷纷把转基因技术作为抢占科技制高点和增强农业国际竞争力的战略重点，发展中国家也积极跟进，全球转基因技术研究与产业快速发展。在转基因作物捷报频传的同时，转基因动物产业化也取得了突破性进展。2006年，美国GTC公司利用羊乳腺反应器生产的重组人抗凝血酶Ⅲ（ATryn）获准在欧洲上市，成为世界上第一例成功上市的转基因动物乳腺生物反应器药物，开启了转基因动物制药的新纪元。2009年，重组人抗凝血酶Ⅲ（ATryn）获准进入美国市场，转基因动物制药正逐步走向商业化。目前已能从转基因动物乳腺中生产贵重药物蛋白，如人血清白蛋白、长效组织纤溶酶原激活（TPA）、人血红蛋白等40多种产品。2008年7月，国务院常务会议审议并原则通过了转基因生物新品种培育科技重大专项，投入资金约200亿元，转基因动物新

品种培育已经得到了我国政府的高度重视。转基因动物的研究和应用将是21世纪生物工程技术领域最活跃、最具有应用价值的项目之一。它将给人类的医药卫生、生物材料、家畜改良等领域带来革命性的变化，尤其是在乳腺生物反应器生产药物方面，它带来的经济效益和社会效益更是难以估量的。可以相信，未来的5～10年，转基因动物及其产品必将进入全面产业化和市场化阶段。

我们国家的许多固有地方动物品种中蕴藏着丰富的有益基因，其中繁殖性能、肉品品质等是最受国际关注、最具特色和国际竞争力的经济性状，也是我国畜牧业持续发展的坚实基础和巨大的潜在优势。目前，国际上在生物领域竞争的关键点之一就是重要基因的发掘、分离、克隆，以期获得知识产权。因此，如何将我国畜禽基因资源的潜在优势变为现实优势，尤其是克隆具有重要抗病和生长性状等功能的新基因，培育具有抗重大疾病、快速生长等的转基因动物新材料和新品种(系)，是目前迫切需要解决的一个科学问题，同时也是世界各国所普遍关注的一个研究领域。

总之，转基因技术是现代生物技术的核心，运用转基因技术培育高产、优质、多抗、高效的新品种，推进转基因技术研究与应用，是着眼于未来国际竞争和产业分工的重大发展战略，是提高农业国际竞争力的重要途径。经过多年努力，我国在重要基因发掘、转基因新品种培育及产业化应用等方面都取得了重大成果。当前我

们必须认真实施好国家转基因生物新品种培育重大专项，努力抢占未来经济科技竞争制高点，加速转基因生物技术研究与应用健康发展，为我国农业可持续发展提供强有力的科技支撑。

【作者简介】

王锋，男，1963 年出生，教授，博士生导师，国家肉羊产业技术体系岗位科学家。研究方向为动物胚胎工程、动物生殖调控、羊业科学。

张艳丽，女，1985 年出生，博士，讲师。研究领域为动物转基因和胚胎工程。

中国种植转基因抗虫棉的经济、生态和社会效益

韩非　张青文
中国农业大学

转基因作物自诞生之日起就饱受争议，全球范围内针对它的经济、生态影响争论不断升级。转基因抗虫作物的大面积推广，成为生物技术在农业领域应用最成功的案例之一。2008 年，全球转基因抗虫作物总计种植了 5 280 万公顷，占当年转基因作物面积的 42%（James，2009）。中国自 1997 年开始大面积种植 Bt 抗虫棉，种植面积从 3 400 公顷攀升到 10 年后的 380 万公顷（Huang，2002；Wu，2008）。由此产生的经济、生态和社会影响受到人们广泛关注。自然科学界和人文科学界都对其展开了多个层面的评价和研究，包括转基因抗虫棉生产成本收益分析、安全管理的成本收益分析、经济贸易和福利分配分析、科研投资收益分析、主要和次要害虫以及天敌种群变化分析、化学农药施用分析和对棉农健康的影响分析等。本文将经济效益评价和生态影响评价结合起来讨论我国采用转基因抗虫棉 10 多年来的综合影响，以期更全面的为中国转基因农作物政策

制定和植物保护研究提供科学依据。

一、Bt 抗虫棉的经济效益分析

研究表明，截至 2008 年，转基因作物种植而受益的 1 330 万户中，有 90% 为发展中国家的小型和资源匮乏的农户，其中中国 710 万农户因种植 Bt 抗虫棉而受益（James，2009）。Bt 抗虫棉在中国的增速推广主要得益于农民需求的拉动。中国的情况为世界范围内研究转基因生物技术长期效益提供了的案例。

（一）Bt 抗虫棉对棉花产量影响

Bt 抗虫棉生产方面的研究开展较早，单产和生产投入成本为重要的研究指标，研究方法以计量模型估计为主。前期研究中通过损失控制函数估计结果表明，Bt 抗虫棉的平均单产比非 Bt 抗虫棉高 9.6%，不同基因来源抗虫棉的增产效果不同，其中 Monsanto 和 CAAS（中国农业科学院）正规基因来源的抗虫棉分别比非 Bt 抗虫棉增产 11% 和 7%。

（二）Bt 抗虫棉的生产成本效益

Bt 抗虫棉显著降低了农药和用工的成本，抗虫棉品种比常规品种的最大优势在于其节药效用。有研究表明，每公顷农药投入减少 48.9 千克，打药次数减少 13.2 次（范存会，2002；Huang，2002；Pray，2001）。抗虫棉与常规棉劳动用工每公顷相差 120 个工日。在农药用工中，常规棉的用工数量是抗虫棉的 6 倍。农药费用的支出和施药数量的相对减少，对农民收入的持续增

长和保持农业持续发展起到了良好的保障作用。抗虫棉种子用量显著低于常规棉，仅是常规棉的 1/6 ~ 1/2（苏军等，2000）。

（三）纯收益

Bt 抗虫棉的纯收益要远远大于常规棉。常规棉和非 Bt 的抗虫棉（除 SGK321 外）每千克棉花成本和物质费用成本均高于 Bt 抗虫棉，每生产 1 千克棉花，常规棉和非 Bt 抗虫棉比 Bt 抗虫棉所花费的成本分别要多出 0.84 元和 1.6 元，所花费的物质成本分别要多出 0.5 元和 0.8 元。

二、中国 Bt 抗虫棉的生态效益

（一）对主要害虫的影响

Bt 抗虫棉除对棉铃虫等鳞翅目害虫有显著抑制、毒杀作用以外，还通过影响生物群落的演变，间接对其他类害虫有限制作用。棉铃虫等农田害虫种类的减少，大大降低了它们对棉花的危害，虫口基数的下降，也为控制来年或更长时期内虫害的不利影响打下了良好的基础。采用 Bt 抗虫棉对棉铃虫进行控制，致使棉花、玉米、大豆、小麦、花生、蔬菜和其他作物中棉铃虫的防治效果比原来好 10 倍以上（Wu，2008）。

（二）对次要害虫和天敌的影响

转基因棉田中由于棉铃虫为害减轻，棉花长势得到改善，同时田间化学防治频次下降，给其他植食性昆虫提供了更好的营养条件和更为宽松的生存环境，一些非

靶标害虫（绿盲蝽、朱砂叶螨、棉蚜、烟粉虱等刺吸性害虫）种群数量呈上升趋势（邓曙东，2003）。在室内和田间小区研究了转基因棉对棉田捕食性天敌影响，认为转基因棉对捕食性天敌无不良影响，田间种群数量减少不明显。转基因棉（包括单价棉和双价棉）和常规棉相比，对捕食性天敌（包括天敌卵）数量全部低于常规棉田内的天敌数量（崔金杰和夏敬源，1999）。转基因棉对多种靶标鳞翅目害虫有强致死作用，使得常规棉田无论是物种数还是个体数量都比单、双价基因棉田内多，从而也吸引了较多的害虫天敌（孙长贵，2003）。崔金杰和夏敬源（1997，1999）也报道，转 Bt 基因棉田棉铃虫寄生性天敌数量显著低于对照常规棉田，而且寄生性天敌的质量也会受到影响。

值得一提的是，经济学界和昆虫学界对于 Bt 抗虫棉田次要害虫的发生研究手段不同，得出的结论亦有分别。通过多年的棉农生产跟踪调查和计量模型分析表明，在转基因抗虫棉有效控制棉花主要害虫（棉铃虫）和减少农药施用之后，防治盲椿象的农药施用量有所增加，平均来说大约仅有 6% 是由于防治棉铃虫农药施用量减少而导致的。抗虫棉的采用并非是导致次要害虫农药施用量增加的主要原因。而通过 10 年以上的生态学观察发现，中国北方棉田日益发生为害严重的次要害虫绿盲蝽的种群数量与 Bt 抗虫棉种植制度的引入有关，最主要原因就是 Bt 抗虫棉致使棉花上农药施用量下降（Lu，2010）。

三、社会效益

转基因棉花在我国的推广应用不仅缓解了我国棉花生产中的虫害压力，减轻了农药造成的环境污染，增加了棉农收入，而且为稳定棉花生产，保障棉花供给，促进我国棉纺业健康持续的发展起到了极为重要的作用。

（一）福利分配

Bt 抗虫棉作为一项成功的生物技术引入中国市场后，经济利益在各个机构、农户以及消费者之间如何分配，势必影响未来转基因作物政策的制定方向。不考虑国际贸易对福利分配的影响，相关利益群体包括：Bt 抗虫棉种植者、种子研发商、消费者等。研究表明，农户群体之间的利益分配比例与种植常规棉时比较，并没有太大变化。在抗虫棉推广初期，中国知识产权保护程度与国外不同，福利分配中实际利益更多地向着中国的棉农倾斜，政府的科研院所和国外的种子研发企业获益比例不高。在 1999 年，至少有 82.5% 属于中国农业科学院和 87% 属于 MDP 的利益流向了棉农群体。在此情况下，农户和种子公司二者的利益并没有良性结合起来。同时，消费者从中并没有直接获益。研究也表明，推广 Monsanto 基因来源、CAAS 基因来源产生的经济剩余要远大于不可确定基因来源的 Bt 抗虫棉品种。在市场经济条件下，应该加速种子市场的改革和产业化发展，我国各地种子市场混乱的局面和盲目排斥国外先进技术的引进，将不利于提高社会总福利。

（二）国产转基因棉花的投资收益分配

国产转基因棉花研发成功，带来了经济、社会、生态等多方面效益。国内学者运用 DREAM 模型，对国产转基因棉花的投资收益及内部收益率进行计算表明，1991—2005 年，国产转基因棉花科研投资的内部收益率为 60.57%。研发成果为黄河流域带来的经济收益要大于长江流域，为消费者带来的收益大于生产者。在播种总面积一定的情况下，转基因杂交棉采纳率每提高 1 个百分点，收益增加近 100 万元。单产水平的变动对收益的影响更大。

（三）棉农的健康效益

Bt 抗虫棉的推广带来了大量的直接效益，同时，因为其导致农药投入减少而带给棉农的间接社会效益也应该得到重视。研究表明，Bt 抗虫棉的采用，使农民的棉田农药施用过程中中毒概率平均减小 11%。

研发和推广 Bt 抗虫棉过程中，对各个环节都做出科学合理且符合各方面需求的结论并不容易，经济学和自然科学研究关注的目标不同，运用的方法和评价体系会给政策制定者带来不同的视角和建议。只有加以统筹规划和分析，才能应对转基因农作物开发过程中面临的诸多新问题，这为中国的转基因农作物的研发和推广提供了崭新的课题和挑战。

尽管中国政府政策制定者在转基因作物的开发利用上态度谨慎，但是面对竞争日益激烈的国际市场压力和国内粮食安全的综合考量，中国政府也加大了转基因农

作物，特别是粮食作物的投资研发进度。Bt 抗虫棉作为中国转基因农作物应用的最成功的标志，种植规模、科研投资规模在过去 10 多年中一直得到稳步增长，这些成为中国未来发展转基因农作物的重要参考。中国拥有科研实力较强、科研成本低、种质资源巨大等优势，生物技术前景广阔。

【参考文献】

[1] Huang J. K., Hu R. F., Fan C. H., Rozelle S., Pray, C. (2002) Bt Cotton Benefits, costs, and impacts in China. AgBioForum, 5 (4): 153 ~ 166

[2] James, C. (2009) Global status of commercialized transgenic crops: Bt cotton, *ISAAA Briefs* No. 39. International Service for the Acquisition of Agri - biotech Applications, Ithaca, NY.

[3] Lu Y. H., Wu K. M., Jiang Y. Y., et al. (2010) Mirid Bug Outbreaks in Multiple Crops Correlated with Wide - Scale Adoption of Bt Cotton in China. Science. 328, 1151 ~ 1154

[4] Pray, C., Ma, D. M. (2001) Impact of Bt cotton in China. World Development, 29 (5), 813 ~ 825

[5] Wu K. M., Lu Y. H., Feng, H. Q., Jiang, Y. Y., Zhao, J. Z. (2008) Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin containing cotton. Science, 321, 1676 ~ 1678

[6] 邓曙东，徐静，张青文，等. 转 Bt 基因棉对非靶标害虫及害虫天敌种群动态的影响 [J]. 昆虫学报，2003，46 (1)：1～5

[7] 孙长贵，张青文，徐静，等. 转 Bt 基因棉和转 Bt＋CpTI 双价基因棉对棉田主要害虫及其天敌种群动态的影响 [J]. 昆虫学报，2003，46 (6)：705～712

[8] 崔金杰，夏敬源. 转 Bt 基因棉对棉铃虫抗性的时空动态 [J]. 棉花学报，1999，11 (3)：141～146

[9] 范存会，黄季，胡瑞法，等. Bt 抗虫棉的种植对农药施用的影响 [J]. 中国农村观察，2002，5：2～16

[10] 苏军，黄季煜，乔方彬. 转 Bt 基因抗虫棉生产的经济效益分析 [J]. 农业技术济，2000，5：26～31

转 Bt 抗虫作物
开辟害虫生物防治新途径

李飞　林克剑

南京农业大学、

中国农业科学院植物保护研究所

转 Bt 基因抗虫水稻获得商业化生产应用安全证书引发民众热议，同时也将害虫控制这一平时不被人关注的领域带入了人们的视野。关于害虫，人们最熟悉的当是蚊子和苍蝇。到了夏天，家中少不了苍蝇拍、电蚊香和杀蚊剂，甚至还要有驱蚊剂和芦荟等。然而，纵使十八般武器全部用上，家中的宝宝仍然免不了遭受蚊子的侵扰。

科学的发展似乎并没有减少人类的蚊蝇之苦，夏天的大蒲扇仍然是降温和驱蚊的利器。可见，害虫控制之不易。

害虫控制的方法很多，而生物防治因其对环境和人类安全而被人们追捧。简单地说，人会因为感染了细菌、真菌或病毒而生病，害虫也会。因此，农业科学家很早就发明了充分利用害虫的天敌昆虫、细菌、真菌和病毒来防治害虫的方法，即生物防治方法。

为了避免不必要的恐慌，我必须强调这些被用于控制害虫的细菌、真菌和病毒只侵染害虫，而对人类和其他哺乳动物无害。

有意思的是，许多记者在写新闻稿时，总喜欢强调生物防治是新型的现代害虫防治方法。其实不然，生物防治远在化学农药使用之前，早在 1892 年，德国就首次用舞毒蛾核多角体病毒防治松树害虫。转基因水稻中常提到的 Bt，其正式名称为“苏云金杆菌”，1911 年，一个名叫 Berliner 的科学家从德国苏云金省面粉厂寄出的一批地中海粉螟中分离到一种杆菌，发表于《粮业杂志》上，1915 年将该菌定名为苏云金杆菌。1938 年，苏云金杆菌首次在法国登记为微生物杀虫剂。

可见，生物防治对于害虫控制领域而言，具有悠久的历史。但是由于生物防治具有“稳定性差，残效期短，杀虫速度慢，而且受施用环境影响大”等明显缺点，而无法在农业生产实践中大规模使用。在长期的进化过程中，细菌、真菌和病毒必须与它们的宿主达到平衡，也就是说害虫感染细菌、真菌和病毒后，不会立即死亡，这跟人类在感染细菌、真菌和病毒后，即使在不进行任何治疗的情况下，也不会立即死亡是一个道理。但就是在这段时间内，害虫就已经对农作物造成了不可逆转的伤害，导致减产和经济损失。

因此，生物防治是一个听上去很美，做起来很难的事。当然，农业科学家仍然一直在努力，去改造害虫的细菌、真菌和病毒，提高它们的杀虫效果和速度。前途

是光明的，但道路是曲折和漫长的。

那为什么说转 Bt 抗虫作物开辟了生物防治的新途径呢？苏云金杆菌本质是一种细菌，能够侵染害虫。不过这种细菌从侵染害虫到杀死害虫，需要一个漫长的过程。这当然可以理解，没有哪个人被感染上肺炎球菌后立即就会死去。正是这个漫长的过程，让苏云金杆菌一直无法在害虫防治中大展身手，替代农药。科学家发现，苏云金杆菌之所以能够杀死害虫，是因为其分泌一种蛋白，我们称其为杀虫蛋白，而蛋白的来源是由基因经转录和翻译之后形成的。科学家已经能够在细胞和体外实现这个过程。而转基因水稻就是让水稻自身来实现这个过程，自身产生细菌中的杀虫蛋白，这样害虫吃了水稻后就犹如被苏云金杆菌侵染一样，直接被杀死。

也许有人会困惑，为什么害虫取食转基因水稻会立即死亡，而被细菌本身侵染后不会呢？原因很简单，苏云金杆菌在侵染害虫后不会立即产生这种杀虫蛋白，而是在侵染的晚期才分泌杀虫蛋白。这是长期进化的结果，如果细菌在侵染害虫后立即杀死害虫，那么其自身就得不到繁殖。

做个简单的归纳，转基因水稻的杀虫蛋白来自能够且只能够侵染害虫的细菌，这种细菌早在上个世纪中上半叶就被用于害虫防治中，所以我们说抗虫转基因作物是生物防治方法的延伸和继续，也必将在害虫绿色防控中大展身手。

【作者简介】

李飞，男，生于1976年，博士，教授。主要从事昆虫抗药性治理及生物信息学研究。

林克剑，男，生于1976年，博士，副研究员。主要从事昆虫生态学及农作物病虫害综合防治研究。

转基因动物的应用及前景

宋成义　李奎
中国农业科学院北京畜牧兽医研究所

转基因动物是指利用现代生物技术手段，稳定改变动物的遗传特性，从而达到改变动物表型，如提高在生长、抗病等方面性能，或者使动物能够生产原本不能生产的珍稀药用蛋白的目的。目前，转基因动物成为农业和医学研究开发的重要领域，并逐渐发展成为很有商业前景的高新技术产业。目前转基因动物的应用研究主要有以下几个方面：

一、利用转基因改良动物品种

传统的改良育种只能在同种或亲缘关系很近的物种之间进行，且以自然突变作为选种的前提，而自然界自然突变的发生几率相当低。转基因技术则可以克服上述问题，创造新突变或打破物种间基因交流限制，加快动物改良进程。目前已经成功地应用在提高动物个体的生长速度、改良家畜的生产品质和增强抗逆、抵御疾病的能力等方面。例如，1998 年，美国农业部的研究人员成功获得了促生长转基因猪（胰岛素样生长因子）。该

促生长基因的导入，显著改变了猪的产肉性能，猪肉脂肪含量减少10%，瘦肉含量增加6%～8%，显著提高了猪的经济性能。再如，2008年，中国农业科学院北京畜牧兽医研究所等单位，通过克隆和基因重组技术，成功制备了转基因猪，该转基因猪与普通猪相比，在肌肉和脂肪中不饱和脂肪酸的含量显著提高。不饱和脂肪酸为有益人类健康脂肪酸，能使胆固醇酯化，降低血中胆固醇和甘油三酯，降低血液黏稠度，改善血液微循环，提高脑细胞的活性，增强记忆力和思维能力。此外，转基因技术在羊毛产量的提高、牛奶营养成分的改善以及动物抗病性的提高等方面，也有很好的表现。

二、建立诊断及治疗人类疾病的动物模型

转基因动物在人类遗传疾病的研究中具有重要应用价值，被认为是生物技术又一重大突破。现代医学研究证明，人类的大多数疾病都与遗传有关。通过转基因技术来制作各种研究人类疾病的动物模型，为类似疾病的诊断和开展治疗积累宝贵的资料。研究证明，适当的动物模型对研究基因突变而引起遗传疾病的发病机制是十分有效的。过去，制造这种动物模型的途径只能靠自然突变或人工诱变的方法。但是，如上文所述，自然突变的机会很小，而人工诱变的方法也不容易定向地控制其突变的位点和方式。因此，用转基因技术产生的人类遗传疾病模型则成为人类遗传疾病研究的一个极为有效的途径。例如，贫血病转基因小鼠的建立，为研究分析贫

血病的发病机制、药物治疗效果提供了重要的动物模型。再如，表达人类原癌基因的转基因兔也已经被广泛应用于人类肿瘤发生机制、寻找有效预防和治疗措施的研究。而糖尿病和心血管疾病转基因猪模型也有较多报道。目前，已经建立了动脉粥样硬化、贫血症、痴呆症、自身免疫病、淋巴系统病、真皮炎及前列腺癌等多种疾病的转基因动物模型，为这类疾病的研究提供了方便。此外，转基因动物也可以用于某些病毒性疾病的致病机理研究。

三、利用转基因动物作为生物反应器

利用转基因动物作为生物反应器，生产在人体内原本稀少的功能蛋白是转基因动物应用的又一重要领域。目前许多珍贵的药用功能蛋白虽然可以在植物、细菌和酵母等生物中进行规模生产，但是，在人体内许多蛋白质的生物活性是经后加工才能获得，植物、细菌和酵母不具备这种后加工能力。虽然动物细胞培养体系可以实现活性加工过程，但产量较低，成本很高。而转基因动物生物反应器是利用转基因活体动物的特定组织或器官，进行规模化生产稀有药用蛋白的技术。主要过程为，首先将外源基因转入动物，获得转基因动物，然后再从动物的蛋清、乳汁、血液、精液或尿液等中获得目的蛋白。转基因动物分泌的蛋白经过动物体内系统环境的后加工，其结构和生物活性与人体天然蛋白非常相似，而且产量高，这是其他表达系统所无法比拟的。因此，转基因动物生物反应器生产的稀有功能蛋白是当前极具发展前景

的蛋白药物生产方式。2006年6月2日，全球著名的生物制药企业——美国GTC Biotherapeutics公司研制成功的，在转基因山羊乳汁中生产的重组蛋白——人抗凝血酶Ⅲ（商品名：ATryn），成为世界上第一个获准上市的转基因动物生产的基因工程药物。该蛋白药物具有抑制血液中凝血酶活性，在预防和治疗急慢性血栓血塞形成上效果显著，据估计该药全球潜在市场每年高达1.5亿美元。其他如荷兰Pharming公司研制的人C1抑制剂（治疗血管神经性水肿的药物）、人乳铁蛋白（抗病毒、增强免疫机能等）、纤维蛋白原（抗栓药）；法国Bioprotein Technologies公司研制的人类轮状病毒疫苗、美国Pharm Athene公司研制的人丁酰胆碱酯酶等重组蛋白药物也已经完成或进入临床Ⅲ期试验，特别是治疗性抗体药物，发展潜力更大。还有10多种重组蛋白药物处于临床研究，另有上千种重组蛋白处于研发阶段。

四、利用转基因动物作为人体器官移植供体

器官移植已成为治疗人类器官疾病的重要途径，但该技术存在很大制约因素——器官来源的缺乏，人体移植器官短缺成为一个世界性难题。虽然很多国家采取了大量措施，甚至制订了相关法律议案，希望激励更多器官供给者的出现。这些举措虽使器官供给有所增加，但世界范围内的可供器官仍存在巨大缺口。异种器官移植提供了一条可行的解决方法。异种器官移植是用手术的方法将某种动物的器官或组织移植到人或者另一动物的

某一部位。1905 年，法国的研究人员将兔肾植入肾功能衰竭儿童体内，进行了世界第一例异种移植手术，手术很成功，但 16 天后由于排异反应，儿童死于肺部感染。之后，世界各地的研究人员逐步加入到异种移植器官研究之中。由于猪的大部分器官在大小、结构和功能等生理指标上与人类相似，且妊娠周期短，产仔多，容易饲养，供应量大，费用低廉，被认为是最理想的异种器官源。目前猪器官用作供体源最大的障碍是人体内对猪器官天然的超急排斥反应。

转基因技术在异种器官移植中的应用主要是针对异种超急排斥反应的有关主要因素，对供体的基因利用转基因技术，通过基因修饰等措施进行干扰，从而在器官移植后降低或消除超急排斥反应。目前已经获得能够有效抑制排斥反应的转基因猪。

转基因动物技术既是生命科学研究有力的技术支撑，也是具有广阔开发前景的高新技术产业。其应用如此广泛，已经深入影响到了农业、医学、工业等领域，将给人类带来巨大的经济效益，推动社会向前发展。随着功能基因组学研究持续深入和新转基因技术的不断发展，新的基因和技术将层出不穷，这必将为转基因动物产业化开发提供更广阔的空间。

【作者简介】

宋成义，男，1974 年生，博士，副教授。主要从事动物遗传育种和转基因动物研究。

动物转基因技术及其应用

幸宇云　任军
江西农业大学

转基因是指利用现代分子生物学技术，将某些生物的基因导入到其他物种中，由于导入基因的表达，引起这些物种性状发生可遗传的变化。转基因动物就是利用转基因技术获得的、具有正常表达和可稳定遗传外源基因的动物。自 1982 年第一只转基因动物——一只因导入大鼠生长激素基因而使生长速度倍增的转基因鼠诞生以来，各种转基因动物，如鱼、兔、猪、牛、羊等先后问世，1997 年，举世轰动的“多莉”克隆羊的诞生使转基因克隆动物成为现实，转基因动物研究得到了进一步发展。

生产转基因动物的方法有很多，如：显微注射法、精子载体法、逆转录病毒载体法、胚胎干细胞介导法、体细胞克隆介导法、人工染色体介导的基因转移法等，这些方法各有其优缺点，在转基因动物生产中有着不同程度的应用。

显微注射法是动物转基因技术中最早使用的方法。1982 年，美国人 Gordon 就是利用这种方法获得了名噪

一时的转基因鼠。其基本原理是在显微镜下直接将目的基因注射到受精卵细胞的原核内，在目的基因与胚胎基因组融合后进行体外培养，最后移植给受体母畜“借腹怀胎”。这种方法的优点是：可靠性高，重复性好，目的基因的整合效率相对较高，导入基因片段的大小和类型不受限制，转基因在世代之间可以稳定遗传。该方法也有其缺点，主要体现在导入基因整合的随机性和不可见性，这样会导致基因表达不稳定及可能出现不希望的插入突变。该方法成功的范例很多，如：美国科学家 Hammer 等在 1985 年获得一批转基因兔、绵羊和猪；荷兰科学家 KrimPenfort 等于 1991 年获得了转基因牛；1985 年，我国朱作言院士等成功获得了世界上首例转基因鱼；由中国农业大学李宁院士领导的课题组于 2008 年获得了一头导入人 CD20 抗体基因的转基因奶牛——贝贝。

有的学者另辟蹊径，创立了精子载体转基因法。该方法是将精子与目的 DNA 进行预培养后，使精子具有携带目的基因进入卵子的能力，精子与卵子结合后，该基因被整合到受精卵的 DNA 中。同显微注射法相比，该方法有几个明显的优点：无需显微注射操作，不会对胚胎造成损伤，整合率高，成本很低，不需要对动物进行胚胎移植手术处理等。但该方法成功率不高、效果不稳定，有待科研人员进一步探索和改进。与显微注射法相比，该方法成功的例子不多。1989 年意大利 Lavitrano 等首次报道利用精子载体法获得转基因鼠；1996 年

意大利 Sperandio 科研小组报道了采用该方法生产转基因牛和猪。

谈到病毒，人们往往面容失色，殊不知病毒在科学上有很多妙用。逆转录病毒是一种 RNA 病毒，在转基因技术中有着独特的应用。人们将目的基因结合到逆转录病毒上，通过病毒感染可将目的基因插入到宿主基因组中去。该方法具有可同时感染大量胚胎、不需要昂贵的显微注射设备等优点，但也存在插入外源 DNA 大小有限、外源基因易发生重排和丢失、逆转录病毒的序列可能干扰转基因表达等缺点。应用该方法，美国人 Salter 等（1987）生产出转基因鸡；德国学者 Hofmann 等获得绿色荧光蛋白转基因猪（2003），随后又生产出转基因牛（2005）；来自冷泉港实验室的 Michael 获得能够发荧光的山羊（2006）。

胚胎干细胞是生命体中保留的未成熟细胞，具有再分化形成其他细胞和组织器官的潜力，被称为“万能细胞”。利用胚胎干细胞生产转基因动物的原理是将外源基因导入分离好的胚胎干细胞，然后将转基因的胚胎干细胞注射于受体动物胚胎后，参与宿主的胚胎融合形成嵌合体，从而得到转基因动物。这一方法的优点是可以对胚胎干细胞进行特定选择。缺点是目前只有小鼠干细胞系比较成熟，而家畜干细胞系还未完全建立，有不少问题尚待解决。

体细胞克隆介导的转基因是动物转基因技术中的“高级版本”。说到体细胞克隆，很多人都会想到一位

“动物明星”——多莉羊，它是于1997年由英国Wilmut等获得的杰作。转基因克隆技术是转基因技术和动物克隆技术的有机结合，其基本原理是将目的基因导入动物体细胞遗传物质中，然后通过显微操作技术，将携带目的基因的体细胞核移植到去核的卵母细胞中，形成重构胚，再移植到受体动物中，待妊娠、分娩后获得转基因克隆动物。该方法虽然胎儿的死亡率高，但其优势非常明显：可以事先筛选阳性细胞，转基因后代遗传背景及遗传稳定性一致，目前成为制备转基因动物的主流技术之一。

动物转基因技术已有近30年的研究历史，作为一项生物高新技术，其在农牧业、医药和环境保护等诸多领域显示了广阔的应用前景，带来了巨大的经济效益和显著的社会效益。

转基因技术可使畜禽、水产等动物的经济性状改良更为有效，如可提高生长速度、改善肉质、提高饲料报酬、提高繁殖性能等。在这类的研究中，GH（生长激素）基因作为一个热点基因在动物转基因技术中得到充分的应用。自1982年GH基因被导入“超级小鼠”成功后，该基因被广泛应用于鱼、猪、牛等动物的转基因研究中。1985年，我国朱作言等将人GH基因导入鲫鱼受精卵，得到了生长速度快、耐受性强、肉质好的转基因鱼，该项研究成果被1989年美国出版的《科学年史》记录为近代中国两大重要开拓性科研成果之一。美国科学家Hammer（1985）和Pursel（1989）分别将

人和牛的 GH 基因转入猪，生产出的转基因猪与非转基因猪相比，生长速度和饲料报酬明显提高。除 GH 基因外，加拿大的 Fletcher 等将抗冻蛋白基因导入大西洋鲑鱼，以增强其抗寒能力；新西兰科学家将小鼠超高硫角蛋白启动子转入绵羊，使其产毛性能得到提高。我们坚信，随着转基因动物技术的不断发展，科研工作者将获得更多的具有优异生产性状的转基因动物。

动物疾病长期以来困扰着畜牧业的发展，不仅影响了畜禽产品生产，同时也为食品安全带来隐患。利用转基因技术将某些抗病毒基因转入畜禽的基因组中，可以让其获得相应的抗病能力。例如，乳房炎是奶牛最常见的、也是对奶牛生产危害性最大的一种疾病，金黄色葡萄球菌是引起乳房炎的主要病原体之一。美国学者 Donovan 等（2005）将编码溶葡萄球菌酶的基因转入奶牛中，所获得的转基因牛可以有效地预防由葡萄球菌引起的乳房炎。还有一种为人熟知的疾病——疯牛病，该病能由家畜传染给人，曾一度引起全球的高度关注甚至是恐慌。疯牛病学名牛海绵状脑病，朊病毒蛋白体是引起疯牛病的病原体。2007 年，美国学者 Richt 等通过基因打靶技术获得朊病毒蛋白基因缺失的转基因牛，该实验的成功预示着生产无疯牛病种群的可能性。

转基因动物作为一种新型生物反应器，可以为人们生产一些珍贵的蛋白质，这些蛋白一般是药用蛋白或营养保健蛋白。目前获得成功的动物生物反应器有血液、膀胱、鸡蛋蛋清、乳腺等，乳腺是最理想也是目前发展

最成熟的一种模式。因为乳腺是一个外分泌器官，乳汁不进入体内循环，对动物本身的生理活动不会造成影响，且从乳汁中获取目的产物具有产量高、易提纯等优点。2006 年，美国食品和药物管理局批准首个转基因表达的药物——由美国 GTC Biotherapeutics 公司利用转基因羊生产的 ATryn，这也是全球首例成功上市的转基因动物药物。该药品是从导入了人抗凝血酶Ⅲ的奶山羊的羊乳中提取，用于治疗一种发病率较高的遗传性抗凝血酶缺乏症的疾病。它的上市为众多患有该遗传疾病的人带来了福音，堪称为生物技术产业里程碑式的成就。中国农业大学李宁院士等在 2005 年利用转基因体细胞克隆技术，分别获得了导入“人乳铁蛋白”、“人 α-乳清白蛋白”、“溶菌酶”及“岩藻糖化蛋白”的转基因牛，这几种蛋白是人乳中重要的营养保健成分，有多种抗菌和抗癌等药用功能，这些成果为开发“人乳化”牛奶提供了航向。2008 年，李宁院士的团队又获得携带人 CD20 抗体基因的转基因奶牛，可以从其乳汁中提取 CD20 单克隆抗体，该抗体是治疗 B 淋巴细胞瘤等恶性肿瘤的特效药物。

疾病问题一直伴随着人类文明的进程，虽然科学在不断地进步，但很多疾病问题短期内仍然看不到攻克的希望，如艾滋病、乙肝、癌症等。转基因动物为这类疾病研究提供了新型模型。通过将产生某些疾病的外源基因转入动物体内，建立模拟人类疾病遗传的模式动物，可直接或间接地反映疾病的发生和发展过程，在了解疾

病的基础上开创和优化疾病的治疗。转基因动物模型可以避免直接实验于人所造成的危险，可以根据研究的需要复制疾病，样品易得。正是由于这些优点，转基因动物模型现已广泛应用于人类疾病的发病机理和治疗研究。例如，中国有约1.2亿乙肝病毒携带者，乙肝病毒由于具有坚硬的蛋白质外壳、复制方式特殊等原因，医学上尚无攻克办法。上海复旦大学闻玉梅院士课题组将乙肝病毒基因组转入小鼠受精卵内，获得了携带乙肝病毒的小鼠，为我国科学家深入地研究乙肝提供了宝贵的“替身”。目前该课题组研制的治疗性乙肝疫苗已进入Ⅲ期临床实验。除此之外，现已建立起动物模型的疾病还有：癌症、贫血、帕金森、糖尿病、高血压、动脉硬化等，这些疾病均是长期以来一直危害人类的健康杀手。

众所周知，转基因作物引起了全世界的激烈争论，转基因动物一样面临诸多争议，如安全性问题、转基因动物的福利问题等。在我国，转基因生物的安全性是公众高度关注的话题，不少人对其安全性存在担忧。但一个基本事实是，作为世界上食品安全级别最高的国家之一———美国，转基因植物上市已有20年的历史，转基因动物的研究也大大早于中国。事物的发展是循序渐进的，转基因动物作为只有近30年历史的新鲜事物，达到完善水平尚需时日。但毋庸置疑的是，转基因动物技术具有巨大的应用前景，其重要影响会更加深入地渗透到生命科学、畜牧生产、医药学、环境保护等诸多领

域。相信随着科学的进步和科研工作者的不懈努力，动物转基因技术会不断完善，未来将会有越来越多的转基因动物产品进入产业化市场，更好地为人类服务。

【作者简介】

幸宇云，男，1977 年生，博士。从事转基因动物与繁殖新技术研究。

任军，男，1974 年生，博士，教授，博士生导师，享受国务院特殊津贴专家。

转基因育种
可为解决我国旱灾问题出力

黎　裕
中国农业科学院作物科学研究所

2010年年初以来，云南、贵州、四川、广西和重庆持续严重干旱。严重的旱情导致6 420多万人受灾，耕地受旱面积673万公顷，农作物绝收面积110多万公顷，直接经济损失达246亿多元。

从世界范围来看，各种恶劣环境因素可导致70%的产量损失，其中干旱带来的危害最大。近年来，全球气候变暖更加剧了干旱的频繁发生。农业是水资源消耗的大户，而中国是一个中度缺水的国家，干旱对未来我国的农业生产和粮食安全带来的冲击将会越来越大。因此，提高农业生产中的水分利用效率已变成社会各界的共识。

在诸多提高水分利用效率的措施中，培育抗旱节水作物新品种是一种行之有效的重要战略。尽管传统的抗旱育种取得了一定成效，但由于在目标物种中缺少合适的遗传变异，育种效率一直不高。近年来，由于基因组学研究成果不断涌现，在不同物种中均鉴定出了一批有

重要抗旱作用的相关基因，给利用转基因技术培育作物新品种提供了条件。

鉴于抗旱性改良的重要作用，世界各国科学界均给予了高度重视。例如，国际小麦玉米改良中心投入了大量人力、物力，重点在非洲开展玉米抗旱性改良。美国孟山都公司利用转基因技术培育的抗旱玉米将在2012年投入市场，其产品基因来源包括拟南芥、玉米等，在干旱胁迫下比对照可提高产量8%～22%，在正常水分条件下不减产。先锋公司也可能在2013年将含有其他基因的转基因抗旱玉米投入市场。先正达公司与一家加拿大公司合作开发的转基因抗旱玉米可能在2014年之后即投入市场。

随着科学技术的不断发展，我国应用转基因技术培育抗旱作物新品种的时代已经到来。可以预计，这将大大提高我国的旱灾应对能力，为保障我国的粮食安全做贡献。

转基因抗虫玉米——玉米钻心虫的克星

何康来

中国农业科学院植物保护研究所

一、我国玉米生产与害虫防治现状

玉米是我国第二大粮食作物，亦用作饲料，是我国畜牧养殖业的支柱。人们记忆犹新的肉类价格上涨，就与玉米供应偏紧、价格上涨有密切的关系。玉米又是重要的工业原料，是增值作用最高的作物之一。随着饲料、淀粉、燃料乙醇等用量迅速增加，强力拉动需求，全球玉米供应紧张的加剧，我国玉米供求关系也已发生根本性变化，从自给有余略有出口的基本平衡型向着供应偏紧的状态转变。这也促使全国玉米种植面积自2000年以来不断增加，2002年达2 467万公顷，超过小麦；2007年达2 933万公顷，超过水稻；现在每年种植2 800万公顷以上，与水稻接近。21世纪我国农业面临人口不断增加和农业资源如耕地、水不断减少的双重压力，为了实现粮食安全和生态安全、提高农业生产效益的战略目标，提高玉米品种的科技含量是具有现实意

义的重要举措之一。

玉米螟俗称玉米钻心虫、钻茎虫，是玉米、谷子、高粱等粮食作物的重要害虫，其危害是造成玉米常年减产的重要生物灾害之一，严重影响玉米的产量和质量。一般年份玉米受玉米螟为害减产 10% ~15%，大发生年减产可达 30% 以上，甚至绝收。因玉米螟的危害，每年损失的玉米就达 600 万 ~900 万吨。2008 年全国发生 1 573 万公顷次，黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古通辽等主要玉米产区危害严重，被害率多在 40% 以上，严重的 100%；黄淮夏玉米区穗期玉米螟危害中等，局部偏重发生。

近年来，随着我国玉米种植结构的调整，餐桌鲜食玉米需求增加，玉米种植出现多样化的趋势，除普通玉米品种外，甜玉米、糯玉米、爆裂玉米等多个玉米品种的种植均有不同程度的发展，显现出广阔的市场前景。然而，我们吃甜、糯玉米时碰到虫子心里感觉一定不舒服。尽管大家在将鲜甜糯玉米煮熟前，肯定将果穗上可见的害虫危害的部分籽粒已经切除，但穗腐病真菌产生的毒素依然有较高的残留。另一方面，为了得到好的市场价格，农民为了防止玉米螟危害雌穗，常大量使用高毒化学农药进行防治，导致农药残留严重。

玉米螟除直接危害玉米造成严重损失外，其危害造成的伤口又是玉米穗腐病病原菌入侵的途径，害虫本身常携带病原菌，从而诱发和加重玉米穗腐病的发生。玉米穗腐病是由真菌主要是镰刀菌和腐霉菌引起的玉米病

害，除引起穗粒腐烂、霉变而导致直接产量损失外，这些真菌还会产生黄曲霉毒素、伏马毒素、雌性发情毒素、呕吐毒素、赭曲霉毒素等真菌毒素，这些毒素对人体和畜禽有害，如大家熟知的黄曲霉毒素是致癌物质。伏马毒素可破坏家禽的免疫系统，引起马属动物的脑白质软化症、猪的肺水肿等。20 世纪 50 年代我国就曾发生马和牛的霉玉米中毒事件。1989 年美国发生了由串珠镰刀菌毒素污染玉米渣造成的马脑白质软化症和猪肺水肿等中毒事件。对南非食道癌高发区 Transkei 地区的流行病学调查和我国河南林县食道癌病因调查中发现，伏马毒素与人类食道癌的发生率存在某种相关性。玉米一旦发生穗腐病，籽粒中就会产生大量的真菌毒素，使玉米的品质下降。研究发现，玉米穗腐病的发病率与害虫危害呈现显著正相关。

二、防治玉米螟的困难与技术需求

我国玉米螟的防治技术有了很大的发展，在一定程度上减少了玉米螟的危害。但由于玉米螟防治存在诸多困难，因而实际进行防治的面积为 20% ~30%，且由于农民对各种技术使用掌握程度不同，防治效果也不相同。

玉米螟是以幼虫潜藏、钻蛀危害，即心叶期在包卷而未展开的幼嫩心叶危害，抽丝散粉后危害花丝、雌穗，大龄幼虫则蛀入玉米茎秆、雌穗等危害，因此防治难度很大。玉米螟在我国从北到南一年可发生

1~7代，世代不整齐。成虫具有很强的飞行扩散能力，因此在东北白僵菌封垛、灯诱等防治越冬虫需要大面积连片进行，实施有难度。后期玉米植株高大，田间操作困难，诸如使用生物防治的人工释放赤眼蜂等方法实施操作技术要求高，不易被农民掌握且成本高，防治效果受气候变化影响大，不稳定。使用化学颗粒剂一定程度上可防治心叶期危害世代，但化学杀虫剂也会有污染环境，使用时操作不当亦会引起使用者中毒等不良后果。因此，需要发展高效、经济、简便易行的防治技术。

我们知道，在玉米与其害虫的长期协同进化过程中，玉米对害虫也产生了一定的抗生作用。在玉米组织内不同程度的含有一种或数种抗虫物质，如已有报道的丁布等。利用玉米本身的抗虫性防治害虫，农民不需要掌握特殊的技术，只要种植了具有抗虫性的品种就能达到防虫的目的，因此品种本身的抗虫性利用是经济、简便易行、安全有效的防治措施。利用抗螟品种可减少化学农药防治面积和农药对环境的污染，有利于天敌的繁殖，且可与化学防治及生物防治配合和协调使用，达到良好的生态和社会效益，该措施也容易被农民所接受。但具有抗虫性的品种常常产量低，农艺性状差，因而在传统的育种中常被淘汰。因此，生产上真正高抗虫性的常规品种几乎没有。而利用生物技术产生的转基因抗虫玉米使这一高效、经济、简便易行的防治技术的实施成为可能。

三、转基因抗虫玉米及其杀虫效果

Bt 即大家熟知的苏云金杆菌，它是自然界广泛存在于土壤中的一种有益杀虫微生物，自 1959 年 Bt 作为生物杀虫剂应用于作物保护以来已经有 50 年的历史。但 Bt 作为生物杀虫剂在目前农作物保护市场上占的份额仍然不足 1%，主要原因是 Bt 制剂在应用上存在很多的缺点，如田间不稳定、在紫外线下易分解、持效期短、对隐蔽害虫效果不大、在玉米田使用操作困难等。

鉴于此，科学家将在 Bt 中表达的能专杀昆虫的蛋白基因转到玉米中，使玉米亦能生产这种蛋白，当害虫危害取食玉米时，就将这种蛋白吃到“肚里”，在其中肠碱性溶液及酶的作用下被活化，从而杀死害虫。由于害虫在其初次取食时就吃进了这种蛋白，而这时害虫刚刚孵化，抵抗力很弱，危害力也不大，因此容易被杀死，即在其造成严重危害和损失前就被杀死，因此是一种非常有效的防治害虫的方法。

携有 Bt 杀虫基因的转基因玉米，能分泌出高效的杀虫蛋白，两天内就可杀死 99% 以上的玉米螟幼虫。田间试验表明，转 Bt 基因玉米对亚洲玉米螟防治效果可达 95% ~ 99%，且基本没有影响玉米生长的危害，而最好的化学杀虫剂最好的防治效果也仅为 80% ~ 90%，且由于是在心叶末期进行一次防治，往往已经造成了一定程度的危害。此外，转基因玉米对棉铃虫、黏虫、桃蛀螟等鳞翅目害虫都有很好的防治效果。有效防

治虫害的同时，穗腐病发病率亦显著下降，粮食中霉菌毒素的含量亦显著降低，品质得到提高。

四、转基因抗虫玉米的安全性

目前国际上推广应用的转基因抗虫玉米多为表达Cry1Ab或Cry1F晶体蛋白等，这类蛋白是专一性的高效杀虫蛋白，当鳞翅目昆虫的幼虫如玉米螟取食后会穿过其围食膜并与肠道上皮细胞的特异性受体结合，形成穿孔，细胞因失去渗透平衡死亡，最后导致害虫死亡。由于只有鳞翅目害虫的肠壁细胞上含有这类蛋白的有效结合位点，而其他昆虫和动物肠道上皮细胞则没有，因此其杀虫作用具有高度专一性，只对“靶标昆虫”鳞翅目害虫有效，同时对这些害虫的天敌，如捕食性天敌七星瓢虫、草蛉、蜘蛛和其他有益昆虫如蜜蜂等是安全的，并得到了大量的科学实验数据证明。因此，转Bt基因抗虫玉米可作为玉米害虫综合治理的一项重要措施与防治害虫的其他方法如生物防治协调使用，从而建立高效、可持续、环境友好、经济、可操作性强的玉米害虫综合治理体系。

瑞士联邦Reckenholz－Tänikon研究所科学家Joerg Romeis在转基因抗虫作物对非靶标昆虫特别是通过食物链对有益昆虫天敌的影响方面，开展了大量的实验研究。在其撰写的转基因抗虫作物对地上非靶标节肢动物的影响一文中指出，现今已有的转基因抗虫作物表达的Bt蛋白由于其杀虫谱专一，对害虫天敌没有直接影响，

而且由于种植转基因抗虫作物，杀虫剂使用量显著减少，自然天敌对害虫的控制作用显著提高。

1999 年《自然》杂志发表的一篇文章曾说，这种转基因抗虫玉米会影响北美洲帝王斑蝶的生存，曾引起人们的高度关注。然而，2001 年 9 月以后，在《美国科学院学报》上发表的 5 篇研究论文的结论却正好与之相悖。事实是，只有人工将一种最早在美国种植的叫做 176 的转基因玉米花粉大量饲养帝王蝶幼虫，才会引起后者死亡率增加。然而在自然条件下帝王斑蝶的幼虫是生活在一种名为马利筋的杂草上，而这种植物主要生长在撂荒地及田边地头，即生长在玉米地田边地头的马利筋草，其叶片上散落的玉米花粉亦非常少，不会对帝王斑蝶幼虫构成威胁。与此相比，帝王斑蝶更多会受到飞机播撒的化学杀虫剂的杀害。此外，据美国科学家室内外实验证明，表达 Cry1F 蛋白的转基因玉米对帝王斑蝶幼虫没有杀虫作用。法国科学家在《环境生物安全研究》杂志上发表研究结果，表明转基因玉米不存在“旁系杀虫效应”。一般来说，农田中很少存在稀有受保护的昆虫种类，在已大面积种植转基因抗虫玉米的国家并没有发现其会危及珍稀野生昆虫或其他动物。对比转基因抗虫玉米田和非转基因普通玉米田节肢动物多样性试验，没有发现转基因抗虫玉米对节肢动物多样性产生不良影响，如果与使用化学农药防治的普通玉米田相比，由于化学农药施用的减少，转基因玉米田的自然天敌等有益昆虫种群结构和功能及多样性甚至增加。

曾有人在《自然》杂志发表文章，认为墨西哥野生玉米受到了转基因玉米“污染”，然而随后有8位科学家在英国《自然》杂志网站上发表观点，认为墨西哥野生玉米受转基因玉米“侵蚀”的结论缺乏根据。他们呼吁，“关于转基因作物的信息一定要准确、可靠，因为这会影响到政治决策”。《自然》杂志也已要求认为墨西哥野生玉米受转基因玉米“污染”的作者为他们的结论提供新的证据。杂志社还决定，把这一问题交给读者自己来“判别”。一般认为玉米及其近缘种原产于新大陆，主要是墨西哥等中美洲地区。我国没有与玉米亲缘关系较近的大刍草或摩擦禾属植物，因此不存在转基因抗虫玉米的目的基因通过天然串粉的杂交方式向野生植物转移。

由于人的肠胃液环境是酸性，Bt蛋白在人体不会被活化，其次人、鱼、家畜禽等肠道细胞没有这类蛋白的有效结合位点，因此是安全的。Bt蛋白在自然环境中很快就会分解，试验表明，转Bt基因抗虫玉米间苗后留在田间的幼苗残体中Cry1Ab杀虫蛋白在间苗后50天可以完全降解，玉米散粉时沉积在玉米叶腋处花粉中Cry1Ab杀虫蛋白，分别在15天和18天完全降解，进入冬小麦田的转基因玉米碎秸秆中Cry1Ab杀虫蛋白30天后90%已被降解，因此不会在田间累积。

靶标害虫是否会像对化学农药产生抗性一样，在大面积推广种植后对转基因抗虫玉米亦产生抗性？这一问题也是各国科学家关注的问题。其答案是，如果合理种

植并采取合理的治理策略，即可延缓或解决靶标害虫抗性的产生。法国国家农业研究院和美国明尼苏达大学的专家用两年时间监测了分别来自没有种植转基因抗虫玉米的法国西南部和已大面积种植了5年转基因玉米的美国的1 200个欧洲玉米螟雌蛾的谱系，最后得出结论是抗性基因在法国种群和美国种群中出现的频率没有显著性差异，均低于0.1%，因此具有抗性基因的欧洲玉米螟在田间出现的概率是0.000 1%。这个结果发表在《理论应用基因工程学》杂志上。

科学家还指出，对于涉及转基因植物安全性的每一个问题，应具体讨论而不是一概而论。只有在科学实验不断完善的基础上，合理利用，降低风险，造福人类。

五、国际转基因抗虫玉米应用概况及趋势

转Bt基因抗虫玉米于1996年在美国开始大规模商业化种植，之后世界各地陆续引进种植。截至2008年，全球转基因玉米（抗虫、耐除草剂或二者兼备）种植面积约3 733万公顷，占全球转基因作物种植面积的31%。目前包括美国、加拿大、阿根廷、洪都拉斯、智利、乌拉圭、巴西、西班牙、法国、德国、葡萄牙、捷克、斯洛伐克、波兰、罗马尼亚、南非、埃及、菲律宾等18个国家商业化种植，全球转基因玉米种植率已达到24%。

美国一直是转基因玉米种植大国，在商业化种植前10年，转基因抗虫玉米一直处于领先地位，之后兼具

抗虫和耐除草剂玉米种植面积迅速上升。2009 年，美国玉米种植面积的 85% 是转基因玉米，其中转 Bt 基因抗虫玉米占总面积的 17%，46% 为兼具抗虫和耐除草剂，22% 为耐除草剂玉米。1995—2002 年，平均每年对 1 108 个（最少 495 个，最多 2 625 个）农场进行的调查数据显示，平均每公顷增产玉米 423 千克。1996—2006 年，美国种植转基因抗虫玉米为农民带来 36 亿多美元的收益。

为了控制秋黏虫，巴西于 2008/2009 生长季开始种植转 Bt 基因抗虫玉米，2009/2010 生长季其面积已占玉米总面积的 39.5%。据专家预测，如果今后 10 年巴西农民不种植转基因玉米将损失 69 亿美元。

在欧洲，西班牙 2008 年转 Bt 基因抗虫玉米种植面积占其玉米总播种面积的 22%。葡萄牙农民种植转 Bt 基因抗虫玉米每公顷可增收 150 美元。在法国，转 Bt 基因玉米对欧洲玉米螟的防效为 95% ~99%，增产 5% ~25%，每公顷增收 150 ~210 美元。德国种植转基因抗虫玉米防治欧洲玉米螟的效果达到 98%，增产 14%，每公顷增收 111 美元多，而采用化学防治每公顷仅增收 24 美元。

菲律宾是首先利用转基因抗虫玉米防治亚洲玉米螟的亚洲国家，2008 年种植转基因玉米 35 万公顷（其中抗虫玉米 28 万公顷），农民增收 4 900 多万美元，2003—2008 年因种植转基因玉米农民增收 8 800 万美元。

我国现在虽然没有种植转基因玉米，但关于转基因玉米的研究与开发受到了各方面的高度重视，取得了显著的进展。在1993年我国就已经成功地将Bt基因转入玉米，完全掌握了转基因玉米的研发技术。目前，已建成了先进的基因转化平台，克隆了一批具有自主知识产权的功能基因，培育出了一批性状优异的转基因玉米材料，并具备了工厂化生产能力。从而，形成了从基因克隆、规模化转化、安全评价、品种培育甚至商业化开发的完善的转基因玉米开发体系。

【作者简介】

何康来，男，生于1960年，研究员，博士。主要从事玉米害虫综合治理研究。

安全管理篇

转基因食品不构成食品安全问题

陈君石

中国疾病预防控制中心营养与食品安全所

转基因生物技术的发展一直受到国内外的高度关注，从2009年11月底转基因抗虫水稻获得国家颁发的生产应用安全证书以来，转基因作物的安全性问题一直是舆论热议的话题之一。对于目前公众对转基因作物安全的种种疑问，有必要澄清一些不实传闻，告诉公众有关转基因、转基因作物、转基因生物安全等方面的科学知识，让公众了解转基因食品安全的实际情况，避免因而受各类传闻的影响，使公众陷入某种认识误区。

一、天然食品不等于就是安全食品

任何一个农作物新品种的诞生都是基因改变的结果，这是农业发展的根本。为什么没有人质疑杂交水稻新品种的安全性？因为人们普遍认为，传统的杂交方式是安全的，而人为的基因改变就是不安全的。同样的误解也出现在对食品添加剂的认识上，即天然的食品添加剂是安全的，而化学合成的食品添加剂就是不安全的。事实上，天然的食品添加剂中也有有毒有害的，而化学

合成的经过科学评价的照样是安全的。对于转基因作物来说，基因改变的数量远远低于传统的杂交育种方式，在基因位点的选择上也更为精确。

二、零风险食品是不存在的

食品安全是一个相对和动态的概念，没有一种食品是百分之百安全的，在食品安全中零风险是不存在的。世界卫生组织对食品安全有明确的定义，即食品中有毒有害物质对人体健康产生不良影响的公共卫生问题。这个定义中有两个关键词，一个是有毒有害物质，一个是对人体健康产生不良影响，这两个关键词必须同时并存，才能构成不安全食品的事件。

在我们生活的环境（包括食物）中有毒有害物质很常见，关键在于含量，有毒有害物质只有达到一定的量，才可能对健康造成危害。例如，对于国家允许使用的农药，我们不是规定食品中农药残留等于零，而是规定食品的农药残留最大限量，只要不超过这个限量就是安全的，超过了是不安全的。国家在制定食品中有毒有害物质的最大允许含量标准时十分慎重，一般加上100倍的安全系数，超过标准的食品都是不合格食品，不允许出售。所以要进行风险评估。从政府管理的角度讲，非法使用的、超标的都是不能进入市场的。比如，之前发生的苏丹红事件中，苏丹红就不是政府批准的饲料添加剂和食品添加剂，所以把苏丹红放到鸭饲料中从而进入鸭蛋是非法的，政府对其予以坚决取缔。

三、转基因食品不构成食品安全问题

按照食品安全定义，转基因食品既不含有有毒有害物质，又没有证据表明对健康会造成不良影响。所以说，经过安全评价的转基因食品并不构成食品安全问题。另一方面，转基因作物的研究、开发有一整套严格的监督管理程序，在生产方面，也有确定的生产规范和严格的管理要求，这和其他传统产品的生产是一致的。因此，安全生产是有保证的。

【作者简介】

陈君石，1935 年出生，研究员，营养与食品安全专家，中国工程院院士。

生物安全管理保障我国转基因作物研究应用健康持续发展

吴孔明

中国农业科学院植物保护研究所

我国政府高度重视转基因农作物生物安全管理工作。1996 年，农业部发布了《农业生物基因工程安全管理实施办法》。2001 年，国务院颁布了《农业转基因生物安全管理条例》（以下简称《条例》），对在中国境内从事的农业转基因生物研究、试验、生产、加工、经营和进出口等活动进行全过程安全管理。《条例》颁布实施后，农业部和国家质量监督检验检疫总局先后制定了 5 个配套规章，发布了转基因生物标识目录，建立了研究、试验、生产、加工、经营、进口许可审批和标识管理制度，形成了一套适合我国国情并与国际惯例相衔接的法律法规、技术规程和管理体系。

一、转基因作物安全性的评价过程

《条例》及配套规章规定，我国对农业转基因生物实行分级、分阶段安全评价制度，农业转基因生物安全委员会负责农业转基因生物安全评价工作。安全评价按

照实验研究、中间试验、环境释放、生产性试验和申请领取安全证书五个阶段进行。美国和欧盟一般分为实验研究、环境释放和解除监管（商业化应用）三个阶段。不同于国外仅评价转化体，我国既评价转化体，也评价衍生品种。

安全性评价内容主要包括食品安全性和环境安全性两部分。食品安全性评价涉及营养学、毒理学和过敏性等。环境安全性评价包括转基因生物的生存竞争能力、基因漂移的生态风险、对非靶标生物和生物多样性的影响以及靶标生物的抗性风险与治理等。

2009 年 8 月，经安全委员会安全评价和国家批准发放生产应用安全证书的“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”，于 1999—2000 年开展了中间试验，2001—2002 年开展了环境释放，2003—2004 年开展了生产性试验。2004—2005 年，农业部转基因生物安全检测机构对“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”的目标性状进行了检测验证；2007—2008 年又对其分子特征、环境安全和食用安全的部分指标进行了检测验证。可以说，对转基因水稻的评价指标和过程是世界上截至目前转基因作物评价最严格、最慎重的案例。

根据《条例》、《中华人民共和国种子法》及《主要农作物品种审定办法》等法律法规的规定，转基因农作物获得安全证书后，还要进行区域试验、生产试验和品种审定，在获得种子生产许可证和经营许可证后，方可进入商业化生产。

二、转基因作物商业化种植环境影响的监测

为保证转基因作物的长期安全应用，已获得安全证书的转基因水稻“华恢1号”和“Bt汕优63”如果进入商业化生产，还将组织开展田间主要害虫种群动态、生物多样性变化和靶标害虫抗性的监测工作。田间主要害虫种群动态监测，主要是观测转基因水稻杀虫作用对农业生态系统食物链的影响是否会导致次要的非靶标害虫演化为重要的害虫，从而制定与转基因品种相适应的耕作制度配套措施，保障转基因抗虫水稻的有效应用。对生物多样性影响的监测，主要是调查转基因抗虫水稻长期应用后，稻田农业生态系统节肢动物多样性的变化，从而制定稻田害虫的综合防治措施。转基因抗虫水稻所产生杀虫蛋白对害虫的选择压力可导致靶标害虫产生抗性，从而缩短抗虫水稻的使用寿命。因此，在其商业化过程中需要监测靶标害虫对转基因水稻抗性，并采用适当的策略和措施防止或延缓抗性的形成和发展。

三、转基因作物产品的标识管理

根据《条例》及《农业转基因生物标识管理办法》的规定，为保障消费者的知情权和选择权，我国对转基因生物实行标识目录内的标识制度。标识目录随转基因作物商业化应用种类的变化而调整。标识目录的修订，由农业部商有关部门确定。

目前，世界各国关于转基因产品标识管理的法规、

政策存在很大的差异。我国批准转基因水稻商业化生产应用后，将存在转基因稻米和非转基因稻米共存的状况。为有效实施标识管理，可以采取以下措施：一是加强转基因水稻商业化生产应用后的标识管理的研究，制订转基因水稻标识目录。二是加强转基因生物标识管理技术支撑体系和行政监管能力建设，加大执法监管力度。三是加强国内生产单位和出口企业的监管，加强出口产品的检测，确保产品符合法规要求和进口国要求，维护正常贸易秩序。

【作者简介】

吴孔明，研究员，国家农业转基因生物安全委员会主任委员。

种植抗虫转基因棉花和水稻对生态环境有利

彭于发

中国农业科学院植物保护研究所

一、长期监测表明，种植抗虫转基因棉花对生态环境有利

经过农业转基因生物安全委员会评审，农业部1997年首次批准了转基因抗虫棉花商业化种植。此后，我国科学家对不同棉区大面积种植抗虫棉后对农田生态和自然环境的影响进行了连续10多年跟踪监测，积累了大量第一手资料，得出了几个明确的结论：

（一）在全国范围内有效控制了棉铃虫和红铃虫的危害

棉铃虫和红铃虫是我国棉花生产的主要害虫，以往棉农防治棉铃虫一年需要打药10～20次，大量用药导致农民成本提高，收益减少，人、畜中毒，环境污染，天敌减少，害虫对农药产生抗药性等一系列问题。种植转基因抗虫棉之后，品种本身就具有良好的抗虫效果，一般只需要打药2～5次，就能有效控制这两种主要害

虫，不仅棉花上农药用量减少达70%以上，而且大豆、玉米、花生上棉铃虫的数量也显著减少。

（二）为天敌和益虫提供了良好的环境条件，农田生物多样性更加丰富

由于减轻了农药对害虫天敌和有益昆虫的伤害，瓢虫、草蛉、蜘蛛和寄生蜂等害虫天敌和有益昆虫的数量成几倍到几百倍的增加，抗虫棉田及其周边生物多样性更加丰富多样，有利于农田环境保护。

（三）发展了配套的害虫综合治理技术

随着主要害虫得到有效控制和农药用量显著减少，次要害虫种群数量发生了变化，主要表现为蚜虫数量减少，盲蝽象数量增加。围绕抗虫棉的栽培管理，及时灭除杂草和转主寄主，合理使用低毒农药，可以确保棉花丰收。

二、安全评价结果表明，种植抗虫转基因水稻对生态环境同样安全

2009年8月，国家颁发了抗虫转基因水稻的生产应用安全证书。我国研发的“华恢1号”和“Bt汕优63”转基因水稻，其抗虫基因和抗虫棉所用的基因是一样的，试验分析和检测结果表明，该转基因水稻在国内生产种植对生态环境是安全的。

稻纵卷叶螟、二化螟、三化螟等鳞翅目害虫是水稻生产上的主要害虫，是导致水稻减产的主要原因之一。大量使用化学杀虫剂，增加了生产成本和劳动强度，减

少了稻田中的益虫，严重影响生态环境和生物多样性。国内外尚未发现有效的抗水稻鳞翅目害虫的基因资源，防治水稻鳞翅目虫害急需新的手段。

室内外多点、多代遗传分析结果显示，“华恢1号”和“Bt汕优63”转基因水稻中cry1Ab/cry1Ac杀虫蛋白基因得到了稳定遗传和表达，对稻纵卷叶螟、二化螟、三化螟和大螟等鳞翅目主要害虫的抗虫效果稳定在80%以上，对稻苞虫等鳞翅目次要害虫也有明显的抗虫效果。

转基因水稻中的cry1Ab/cry1Ac晶体蛋白是专一高效的杀虫蛋白，可与鳞翅目害虫肠道上皮细胞的特异性受体结合，引起害虫肠麻痹，造成害虫死亡。只有鳞翅目害虫的肠壁细胞上含有这种蛋白的结合位点，而其他昆虫和动物肠道上皮细胞没有该蛋白的结合位点，因此不会造成伤害。

在生存竞争能力方面，转基因水稻与非转基因对照水稻相比，在有性生殖特性和生殖率、花粉传播方式和传播能力、有性可交配种类和异交结实率、花粉离体生存与传播能力、落粒性和落粒率、休眠性和越冬能力、生态适应性和生物量等性状上，均未发现明显的差异，在杂草性和入侵性方面也未发现变化。

在基因漂移对生态环境的影响方面，根据国内外文献和对转基因水稻的试验观察，转基因水稻基因漂移的基本规律与常规品种是一致的，没有发现cry1Ab/cry1Ac晶体蛋白基因漂移对农田生态和自然环境安全

有不良影响。

在对非靶标生物和生物多样性影响方面，根据室内和田间试验分析结果，没有发现转基因水稻对非靶标害虫、稻田天敌、益虫、经济昆虫等主要昆虫种群结构和功能以及节肢动物多样性产生不良影响。

【作者简介】

彭于发，研究员，国家农业转基因生物安全委员会委员。

转基因抗虫水稻与非转基因水稻具有同样的食用安全性

杨晓光　黄昆仑

中国疾病预防控制中心营养与食品安全所、
中国农业大学食品科学与营养工程学院

食用安全评价是转基因作物商业化种植前重要的评价内容，我国政府十分重视转基因作物的食用安全评价。农业部依据《农业转基因生物安全管理条例》和《农业转基因生物安全评价管理办法》，并参考国际食品法典委员会、世界卫生组织、联合国粮农组织和经济合作与发展组织等颁布的转基因作物食用安全评价指南，制定了我国的《转基因植物安全评价指南》。评价内容涵盖了国际食品法典委员会等组织颁布的转基因作物食用安全评价指南里的所有内容。

转基因水稻“华恢1号”和“Bt汕优63”正是依据《农业转基因生物安全管理条例》、《农业转基因生物安全评价管理办法》、《转基因植物安全评价指南》，经过相关食品安全检测机构多年科学、规范的安全检测以及通过中国疾病预防控制中心和农业部农产品质量监督检验测试中心（北京）的检测验证，科学地证明了

转基因水稻“华恢1号”和“Bt汕优63”与非转基因水稻同样安全，消费者可以放心食用。

一、转基因水稻的营养学评价

人们对食品的需求就在于它为人类提供生存所必需的能量和各类营养物质，因此，对营养成分的评价是转基因作物食用安全评价的重要组成部分。国际上，对营养学的评价内容主要包括蛋白质、淀粉、纤维素、脂肪、脂肪酸、氨基酸、矿质元素、维生素、灰分等与人类营养健康密切相关的物质以及影响营养吸收的抗营养因子。转基因抗虫水稻“华恢1号”和“Bt汕优63”与非转基因对照“明恢63”相比，在蛋白质、脂肪、淀粉、水分、灰分、氨基酸、脂肪酸等主要营养成分，矿物质、维生素等微量营养成分以及植酸、胰蛋白酶抑制剂等抗营养因子方面，没有生物学意义上的差异，并且均在已知非转基因稻米的营养成分和抗营养因子含量范围内。表明转基因抗虫水稻“华恢1号”和“Bt汕优63”稻米与普通非转基因稻米具有同等的营养价值。

二、转基因水稻的毒理学评价

转基因作物是否会由于导入了外源基因而产生对人体有毒的物质，是人们对转基因作物产生担心的重要原因。当前，国际上对转基因作物的毒理学评价主要从两方面着手进行，一是采取急性经口毒性试验评价转入基

因表达产物是否具有毒性。二是采用亚慢性毒性试验（30 天或 90 天大鼠喂养试验）对整个转基因食品进行毒性检测和评价。如美国、日本、欧盟等国家和地区批准种植或进口的转基因大豆、玉米、油菜等都是从这两方面进行毒性评价。

转基因抗虫水稻“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”中的 Cry1Ab/Ac 蛋白具有高效专一性，仅与鳞翅目害虫肠壁上皮细胞的专门受体结合，引起害虫肠道细胞麻痹，使害虫无法进食而饿死。由于只有鳞翅目害虫的肠壁细胞上含有这种蛋白质的结合位点，而哺乳动物肠道上皮细胞没有这种蛋白质的结合位点，因此这种蛋白对哺乳动物是安全的。Cry1Ab/Ac 蛋白的急性毒性试验表明，大量灌胃小鼠后，小鼠没有死亡或中毒现象，所以这种蛋白属于实际无毒。对“华恢 1 号”稻米的大鼠 90 天喂养试验表明，食用转基因稻米的大鼠的各项试验指标都与食用非转基因稻米“明恢 63”的对照组没有生物学意义上的改变。为确保转基因水稻“华恢 1 号”作为主粮的安全性，在以上国际通行的毒理学检测内容的基础上，分别增加了遗传毒性试验、三代繁殖试验、慢性毒性试验等。检测结果表明，转基因稻米对试验动物不存在不良影响。可以说，对转基因水稻“华恢 1 号”进行的毒理检测，是目前为止商业化种植的转基因作物中毒理检测内容最全的，这些检测也为转基因水稻“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”的安全食用提供了保障。

三、转基因水稻的致敏性评价

人类认识 Bt 蛋白来源的苏云金芽孢杆菌已有百年历史，使用 Bt 制剂作为生物杀虫剂的安全使用记录已有 70 多年，大规模种植和应用转 Bt 基因作物也已超过 10 年。这期间没有苏云金芽孢杆菌及其蛋白引起过敏反应的报告，也没有与生产含有苏云金芽孢杆菌产品有关的职业性过敏反应记录。Cry1Ab/Ac 蛋白与已知致敏原的氨基酸序列同源性比较分析结果表明，Cry1Ab/Ac 蛋白与已知致敏原序列相似性很小。同时，这种蛋白在模拟人体胃液中 15 秒内就被迅速消化，不具消化稳定性。评价结果表明，Cry1Ab/Ac 蛋白引起过敏的可能性很小。

现有数据还表明，“华恢 1 号”转基因稻米对农药、重金属等污染物没有富集作用。

综合以上评价结果，可以看出，通过一系列的严格地科学试验验证，证明转基因水稻“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”与传统的水稻同样安全，消费者可以放心食用。

【作者简介】

黄昆仑，男，1968 年出生，博士，教授，博士生导师。主要研究领域：转基因产品食用安全评价与检测、食品安全风险评估技术与检测技术。

完善的技术支撑体系已经成为我国农业转基因生物安全的重要保障

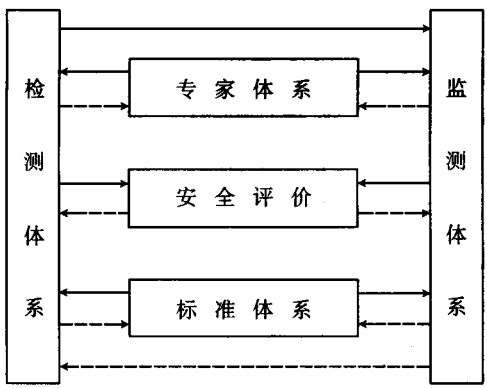
沈　平

农业部科技发展中心

农业转基因生物安全管理的核心是安全评价，即利用现有的科学知识、技术手段和试验结论对农业转基因生物潜在风险进行综合分析和评价的过程，包括判定农业转基因生物可能出现的不确定因素对人类健康和生态环境的影响以及判定在某种特定条件下可能对人类健康和生态环境产生负面影响的程度。根据《农业转基因生物安全管理条例》（以下简称《条例》）及其配套管理规章的规定，我国对农业转基因生物实行安全评价、生产许可、经营许可、加工许可、产品标识和进口审批等制度。在我国从事农业转基因生物研究、试验、生产、经营、加工、进出口等活动，必须按照行政审批程序提出申请，取得行政许可后方可进行。我国农业转基因生物行政审批的每一个过程、每一个环节都必须经过安全评价，安全评价的基本前提是对农业转基因生物进行技术检测、鉴定、监测和监控。因此，农业转基因生物安全管理技术性强，必须有完善的技术支撑体系作为

坚强后盾，才能保证法律制度的顺利实施。

农业转基因生物安全管理技术支撑体系建设，服从和服务于安全评价工作。目前，根据《条例》及其配套管理规章的规定和农业转基因生物安全管理工作的实际需要，我国农业转基因生物安全管理技术支撑体系按照以下基本框架进行建设。



我国农业转基因生物安全管理
技术支撑体系建设基本框架图

由图可见，围绕安全评价工作的开展，我国农业转基因生物安全管理技术支撑体系建设主要包括专家体系、检测体系、监测体系和标准体系四方面。自《条例》实施以来，我国在农业转基因生物安全管理技术支撑体系建设方面开展了大量的工作，取得了明显的成效。目前，四大体系建设进展顺利，初步形成了既与国际接轨又具有中国特色的农业转基因生物安全管理技术支撑体系，在农业转基因生物安全管理中发挥了重要的保障作用。

一、专家体系

专家体系由农业转基因生物安全管理技术咨询机构组成，包括国家农业转基因生物安全委员会、省（自治区、直辖市）农业转基因生物安全委员会和研发单位农业转基因生物安全小组三类非常设机构。依据《条例》的规定，农业转基因生物安全委员会负责国家农业转基因生物安全评价工作，由农业转基因生物安全管理部际联席会议成员单位推荐、农业部聘任组建。目前，农业转基因生物安全委员会共有委员60名，其中，植物及植物微生物专家29名、动物及动物用微生物专家11名、食用安全专家18名、管理类2名，分别来自全国的教育、中国科学院、卫生、食品药品监督管理、环境保护、质检和农业等部门和系统。省（自治区、直辖市）农业转基因生物安全委员会负责在本行政区域内开展农业转基因生物研发活动安全评价申请的审核工作，由省（自治市、自治区）农业行政主管部门根据工作需要聘请有关人员组成。研发单位农业转基因生物安全小组负责本单位农业转基因生物安全管理和安全评价申报的审查工作，由单位法人代表和有关人员组成。

二、检测体系

检测体系由农业转基因生物安全技术检测机构组成，包括动物、植物、微生物三类转基因生物的产品成

分、环境安全和食用安全三类专门技术检测机构，按综合性、区域性和专业性三个层次组织建设。目前，国家农业转基因生物安全评价与检定中心正在建设，已经通过国家计量认证、农业部审查认可和农产品质量安全检测机构考核的食用安全技术检测机构2个、环境安全技术检测机构15个、产品成分技术检测机构20个，经农业部农业转基因生物安全管理办公室授权，专门开展对转基因植物、动物、植物用微生物、动物用微生物、水生生物外源基因、生态环境影响和食品安全的检测、鉴定、监测、监控与复核验证等工作，为安全评价出据技术测试报告。其中，食用安全、环境安全技术检测机构主要为国家开展农业转基因生物安全评价和管理服务，产品成分技术检测机构主要为所在地开展农业转基因生物产品标识和安全监管服务。

三、监测体系

监测体系以检测体系作为技术支持，由行政监管系统、技术检测系统、信息反馈系统和应急预警系统组成。按照《条例》的要求，开展对于从事农业转基因生物的研究、试验、生产、加工、经营和进口、出口活动进行全程跟踪和长期的监测和监控工作，为安全评价出具技术监测报告。目前，根据我国农业转基因生物研发、贸易和管理工作的需要，已经编制完成了《国家农业转基因生物安全监测体系建设规划》。按照循序渐进和分步实施的原则，目前，正在全国范围内对转基因

生物及其产品进行监测监控。

四、标准体系

标准是生物安全评价的依据，也是转基因产品研发、生产、经营、进出口单位的指南。标准体系由全国农业转基因生物安全管理标准化技术委员会、标准研制和实施单位组成。按照《中华人民共和国标准化法》和《条例》的规定，开展农业转基因生物安全管理、安全评价、技术检测的标准、规程和规范的研究、制订、修订和实施工作，为专家体系、检测体系、监测体系和开展安全评价等管理工作提供标准化支持。全国农业转基因生物安全管理标准化技术委员会于2004年10月成立，秘书处设在农业部科技发展中心，由来自农业、科技、教育、检疫、卫生、环保等部门41位委员组成。目前，已经编制完成农业转基因生物安全管理、安全评价、技术检测标准体系建设规划，发布实施的技术检测国家标准81项，报批国家标准13项，在研国家标准20项。

【作者简介】

沈平，女，1966年生，博士，研究员。长期从事农业转基因生物安全管理、转基因检测及其标准制定工作。

国际转基因动物及其产品生物安全管理情况

任立明　张磊
中国农业大学

转基因动物的研究，自上世纪80年代至今，已有近30年的历史。随着转基因动物及其产品的相继问世，其生物安全性问题已经引起全球越来越广泛的关注，各国均加强了转基因生物安全性评估体系的研究和建设。

一、转基因动物及其产品安全性评价

安全性评价是加强对转基因动物及其产品安全管理的核心和基础。对转基因动物及其产品安全性评价遵循的原则是以科学为基础、个案分析、实质等同性原则和逐步完善。通过安全性评价，可以排除导入的新基因对人类造成的健康威胁、给食物链其他环节造成的不良后果、对自然界生物多样性和人类社会生活造成的负面影响。我们知道，食品安全是一个相对的和动态的概念，自然界现存食品也未必是百分之百安全的。例如，我们大家熟悉的牛奶，来自动物体内，且具有很高的营养价值，但是某些过敏体质的人，饮用牛奶后就会出现过敏

表现，这是因为在牛奶中含有一种叫 β-乳球蛋白的物质引起的，它是一种强过敏源。据研究报告，牛奶过敏的发生率平均为 2% ~5%，但对大多数人来讲，饮用牛奶是十分安全有益的。当前伴随着科学技术的发展和社会的进步，使人们对食品安全有了新的认识，很自然地提出了更高的要求。

传统毒理学的食品安全评价方法已经不能完全适用于基于转基因技术所生产的食品。1993 年，经济合作与发展组织（OECD）在“现代生物技术食品的安全性评价：概念和原则”的报告中引入了“实质等同性（substantial equivalence）原则”。也就是说，转基因技术食品是否与目前市场上销售的传统食品具有实质等同性，如果实质上是等同的，就说明转基因技术食品是安全的，这是世界各国普遍认可的对转基因技术食品安全性评价的最实际有效的方法。1995 年世界卫生组织（WHO）提出转基因植物食品的安全性评价原则时，采用了该原则。1996 年，联合国粮农组织（FAO）和世界卫生组织（WHO）第二届生物技术食品安全性评价的专家联席会议上，建议该原则应用于所有转基因植物、动物和微生物食品的安全性评价，并着重强调，转基因动物性食品，对动物本身的健康也作为安全性评价的标志；由于一些鱼类和无脊椎动物因本身可产生毒素，需进一步进行安全性评价。根据实质等同性原则，各国政府及国际机构均在制定相应的条例，以便在促进转基因技术发展的同时，保障环境及人类健康。

二、各国相关生物安全法规、政策措施与管理经验

国际上有关生物安全管理的法规始于20世纪70年代中后期，80年代中后期在少数发达国家开始逐步建立，到90年代，美国、加拿大、欧盟、澳大利亚、日本等国家和地区陆续建立起比较完善的生物安全管理法规体系。在管理方式上各国存在一定的差异，尚无统一的国际标准，但安全评价所遵循的科学原理与基本原则是一致的。目前，有关生物安全的国际协调也在进行中，并达成了一些共识性文件，如卡塔赫纳《生物安全议定书》、国际食品法典委员会转基因食品安全评价原则等。

目前，世界上主要国家对农业转基因生物及其产品的安全管理基本上都采取了行政法规和技术标准相结合的方式。在具体管理模式上，大体可分为三类。

第一，以产品为基础的管理。以美国为代表，对转基因生物的管理是依据产品的用途和特性来进行，是在原有法规的基础上增补有关条款和内容，由分管部门按照各自的职能分别制定相应的管理规章和指南，并随着生物技术的发展不断补充完善。

第二，以研发过程为基础的管理。以欧盟为代表，注重生物产品从实验室到餐桌过程中是否采用了转基因技术及其影响。主要考虑转基因操作及其产品开发过程中可能存在的危险和潜在风险，专门制定法规，并建立

转基因生物安全评价、检测与监测技术体系。

第三，其他管理模式。加拿大注重新性状生物产品的安全性，不考虑采用何种技术手段，统一由食品检验署负责管理。澳大利亚颁布基因安全法规，设立行政长官负责制，并成立基因技术办公室全权负责管理。韩国、日本等国家兼顾生物产品与研发过程的安全性。

另外，联合国相关机构及其他有关国际组织长期致力于转基因安全的国际协调。联合国工业发展组织（UNIDO）、粮农组织（FAO）、环境规划署（UNEP）以及世界卫生组织（WHO）、经济合作与发展组织（OECD）组织制定了一系列有关农业转基因生物安全管理的准则。在1992年以来的《21世纪议程》、《生物多样性公约》、《关于环境与发展的里约宣言》和2000年通过的《卡塔赫纳生物安全议定书》中，分别对转基因生物及其相关产品安全管理的风险评估原则和进出口程序进行了规定。国际食品法典委员会（CAC）针对转基因食品安全管理制订了一系列的指导原则和技术规范。世界贸易组织（WTO）也在考虑是否需要在《卫生与植物卫生条约》（SPS）和《贸易技术壁垒条约》（TBT）的基础上，制定有关转基因产品（主要是转基因农产品）安全管理和标识的规定。

三、国际转基因克隆动物及其产品批准情况

（一）体细胞克隆动物及其产品

转基因动物的产生普遍采用显微注射法和体细胞克

隆方法，而克隆方法由于其技术优势逐渐被广泛采用。

美国食品和药物管理局（FDA）于2008年1月16日宣布，经过克隆的牛、猪和山羊以及它们的后代均可以安全食用，克隆牛产的奶也可安全食用，而且来自这些克隆动物的产品可无须贴特别标签而直接进入食品市场。FDA称，科学家就克隆技术安全性问题在全球各地进行了数十次相关研究，研究结果显示，从生物角度来说，以上克隆动物以及它们的后代与按传统方式繁殖的同类没有什么不同，它们的肉和人们今天食用的肉也没什么两样。此外，克隆牛产的奶和按传统方式繁殖的牛所产的奶同样安全。同样，欧盟食品安全机构也表示，食用克隆食品是安全的。2007年3月，欧盟委员会要求欧洲食品安全局评估克隆对食品安全、动物健康、动物福利和环境可能产生的影响。欧洲食品安全局随后在其网站上宣布："就食品安全而言，克隆动物提供的食品和来自常规饲养动物的食品之间不大可能存在任何差异。动物克隆不会造成环境影响。"2008年1月，欧盟食品安全机构表示，食用克隆食品是安全的。克隆食品有望在今后几年中进入20多个成员国的超市。2009年1月19日，日本内阁府食品安全委员会的专家工作组会议报告，认为使用体细胞克隆技术养殖的猪和牛"作为食品，和普通的猪、牛一样安全"。

同样，为评估转基因克隆牛的动物食品安全性，2007年，Gotz Laible等对转基因和克隆奶牛的奶样和奶酪进行了化学组成成分的分析。克隆牛与传统育种获得

的牛的奶中，脂肪酸和氨基酸表达谱以及矿物质和维生素含量基本一致，并且与同一区域同一饲养条件下的奶牛参考指标类似。转有酪蛋白基因的奶牛初乳与正常奶牛的免疫球蛋白（IgG）含量和动态变化趋势类似，但转基因奶牛的奶颜色偏黄，而正常奶的颜色为白色。将牛奶加工成干酪后，发现转基因奶牛的干酪脂肪含量较低，盐的含量较高，氨基酸含量较低。

体细胞克隆动物从1997年获得成功，在开始阶段也遭到了广泛批评和阻挠，特别是一些伦理组织的恶意攻击。但是任何力量都是无法阻止科学前进的步伐，仅仅10年时间，在科学家和一些部门的努力下，体细胞克隆动物终于在美国、欧盟、日本等国家和地区相继获得批准，进入市场，成为人们的消费品。从体细胞克隆动物的研发和最终批准，我们可以看到，一个新技术的诞生，一个新产品的上市，会经历很大坎坷和磨难，只要科学家和管理部门，不懈努力，正确引导，严格监控，最终会获得成功，服务于人类社会，为人类的健康生活做出重要贡献。

（二）转基因动物及其产品

由于在转基因动物生产过程中，外源基因的随机插入，有可能发生插入突变，致使转基因动物的某些特定的内源基因失活或者激活某些潜在的原癌基因。同时，外源基因的过量表达可能对宿主动物产生不良影响，因此对转基因动物来源的食品进行安全性分析需要不同的评价原则。转基因动物食品的安全性研究主要集中在对

重组表达蛋白的活性、药效、结构、致敏性和毒理性等方面。对重组蛋白的安全性评价主要是参考转基因植物食品安全性评价的原则，如“实质等同性原则”，即转基因食品是否与市场上销售的传统食品具有实质等同性。另外，由于不同转基因的导入，可能对宿主动物产生不同的影响，因此不同的转基因动物需要独立进行食品安全性分析。

来源于转基因动物的重组蛋白用于开发成药物和保健食品，除经过安全性评价之外，还必须进行相关功能性评价，包括保健食品的卫生性检测、稳定性检测和功效检测等以及药品的临床前试验和临床试验。美国和欧盟药品监督管理部门认为转基因动物来源的重组蛋白与其他基因工程来源的重组蛋白一样，需经过相同的临床前试验和临床试验等功能评价阶段，并不需特殊的安全和功能评价。2006 年 8 月，来源于转基因山羊的重组人抗凝血酶Ⅲ药物在欧洲获准上市，成为世界上第一个通过转基因动物乳腺生物反应器生产的重组蛋白新药。该新药正是在欧洲医药评价署的指导下进行了相关临床前试验和临床试验，最后通过欧洲医药评价署的审批获准上市的。该药在美国于 2009 年 2 月 6 日批准上市。此药物的问世，为转基因动物产业化拉开了序幕，迎来了一场新的技术革命。

我国食品药品监督管理局也已将动物生物反应器产品视为一般生物工程产品，目前已经批准了来源于转基因家蚕生物反应器生产的升白细胞新药——瑞福康

（重组 hGM－CSF）进入临床Ⅲ期试验。

中国农业大学李宁教授领导的课题组已经开始尝试建立转基因动物安全评价标准和技术体系的研究工作。对死亡的转基因克隆牛和正常存活转基因克隆牛标记基因的表达进行了分析。结果发现，死亡克隆牛心脏、肝脏、肺脏等重要组织没有解剖学上的异常。对正常存活的转基因克隆牛进行了血常规、血清生化分析及兽医学临床检测，发现与正常对照牛相比没有明显的异常，且转基因克隆牛出生后的平均增重速度与正常对照牛也没有差异。

四、我国相关生物安全管理现状

我国对转基因生物及其产品的控制和管理非常严格。早在 1993 年，原国家科学技术委员会就颁布了《基因工程安全管理办法》。1996 年，农业部颁布和实施了《农业生物基因工程管理实施办法》，根据该办法，农业部设立了农业生物基因工程安全管理办公室，成立了农业生物基因工程安全委员会，建立了农业生物基因工作审批制度，制定了《农业基因工程的安全性评价方法》和《农业生物遗传工程体及其产品安全评价措施》，自 1997 年起开始受理国内外农业转基因生物安全评价申请，经农业生物基因工程安全委员会进行安全评价后，由农业部作出批复。2001 年国务院出台《农业转基因生物安全管理条例》，农业部、国家质量监督检验检疫总局就此出台了一系列配套管理办法，成立了国家农业转基因生物安全委员会和国务院相关部门

组成的联席会议。所有这些法规、措施都适用于转基因动物及其产品。

为了加强农业转基因生物安全管理，保障人类健康和植物、动物、微生物安全，保护生态环境，促进农业转基因生物技术研究，我国将转基因生物管理纳入与国际接轨的法制化轨道，相继颁布一系列的管理条例和办法。制定了农业转基因生物实行分级安全评价制度、标识管理制度、生产许可制度、经营许可制度、加工审批制度到进口安全审批制度，将农业转基因生物安全管理延伸到研究、试验、生产、加工、经营和进出口活动的全过程。

综上所述，世界各国对于转基因生物及其产品的安全管理都十分重视，都有相应的管理办法和标准，但目前国际上尚无统一的标准和程序。一些国际组织，也在积极组织国际的协调，试图建立大多数国家都能接受的统一管理标准和程序。只是由于各国科技发展水平和国情的不同，又涉及国家利益，特别是发达国家和发展中国家之间还存在很大的争议，在短时间内达成共同的协议还存在一定的困难。

【作者简介】

任立明，女，1958 年出生，博士，高级实验师。主要从事动物分子遗传和育种的研究。

张磊，男，1975 年出生，博士，高级畜牧师。主要从事生物工程、转基因动物、体细胞克隆等领域的研究和转基因动物生物安全管理工作。

什么是转基因生物和转基因食品

张大兵
上海交通大学

很多人不清楚什么是转基因，对于转基因生物这样一个新出现的名词很困惑，尤其是由于个别媒体不科学的报道，引起部分消费者对转基因生物产生了恐惧心理。

我们知道，基因是各种生物特性遗传的重要物质基础，人类、动物、植物以及微生物体内都有成千上万个基因，这些基因在生命活动中分工协作，担负着丰富多样的功能。一般来说，一种生物体的基因组成相对稳定，如果发生重要基因序列的变化，可能会引起生物体生物特性的变化。

在农业生产中，为了提高农作物、畜禽的产量，长期以来人们通常采用杂交的方法来选育新的作物、畜禽品种，将一些品种中的有益基因转移到其他品种中。这种方式实际上也是转基因过程。我们人类长期以来一直在食用转基因食品。但是由于传统杂交育种存在一定的局限，如不能在亲缘关系较远的物种间转移基因、杂交过程可能转入非预期基因甚至有害基因等，大大限制了优良基因资源在农业生产中的应用。

随着现代生物技术的发展，转基因技术可以准确分离目的基因，并可将一种生物体内的基因转移到另一种生物体内，实现跨物种的基因转移。科学家将所需要的基因进行定位克隆，再将这个目的基因通过载体转移到目标生物品种中。这种方式转移基因的过程，就是我们现在常常提起的转基因。它与传统的基因转移没有本质区别，只是利用生物技术手段来进行转基因具有更强的目的性，不仅提高了转基因的效率，加快了品种改良的进程，更重要的是可以将有害基因和不需要的基因排除在外，只转移所需基因。并且实现在亲缘关系较远的生物间基因的转移，使得可利用的资源变得丰富多彩了。

说到这里，大家对转基因的本质是不是有了新的理解呢？那么转基因生物就很好理解了。转基因生物就是利用转基因技术将分离克隆的单个或一组基因转移到某一种生物，获得的生物就是转基因生物。

转基因食品是由转基因生物加工而成的食品。如，最常见的转基因大豆及其制成的大豆油、豆腐、酱油等都是转基因食品。再如，利用能够使凝乳酶在体外大量产生的转基因微生物所生产的奶酪也是转基因食品。

目前转基因技术和转基因产品还处在研究发展和完善的阶段，也可能存在某些对人体不利的因素。但凡是通过法律认可的转基因产品，都是经过系统的、规范的食品安全检验的验证，对于人体的健康是安全的。国内目录内转基因食品都强制标识，消费者可以自由选择对其消费与否。

转基因食品及其种类

宋沁馨　周国华
南京军区军事医学研究所

转基因作物就是利用现代分子生物技术，将某些生物的基因转移到其他物种中去，改造生物的遗传物质，使其在性状、营养品质、消费品质等方面向人们所需要的目标转变。转基因食品是通过基因工程手段将一种或几种外源性基因转移至某种生物体（动、植物和微生物等），并使其具有效表达出相应的产物（多肽或蛋白质），这样的生物体作为食品或以其为原料加工生产的食品。为了提高农产品营养价值，更快、更高效地生产食品，科学家们应用转基因的方法，改变生物的遗传信息，使农作物具有高营养、耐贮藏、抗病虫和抗除草剂的能力。转基因食品的种类主要有：

一、植物性转基因食品

植物性转基因食品很多。如西红柿是一种营养丰富、经济价值很高的果蔬，但它不耐贮藏。为了解决西红柿的贮藏问题，美国、中国等国家的多位科学家经过努力，利用基因工程的方法培育出了可以抑制衰老激素

乙烯生物合成的西红柿新品种。这种西红柿抗衰老，抗软化，耐贮藏，能长途运输，可减少加工生产及运输中的浪费。为了培育抗虫玉米，向玉米中转入一种来自于苏云金杆菌的基因，它仅能导致鳞翅目昆虫死亡，因为只有鳞翅目昆虫有这种基因编码的蛋白质的特异受体，而人类及其他的动物、昆虫均没有这样的受体，所以培育出抗虫玉米对人无毒害作用，但能抗虫。

二、动物性转基因食品

动物性转基因食品还没有商业化生产，但是处于研究的也有很多种类。比如，在牛体内转入某些具有特定功能的人的基因，就可以利用牛乳生产基因工程药物，用于人类疾病的治疗。

三、转基因微生物食品

微生物是转基因最常用的转化材料，故转基因微生物比较容易培育，应用也最广泛。例如，生产奶酪的凝乳酶，以往只能从杀死的小牛的胃中才能取出，现在利用转基因微生物已能够使凝乳酶在体外大量产生，避免了小牛的无辜死亡，也降低了生产成本。

四、转基因特殊食品

转基因食品能否提供人类特殊的营养或辅助治疗人类的疾病是科学界关注的一个重要领域，许多科学家在开展这方面的研究。如科学家利用生物遗传工程，将普

通的蔬菜、水果、粮食等农作物，变成能预防疾病的神奇的“疫苗食品”，使人们在品尝鲜果美味的同时，达到防病的目的。科学家培育出了一种能预防霍乱的苜蓿植物。用这种苜蓿来喂小白鼠，能使小白鼠的抗病能力大大增强。而且这种霍乱抗原，能经受胃酸的腐蚀而不被破坏，并能激发人体对霍乱的免疫能力。也许将来糖尿病人只需每天喝一杯特殊的牛奶就可以补充胰岛素，也许我们会见到多种功能性转基因水果摆在药店里出售：补钙的、补铁的、治感冒的、抗病毒的。

转基因食品是新的科技产物，尽管现在还存在这样或那样的问题和担忧，但随着科技的发展，它会愈来愈完善。科学家的试验表明，转基因食品是安全的。美国的转基因作物品种已越来越多，种植面积逐年增加，已经走上了寻常百姓的餐桌。近年来，我国转基因食品的研究开发也取得了很多成果，有些已经得到广泛应用。

转基因食品究竟可不可以食用

崔文涛　王建武　朱士恩

中国农业科学院北京畜牧兽医研究所、
北京济普林生物技术有限公司、
中国农业大学

关于转基因技术及其应用的讨论成为互联网上的一大热点。关注的焦点就是转基因食物（水稻、玉米等）作为我国人民的主要粮食是否安全，是否可以食用并且长期食用而不对人类及各方面产生危害？

谈转基因食品的安全，势必先要了解什么是转基因、转基因技术和转基因食品等概念，也需要了解转基因食品的生产加工过程。这样，我们才能对转基因食品是否安全有自己的见解。

转基因是运用科学手段从某种生物中提取所需要的基因，将其转入另一种生物中，使其与另一种生物的基因进行重组，从而产生特定的具有优良遗传性状的物质。在为获得转基因生物的过程中而实施的各种相关的科学手段、方法，统称为转基因技术。具体的转基因技术包括外源基因克隆、表达载体、受体细胞以及转基因途径等，外源基因的人工合成技术、基因调控网络的人

工设计等。利用转基因技术我们可以改变动、植物的性状，培育新品种。同时也可以利用其他生物体培育出人类所需要的生物制品，用于医药、食品等方面。了解了转基因和转基因技术后，那么什么又是转基因食品呢？顾名思义，就是把利用转基因技术制备出来的动、植物等加工成人类可以食用的食品，这就是转基因食品。

从上面我们可以清楚地对转基因食品的来源、制备等过程有一定的了解。那么，上面的哪一步或者哪些方面会引起食品安全问题，会在互联网上引起如此大的争论呢？绝大部分人一定认为是“从某种生物中提取所需要的基因”，这就是所谓的外源基因，即非生物体本身的基因，也是争论的焦点。

外源基因，可以来自自然界中的任何一种生物，包括动物、植物以及微生物。在转基因生物制备过程中，插入对生物体本身有益的外源基因，以期获得高的产量、优异的品质或者生物体本身没有的性状。例如，转入同品种的其他个体的基因，这个较容易理解，也是在自然界中广泛存在的。在传统的育种过程中，这种方法也普遍运用。利用抗倒伏的小麦和不抗倒伏的小麦杂交，获得抗倒伏的小麦新品种；利用肉质鲜美的本地猪种与生长速度快的外来猪种交配，获得既生长速度快又肉质鲜美的猪种。这些实质上都是这种方法，在实际生产中广泛应用，为社会创造了极大的经济价值，同时也是被社会所接受的，并没有认为通过这种方法获得的新品种、新产品存在安全问题，没有任何人提出过怀疑。

相反，如果不是通过杂交的方法使基因重新组合获得了新的表型优势，而是采用一定的技术手段从抗倒伏的小麦里提取这个基因，再把它转移到不抗倒伏的小麦品种里面；把生长快的转移到肉质鲜美的得到二者兼有的，那么我们还会认为它不安全吗？可见，我们争论的焦点不是外源基因，而是它来自何方？

众所周知的转基因抗虫水稻品种“华恢1号”，它是由华中农业大学培育的转基因水稻品系，外源基因是人工改造合成的苏云金芽孢杆菌（简称Bt）杀虫蛋白融合基因。正是因为外源基因是来自苏云金芽孢杆菌，使它成为安全性是首要问题。其次是其表达产物可以专一、高效地控制水稻二化螟、三化螟和稻纵卷叶螟等水稻鳞翅目害虫，这种强大的作用也使我们怀疑吃进去后会不会对自身的健康产生影响？

来自苏云金芽孢杆菌的杀虫蛋白融合基因，它的本质仍是基因，仍是由4种碱基按照不同的排列顺序所构成，和我们平日里所接触、所食用的其他生物体内的基因并没有两样。

这样，肯定有人会说这种杀虫蛋白存在于水稻中，我们长期食用肯定是不安全的。不同的基因编码不同的蛋白，而且产生的蛋白量也不一样。然而，在日常生活中，我们每天要吃进多少不同种类、不同数量的蛋白质，估计也没有人统计过。是否会因为多了这一种微量的蛋白（Bt蛋白在水稻中的含量极低，约为$2.5/10^6$），就引起安全性问题呢？大家都知道，食物搭配不当，吃

了会中毒。即使是平时对我们有毒的东西，只有我们烹饪得当，还是可以吃的，比如河豚，其味还是相当鲜美的。这些对我们人类自身来说是有毒的东西我们都是可以吃的，而 Bt 蛋白经过科学验证对我们确实无毒的。

中毒的机理，其实是受体与毒素结合的过程，如果动物本身有这个受体，那么它就会中毒，像 Bt 蛋白杀死水稻二化螟、三化螟和稻纵卷叶螟等水稻鳞翅目害虫一样。如果没有受体，它就是无毒的。科学实验证明，动物体内是不含有这种受体的，那对我们来说，这种蛋白就是无毒的。从另一个角度来讲，食品是被我们吃进去的，在吃前我们会进行烹调，而蛋白质会在烹调的过程失去活性，也就是失去毒性，从而对我们讲是无毒的。即使是吃进去，我们也是要经过消化系统消化吸收的，很多一部分就被分解成各种氨基酸，而构成蛋白质的氨基酸种类是一定的，更加可以确定其是无害的。

通过上面的分析，我们可以看出转基因食品本身并不存在安全问题。袁隆平院士也曾说，利用生物技术开展农作物育种是今后的发展方向和必然趋势，转基因技术是分子技术中的一类，因此必须加强转基因技术的研究和应用。转基因食品是今后发展的趋势，对待转基因食品，特别是可直接食用的转基因品种应持科学慎重的态度，但也不能简单拒之。因此，只要我们持科学、严谨的态度，并建立规范长效的预案，严格按照规程来，就一定能最大限度地减少危害，让转基因技术、转基因食品为人类的繁荣发展做出贡献。

理性看待转基因食品的安全性

潘光堂　向小丽
四川农业大学玉米研究所

俗话说民以食为天，自古以来粮食是生命之本。有充足的食物，才有富饶的生活。随着世界人口的逐渐增多，总的耕地面积有限，粮食短缺的问题也越来越严重。在作物的改良，产量提高、抗性增强等方面，传统的杂交育种技术已经不能满足日益增长的粮食需求。而对于作物改良的另一种技术——转基因技术，由于其具备生产周期短，改良性状明确，优势明显，而被全世界广泛研究应用。转基因大豆、抗虫棉、油菜和耐储藏西红柿等已商品化，在世界范围内大面积种植，在有限的耕地上获得了更多的经济产量，为人们带来了巨大经济效益。

一、转基因是传统育种的延伸

那么什么是转基因技术呢？我们知道，高等生物体都有一套自己完整的遗传物质，这些遗传物质也叫DNA，它是由控制不同性状的基因串连在一起的长链，卷曲折叠成染色体，存在于细胞核中。转基因技术是将

人工分离得到的某个生物基因（或 DNA 片段）导入到特定的生物中，从而导致生物的遗传特性发生所需变化的技术。比如，某个控制玉米籽粒变大的基因转入到玉米中，使得玉米的籽粒比原来增大而其他性状保持不变。转基因技术是传统杂交育种技术的延伸和发展，与传统育种没有本质区别，它也属于人工选育的范畴，但在改良性状方面，比传统育种具有更大的精确性和导向性。这种精准性使得人们能够快速的改良生物的抗逆性、品质、产量。

二、安全的转基因食品的诞生

转基因食品就是转基因生物生产的用于人、畜食用的产品。当然，从转基因科学研究阶段到真正的转基因食品形成是一个较长的过程。转基因生物的研究分为以下几个阶段：实验室阶段、中间实验阶段、环境释放阶段、生产性实验阶段、发放安全证书阶段、商业化生产阶段。在国内，农业转基因生物各阶段的研究在国家主管部门的监管下完成。在相应阶段，国家农业转基因生物安全委员会对转基因生物进行食品安全性分析，评价的内容包括天然有毒物质、营养成分和抗营养因子、过敏源、外源基因表达产物的毒性、全食品的毒性等。简单说，就是从多方面与传统食品比较有没有“实质等同性”。实质等同性原则强调了转基因食品安全性的目的，不是要了解该食品的绝对安全性，而是评价它与非转基因食品的同类食品比较的相对安全性。只有转基因

作物品种与历史证明安全可靠的传统品种具有实质等同性时，才能批准使用。从转基因食品安全角度讲，经过多年安全实验和评价，获得政府批准商业化的转基因生物可以放心使用。

转基因食品可大体划分为两种类型，一种是不含有转基因成分的，也就是说食用成分中不含有外源基因DNA以及由它编码的蛋白质。例如大豆油是从大豆中提炼出来的脂肪酸油脂，其他成分（如DNA和蛋白质）都被去除。这种不带转基因成分的转基因产品与非转基因产品是没有差异的。另一种是食用部分含有转入的外源基因DNA及其编码的蛋白质，这些外源的DNA及其编码的蛋白质和食物本身的DNA和蛋白质、糖类、淀粉、脂肪等一起，在唾液酶、胃蛋白酶等酶的作用下，分解为人体代谢所需的小分子物质等，而不会残留在体内，如木瓜。

到目前为止，国际上批准商业化的转基因作物并未发现任何环境和食品安全性问题。总之，任何事物我们都要用辩证的眼光去分析，转基因作为一种技术，是一把双刃剑，用好了就造福人类。

【作者简介】

潘光堂，男，生于1956年，博士，教授，博士生导师。主要从事作物遗传育种和作物生物技术教学、科研工作。

三个月没问题，五十年安全吗

张玉　王晓芳　朱祯
中国科学院遗传与发育生物学研究所

转基因作物和转基因食品随着科技的发展逐渐被众人熟悉认知。转基因食品在上市之前经过了严格的安全性评估和检测，但人们还是担心转基因食品的长期安全性问题。于是“三个月没问题，五十年安全吗?”成为人们关注的话题。

转基因食品长期食用到底安全吗？要回答这一问题，首先让我们对转基因以及转基因食品有个初步的了解。转基因是将一个基因片段从一种生物体中分离出来，之后导入到另外一种生物体的基因组中。转基因技术是农业育种上的一个新的科技手段，它跟常规育种没有本质的区别。从科学角度来看，转基因食品跟其他常规食品相比并不存在特别之处。人类食用植物源和动物源的食品已有成千上万年的历史，这些天然食品中同样含有大量的基因，像猪肉、玉米等，所含的基因有数以万计。如果真如一些人所忧虑的食用含有基因的食品会改变人的遗传特性，那么人类或许早已长出角来，或许也可以像植物一样进行光合作用，然而这样的情况并没

有发生。吃含有基因的食品或含有转基因的食品将会改变人类的遗传特性的担心，如同某些“吃基因补基因”的宣传一样毫无科学依据，因为我们所摄取食物中的DNA都会被肠胃内的消化液彻底降解为核苷酸。从长远来讲，转基因食品跟常规育种得到的食品一样，并没有产生有别于其他食品的新的不可预期的问题。按照有些人的质疑，短期内安全，50年后乃至500年后是不是安全？如果我们50年、500年、5 000年……无期限的证明下去，这不但不符合科学逻辑，还会让我们在科学技术发展的道路上陷入“不可知论”，这并不是科学本身的目的和真谛，也与目前科学界普遍认同的“证伪学说”相背离。

然而转基因这一科学技术发展的产物和转基因食品在很多人眼中仍然是个新事物，对新事物采取慎重的态度，这是可以理解的。实际上，目前科学技术发展的非常快，很多食品包括添加剂、防腐剂和色素都是新的物质，这些人工合成的物质在自然界并不存在，但仍在广泛使用。我们没有理由因为转基因和转基因食品是个“新”事物而不加分析地拒绝它。

事实上关于转基因食品的安全问题，尤其是长期性安全问题，早就得到了包括中国在内的世界各国的关注。目前，我们能看到的转基因食品经过了严格的科学实验和安全评价，包括一系列的食品安全评价等，最后推向市场。国际上普遍采用国际食品法典委员会制定的转基因食品安全评价标准开展食用安全评价，这套评价

体系相对于传统食品而言是更加严谨的。

安全是一个相对的概念，即便是人们经常食用的传统食品，也不能说在任何情况下，对任何人都绝对安全。例如，联合国粮农组织把人们日常普遍食用的牛奶、鸡蛋、花生、大豆及小麦等8类食物列为常见过敏食物。即便是水、盐和糖等这些人体必需的东西，人摄取过多了也不是绝对安全的，甚至是有害的。比如，水喝得太多了会导致电解质失衡，盐吃多了会诱发高血压，而糖吃多了容易骨折，还会诱发一些诸如肥胖症和糖尿病之类的慢性疾病。

“绝对安全”在科学的层面上是不成立的。对转基因食品而言，同样不能用“绝对安全”作为标准，用现行“常规食品”作为安全评估参照标准是更为合理的，在此基础之上评估转基因食品是否更安全才是更科学的。因此，我们可以认为凡是经过安全评价批准上市的转基因食品与常规食品同样应该是安全的。

转基因作物的推广应用，可以大幅度减少使用化学农药，从而创造更廉价、更绿色、更安全的食品。转基因技术从各个角度来讲都给我们带来了很大的利益，这种利益远远大于它给人类带来的可能的危害。如果只有零风险的发明才可以应用，那么汽车、飞机、抗生素以及迅速广泛应用的计算机、互联网均会在疑惑中遭到扼杀。面对安全问题，我们将跟随着科学的脚步采取预防的原则，加强科学研究，严格地科学管理去降低可能存在的风险，让转基因技术最大地造福于人类。

【作者简介】

朱祯，男，1951 年出生，研究员，博士生导师，国家“863”计划现代农业技术领域专家组成员。长期从事转基因育种研究。

张玉，女，1979 年生，博士。主要从事水稻 Dof 家族两个转录因子的功能研究工作。

王晓芳，女，1982 年生，博士。主要从事昆虫激素相关基因在植物抗虫方面应用的研究。

“转基因”真的猛于虎吗

刘慧　申琦元　李光鹏
内蒙古大学

众所周知，现代生物技术已经在医药卫生、农业生产、食品加工、资源开发、环境保护等领域显示出广泛的应用前景，成为最为活跃的高新技术之一。现代生物技术主要包括基因工程、细胞工程、组织工程、酶工程、生物信息技术等。而人们常说的转基因技术又是现代生物技术的核心。那么，什么是转基因技术呢？

生物体的基本遗传物质是基因，生物的一切生命活动和生命现象都是由基因调控的。所谓转基因就是把结构明确、功能清楚的 DNA 片段通过分子生物学手段导入并整合到动、植物基因组内，使导入的外源基因成为宿主动、植物可遗传的基因组的一部分。转基因是一项极其复杂的技术体系，它整合了基因筛选、载体构建、细胞转染、模式动物验证、转基因动物制备、基因整合分析与功能检测、环境释放及生物安全等一系列技术，是细胞生物学、分子遗传学、胚胎学、基因工程、组织工程、畜牧兽医学、种植及养殖学等多学科的交叉与融合，是多个生命高端技术的集成与体现。转基因技术反

映了小到一个研究单位，大到一个国家的生命科学的发展层次与水平。

1982 年，科学家把大鼠的生长激素基因导入小鼠受精卵内，获得了比普通小鼠大 1 倍的“超级”小鼠。“超级小鼠”的诞生，标志着人类可以通过转基因技术在不同动物种类之间进行遗传物质的转移，从此人类开始拥有一双创造新物种的“上帝之手”。转基因技术最早应用于作物的培育是在 1983 年，世界第一例转基因植物——含有抗生素类药物抗体的烟草在美国培育成功。同年，转基因保鲜延熟西红柿在美国投放市场。1996 年开始大规模进行转基因作物的商业化种植。不到 15 年的时间里，全球转基因作物的种植面积增加了近 86 倍。

与传统的非转基因育种技术相比，转基因技术所带来的好处是显而易见的：第一，转基因操作可以将原本毫无关联的生物品种，包括动物、植物和微生物间的基因进行时空转换，打破物种间天然的杂交屏障，加快育种速度，产生出人们所希望的生物新品种。第二，转基因产品的品质将更加优良，因为其中可含有经过科学家设计的、对人类健康有益的保健营养成分。第三，通过转基因技术可以去除一些引起人体过敏的致敏原基因，让过敏体质的人群充分享受原来不敢触及的美食、美容等产品。第四，通过转基因可以改变食物的构成，以满足不同人群的膳食需求，增加其附加值。第五，抗逆转基因动、植物的成功培育，不仅使动、植物具有抵抗各

种灾害的能力，更重要的是避免或减少了农药的使用，对于保护生态环境具有重要的意义。

处于对农业可持续发展和占领未来种业制高点的战略考虑，各国政府均十分重视转基因育种技术，都投入了巨资挖掘遗传资源、研发新型转基因技术、抢占有育种价值的基因与调控元件专利。转基因技术已经在现代生物技术领域掀起一场巨大革命，这也正是以美国为首的发达国家投入巨资进行转基因研究，以达到占领世界转基因育种领域制高点的根本目的。从这个角度看，转基因已非简单的科学问题。在美国的转基因大豆及其产品已经大量进入中国市场并大规模挤压国内大豆种植业的时候，中国的转基因工作才刚刚起步。我国的转基因育种研究严重落后。启动于2008年的转基因生物新品种培育科技重大专项，是政府为了保持我国农业可持续发展而做出的重大举措，反映了国家政府严肃对待转基因育种这一战略重大课题。然而，转基因重大专项自实施以来，就备受争议，出现不少的反对声，受到不同阶层的质疑，甚至是阻挠。转基因技术与转基因产品真的就那么可怕吗？转基因真的“猛于虎”吗？面对国外转基因作物逐年提高的大规模种植与销售，我们的转基因研究难道就要被逼夭折吗？如果真的是这样，只能应了一句话：仇者快，亲者痛！是一些不愿意甚至是阻挠中国人搞转基因产品的外国政府或团体组织最希望看到的结局。如果中国人没有自主知识产权的转基因育种技术与育种产品，那么中国未来的种（子）业必然要受

制于人，仰人鼻息，被人家牵着鼻子走。花大把的银子买人家的种子，而这些高价购来的种子往往都是一次性使用的。此等景观，何等可怕！

转基因生物育种的安全性到底如何呢？转基因产品真的存在生物安全和食品安全问题吗？这得从转基因技术的具体操作说起。转基因就是通过一系列分子生物学技术，首先获得具有重要价值和自主知识产权的基因，再将这些基因转导入植物或动物的基因组内。换句话说，就是有选择的把一些对人类健康或对动、植物健康没有危害的基因人为地植入动、植物体内，培育出能抗病虫、抗逆、优质、高产的生物新品种。在转基因过程中，人为地将目的基因插入到动、植物基因组中，这种插入可以是随机的，也可以是定点的。在插入基因的过程中，人们通常使用一些介质和标记物，如可以自主复制的环状质粒载体、高效特异型启动子以及便于检测筛选的报告基因。根据我国制定的转基因操作规程，使用的生产性的转基因载体及启动子必须是安全的，具有潜在传染能力的病毒是绝对禁止使用的，而报告基因也必须在某一环节上被删除掉。每一个转基因生物的诞生，都必须进行生物安全、环境安全、食品安全等一系列的检验检测。只有通过了一系列“安检”，产品才被允许进入生产和销售。也就是说，转基因生物从实验室到大田、牧场或者工厂，到市场售卖，再端上我们的餐桌，是要经过一系列的检查、检测关口，只有在实验室安全、生产检测、市场准入、运输隔离、食品标签等都获

得认可后，最终才到达消费者。到达消费者面前的转基因产品一定是安全的。

国家实施转基因生物新品种培育重大专项，对于增强农业科技自主创新能力，提升我国生物育种水平，促进农业增效和农民增收，提高我国农业国际竞争力，具有重大战略意义。自 2001 年以来，国家先后制定了《农业转基因生物安全管理条例》和《农业转基因生物安全评价管理办法》、《农业转基因生物进口安全管理办法》、《农业转基因生物标识管理办法》、《农业转基因生物加工审批办法》、《进出境转基因产品检验检疫管理办法》等 5 个管理办法。基本形成了包括技术标准体系、技术检测体系、安全评价体系和安全监测体系等在内的农业转基因生物安全技术支撑系统，对农业转基因技术及其产品可能对生态环境和人类健康构成的潜在风险进行综合分析和评估，在风险与收益利弊平衡的基础上做出应用转基因生物安全管理决策。

其实，自然界中任何新物种的诞生都是基因改变的结果，这是转基因技术得以发展的根本。为什么没有人质疑袁隆平院士的杂交水稻新品种的安全性？那是因为人们普遍以为，传统的杂交方式是安全的，而人为的基因改变就是不安全的。对于转基因生物及其产品来说，所改变的基因数量实际上远远低于传统杂交育种方式所改变的基因数量。至于人们担心的转基因产品中的外源基因是否引起动物和人的排斥反应，这一点并不成为问题。因为不同人群对环境、饮食等都存在不同的反应，

就如花粉过敏人群一样，年龄、体质、季节等都可能是诱因。又如抗虫转基因作物中的杀虫蛋白，其蛋白酶活性抑制剂是特异针对鳞翅目害虫的，对哺乳动物和人类不起任何作用。

随着相关现代生物技术的发展，转基因技术在基础研究、粮食安全、工业生产、能源保护以及医药创新等领域将拥有更大的发展空间。转基因技术已经成为可以影响一个国家农业可持续发展，长治久安的战略性的大事情。大家应当注意一个事实，就在我们还在为转基因技术及其产品争论不休的时候，美国、巴西、阿根廷等国的转基因大豆、转基因玉米已经进入了寻常百姓家。

重要的是不要再继续争论转基因生物育种及其产品存在的合法性，而是要加强在转基因研发过程中的监管、检查与评价，确保转基因产品的安全。为了国家的长治久安，为了国家农业的可持续发展，对转基因研究及转基因产品的质疑与反对可以休矣！

【作者简介】

李光鹏，男，1963 年生，博士，长江学者特聘教授。主要研究领域为哺乳动物卵子发生、动物克隆、转基因动物等，获得了克隆骡子、牛、绵羊、山羊、猪和转基因克隆绵羊、奶牛、肉牛等。

转基因食品安全吗

师玉华　朱祯
中国科学院遗传与发育生物学研究所

转基因食品，顾名思义就是利用转基因农作物，也包括转基因动物生产出来的食品。曾经有媒体在有关转基因食品报道时指出“我们现在已经开始食用含有基因的食品了”。这似乎告诉人们只有转基因食品才含有基因，同时也暗示着吃了含有基因的食物是一种可怕的事情。这使得人们对“转基因”避之不及，而且非常担心转基因食品是否安全，是否会对人类产生不利的影响。这是一个天大的误会。实际上，我们日常所吃的动物和植物源的常规食品中含有多达 3 万 ~5 万个基因，可以说一口吃进去，全部都是基因，而转基因食品实际上只是增加了一个或数个基因数目而已。基因的本质就是 DNA，是由 4 种核苷酸组成的遗传基本物质。在转基因过程中，DNA 的物理、化学以及生物性质没有发生任何改变。转基因食品被人体摄入后，外源基因与食物本身含有的基因一样在消化道内被消化成为核苷酸，并作为我们人体正常的养分被吸收、利用。

当人们开始发现转基因食品出现在超市的货架上

时，总是会有各种疑问。转基因食品能吃吗？吃后有没有副作用？实际上，转基因技术和传统育种技术是一脉相承的，是传统育种技术的新发展，其本质都是通过获得优良基因对作物品种进行遗传改良，使农作物的产量、抗性等农艺性状或者营养品质得以改善。

就安全性方面而言，转基因技术本身是中性的，谈不上是安全的或是不安全的。转基因食品安全与否，取决于所转移基因的性质而非转基因技术本身。所转移的基因是什么，从哪儿来，有没有对生物体不利的影响，才是决定安全性的关键。若转入对人体有害的毒素基因，那自然是危险的，但这显然通不过国家有关部门的严格审批程序。反之，若转入的基因来源安全且能降解食品中一些本来存在的毒素，那就不但不存在安全风险问题，而是更加安全了。例如亚热带地区一种叫鹰嘴豆的农作物籽粒，富含蛋白质，营养比大豆还丰富，但其含有一种有害物质，易使新生儿产生脊柱裂，因此科学家正在研究努力通过转基因技术来去除这种有害物质，使鹰嘴豆更加安全。

目前，转基因抗虫水稻品种商业化种植的批准更是引起了人们对转基因食物的广泛关注。“转基因水稻作为主粮对人体有害吗?”“虫子吃了都会死，人吃了能好吗?”种种质疑的声音出现在我们周围，而这些疑惑引来了更多不知情的人对转基因食品的恐惧。目前研制的转基因抗虫水稻所转移的是 Bt 杀虫蛋白基因。实际上，稍微查阅 Bt 杀虫蛋白的作用机理，就会知道这样

的担忧是毫无必要的。Bt 杀虫蛋白，是细菌苏云金芽孢杆菌产生的晶体蛋白，从上个世纪初开始就被广泛应用为微生物类杀虫剂，已经有 100 多年历史了。该杀虫蛋白被害虫摄入后，在肠道中与特异受体蛋白结合发生作用，导致昆虫死亡，这种结合是非常特异的。自然界存在成千上万种 Bt 杀虫蛋白，具体的某种 Bt 杀虫蛋白只针对个别害虫特异作用，正所谓“一把钥匙开一把锁”。比如在棉花上 IAc 类别的 Bt 蛋白只针对棉铃虫和红铃虫，而对蚜虫、盲蝽象全然没有作用，更何况是其他生物和人类了。另一种研究比较多的转基因抗虫水稻是转豇豆胰蛋白酶抑制剂的水稻。该蛋白是来源于豇豆的可食用部分——籽粒，其只抑制靶标害虫的消化，对人体无害，也不是抗营养因子，相反有研究表明该种蛋白对于某些癌细胞有明显的抑制作用。

事实上，我们日常摄入的食品中，有的就含有毒性物质或者抗营养因子。比如，未成熟的青色西红柿含有生物碱，如果人们一次吃较多，就会出现头昏、恶心、呕吐、流涎等中毒症状，重者可危及生命。而生食豆类和木薯，其中生氰糖苷含量能导致慢性神经疾病甚至死亡。同样辣椒中大量的辣椒素可成为致命毒物，人体在吸取过量辣椒素后，会出现呼吸困难、蓝皮肤及抽搐等症状。马铃薯发芽后会产生马铃薯毒素，大量食用可引起急性中毒，严重亦可致死。餐桌上这样的食品比比皆是，但是人们并没有因此而拒绝它，相反某些食品如辣椒等还成了不少人的偏好。因此，只要我们对食品有正

确的认识，了解其正确的食用方法，就可以放心地享用。转基因食品也是一样，每一种转基因食品都是经过严格的食品安全评价体系才出现在人们视野中的，安全保证是足够的，因为自古以来，还未有其他任何食品经过如此严格的安全评估。不但如此，转基因食品增加食用安全性的例子比比皆是。玉米被害虫咬了之后，伤口处易被黄曲霉菌感染而产生黄曲霉毒素，该毒素是第一号生物强致癌剂，同时还能使人体或动物的免疫功能丧失，诱导胎儿畸形。转基因抗虫玉米的研发，可以有效防御虫害，从而有效防止黄曲霉菌对玉米的感染，大幅度降低黄曲霉毒素的含量，从这个角度看，这种转基因抗虫玉米比传统玉米对人体更加安全。此外，转基因抗虫玉米的应用也减少了大量的农药施用，降低了传统玉米中农药残留带来的安全隐患。农业经济学家的调查研究表明，如果抗虫转基因水稻大面积应用，每年能减少20万吨杀虫剂的用量。大家都知道，我国每年杀虫剂的使用量是100万吨左右，也就是说减少20%的用量，其对食品安全和生态安全的意义是不言而喻的。上述证据表明，转基因技术的应用可以进一步增加食品的安全系数。

那么转基因食品会不会引起过敏呢？这也是人们对食品安全的另一顾虑。引发这种担忧的主要事件是巴西豆事件。巴西豆2S蛋白可引起极少数人群（约$1/10^5$）的过敏反应，当2S蛋白基因被转入大豆，可能使大豆成为过敏源，因此该研究被终止。这正如我们之前说

的，是否可以产生过敏反应不是取决于转基因技术，而取决于转的是什么基因。食物过敏是人类食物食用史上一个由来已久的问题。全球有近2%的成年人和4%～6%的儿童有食物过敏史，如蛋、鱼、贝壳、奶、花生、大豆、坚果和小麦等都有过敏人群，中东地区人群易对荞麦过敏，这些比例远高于转2S蛋白基因的巴西豆引起的过敏反应。但人们并没有因噎废食，也没有因为有人有过敏反应而排斥这些食品。过敏风险存在于所有的食品中，转基因食品同其他食品一样，上市前都进过了严格的科研实验评估其过敏风险，并制定了一整套过敏源评估程序，任何有可能成为过敏源的转基因食品都会像“巴西豆”那样被淘汰。目前人们正尝试运用转基因技术提供一种预防食物过敏的方法：日本已培育了一种降低过敏反应的转基因水稻，其中主要的水稻过敏源已被剔除了；美国也培育了一种去除主要过敏源的转基因大豆。种种尝试都在告诉我们，转基因食品带来过敏的风险是可以被排除的。不但如此，转基因技术的应用还为剔除食品中的过敏源打开了一扇新的大门。

转基因农作物的出现减少了农药、化肥的施用，降低了农业成本，提高了农作物产量。目前，转基因食品的发展已经向改善食品营养品质，甚至开发一些有保健和治疗作用的功能性食品方向迈进。比如，具有减肥功能、补充维生素等的转基因食品正在研究当中。科学家正在想办法把胰岛素基因转移到食品中，或许不久的将来，吃一个西红柿或喝一杯牛奶就可以补充胰岛素，这

对很多糖尿病患者来说无疑是一个福音。像每一种新事物的产生一样，转基因食品的出现引来了人们关注的目光。无论是肯定或是质疑，都承载着人们期望食品质量改善的美好憧憬，这也正是无数转基因科研工作者孜孜不倦的追求目标。相信随着人们对转基因技术的逐渐认知和转基因食品安全评价体系的日益完善，转基因食品一定会不断发展，以满足人们日益增长的饮食需求和对安全食品的期盼。

【作者简介】

朱祯，男，1951 年出生，研究员，博士生导师，国家“863”计划现代农业技术领域专家组成员。长期从事转基因育种研究。

师玉华，女，1983 年生，博士。主要从事水稻 RAV 家族转录因子的功能研究。

转基因不会带来“卫生危害”

潘光堂　沈亚欧
四川农业大学玉米研究所

自2009年8月17日我国依法批准发放转基因玉米、转基因抗虫水稻的生产应用安全证书以来，有关转基因作物和食品在社会上引起激烈争议，并引发民众的担忧。争论的焦点主要集中在以下方面。

一、食用转基因食品后，基因会不会进入人体，会改变人体的基因组？

基因的本质是一种名为脱氧核糖核酸（DNA）的生物大分子，它决定了蛋白质的结构和功能。我们每天吃的普通大米、水果、蔬菜、肉类等都含有这种物质，它进入人的消化道后会迅速分解失效，无法转移到肠道细胞，更不会转移至生殖细胞，因此不可能转移到人体或遗传给后代。

二、转基因生物是否会产生不可预见的突变，导致新毒素的产生？

转基因技术是将对人类有利的特定基因导入某一生

物中，提高这种生物的抗逆性、品质或产量，转基因生物与普通生物的突变频率没有区别，在这一方面，转基因食品与传统食品的安全性是等同的。而且，转基因生物在商业化之前，必须进行毒理学评价，主要从两方面着手，一是外源基因表达产物是否具有的毒性检测和评价。二是对转基因食品的全食品毒性检测和评价。

三、食用转基因食品会过敏?

转基因生物在批准商业化生产前，需要进行转基因食品的过敏性评价。我国目前批准的转基因水稻和玉米均对外源基因表达产物进行过敏性检测和评价。试验证明，我国批准的转基因水稻和玉米转入的外源基因不会带来新的过敏源，对食用大米和玉米的人群不会增加过敏的风险。

四、转基因会不会减少食品的营养价值或降解食品中重要的成分?

转基因生物在批准商业化生产前，需要进行营养学评价和抗营养因子评价。其中营养学评价主要包括蛋白质、淀粉、纤维素、脂肪、脂肪酸、氨基酸、矿质元素、维生素、灰分等与人类健康营养密切相关的物质。除需要与对照非转基因食品进行比较，还需要参考OECD、CAC及本国已有的同类非转基因作物营养成分，确定转基因食品的营养成分是否在这些范围内，如果在范围内，则可以认定转基因食品具有与非转基因食

品同等的营养功效。抗营养因子评价是将转基因品种中的抗营养因子含量与其对照非转基因食品进行比较，其评估方法与营养成分的评估方法一致。

五、采用耐抗菌素基因来标识转基因作物，人食用后肠道细菌会不会从中获得抗生素抗性基因，导致细菌的耐药性，感染该细菌后无法医治？

在过去15年里，针对这一疑虑开展了大量的研究。结果表明，抗生素抗性基因从转基因植物转移到细菌的概率非常低，实验室得到的概率数据为$1/10^{26}$～$1/10^{12}$。而转基因研究中，最常用的标记基因是卡那霉素和氨苄青霉素抗性基因，这两个基因早已在致病生物中广泛传播。对不服用抗生素的人的粪便进行测试，结果表明，60%的人发现有10%以上的细菌对至少一种抗生素有抗药性。土壤测试证实，对抗生素（特别是卡那霉素）具有抗性的细菌在自然界十分普遍。因此，即使少数情况下转基因作物的抗性基因转移到细菌，对环境中抗性菌数量的增加也将是微乎其微的。我们吃水果和蔬菜时，都会吃到来自土壤的抗药性微生物，这并不会带来任何的负面影响。迄今为止，还没有确凿证据表明转基因植物的抗生素抗性基因具有威胁。即便如此，我国的安全评价中，对食用转基因生物中的标记基因采取零容忍的态度，坚决把可能的风险降到最低。

六、转基因若不进行标识，出现问题后，我们怎样寻找根源？

为了保护消费者的知情权和选择权，我国对转基因产品实行目录标识制度，列入标识目录的转基因产品需要标识。目前市场上的转基因食品如大豆油、油菜子油及含有转基因成分的调和油均已标识。我相信，国家将借鉴国外标识管理经验，结合国内农产品生产、销售特点，进一步完善转基因产品标识管理制度，更好地满足消费者的知情权和选择权。

在食品安全性方面，美国人已吃了很多年的转基因产品，产品种类有上千种，包括冰激凌、巧克力等都没有发现有任何问题。另一方面，由于转基因农作物转的是抗病、抗虫的基因，不用打农药或少打农药，农药残留相对于非转基因农作物要少。比如，转抗虫基因水稻不仅能有效控制螟虫等鳞翅目害虫危害，保障水稻增产，还能减少 80% 的化学农药用量。从这一角度看，转基因食品安全性不会比传统食品差。

转基因食品不会改变人体基因

吉万全
西北农林科技大学

20世纪80年代初发展起来的转基因技术已经以近乎神奇的效果对生物进行精确地改造，人们将这一生物技术上的巨大飞跃誉为第二次“绿色革命”。转基因技术正在使千百年来人类赖以生存的各种作物以前所未有的速度向人类的需要转变，抗病虫、耐储存、高营养等各具特色种类繁多的转基因食品相继走进超市。然而，面对这种高科技赐予人类的第一份“厚礼”，惊喜之余也使一部分人感到疑虑与困惑，甚或有人担心吃了转基因食物，外源基因进入人体后是否会改变人的基因并遗传给后代？其实，产生这种担心的原因还是对转基因食品的本质不够了解。通俗地讲，转基因食品就是利用转基因技术，将某些生物的优良基因转移到其他物种中，使其在生产能力、营养品质等方面更符合对人类的需要，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。

生物学常识告诉我们，一切动、植物体均由细胞组成，每个细胞都含有控制和保持其物种特性的成千上万

种基因。千百年来，人类繁衍生息，然而人们常吃的即使是最传统的任一种动、植物食品，也包含了成千上万种基因，从来没有人担心食物中的动物、植物、微生物基因会改变人的基因或遗传给后代。食品安全性和营养价值，绝非是细胞所携带的基因种类和性质决定的。基因是细胞中携带的一种大分子物质（DNA）片段。所有生物不同基因的差异仅在组成这一 DNA 片段的 4 种核苷酸排列顺序。所有基因，一旦进入人的消化系统都将被分解成生物界通用的 4 种核苷酸，才能被我们的细胞吸收利用。“外源基因”是遗传学中相对某一自然物种而言。转基因食品中的外源基因仅是在转基因动、植物生长发育中，赋予它们更符合生产和食品营养特性等方面发挥作用。

转基因作物对生态环境是利还是弊

陈华　师玉华　朱祯
中国科学院遗传与发育生物学研究所

种植转基因作物带来了巨大的经济效益，在我国，转 Bt 杀虫基因抗虫棉曾经力挽狂澜，挽救了棉花种植业。上世纪 90 年代，棉铃虫猖獗，农民只好加大农药用量来控制棉铃虫。到了后期棉铃虫产生了抗药性，甚至将其直接泡在农药中也杀不死，棉花种植业告急，棉农损失惨重，给我国当时的棉纺织业带来了严重影响。转基因抗虫棉的推广，使棉铃虫得到有效控制，化解了这场棉铃虫危机。由于种植了转基因抗虫棉，农药的用量显著降低，生产成本大大减少。1999—2008 年，全国累计推广国产转基因抗虫棉 1 467 万公顷，农药使用量减少了 80% 以上，减少量达到 4.5 万吨，平均每公顷增收节支约 3 300 元，为国家和棉农总共增收节支 200 亿元。那么，在带来巨大经济效益的同时，转基因作物的大面积种植对生态环境有什么有利作用，又有哪些潜在的不良影响呢？

人们担心，长期种植抗虫转基因作物可能会使害虫逐渐适应而产生耐受性。这个问题的确有可能发生，在

实验条件下一些害虫已经对转基因作物产生了耐受性，这与长期施用农药面临同一样的问题。目前科学家提出了几个解决方案，一是采取适当措施降低昆虫产生耐受性的几率，推迟产生耐受性的速度。比如，美国、加拿大、西班牙等国家的种植经验表明，把抗虫转基因作物与非转基因原作物按适当比例进行分区域种植，以非转基因作物充当“避难所”，可以有效减少昆虫耐受性种群的产生。另一个解决方案是同时使用 Bt 杀虫基因和其他类型的抗虫基因如豇豆胰蛋白酶抑制剂基因，可以使作物具有更广的抗虫谱和更强的杀虫效力，也能有效地延缓昆虫抗性的产生，因为昆虫必须对两种或更多抗虫基因同时具有抗性才能生存。其实，针对昆虫耐受性问题，任何转基因作物在大规模推广前都会进行深入的生态调查和长期论证，并通过适当措施来加以解决。

另外一个常常提出的问题，转基因抗虫棉在减少目标害虫的同时会导致其他次要害虫种群数量的增加吗？研究表明，大面积种植抗虫棉可以有效防治棉花的主要害虫棉铃虫，大大减少杀虫剂的用量，但由此却给次要害虫盲椿象的种群增长提供了温床，使其数量显著提高，在一些地区已成为棉田的主要害虫。尽管如此，在棉花生长期只要喷洒一两次农药，就能够完全应付盲椿象。而如果不种植抗虫棉，每年至少要喷洒 8～10 次农药才能勉强控制棉铃虫，孰轻孰重不言自明。所以，类似于转基因抗虫棉离不开农药的说法只是一个噱头，因为种植转基因抗虫棉所需要喷洒的农药量远远少于非转

基因棉花，权衡利弊，种植转基因棉花利远大于弊。目前，科学家已培育出了既抗棉铃虫又抗盲椿象的转基因棉花，未来人类与害虫的斗争永不会停歇，转基因植物也将不断推陈出新。

此外，人们也对种植转基因作物给生态环境和生物多样性带来的影响感到担忧。比如，转基因作物的花粉可能会传播给非转基因原作物而使其受到外源基因的“污染”；转基因作物的花粉如果传播给田间杂草，有可能会产生所谓的“超级杂草”，这些例子就是人们常说的“基因漂移”问题。这可不是转基因作物的“专利”，种植常规育种培育出的农作物品种不也同样存在基因漂移现象吗？我国科学家在实验基地对转基因水稻的基因漂移现象进行详细研究表明，转基因水稻向非转基因水稻发生基因漂移的频率非常低，而随着转基因水稻与非转基因水稻之间的间隔距离由 0.2 米增至 6.2 米，发生基因漂移的频率由 0.28% 降至小于 0.01%，远低于欧盟的标准（0.9%）。所以，只要采取一定距离的安全隔离措施，严格安全管理，转基因作物基因漂移问题完全可以解决。

人们还有一种担心，抗虫转基因作物会不会影响目标害虫外的其他昆虫，改变农业生态系统中的种群结构和数量？这个问题确实存在，但它所产生的影响有弊更有利。例如，在种植抗虫棉的农田中，增加的不只是次要害虫盲椿象，还有瓢虫、草蛉和蜘蛛等棉蚜虫的天敌，后者可以有效控制棉蚜虫的危害。又如，我国科学

家在实验基地调查了种植抗虫转基因水稻对节肢动物种群结构的影响，发现与非转基因水稻种植区域相比，种植抗虫转基因水稻的区域中水稻害虫的种群密度显著降低，而中性昆虫和害虫的天敌明显增加，对稻田生态系统表现出正面影响。如果长期种植转基因水稻，由于大大减少了杀虫剂用量，就会使这一良性生态效应进一步扩大，害虫天敌种群数量将进一步增加，会更加有效地控制虫害的发生，配合其他虫害综合治理技术如生物防治，物理、化学诱杀等，将会真正实现生态农业的目标。

人们担心由于大规模的推广转基因农作物会影响到农业物种以及植物物种的生物多样性，使物种、品种单一化的问题。目前，诸多保护生物多样性的措施把这种可能的负面影响降到最低。我国已经采取了就地保护（建立自然保护区）、迁地保护（植物园）以及建立农作物遗传资源种质库、植物基因库等措施。目前我国已经建立了植物园体系，建成的自然保护区面积占国土面积的15%左右，已经建立了30万份农作物品种种质资源库。最近在昆明建立的种子库已经收集保存各类野生生物种质资源8 444种，共74 641份，被称为中国的植物“诺亚方舟”。

种植转基因作物对农业生态环境可能存在的负面影响远远低于目前的“化学农业”的影响，“生物农业”才是未来的发展方向。十几年来种植转基因作物的实践表明，转基因作物的种植在改善农业生态环境方面显示

出巨大的优势。种植抗虫、抗除草剂、抗旱、耐盐碱等转基因作物，显著减少了农药、化肥的用量，改善了农业生态环境。据统计，1996—2008 年，由于种植了转基因作物，全世界累计减少杀虫剂使用量 35.6 万吨（减少了 8%），其中仅 2008 年就减少了 3.4 万吨。此外，由于种植了转基因作物，1996—2008 年，CO_2 排放量减少了 140 亿千克，相当于每年在公路上减少 700 万辆汽车。

总之，转基因作物对生态环境的正面效应要远远大于其可能存在的负面影响。在农业生产实践中，我们应该扬其长而避其短，通过加强管理和科学布局，降低其潜在的不利影响，减少风险，提高效益，使转基因作物更好地为我国农业可持续发展服务。

【作者简介】

朱祯，男，1951 年出生，研究员，博士生导师，国家“863”计划现代农业技术领域专家组成员。长期从事转基因育种研究。

师玉华，女，1983 年生，博士。主要从事水稻 RAV 家族转录因子的功能研究。

陈华，男，1981 年生，博士。从事水稻甲基化蛋白的研究工作。

农业转基因动物生物安全

任立明　张磊
中国农业大学

一、农业转基因动物生物安全概念

广义的“农业转基因动物生物安全”是指在一个特定的时空范围内，农业转基因动物对当地其他物种和生态系统造成危害和改变，造成环境的变化对生物多样性构成威胁，形成对人类健康、生存环境和社会生活有害的影响。由于目前应用数量最大、与人们关系最为密切的是农业转基因动物及其产品，一般意义的转基因动物生物安全，实指的就是农业转基因动物生物安全。

转基因动物安全是一个重大的科学问题，是基于转基因动物及其产品而可能导致的潜在风险，它与转基因生物遗传物质的改变及改变的方式密切相关。新的基因、新的目标性状、新的遗传转化方法、新用途的转基因动物以及在长期使用与积累过程中，都有可能带来新的风险。

转基因动物安全的重要性不仅关系到人类健康、环境和社会，而且能够在当前国内、国际政治和经济形势

下，保障食品安全和农业可持续发展，促进农业增效和农民增收，提升我国转基因生物研发能力，提高我国农业国际竞争力，展现巨大经济价值，为我国畜牧业发展和提高国民生活水平做出重要贡献。

转基因动物生物安全是发展中的问题，只要发展，在新环境下就会有新的可能涉及安全的问题出现。而且转基因动物需要经过严密的检测和评价，生物安全能够做到安全可控。与常规育种方法比较，虽然常规育种仍然有效，结合转基因技术发展，才能是革命性的。常规育种具有一定的盲目性，通过高强度的选择获得优秀的个体，会出现大量负面性状。转基因动物育种是与常规育种结合，没有增加更多的不安全性。另外，许多天然食品也没有绝对安全，大多没有经过严格的检测和试验，世界上每年都有许多人因为食用天然食品引起过敏反应，甚至死亡。

二、农业转基因动物生物安全管理

农业转基因动物生物安全管理，是以科学为基础的风险分析过程，包括风险评估、风险管理和风险交流三个方面。实施管理的目的是保障人体健康和动物安全，保护生态环境，保障和促进农业转基因动物技术研究及其产业化的健康发展。风险评估（即安全评价）是农业转基因动物安全管理的核心，是指通过分析各种科学资源，判断转基因动物是否存在危害或安全隐患，预测危害或隐患的性质和程度，划分安全等级，提出安全控

制措施和科学建议，进行利弊分析。风险管理是农业转基因动物安全管理的关键，主要是在风险评估的基础上，确定可接受的风险水平及降低风险程度的措施，通常通过立法及安全监管贯彻实施。风险交流是农业转基因生物安全管理的纽带，它贯穿于风险评估和风险管理全过程，是政府、企业、科技界、研发者、生产者、消费者、新闻媒体及非政府组织间多方面的信息交流过程，包括风险评估和风险管理进程信息、风险评估科学信息及风险管理信息的交流。

转基因生物技术毕竟作为一项新兴的技术，也存在危险和潜在风险，其生物安全问题一直是社会广泛关注的一个问题，也是关系到公众能否接受转基因食品、转基因克隆产品能否实现产业化的关键问题。在大力研发的同时，决不能忽略其安全性，要从多方面对转基因动物及产品进行安全评估。

三、我国转基因生物安全管理法规

随着转基因生物技术研发、推广和应用，我国政府十分重视生物安全管理问题，先后制定一系列管理法规、规章，确定了主管部门，设立了管理机构，逐步建立健全监督管理体系、安全评价制度和技术支撑体系。

我国最早的基因工程管理规章是1993年12月原国家科学技术委员会颁布的《基因工程安全管理办法》。1996年7月，农业部颁发了《农业生物基因工程安全管理实施办法》，并于同年11月开始实施。根据该办

法农业部设立了农业生物基因工程安全管理办公室，成立了农业生物基因工程安全委员会，自1997年起开始受理国内外农业转基因生物安全评价申请，经农业生物基因工程安全委员会进行安全评价后，由农业部做出批复。

为了加强农业转基因生物安全管理，保障人类健康和植物、动物、微生物安全，保护生态环境，促进农业转基因生物技术研究，将我国的转基因生物管理纳入与国际接轨的法制化轨道，2001年5月，国务院颁布了《农业转基因生物安全管理条例》（以下简称《条例》）。《条例》规定农业转基因生物实行分级安全评价制度、标识管理制度、生产许可制度、经营许可制度、加工审批制度和进口安全审批制度，将农业转基因生物安全管理延伸到研究、试验、生产、加工、经营和进出口活动的全过程。

2002年1月，农业部发布了《农业转基因生物安全评价管理办法》、《农业转基因生物进口安全管理办法》和《农业转基因生物标识管理办法》3个配套规章，并于同年3月20日起开始实施。2004年5月，国家质量监督检验检疫总局发布并实施《进出境转基因产品检验检疫管理办法》。2006年1月，农业部发布了《农业转基因生物加工审批办法》，自当年7月1日实施。

《条例》及配套规章的颁布实施，标志着我国开始对农业转基因生物的研究、试验、生产、加工、经营和

进出口实施全面的管理。为了做好《条例》与相关法规的衔接，在《中华人民共和国种子法》及《主要农作物品种审定办法》、《兽药管理条例》、《中华人民共和国食品安全法》等法律法规中，均对农业转基因生物安全做出了相应的规定，以确保农业转基因动物的生物安全。

谈转基因作物的安全性

夏志辉　高利芬
中国科学院遗传与发育生物学研究所

转基因技术是现代生物技术的核心，运用转基因技术培育高产、优质、多抗、高效的新品种，能够降低农药、肥料投入，对缓解资源约束、保护生态环境、改善产品品质、拓展农业功能等具有重要作用。目前，世界许多国家把转基因生物技术作为支撑发展、引领未来的战略选择，转基因技术已成为各国抢占科技制高点和增强农业国际竞争力的战略重点。

2010 年全球已有 29 个国家批准了 24 种转基因作物的商业化种植，种植面积由 1996 年的 170 万公顷发展到 2010 年的 1.48 亿公顷，15 年间增长了 86 倍。1996—2007 年，全球转基因作物累计收益高达 440 亿美元，累计减少杀虫剂使用 35.9 万吨。我国已批准商业化种植的植物有转基因抗虫棉花、转基因延熟西红柿、转基因抗病毒甜椒、改变花色转基因矮牵牛、转基因抗病毒番木瓜。种植面积最大的是转基因抗虫棉花，其次是转基因番木瓜。随着我国农业部 2009 年 8 月 17 日依法批准发放了转植酸酶基因玉米“BVLA430101”、

转基因抗虫水稻“华恢1号”及杂交种“Bt汕优63”的生产应用安全证书，人们对转基因作物的安全性表现出极大的担忧乃至抵制，一时间多家媒体也都纷纷组织转基因安全性的辩论。导致这种局面的原因，最主要的是人们对转基因技术和转基因作物安全评价过程的不了解。

转基因技术在农业上的应用主要是将一些抗虫、抗病、抗逆、高产和优质等性状相关的功能基因导入到目的植物或动物。通常是提取某种生物中具有特殊功能（如抗病虫害、增加营养成分等）的基因片断，通过基因技术加入到目标生物当中，使该基因在目标生物中表达，从而使目标生物具有该基因的特性。在这里，需要指出的是转入的功能基因只是改变转基因作物的某一个性状，而不改变其他的性状。

有些人担心转基因的核酸（遗传物质）或蛋白质会对人体造成影响。其实核酸、蛋白这类生物大分子，以目前的生理学知识来看，除了少数的难消化的蛋白质、多糖外，生物大分子都会被人体（还有其他生物）的消化系统降解为它们的基本基团，然后为人体所消化吸收，我们每天都吃三餐。古人一定尝过成千上万种动物、植物、微生物（我们现在的食品还有一些是微生物发酵制成的食物），而人类基因组仍然保持稳定。根据国际食品法典委员会的标准，转基因作物研发过程中需要开展目标蛋白的毒性和过敏性评价。转基因生物的安全性问题是可以认识、评测和控制的。

2009年获得农业部颁发的生产应用安全证书的两种转基因水稻是Bt转基因水稻。外源基因Bt基因是由我国科学家人工改造合成的苏云金芽孢杆菌（简称Bt）杀虫蛋白融合基因，其表达产物可以专一、高效地控制水稻二化螟、三化螟和稻纵卷叶螟等水稻鳞翅目害虫。对于这种转基因水稻，由于外源基因是来源于苏云金芽孢杆菌，人们担忧是否食用这种转基因水稻会对人类的健康产生危害。这种转基因水稻之所以抗虫，是因为其中的Bt蛋白可与鳞翅目害虫肠道上皮细胞的特异性受体结合，引起害虫肠麻痹，造成害虫死亡，而人类肠道上皮细胞没有该蛋白的结合位点，因此不会对人体造成伤害。

科学家已经开发了提高转基因作物安全性的分子策略，其中包括抗生素选择标记的去除，转基因的组织特异表达和诱导性表达以及转基因逃逸的控制等。例如，科学家正在研制新一代转基因水稻，使抗虫基因只在水稻的茎秆和叶片等受害虫侵害的部位表达，而稻米中不表达，这将使Bt基因稻米更安全。

我国政府对转基因生物安全高度重视，已经建立了一整套适合我国国情并与国际惯例相衔接的法律法规、技术规程和管理体系。1996年农业部发布了《农业生物基因工程安全管理实施办法》。2001年，国务院颁布了《农业转基因生物安全管理条例》，对在中国境内从事的农业转基因生物研究、试验、生产、加工、经营和进出口等活动进行全过程安全管理。农业部组建了国家

农业转基因生物安全委员会（简称安委会）、全国农业转基因生物安全管理标准化技术委员会，建设了一批安全监督检验测试机构，对转基因生物研发全过程进行安全评价和监督检查。目前，转基因生物的研究需要通过安委会的安全评价和农业部批准，申请安全评价要依次经过实验研究、中间试验、环境释放、生产性试验，对转基因生物的分子特征、食用安全和环境安全进行全面系统的评价，确定该转基因不会导致环境和食用安全性问题后，才能申请安全生产证书。经安委会评价合格和农业部批准后，才能获得安全生产证书。

因此，经过转基因生物安全评价、获得主管部门批准的转基因生物可以放心使用或食用。应加大转基因技术的宣传力度，让公众正确认知转基因技术，有利于更好地运用转基因技术并为人类服务。

转基因产品检测监管动态

张琪　黄新　朱水芳
中国检验检疫科学研究院

自1996年转基因作物商业化种植以来，转基因作物的生产呈逐年增长态势，至2010年，全球已有29个国家批准转基因作物商业化种植，种植面积已达1.48亿万公顷。其中99%的转基因作物种植在美国、阿根廷、加拿大和中国。国外已批准商品化转基因作物有大豆、水稻、玉米、油菜、棉花、西红柿、马铃薯等。用这些转基因作物生产加工的食品全世界有近万种。

目前应用的转基因检测方法有很多，一是以检测外源基因为目标，二是以检测外源蛋白为目标。其中基于核酸水平主要有：定性PCR检测、实时荧光定量PCR检测、核酸杂交方法、基因芯片法等；基于蛋白质检测手段主要有：免疫杂交方法、免疫试纸条、酶联免疫吸附法等。此外还有生物传感器筛选法、近红外线光谱法及电化学发光等转基因检测新技术。其中实时荧光PCR方法，已较好地解决了转基因产品检测所需要的定性检测、品系鉴定和定量检测的问题，是目前国内外最常用的检测方法。

一、国外转基因产品检测监管动态

为了加强对转基因作物的管理，世界各国纷纷制定了相应的法律、法规。1998 年 6 月，欧盟规定对农作物的种子、食品和饲料贴示标签，必须标识其是否含有转基因成分，随后又规定转基因成分超过 1% 时实行强制性标识制度。2002 年，欧盟执行新的转基因产品管理法规，要求对转基因产品从生产、运输、保存、销售进行全程的跟踪、检测。标识的阈值上限由 1% 提高到 0.9%。

到目前为止，已有包括欧盟国家在内的 40 多个国家和地区制定了相关的法律和法规，要求对转基因生物及其产品（包括食品和饲料）进行标识管理。欧盟的奥地利政府还制定了一部纯净种子的法律，禁止常规种子受到高于检测限的转基因品种的污染，该项法律的颁布使得奥地利成为 15 个欧盟成员国中率先对转基因种子污染应用“零允许量”原则的国家。澳大利亚和新西兰从 2001 年 7 月开始对所有转基因食物实施标识制度，阈值为每种成分的 1%，即当某一种成分内的转基因成分超过 1%，则必须标识为转基因食物。随即，巴西、以色列等国也把转基因成分阈值定为 1%。在亚洲，韩国自 2001 年 3 月 1 日起，对转基因生物及其产品实施标识，阈值为转基因成分占产品的 3%。日本自 2001 年 4 月 1 日起，对批准的转基因生物产品，转基因成分占最终产品比率达 5% 需要标识；对未经批准的

转基因生物产品实施零阈值，不允许进口。墨西哥自2010年1月26日起，允许进口美国转基因玉米，阈值设置为1%。

阈值的管理，是对所有认为有风险的事物给出一个容许的“度”，并以这个“度”为依据进行管理。超出阈值并不代表产品不安全。从本质上说，由于非转基因产品很难做到100%的纯度，并且转基因生物的存在有时是由于流通环节中的偶然原因或技术上不可避免的因素产生的，因此有必要规定一个允许的阈值。

为了更好地处理国际贸易间出现的转基因产品，一些国际组织在各自相关领域纷纷参与制定与转基因相关的国际公约和协定，希望在处理转基因问题上取得一些共识，制定共同的行为准则。如世界卫生组织（WHO）、联合国粮农组织（FAO）和环境规划署（UNEP）、国际食品法典委员会（CAC）、国际生命科学学会（ILSI）、国际科学机构（AOAC、AACC、AOCS）等，在国际标准的制订方面，目前已制定了7个转基因产品检测的国际标准。

转基因生物安全管理是一项技术性很强的工作，各个国家和地区都建立了与各自的管理特点相适应的安全评价、检测、监测等技术支撑体系。而转基因生物安全检测机构是技术支撑体系中至关重要的环节，因此，各个国家和地区都十分重视检测机构的建设和发展，绝大部分检测机构通过了ISO 17025、ISO 9001等有关行业标准的认证。检测方法也多样化，包括基于核酸和基于

蛋白质水平的检测，有定性和定量检测方法。

二、我国对转基因产品安全管理及标识管理实施情况

随着生物技术的发展，我国在发掘新基因、培育转基因新品种及新品种的产业化应用等方面取得了重大成就，培育出了一系列的转基因产品。为了加强对国内外转基因作物的管理，我国早在 1993 年，已经制定基因工程的安全管理办法。安全管理的正式实施是在 1996 年。2001 年 5 月国务院颁布了《农业转基因生物安全管理条例》，将研究、试验、生产、加工、经营和进出口各环节都纳入了农业转基因生物安全管理的范畴。2002 年以来，农业部先后发布了与之配套的管理办法，即：《农业转基因生物进口安全管理办法》、《农业转基因生物标识管理办法》和《农业转基因生物加工审批办法》。这些法律、法规的实施，标志着中国农业转基因生物安全管理进入法制化、规范化的管理轨道。

根据《农业转基因生物标识管理办法》规定，转基因农产品须进行转基因标识。目前，列入第一批实施标识管理的转基因生物目录中的有大豆、玉米、棉花、油菜、西红柿等 5 类 17 种产品。

三、我国转基因检测技术的发展、标准制定及实验室体系的建立

我国的转基因检测技术不但与国际接轨，在很多方

面还处于领先水平。我国检测机构通过对转基因核酸制备、品系鉴定、高通量检测、定量检测和转基因植物内源参照基因的寻找及相应检测五大关键技术，建立了全套的检测技术体系。不但能够检测各种转基因农作物，我国也已领先国际解决了深加工产品的转基因检测难题。其中中国检验检疫科学研究院基因组自主创新的一管式 PCR 核酸提取检测技术，将提取检测步骤缩短为四步，而且适用于复杂样品，如巧克力等的快速提取检测。同时针对食用油脂中 DNA 破坏严重、含量极低等特点，成功地建立了食用油脂 DNA 提取方法。在植物油核酸制备、基因芯片高通量检测、转基因产品定量检测、转基因品系的鉴定和内源基因的寻找和鉴定等领域达到国际领先水平。

我国转基因产品标准已发布的国家标准和行业标准有 100 多项。这些转基因检测标准覆盖了当前大部分的转基因生物品种和加工产品，包括定性和定量检测方法，能满足我国转基因生物安全监管的需求。

在转基因检测实验室建设方面，农业部已有 37 个检测机构通过国家计量认证和机构审查认可“双认证”，初步建成国家转基因生物安全检测体系。出入境检验检疫系统现已建立了 35 个转基因产品检测实验室。我国现已逐渐形成了以国家级检测机构为引导，区域性和专业性检测机构为主体的转基因检测实验室体系。我国的转基因产品检测实验室完成了亚太实验室认可合作组织（APLAC）国际实验室转基因产品检测能力验证

项目，获得了 APLAC 能力验证执行主席的高度评价和所有参试实验室的肯定，填补了亚太地区国际实验室转基因产品检测能力验证的空白，并进一步证明了我国转基因植物产品检测体系的科学性和准确性。

【作者简介】

张琪，女，1982 年生，硕士，实验员。研究领域：转基因生物安全。

黄新，男，1977 年生，博士，副研究员。研究领域：转基因生物安全。

朱水芳，男，1963 年生，研究员。获得国家发明专利 6 项。

转基因家畜与生物安全

刘明军

新疆维吾尔自治区畜牧科学院

转基因家畜的发展速度远远落后于转基因作物。虽然早在20世纪80年代初，第一例转基因小鼠就获得了成功，之后科学家陆续获得了转基因猪、转基因羊和转基因牛，但目前为止，还没有一种转基因家畜可以达到在畜牧业生产上推广应用的水平。其原因可能有以下几方面：第一，家畜的繁殖和生产周期较长，因此获得转基因家畜的时间比获得转基因植物的时间长。第二，家畜转基因技术比植物复杂，转基因效率也要低得多，这也是影响家畜转基因发展的一个重要原因。第三，家畜基因表达调控机制复杂，研究基础比较弱，制约了转基因家畜的发展。受国际动物保护组织的影响，在一定程度上限制了家畜转基因技术研究。

尽管转基因家畜的研究离应用和推广还有很大距离，但近20年来仍然取得一些突破性的成果。从转基因技术来看，自从克隆羊多莉诞生后，世界上多个国家利用克隆转基因技术先后获得了一批转基因牛、转基因猪和转基因羊，并且克隆转基因技术的效率也要高于显

微注射转基因技术。近几年发展起来的动物转座子转基因技术、慢病毒载体转基因技术和锌指核酶技术，为家畜的基因组改造和遗传操作提供了有利的工具。这些新技术的应用都将进一步提高家畜转基因的效率，加快家畜转基因研究的步伐。更为重要的是，随着家畜基因组和功能基因组研究的不断深入和发展，对家畜重要性状形成的分子机制更加清楚，为家畜基因组的遗传改造提供了理论基础，人类离按照自身的需要来培育家畜新品种已越来越近。

开展家畜转基因新品种培育，在以优质、高效为目标的同时，还需高度重视转基因家畜的生物安全性。转基因家畜的生产产品主要包括肉、奶、毛（绒）等以及通过转基因生物反应器生产的药用蛋白和生物材料。这些产品与人类的生活密切相关，所以人们最为关心的问题是转基因产品与传统畜产品相比有无不安全的成分，是否会产生危害人体健康的物质，对人体健康是否安全。从转基因作物来看，根据世界卫生组织（WHO）、联合国粮农组织（FAO）、经济合作与发展组织（OECD）以及对转基因态度最为严格的欧盟组织的调查，至今也并未发现已上市的转基因产品对人体健康有害的证据。美国 FDA 认为，根据目前的调查和研究的结果，转基因食品和传统食品之间几乎没有发现任何根本性的差别。转基因农作物在全球大面积种植已有 17 年之久，食用转基因食品的人群据统计已超过 10 亿人，但至今还没有关于转基因食品不安全的任何证据。

但转基因技术的发展时间并不长，尤其是动物转基因技术还不成熟，在开展转基因研究的同时要高度重视安全性评价，及时回答公众对安全性担忧的问题。从科学的角度去认识和对待安全性问题，既不能忽略转基因家畜的安全性问题，也不能因一些没有科学依据的猜测和担忧而阻碍了转基因技术的健康发展。

转基因番木瓜及其安全性问题

李世访
中国农业科学院植物保护研究所

一、番木瓜及威胁番木瓜生产的重要病害

全身是宝的番木瓜皮薄肉厚，汁多味甜，营养丰富。不仅可以鲜食，而且可以制成饮料、果脯等。其果实、茎、叶、根既可食用又可药用。成熟番木瓜是消化不良、高血压以及糖尿病等患者的理想果品。早在15世纪，哥伦布就发现加勒比海地区的土著人就借番木瓜来防止消化不良。至今，他们仍利用番木瓜的叶片包裹肉类过夜后再蒸煮，这样能够促进肉食的消化。番木瓜中含有丰富的木瓜蛋白酶，它是许多美白护肤化妆品中的一种主要成分。因此，番木瓜被称为“百果之王”的确是名副其实。可以说番木瓜是众多水果中的宠儿，是深受广大消费者喜爱的南方水果。

“番木瓜环斑病毒”（papaya ring spot virus，PRSV）这个词是Jensen在1948年的命名的，他在夏威夷的瓦胡岛上发现了番木瓜上的这种病害。PRSV属于马铃薯Y病毒，它是通过几种非持久性传毒的蚜虫进行传播

的。20 世纪 50 年代，瓦胡岛是夏威夷番木瓜的主要生长地区，但是受 PRSV 的影响迫使这个产业迁移到了夏威夷的普纳地区，原因是普纳不存在这种病毒，而且有充足的土地、雨水、阳光和以火山岩为基底的良好排水系统。并且，新的卡波霍番木瓜品种也适合在普纳地区种植。到了 70 年代，普纳生产的番木瓜占夏威夷番木瓜的95%，但是 PRSV 的潜在威胁依然存在，因为普纳距离疫区只有 30 千米。种植抗病品种是防治该病毒病害的有效措施，但番木瓜栽培品种中缺乏抗性资源，野生番木瓜中的抗性资源又很难通过常规的杂交方法转移到番木瓜栽培品种中，因此对该病尚无其他有效的防治方法。转基因番木瓜就是在这一背景下应运而生的。

二、国内外转基因番木瓜研发

美国从 1985 年开始致力于开发抗 PRSV 的转基因番木瓜研究，1989 年对 PRSV 毒株 HA5-1 的 CP 基因进行克隆和测序，开始番木瓜胚胎的基因枪转化，在 1991 年获得了抗 PRSV 毒株 HA 的转基因番木瓜品系 55-1。1992 年 4 月，转基因品系 55-1 R0 代植株的小型田间试验在瓦胡岛进行。到了 1992 年 12 月，实验数据充分表明，品系 55-1 在田间条件下对 PRSV 的抗性表现良好。这样的田间实验是非常重要的，因为目前商业品种“日出”和“彩虹”也是通过这种田间试验开发出来的。

1992 年 5 月，在普纳的商业化番木瓜种植园中发

现了 PRSV。尽管人们通过观察和砍伐来努力抑制 PRSV 的传播，但是到了 1994 年普纳超过一半的番木瓜都被 PRSV 侵染，因此夏威夷农业研究所放弃了对该病害的扑灭程序。到了 1998 年，普纳的许多番木瓜都被 PRSV 侵染，番木瓜产量也减少到了 1992 时的一半。

1995 年 5 月，与非转基因木瓜一样，“日出”和“彩虹”在普纳开始了田间试验，以确定控制 PRSV 病害的抗性工程的成效，并评估转基因栽培品种的园艺学品质。这个田间试验对研究者、政府官员和种植者来说是非常成功和具有说服力的，这两个转基因品种特别是“彩虹”在夏威夷已进行了商业化。事实上，转基因品系 55-1 的父本和母本在 1996 年通过了美国农业部动植物健康检验局（APHIS）审查，1997 年通过了环境保护署审查，食品和药物行政部门也在 1997 年完成审查。1998 年 4 月，番木瓜行政委员会（PAC）获得了商业化转基因番木瓜的通行证。PAC 承包生产“日出”和“彩虹”的种子，随后在根据需要和生产区域 PRSV 的严重程度的抽签制度下，开始免费发放种子给种植者。

美国是世界上首先批准种植转基因番木瓜的国家。加拿大和日本是美国夏威夷番木瓜产业的两大消费市场，分别占 20% 和 11%。在 2003 年 3 月，加拿大批准了美国转基因番木瓜品系“日出”和“彩虹”的进口。日本 10 多年来对转基因番木瓜一直采取抵制措施，随着转基因番木瓜安全性的进一步确认，2010 年 5 月，日本已经允许转基因番木瓜进口本国市场。

我国华南农业大学科研人员在国内率先进行抗PRSV转基因番木瓜的基因工程研究。将我国华南地区PRSV的优势株系YS的复制酶基因转化入了番木瓜植株，获得了高抗的转基因品系——华农1号。于2006年获得在广东省应用的安全证书，在广东大规模种植后，产生了极大的经济、社会和环境效益。从根本上解决了番木瓜生产上受PRSV威胁的问题，从而恢复了番木瓜“岭南佳果”美誉，并供应国内外市场，也满足了食品工业、医药和保健等开发需要。

三、转基因番木瓜安全性

影响人类健康的致敏反应是指转基因植物中病毒序列编码的蛋白对人体的潜在过敏性。大量研究表明，转基因番木瓜的病毒蛋白对过敏安全性不构成威胁。在我们日常生活中，被病毒侵染的作物已作为日常消费品，食用有病毒的食物不表现出明显的不良反应。可能人们没有意识到，人们长时间都在消费着感染病毒的水果和蔬菜，但是也没有出现由植物病毒成分引起的不良影响。自植物病毒发现以来，至今都没有发现植物病毒可以侵染人类的案例。此外，在巴西百万棵柑橘通过接种温和型病毒株系达到交叉保护来控制柑橘腐根病毒，而且至今没有出现对人类健康的不利后果。我国对转基因番木瓜的食用安全性、过敏源性也进行了长期跟踪研究，没有发现任何安全问题。

从转基因与非转基因番木瓜青果种子、青果果肉、

熟果种子、熟果果肉中提取番木瓜中的一种内源毒物——苄基异硫氰酯（BenzylIsothiocyanate，BITC），将提取后浓缩的样品进行气相色谱分析，然后将结果进行生物统计分析，发现 BITC 的含量在转基因与非转基因番木瓜中不存在显著性差异，即转基因番木瓜对 BITC 的含量并无影响。本研究表明，转基因番木瓜不大可能有致敏性，并且内源毒物 BITC 的含量与非转基因番木瓜无显著差异。

转基因番木瓜含有抗生素抗性基因，人们担心食用这些木瓜可能会造成人类对部分抗生素产生耐药性，如其中的卡那霉素抗性基因。然而卡那霉素抗性基因来自于细菌，在培育转基因植株中广泛应用。在转基因木瓜培育过程中也用来筛选转基因植株。经过长期的研究和观察，大量数据证明卡那霉素抗性基因在转基因植物中是安全的。针对一些人的质疑，2010 年 4 月 13 日，欧盟食品安全局转基因专家小组公布一份科学报告，再次确认将卡那霉素抗性基因 Npt Ⅱ用于转基因作物的选择标记基因对人体、动物健康以及环境没有风险。

卡那霉素抗性基因是天然普遍存在的，在自然界的大量植物中，本来就存在这种抗生素。在土壤、水和其他环境，甚至在人和动物的肠胃通道里，具有卡那霉素抗性的微生物大量存在。自然界中卡那霉素抗性微生物的广泛背景，意味着人类和动物时时刻刻都暴露在卡那霉素抗性生物中，竞争并共存着。

此时人们可能还会质疑，外源基因是否有进行水平

转移的可能性呢？外源基因水平转移的可能性是非常小的，因为转基因食品中的外源基因特别是抗生素抗性基因被摄入人体后，水平转移至肠道微生物或上皮细胞，从而对人体产生不利影响的可能性非常小。目前没有基因从植物转移到肠道微生物的证据，也没有在人类消化系统中细菌转化的报道。故转基因番木瓜中的卡那霉素抗性基因对人类不存在抗生素医疗安全性的问题。

【作者简介】

李世访，男，生于1964年，研究员，博士，博士生导师。主要从事植物病毒学及抗病毒转基因研究。

转基因动物的应用与安全

陈秀萍
中国农业科学院植物保护研究所

一、什么是转基因动物?

你可曾见过会发光的动物、不怕猫的老鼠、吐出蜘蛛丝的山羊?这么神奇的动物在自然界不可能存在,但是通过转基因技术却能使这些成为现实。不通过杂交而将体外的基因导入动物个体的技术,即被称为动物转基因技术,而携带外源基因的动物则被称为转基因动物。

自 1982 年第一只转有生长激素基因的转基因鼠问世以来,世界各国都争先开展此项技术的研究,并相继获得了转基因兔、羊、猪、牛、鸡、鱼等动物。转基因动物正在改变着畜牧业生产、生物医药、环境保护、生物材料,甚至是整个生命科学的研究与发展面貌。我国是世界上较早开展转基因动物研究与开发的国家之一,1985 年我国首次在国际上获得了转基因鱼,1990 年成功地研究出了转基因猪。目前,大部分转基因畜禽已在我国获得成功,有的转基因动物品种正处于开发阶段,这些成绩引起了国际学术界和产业界的高度关注。

二、为什么要发展转基因动物?

(一) 可以改良动物生产性状，提高经济效益，增加农民和企业收入

1. 提高动物的生长速度。生长激素基因和类胰岛素样生长因子1都有调控动物生长发育的作用，如果将这两个基因转入动物体内，就可以加快动物的生长速度。目前，已获得了含有这两个基因的转基因鱼和猪。和非转基因对照相比，转基因鱼的生长速度提高了2倍，转基因猪的生长速度提高了10%，饲料转化率提高了17%，脂肪减少10%，瘦肉增加7%，如果农户和企业饲养这些长得快、肥肉少、瘦肉多的转基因鱼或猪，就可以显著减少饲养成本、提高养殖收入。

2. 提高动物的产毛性能。动物（如绵羊）的产毛性能也受一些基因的控制，如毛角蛋白Ⅱ型中间细丝基因、A2蛋白的主要成分（半胱氨酸）基因等，将这些基因转入绵羊体内就能提高绵羊的产毛性能。现有研究表明，转有这些基因的转基因羊的平均产毛量比非转基因羊提高了6%。如果农户和企业饲养这种产毛多的羊就可以提高养羊收入。

3. 改善动物的肉品质。膳食以鱼类为主的爱斯基摩人、日本北海道人和浙江舟山地区渔民，心脑血管疾病（主要包括高血压、冠心病、脑中风、脑血栓等）发病率明显低于其他区域，这主要是因为鱼类中含有丰富的长链不饱和脂肪酸。利用转基因技术，向动物体内

转入负责将饱和脂肪酸转化成不饱和脂肪酸的控制基因，就可以大大提高动物体内不饱和脂肪酸的含量，从而大大降低人类食用这些动物患心脑血管疾病的风险。

4. 可以提高动物抗寒能力。为什么有的动物能生活在天气严寒的北方，有的动物却不行呢？这种抗冻性状也受某些基因的控制，抗冻蛋白基因 AFP 就是其中一员。如果将这个基因转入鱼体内，就可以为南鱼北养、扩大优质鱼种养殖范围提供有效的途径。

5. 提高动物抗病能力。全世界每年由于动物疾病引起的损失达数以亿计。其实动物的某些疾病是受基因调控的，转入或除去某种基因可增强动物对相应疾病的抵抗力。去除牛体内的朊病毒（PrP），可预防“疯牛病”的发生。将抗流感基因、抗蓝耳病基因转入猪体内，可增强猪对流感病毒和蓝耳病病毒的抵抗能力。将溶葡萄球菌酶基因转入牛乳腺中，可防治奶牛乳房炎的发生。如果农户和企业饲养这些转有抗病基因的动物，就可以大大降低由于上述疾病引起的损失。

（二）发展转基因动物在医学和生物制药领域也具有重大意义

1. 建立人类疾病动物模型。通过转基因技术制作转基因动物模型，可以模拟人类疾病的起始和发展，并可测试比较各种治疗方案的治疗结果，最终确定最行之有效的治疗方案。现已建立的人类动物疾病模型有癌症、动脉硬化症、镰刀状细胞贫血、地中海贫血、红细胞增多症、肝炎、免疫缺陷、自发性高血压、淋巴系统病、

透纳氏症、心肌顿抑、老年痴呆症等。此外，新开发的药品用于人体之前先要进行动物试验，但许多疾病没有适当的动物模型来进行药物的评价。利用转基因技术可建立与人类相同疾病的动物模型，以利于药物筛选，其优点是准确、经济、试验次数少、显著缩短试验时间，现已成为一种进行“快速筛选”的手段。随着癌基因的不断发现，越来越多的肿瘤疾病模型被用于药物筛选。

2. 生产可用于人体器官移植的动物器官。目前，中国每年约有150万患者需要器官移植，但每年器官移植手术仅有1.1万例左右，还不到1%，供体器官短缺严重以及移植后的免疫排斥反应使99%以上的患者失去了宝贵的生命。利用转基因技术改造异种来源器官的遗传性状，使之能适用于人体器官或组织的移植，是解决移植器官短缺和移植后免疫排斥反应的最有效途径。目前最为理想的转基因动物是猪，因为其在器官大小、结构和功能上与人类较为相似。利用转基因技术敲除猪α-1,3半乳糖转移酶基因（该基因会引发免疫排斥反应），就可清除猪作为人类器官供体的一个主要障碍，将进一步推动器官移植的发展与应用。这项研究具有重要的实用价值，相信以后会有更多、更完善的改造器官用于人类疾病的治疗。

3. 可以生产医疗药品和营养保健品。将某些具有药用价值的基因转入动物体内，然后再回收这些基因的表达产物，就可以生产出具有生物活性的药物。利用转基因动物生产药物具有以下四个优点：①设备简单，不

耗能，无环境污染。动物吃的是饲料，生产出的是高营养价值的药品和具有营养保健功能的蛋白。②可生产的药物品种多，产量高，质量好。动物的乳房有强大的生产蛋白质的能力，一头优良品种的奶牛，在305天的泌乳期中可产奶＞10吨。鲜奶的蛋白质含量占3.2%～3.6%，折合每头奶牛年产纯蛋白320～360千克。一只绵羊一年可产奶300～500千克，奶中蛋白质含量约占7%，折合每只母羊年产纯蛋白20～30千克。上个世纪90年代中期，国际上就已有数十家转基因动物公司生产出贵重的药用蛋白，如α1-抗胰蛋白酶（治疗肺气肿）、人红细胞生成素（用于肿瘤化疗）、乳铁蛋白（抗胃肠道感染）、人血清白蛋白（提高人体免疫力）、人血红蛋白（治疗烧伤和血量扩积）、人凝血因子Ⅷ（治疗血友病）、抗凝血酶Ⅲ（用于动脉移植）、胶原蛋白（治疗类风湿）、血纤蛋白原（用于外科创伤）、胰岛素（治疗糖尿病）等。③生产周期短。目前一种新药从研制开发，通过新药评审，直到上市需15～20年。如果利用转基因动物，新药生产周期约5年，如以动物生命的周期计算，转基因牛从显微注射到泌乳的周期是个25～29月，而转基因羊只要18个月。④生产成本低，投资风险低，可以获得巨额经济利润。国外经济学家曾算过一笔账，若用传统的生产工艺来生产1克药物蛋白，成本需800～5 000美元，而利用转基因动物只需0.02～0.50美元。

2006年，美国GTC公司利用转基因羊生产的人抗

凝血酶Ⅲ获准在欧洲上市，成为世界上第一例成功上市的由转基因动物生产的转基因药物。2009 年重组人抗凝血酶Ⅲ获准进入美国市场，转基因动物制药正逐步走向产业化。

（三）转基因动物也可应用于生物材料、个性化宠物设计和环保等方面

1999 年，美国首次培育出羊奶里含蛛丝蛋白的转基因羊，并制造出世界上第一根人造蜘蛛丝。这种蜘蛛丝质量轻，强度是钢丝的 5 倍，弹性亦比橡胶高，适合用来制造鱼丝、手术缝线，甚至可制造超级避弹衣。2003 年春，美国一家公司获批准推出转荧光基因鱼作为观赏鱼，在 1 个月不到的时间售出 10 万条，交易额近 200 万美元，这是世界上转基因动物首次上市。

水污染问题现已成为一个全球性环境问题，城市中的工业废水、杀虫剂、生活污水等产生的化学物质和致癌物质可能会引起人类肿瘤或其他身体异常。将埃希氏菌属的 rpsL 基因转入斑马鱼中可用来检测水生环境中的有害物质，这种以转基因动物作为环境检测器的方法更快捷敏感。植物含有许多植酸磷，而普通猪不能吸收利用它，没吸收的磷流散在环境中，从而造成磷对环境的污染问题。将“植酸酶和纤维素分解酶”基因转入猪体内，便可减少猪粪便里的磷含量，以减少环境污染机会。

三、转基因动物安全吗？

尽管转基因动物将为人类带来巨大的益处是人们所

共识的，但目前转基因动物真正意义上的商业化生产还未展开。这里面除有技术因素之外，人们考虑更多的还是安全性问题。

（一）转基因动物食品安全吗？

转基因动物食品是否安全关系到人类自身的安全问题，人们对转基因动物食品主要存在以下担忧：①和非转基因动物食品相比，转基因动物食品的营养成分是否会发生变化？是否会出现抗营养因子？②是否会出现新的过敏源？由于导入基因的来源及序列或表达蛋白质的氨基酸序列可能与已知的致敏源存在同源性，导致过敏发生或产生新的过敏源。③是否会产生有毒物质？在转基因食品加工过程中，由于基因的导入可能使得病毒蛋白发生过量表达，产生各种毒素。④食用转基因动物食品后是否会致病？⑤除目的基因外，引入的抗生素标记基因和报告基因是否安全？

从理论上来说，无论转基因食品还是药品，转入动物体内的基因都是天然存在的，人们平常吃的东西中就含有这些基因，用转基因技术仅仅是把这种基因转到其他动物体内进行生产后再分离出来。因此，在理论上转基因药物和食物是有一定安全保证的，而不是合成新的东西。当然，我们不能仅停留在理论性的安全上，还要做更多的安全性实验。现有的转基因食品饲喂实验表明，摄食转基因动物食品对小鼠和大鼠的生长、脏器发育、血液生理生化指标、繁殖能力及其后代的生长发育均无显著影响。

（二）转基因动物自身安全吗？

由于转基因操作方法的自身缺陷，可能会影响到转基因动物的健康状况。由于外源基因在受体基因组中的整合位点是随机的，因此外源基因的整合给动物带来的伤害是难以控制的。然而我们可以选择插入位点对动物影响小的，而实际上，有严重影响的插入事件往往因为动物死亡或者发育的缺陷而会被排除。另外，转基因表达也会对动物产生一定影响，转入基因的插入突变、异位表达、修饰、表达产物自身等都有可能对动物自身健康造成影响。因此，对转基因动物自身安全性进行检测与评估是必要和迫切的。

（三）转基因动物对环境会产生怎样的影响？

转基因动物对于生态环境的影响，人们主要有以下几个方面的顾虑：①对生物多样性的影响。②对非靶标生物的影响。③基因漂移对生态环境和农业生产的影响，包括外源基因是否有可能向相关植物、动物和微生物发生水平转移，造成基因漂移。④是否会引发新的环境问题，如是否会对抗生素产生耐药性、是否会产生新病毒。⑤转基因动物是否会演变为有害生物，或演变成优势物种从而破坏生态平衡。

对于环境安全，人们主要是对转基因鱼所存在的生态风险担忧，鱼类易于逃逸、扩散，有很大可能性影响生物多样性并对野生基因库造成污染。除转基因鱼外，转基因动物中规模稍大的就是家养动物（猪、牛、羊等），其去向比较容易跟踪。另外，因其对环境的适应

能力较低，很容易控制和捕捉，只要管理科学、措施得当，不会存在有很大的环境问题。目前，国家专门设立了研究转基因动物安全性的项目，说明国家对转基因动物的安全性是非常重视的，并且现在也有来自国外的经验可以借鉴。

四、转基因动物的发展前景

转基因动物作为一项只有二十几年研究历史的生物高新技术成果，涉及农牧业、生物医学和药物产业等诸多方面，显示出了广阔的应用前景与重大的应用价值。虽然转基因动物至今还没有真正进入产业化和市场化，但随着理论上和技术上不断完善，转基因动物及其相关产品必将对人们的健康和社会发展产生巨大的影响。从目前的发展趋势可以看出，转基因动物的研究和应用，将是21世纪生物工程技术领域最活跃、最具有实践应用价值的技术之一。随着相关法规的出台，无疑会加速和正确引导转基因工程产品的研究和开发，相信在不久的将来，转基因动物生产将会成为生产行业中的一项新兴产业。因此，充分利用转基因技术的潜在价值，实现转基因技术实用化、商业化和转基因动物的产业化。

【作者简介】

陈秀萍，女，生于1980年，博士，助理研究员。主要从事转基因植物对农田动物的影响及转基因动物环境安全性研究。

转基因生物安全性分析

刘　方

中国农业科学院棉花研究所

所谓转基因，是指利用分子生物学手段将人工分离和修饰过的基因导入受体生物基因组中，以改善生物体的特定性状。目前，最常见的转基因技术就是给作物转入抗虫的 Bt 基因，这是一种源于土壤的苏云金芽孢杆菌（*Bacillus thuringiensis*，简称 Bt），能让作物产生对害虫有害的 Bt 毒蛋白。

社会上对转基因食品的安全性问题争议很大，我想从以下几个方面，阐述自己对转基因食品的一点认识。

一、转基因食品相对于天然食品的优势

（一）转基因食品通常比同类非转基因食品便宜

因为其生产成本比较低、产量比较高。有人说种植转基因作物其实既不能降低成本也不能增产，如果那样的话，农民种转基因作物干什么？难道是因为热爱转基因所以赔本也要种？事实当然并非如此。由于种植抗除草剂转基因作物能消灭杂草并减轻劳动强度，种植抗虫害转基因作物能节省 80% 的农药，生产成本随之下降，

产量也相应地提高了。例如，抗虫害转基因玉米能增产5%～15%，抗虫害转基因水稻能增产6%。

（二）转基因食品比较安全

和同类作物相比，抗虫害转基因作物能大量地减少农药的使用，也就比较不用担心农药残留的问题。而且，转基因食品受到了严格的监管，风险其实要比传统作物更低。转基因食品在上市前，都按要求做过实验检测其安全性。一般是先做生化实验检测，看看转基因作物与同类作物相比，在成分方面出现了什么变化，这些变化是否有可能对人体产生危害。然后做动物试验，看看转基因食品是否会对动物的健康产生不利的影响。而用传统育种方法培育出的新品种很少被要求做这类安全检测，它们并非就绝对安全。例如有的用杂交方法培育的马铃薯新品种，就含有高含量的毒素，会对人体造成伤害。

（三）转基因食品更为环保

虽然“可能会破坏生态”常常被作为反对种植转基因作物的一大理由，但是这种可能性并没有变为现实。相反的，种植转基因作物已经实实在在地发挥了保护环境的作用，原因很简单：少施了大量的农药。这既减轻了农药对环境的污染，又减少了用于生产、运输、喷洒农药所耗费的原料、能源和排出的废料，还保护了益虫和其他生物，减少了人、畜接触杀虫剂而中毒的危险。尽管目前还没有表达高产基因的转基因作物投入产业化，但是提高抗虫性能的同时，也意味着人们能

“虫口夺食”。黄季焜以多年的量化研究表明，大田试验中的抗虫转基因水稻由于大大减轻虫害，比对照组产量提高6%～9%。

（四）转基因食品营养含量更丰富

虽然对于转基因食品还存在这样那样的争论，但它的优势还是表现得越来越显著。在美国得到普遍种植的转基因玉米中色氨酸含量提高了20%。色氨酸是人体必需的氨基酸，自己无法合成，只能从外界摄取，一般植物性食品中色氨酸含量很低甚至没有，只有从动物性食物中获取。转基因玉米的出现，对于素食主义者而言，无疑是个喜讯。不饱和脂肪酸的含量大增的转基因油菜，对心血管有利。转基因工程牛奶，增加了乳铁蛋白、抗病因子的含量，降低了脂肪含量……

转基因食品的外表和天然食品没有多大差别，它的味道与天然食品相似，或许更好一些。有的转基因食品中添加了提高蛋白质、维生素含量的基因，还能给人体补充适量的营养。可以说，转基因食品并不可怕，人们早就享受了杂交水稻煮出的饭香，而杂交水稻就是一次性转移了无数个基因，也可以算是转基因植物。而转基因食品中含有的抗虫、抗病基因，对人体并没有杀伤力。

二、转基因作物推广的必要性

对于中国这样一个发展中的人口大国而言，从某种程度上说，解决全国人民的粮食问题不容忽视，甚至把这一问题凌驾于食品安全问题之上。

中国科学院2005年一份报告显示，到2050年，中国将有75%的人口居住在城市。中国平均每年要失去近100万公顷的耕地面积。“人口却在继续增长。现有的技术无法继续提高农作物产量，需要另辟蹊径”。中国科学院遗传与发育生物学研究所研究员朱祯所说的“另辟蹊径”，指的就是转基因。

自1994年转基因西红柿被美国食品与药物管理局（FDA）批准在美国上市销售以来，全球约有10亿多人食用过数种转基因食品。至今为止，并没有发现转基因食品危害人体健康和环境的确切证据。从理论上，转基因食品的主要营养构成与非转基因食品并没有区别，还是由蛋白质、碳水化合物和脂肪等物质组成，不会影响人类的饮食结构，也不会对人体健康带来负面影响。

西方发达国家已充分认识到转基因食品的发展前景，并注入大量资金。在我国，人多地少状况突出，基因工程是解决粮食产量、提高粮食质量的重要途径。近年来，我国转基因食品的研究有了长足的进步。随着转基因食品商业化的步伐不断加快，转基因食品必将成为人们餐桌上的美味佳肴。

2001年以来，我国相继颁布实施了《农业转基因生物安全管理条例》及若干配套的管理办法，将转基因食品纳入了法制化监管，也保证了消费者的知情权。国家农业转基因生物安全委员会专门设立食品安全组，对转基因食品的营养成分、毒性、致敏性和可能的非期望效应等进行科学、严格的安全评价。国家相关部门官

员表示“安全和不安全只是个相对的概念，凡是经批准生产的转基因食品，都进行过安全评价，所以食用是安全的，可以放心食用”。

虽然转基因食品自身或因其转基因技术的不完善可能会对人类健康形成威胁，从日常食用量和营养成分的有益性考虑，只要有益性大大地大于危险性，就可以认为这样的食物是安全的。在世界各个国家，每一种转基因食品在上市前，都要经过政府有关部门的严格检测，只有测试合格了，才能投放市场，因此可以对转基因食品的安全性放心。毕竟，客观事实是转基因技术推广的这些年来，还未发现对人体健康产生危害的案例。

基因工程可以从本质上改变生物体的构造，这是科学史上的重大进步，同样也可能会给人类社会带来某种程度的隐患。尽管转基因作物的确存在潜在的食品安全和环境安全等问题，但绝不能成为阻碍其发展的理由，而应该发现问题和努力解决问题。因此，在对待转基因作物的发展方面，既不能盲目和激进，又不能因噎废食，应该进行科学而全面的分析，在生物安全评估的基础上和法律法规的约束下，制订完善的研究、生产和利用的规范和标准，引导转基因作物在我国健康、有序地发展。

【作者简介】

刘方，男，1971 年生，硕士，副研究员。长期从事棉花种质资源与分子生物学研究。

转基因抗虫水稻对农田生态环境安全吗

李云河

中国农业科学院植物保护研究所

水稻是我国主要粮食作物之一，在粮食安全中占有极其重要的地位，常年种植面积近3 000万公顷，占全国谷物种植面积的30%，世界水稻种植面积的20%；稻谷平均单产6.212吨/公顷，是单产最高的粮食作物。然而，水稻也是受虫害侵袭最为严重的粮食作物之一。全国稻区病虫害常年发生面积在1亿公顷次以上，每年可造成稻谷损失约60万吨。特别是21世纪以来，受气候、品种、栽培方式、生态环境等因素的综合影响，水稻病虫暴发频繁，危害程度加重，防控压力增大，严重威胁水稻生产安全。因此，有效地控制水稻害虫对水稻增产具有重要意义。通过化学杀虫剂控制水稻害虫，不仅生产成本高，且对生态平衡造成破坏，对人、畜健康危害严重，农药残留对人类生存环境造成长期影响，害虫也产生了抗药性。因此，培育具有抗虫能力的水稻新品种，成为控制水稻害虫的重要途径。但由于在现有的水稻种质资源中，只有极少数野生水稻对螟虫具有一定

抗性，而且很难加以利用，常规育种受到了很大限制。利用转基因技术，我们可以从其他生物体内如土壤细菌苏云金芽孢杆菌（Bt）中筛选出抗水稻害虫的基因，通过修饰改良后转入水稻的细胞中。这些基因在水稻中表达一种蛋白（如 Bt 蛋白），其能专一性非常强地杀死某一类害虫。比如，2009 年 8 月，农业部给颁发了生产应用安全证书的抗虫转基因水稻“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”表达的 cry1Ab/cry1Ac 蛋白，能选择性地杀死水稻鳞翅目害虫如稻纵卷叶螟、二化螟、三化螟等。

大量权威数据表明，传统农业会对环境造成严重伤害，转基因技术可以大大减少农业对环境的影响。在第一个转基因作物商业化种植的 10 年取得的进展，包括杀虫剂的使用明显减少，化石燃料的节省，通过少耕或免耕减少 CO_2 排放，通过除草剂耐受性的应用实施免耕种植来保持水土。1996—2008 年，全球对农药活性成分的节约累计达到约 3.56 亿千克，相当于节约了 8.4% 的农药，这相当于在作物上减少了 16.1% 的杀虫剂。这些变化都会对农户收入、农民健康及农业生态环境改善有正面影响。

具体到转基因抗虫水稻，我国科学家通过对转基因水稻和非转基因水稻种植农户的追踪调查，研究了处于生产性试验阶段大田种植的转基因水稻品种对农民生产和农民身体健康的影响。结果显示：转抗虫基因水稻品种较相对应的非转基因水稻品种增产 6% ~9%，种植

转基因水稻品种可降低 80% 的农药施用量。这样，种植转基因抗虫水稻将降低稻农的生产投入，明显提高农民的收入。同时也因为降低了农药施用量而有效地改善了自然环境，并降低因为农药施用过程中对农民健康产生的负面影响。因此，中国的植物生物技术产业的发展，不但会提高中国在该领域的国际竞争力，也能明显提高国内农民收入，保护农民健康，降低农药污染，改善农业生态环境。

公众质疑转基因作物的一个焦点是其对生态环境的安全性，主要包括对非靶标生物的影响、转基因作物外源基因飘移、对生物多样性的影响、转基因作物杂草性、靶标害虫的抗性进化等。我国对转基因作物的生态风险评价及管理非常重视，制定了一系列的转基因作物安全评价程序、方法和管理措施，如《农业转基因生物安全管理条例》、《农业转基因生物安全评价管理办法》、《转基因植物安全评价指南》等。我国科学家也对转基因抗虫水稻的环境风险做了相当充分的研究。大量研究结果说明：①现有转抗虫基因水稻所表达的 Bt 杀虫蛋白专一性很强，对非靶标生物没有毒性影响。②转基因 Bt 水稻与非转基因对照水稻相比，在有性生殖特性和生殖率、花粉传播方式和传播能力、有性可交配种类和异交结实率、花粉离体生存与传播能力、落粒性和落粒率、休眠性和越冬能力、生态适应性和生物量等性状上，均未发现明显的差异，在杂草性和入侵性方面也未发现差异。③转基因水稻基因漂移的基本规律与

常规品种是一致的，而且没有发现转基因抗虫水稻外源基因漂移对农田生态和自然环境安全有不良影响。④田间试验结果显示，转基因水稻对非靶标害虫、稻田天敌、益虫、经济昆虫等主要昆虫种群结构和功能以及节肢动物多样性没有不良影响。⑤根据 Bt 棉花的利用经验，通过采取一定的措施，水稻螟虫对 Bt 蛋白的抗性发展是可以控制和治理的。

综上所述，转基因抗虫水稻的利用，不但能有效地控制水稻害虫的危害，为水稻的高产提供保障，而且由于转基因抗虫水稻的利用将大大降低农药的使用，降低了成本投入，增加了农民收入，保护了农民健康。广谱杀虫剂施用量的降低有效地保护了稻田有益生物，提高稻田生物多样性，保护和改善农田生态环境。可以毫不夸张地说，转基因技术的发展无疑将为我国现代农业的持续健康发展提供契机。

【作者简介】

李云河，男，生于 1977 年，博士，副研究员。主要从事转基因作物环境安全评价研究，包括转基因作物对靶标及非靶标生物的影响和靶标害虫的抗性治理等。

转基因作物及其食品安全

郭宝生　耿军义　刘素恩　王凯辉
河北省农林科学院棉花研究所

我国是全球最早开发和应用转基因作物的国家之一，商业化种植的转基因农作物主要是转基因棉花，还有小面积的转基因马铃薯和南瓜。王贵彦等对我国转基因棉花种植情况进行了调查，结果表明，种植转基因抗虫棉在一定程度上增加了棉农家庭收入，其净产值和家庭经营及生活消费支出有较大的相关关系。Clive James在“2008年全球生物技术—转基因作物商业化发展态势——第一个十三年（1996—2008）”一文中指出，全球转基因作物种植面积逐年大幅度扩增，农户种植积极性极高，这反映出农户对转基因作物的满意度，转基因作物为发展中国家和发达国家的大型和小型农户带来重要的经济、环境、健康和社会利益。并且种植抗病虫害、抗除草剂的转基因农作物可以显著减少作物生长过程中农药的使用量，从而降低农业生产对环境的污染。据国际农业技术应用服务组织（ISAAA）报告，1996—2006年因种植转基因抗虫棉累计少使用杀虫剂有效成分约30万吨，使全球农药对环境的破坏性影响降低了

15.5%，2007年减少使用杀虫剂14万吨。

但是，继《国际先驱导报》记者金微刊发“中国成为国外转基因粮的生死试验场”、“民族的噩梦”等报道后，有关转基因水稻商业化种植的各种担忧在网络上疯传，并逐渐蔓延形成一种恐慌。有的论坛还发起“反转基因主粮”的签名活动。加之有些别有用心的人推波助澜，谣言四起。作为一名科研人员，我们必须利用科学的态度，面对民众的质疑，用科学知识和理性分析来面对谩骂指责。

从科学的角度综合分析，导致公众对转基因生物担忧的因素主要有：转基因生物是否可能产生新的有害物质或过敏源？自身能制造杀虫毒素的转基因作物，毒素是不是可能伤害其他生物，或进入食物链威胁家畜与人类健康？涉及生态环境的转基因作物可能与野生亲缘作物或其他物种杂交，造成“基因污染”，可能导致对其毒素有抵抗力的害虫获得生存优势，成为新的“超级害虫”？作为科学研究者，我们必须直面这些问题，给公众一个满意的答复和进一步的科普服务。

首先讨论目前人们最关心的转基因食品的安全性。转基因食品是通过基因技术加入了外来基因或去除原有基因的作物加工而成的食品。许多人担心，吃了转基因食品，动、植物的基因会转移到人体中。这是由于不了解基因作用原理而产生的一种误解。几乎任何来源于动、植物的食品都含有基因，不论基因的来源如何，构成基因的物质DNA（脱氧核糖核酸）进入人体后，都

会被酶分解成小分子，不可能将外来遗传信息带到人的基因组里。从这个角度上说，转基因食品与传统食品并没有差别。目前争议最多的是转基因水稻的食用安全，当前获得安全评价的转基因水稻是在水稻中引入抗虫基因，使得水稻能分泌一种 Bt 毒蛋白物质，水稻螟虫食用后会被毒死，因而能够产生防虫效果。中国科学院植物研究所研究员蒋高明曾经质疑："水稻是人类的主粮，昆虫无法下口，人类长期食用难道就没有害处吗?"连植物研究领域知识渊博的高级知识分子都心存疑问，何况普通民众。这种逻辑一度使许多人感到迷惑，并且弄得满城风雨，谈"基因"色变。其实不必大为惊慌。在信息发达的今天，查阅大量 Bt 基因研究的文献我们就会发现，Bt 毒蛋白正是对人体最安全的天然杀虫剂之一。它来自于苏云金芽孢杆菌（拉丁学名 *Bacillus thuringiensis*，因此简称 Bt），是杆菌芽孢中分泌的一种蛋白质晶体，称为"内毒素"。这种内毒素仅对鳞翅目类昆虫有毒，对人和其他动物（包括鳞翅目类昆虫以外的其他昆虫）均是无毒的。鳞翅目类昆虫吃了苏云金芽孢杆菌的芽孢后，内毒素晶体在昆虫的肠道中溶解，并经过昆虫肠道中的蛋白酶加工，被激活变成了有毒性的蛋白毒素，与肠道细胞表面上的受体结合，造成昆虫肠道穿孔。昆虫因此不再进食，1～3 天后就饿死了。很早以前，这种生物毒素就被作为生物农药使用，向农作物喷洒。所谓"有机作物"、"绿色作物"并不是不使用农药，而是喷施 Bt 内毒素这样的生

物农药。1981 年，编码 Bt 内毒素的基因被克隆出来，并将该基因转入到作物细胞中，这样培养出来的转基因作物也能分泌内毒素，害虫吃了转基因作物的叶子后，内毒素将其毒死。因此，栽培抗虫转基因作物，可以不用或者少用农药。目前栽培最多的是转基因抗虫棉花。为什么 Bt 内毒素对人、畜无毒呢？这有几方面的原因：一是在吃食物时一般是要加热、煮熟才吃的，内毒素是一种蛋白质，蛋白质加热后会变性，实验表明，内毒素在 60℃的水中煮 1 分钟就失去活性。二是即便是生吃也没有关系，内毒素只有在鳞翅目昆虫肠道碱性环境下才能加工成有毒的蛋白，而人和牲畜的胃环境是酸性的，它们肠道细胞表面不含有毒素蛋白的受体，因此不会中毒。被人和牲畜吃下去的内毒素，会像其他蛋白质一样被消化、分解掉。三是每一个转基因生物的大规模生产均需在隔离环境下经过严格的试验，确保安全以后方可生产应用。世界上许多国家使用 Bt 内毒素作为生物农药已有几十年的历史，美国大面积种植含 Bt 基因的抗虫害转基因作物也已有 10 多年的历史，迄今未发现一例人、畜因吃这种作物中毒的。此外，由于昆虫和人的生理状况不同，能杀死昆虫的，却不一定能危害人体。许多蔬菜、水果由于含有天然杀虫素、驱虫素，虫子是不吃的，但是我们人却大吃特吃，例如西红柿、柑橘、葱、蒜、辣椒、胡椒等。这些天然杀虫剂、驱虫剂某些可能不利于人体健康，但是也有些不仅对人体无害，甚至可能有益，例如柑橘含有类柠檬酸，是一种天

然的驱虫剂，有些报道说该物质还具有抗癌作用。

生物学界对转基因作物的危害性争议起因源于苏格兰的一位免疫学家普兹太（Armand Putztai），他在1998年在英国电视上接受采访时声称，根据他的研究结果，转基因马铃薯对老鼠有毒，能破坏老鼠的免疫系统，欧洲舆论因之大哗，这也成为欧盟限制转基因食物的导火线。他的这项研究终于正式发表的时候（1999年发表在医学刊物《柳叶刀》上），对转基因作物的争议已越过大西洋到达了美国。1999年3月，3 000多名示威者在“生物2000年”大会在波士顿召开之际，举行了反基因食物大示威，引起了全美国的关注。1999年5月，美国康奈尔大学洛希（John Losey）实验室向英国《自然》杂志报告说，他们用沾有抗虫害转基因玉米花粉的草叶喂养大花蝶的幼虫，导致这些幼虫死亡。这两项研究成了反对转基因作物的活动者反复提及的“经典”研究，涉及了两个主要问题：转基因作物是否有害人体健康？是否会破坏生态环境？

在普兹太的研究中，他向老鼠喂食能产生抗虫害凝集素蛋白的转基因马铃薯，发现老鼠的肠道受到损害，得出结论这是转基因食物所导致的。这项研究遭到了众多的批评，包括缺乏合适的空白对照以及用于喂养老鼠的膳食营养结构不平衡，后者也可能导致观察到的病变。转基因作物往往是过量地制造某种外源的蛋白质，即使无毒的话，是否能导致过敏？这是更值得关注的问题。如果一种蛋白质不会导致过敏，那么制造它的转基

因作物也不会导致过敏。例如还未发现有人会对植物铁蛋白过敏，那么提高铁含量的转基因大米也不会因此使人过敏。那些会使某些人过敏的蛋白质如果被导入作物中，则有导致过敏的可能性。研究人员在研究转基因作物时，已充分考虑到这个问题。过敏症的患者90%以上是对牛奶、干果、蛋类、海产品、小麦、豆类过敏，因此来自它们的基因将不被采用。例如，为了增加大豆中的甲硫氨酸的含量，一种巴西干果的蛋白质基因曾被转入大豆，实验发现这种大豆可能引起过敏，因此该实验随即被终止。对转基因作物制造的新蛋白质，其化学成分和结构与已知的500多种过敏源做比较，如果具有一定的相似性，也会被放弃。大部分的过敏源都难以消化，因此转基因产生的新的蛋白质要检测是否能够被消化，如果不能，该转基因食物也不能供食用。在经过了严格的检测和管理之后，含有过敏源的转基因食物能够上市的可能性很小。我国的转基因水稻“华恢1号”做过两年的动物实验，包括大鼠多代繁殖的实验。其安全评价做了11年，才拿到安全证书。这在世界范围内，也算是非常严格的了。

我们再来看看对生态环境的可能影响。抗虫害转基因作物分泌的毒性蛋白，除了毒死特定的害虫，有没有可能也毒死其他生物？洛希等人对大花蝶的研究，想要说明的就是这个问题。这个研究结果也备受非议，被指责无法重复，实验用的大花蝶幼虫被强制只喂食沾转基因玉米花粉的草叶而没有其他选择以及实验用的转基因

玉米花粉含量过高。根据美国环境保护局的估计，草叶表面上转基因玉米花粉的数量达到每平方厘米150粒时，也不会对昆虫造成危害；而在田野，草叶表面所沾的玉米花粉数量只有每平方厘米6~78粒。因此在自然环境中，转基因玉米花粉不会危害大花蝶幼虫。还有一项研究表明，抗虫害转基因玉米的根部能分泌毒性蛋白，可能会在土壤中累积起来危害其他生物。这项研究是将玉米种植在培养液中，从培养液提取毒性蛋白喂养天蛾幼虫。其他研究者发现，如果将玉米长在土壤中，其根部分泌的毒性蛋白会迅速被降解掉，而失去了毒性。近期闹得沸沸扬扬的广西转基因玉米与大学生精子活性下降的报道，如果仔细阅读相关报道，我们发现两者之间根本没有直接联系和相关证据，更没有相关的科学实验。

转基因技术是一种新的尖端生物技术，在提高粮食产量、减少农药使用、生产含有更多营养成分的健康食物方面有巨大潜力。公众存在担忧情绪，主要是怕它被错误地利用。与任何食品一样，转基因食品的安全性需要慎重对待和严格管理，转基因作物对生态环境的长远影响也需要更多的跟踪研究。面对转基因食品，我们需要的是严谨的科学态度，而不是简单地给予偏见或排斥。复旦大学教授、国际生物安全研究学会主席卢宝荣指出，我国已经建立完善的转基因食品评价和管理体系。任何一种转基因产品进行商品化，都必须进行严格的申报、审批，得到相关证实才能进行商品化。另外，

上海交通大学教授、国家农业转基因生物标准化委员会委员张大兵指出，我国的转基因食品检测技术已经达到国际先进水平，与欧盟等地区的技术非常接近，转基因食品检测的时间也很快，这些说明我国的转基因食品安全有相对严格的保障。

【作者简介】

郭宝生，男，生于1971年，硕士，副研究员。主要研究方向为棉花分子标记利用与特色转基因棉花新品种选育。

如何保障转基因牛新品种的产品安全性

石德顺　刘庆友
广西大学

转基因牛新品种的主要产品是奶和肉。由于转入目的基因的表达产物多为对人体健康有益的物质，故而转基因牛新品种的奶和肉一般来讲对人体是安全的。

一、转基因牛的外源 DNA 对人体产生直接毒害的可能性很小

所有的食品中都含有 DNA，并被大量吞食。据统计，一个人每天膳食所摄入的 RNA 和 DNA 大约为 0.1～1 克。而转基因食品中新的外源 DNA 一般约占该食品总 DNA 的 0.000 4%。所以，外源 DNA 转移到人体内的可能性很小。目前所有的资料都不能证明食物性 DNA 能够转移并稳定地存在于哺乳动物个体的细胞内，也不可能通过生殖系统传递到后代。因此，转基因牛产品中的外源基因本身对人体产生直接毒害作用的可能性很小。按照有关法律，对转基因牛的产品进行安全性评价后，可进一步确保其安全性。

二、外源基因编码蛋白对人体是否有直接毒性的分析

影响食品中某种蛋白质食用安全性的因素包括该蛋白质的化学组成、含量，每天的摄入量及其在消化道中的稳定性等。通常可以从两个方面对转基因食品中外源基因编码蛋白食用安全性进行评估。一是根据外源基因编码蛋白的化学组成判断其毒性，二是采用动物试验或模拟试验评估其毒性。由于所用目的基因的表达产物多为对人体健康有益的物质，故而其产品对人体有毒害作用的可能性很小。只要按照有关法律和标准对转基因牛产品的安全性进行评估后，可确保其安全性。

三、外源基因中的抗生素标识基因引起人体的抗药性分析

目前没有证据证明抗生素标识基因对人体健康会产生危险，也没有发现该基因转移到人体肠道微生物并使后者产生抗性，但不能排除这种可能。专家估计发生抗生素基因转移到人体病原菌的几率较小。目前我国对用于食用的转基因生物采取标记基因去除的策略，可进一步降低这种可能性。

四、转基因牛产品是否存在过敏源的分析

常见的食物过敏反应是通过过敏源特异的 IgE 抗体导致的。对于转基因食品是否会产生过敏反应，一般从

以下两个方面考虑。首先，转基因食品中的外源基因所表达的蛋白质是传统食品中所没有的新蛋白。其次，还应该考虑到有一部分天生食物易过敏的人群存在。人体已经接触的天然产物，一般不会产生过敏反应。通过进一步的安全性评估后，可确保其安全性。

五、环境安全分析

由于畜禽等均为高等动物，存在严格的生殖隔离，故而转基因牛携带的基因不会因为环境释放而对周围环境的物种造成影响，改变现行的生态环境。此外，我们选择的基因都是对动物自身健康有利的，其表达产物随着粪便排出而对环境物种的生存造成影响可能性很小。相反，由于转移了某些抗病基因而可能扼制某些重大疫病的传播。因此，只要我们按照有关法律和标准对转基因牛进行严格管理和环境释放前的安全性评价，转基因动物对环境是安全的。

总之，通过按照转基因生物安全性的有关法律和标准对转基因牛进行严格管理和全面检测、评价后，将可确保转基因牛新品种的产品是安全的。

【作者简介】

石德顺，博士，研究员，博士生导师。长期从事动物细胞与基因工程的研究工作，先后研究成功了我国首例胚胎细胞克隆牛，世界首例受精卵冷冻保存的试管牛、体细胞克隆水牛、转基因水牛和转基因克隆水牛。

转基因作物是安全的

王宝祥　江玲
南京农业大学

2009年，转基因抗虫水稻和高植酸酶玉米获农业部颁发的转基因生物安全证书。作为转基因农作物上市最为关键的一环，安全证书的颁发意味着该品种的生产性试验结束，并获得国家主管部门在生物安全方面的认可。已研发多年却很少为公众关注的转基因粮食终于吸引了人们的目光，并且导致争论的热潮。作为一位从事作物遗传育种的科研工作者，我想说转基因食品是安全的，国家应该加快这方面的投入和研究。

作物是直接或间接为人类需要而栽培的植物。作物的产量、品质、抗性等性状均是由多个基因共同作用所控制的。那么什么是基因呢？基因是遗传的物质基础，是DNA（脱氧核糖核酸）分子上具有遗传信息的特定核苷酸序列的总称，是具有遗传效应的DNA分子片段。基因通过复制可以把遗传信息传递给下一代，使后代出现与亲代相似的性状。每一个物种的遗传基础都是一样的，都是由几万个基因所控制的。基因通过复制、表达、修复，完成生命繁衍、细胞分裂和蛋白质合成等重

要生理过程，实现对产量、品质、抗性等各种性状的控制。而转基因技术，就是将人工分离和修饰过的基因导入到生物体基因组中，由于导入基因的表达，引起生物体的性状的可遗传的修饰，这一技术称之为转基因技术(Transgene technology)。利用转基因技术可以改变动、植物性状，培育新品种。也可以利用其他生物体培育出人类所需要的生物制品，用于医药、食品等方面。

转基因是人类驯化植物的一个新的阶段。人类今天种植的作物，没有一种是“自然”的，全都是人工改造过的。远古时代，人类在种植过程中，发现有的植株有人们想要的性状（比如产量比较高、味道比较好），于是其种子被保留下来，继续种下去。在下一代中，又选择“品质”最好的往下种，这样一代代地选择下去，就能得到“优良”品种。后来达尔文把这个过程称为“人工选择”。1719 年，英国植物学家费尔柴尔德发明了一种创造作物新品种的方法——杂交育种，把作物的不同品种进行杂交，在其后代中选育具有优良品性的品种。1930 年，植物学家发现使用秋水仙碱能够有效地克服远缘杂种不育的难题。之后又发明了细胞质融合技术，把来自两个物种的细胞融合在一起，从中培育出杂交后代。“二战”后，诱变育种获得了广泛应用。它通过使用化学诱变剂或辐射来诱发种子产生基因突变，从中筛选出具有优良性状的新品种。比起杂交育种，诱变育种直接改变生物体的遗传物质，创造出了新的基因。育种家在使用这些技术时，其实是相当盲目的，并不知

道他们给植物新品种引入了什么基因。从遗传学诞生日起，人们就梦想着有一天能够直接而精确地改变生物体的基因。1980 年，分子生物学家首次把外源 DNA 结合进了植物细胞中。这意味着人们很快就可以培育出转基因植物。3 年后，第一种转基因植物（一种携带了抵抗抗生素基因的烟草）诞生了。1985 年，能抗虫害、病害的转基因作物开始了田间试验。1996 年，美国等开始大面积种植转基因抗除草剂大豆。因此，转基因作物的出现是人类认识自然的一个必然阶段，是科学技术进步的一个必然结果。

有些人认为“转基因”是要转变人体的基因，担心吃了转基因食品会把自己的基因转掉了，担心对我们身体不利的基因跑进我们的体内。这种担心是没有科学依据的。所有生物的所有基因的化学成分都是一样的，都是由核酸（DNA 分子）组成的。不管转的是什么基因，是从什么生物身上来的，它的化学成分也和别的基因没有什么两样，都是由核酸组成的。这个基因同样要被消化、降解成小分子，才能被人体细胞吸收。所以，这个外源基因是不会被人体细胞直接吸收、利用的。

有些人认为，那些转基因抗虫作物对害虫有极大的抑制作用，那么也可能对人类不利。实际上，转基因抗虫作物是转入了源自苏云金芽孢杆菌（拉丁学名 *Bacillus thuringiensis*，简称 Bt）的一个基因。苏云金芽孢杆菌在它的芽孢中会分泌一种称为“内毒素”的蛋白质晶体。害虫吃了苏云金芽孢杆菌的芽孢后，内毒素晶体

在昆虫的肠道中溶解，并经过昆虫肠道中的蛋白酶加工，被激活变成了有毒性的蛋白毒素，与肠道细胞表面上的受体结合，造成昆虫肠道穿孔。很早以前，这种生物毒素就用作生物农药。转基因技术是把编码内毒素的基因克隆出来，并转入作物细胞中，培养出来的转基因作物能分泌内毒素，害虫吃了转基因作物的叶子后，也吃进了内毒素，将会被毒死。而人类肠道细胞结构和害虫的完全不同，由于人体内没有毒蛋白的结合位点，因此，这种内毒素对哺乳动物是无害的。

转基因作物往往是过量地制造某种外源的蛋白质，即使无毒的话，是否能导致食用者过敏？研究人员在研究转基因作物时，已充分考虑到这个问题。如果一种蛋白质不会导致过敏，那么制造它的转基因作物也不会导致过敏。过敏症患者90%以上是对牛奶、干果、蛋类、海产品、小麦或豆类过敏，因此来自这些过敏源的基因几乎不会被采用。考察转基因作物产生的新蛋白质是否具有过敏性，需要在实验研究早期将其氨基酸序列与已知的500多种过敏源做比较，如果具有一定的相似性，相关的转基因研发一般都会被终止。大部分的过敏源都难以消化，因此，还要检测转基因产生的新的蛋白质是否能够被消化，如果不能，该转基因生物也不能供食用。在经过了严格的检测、评价和监管之后，含有过敏源的转基因食物能够上市的可能性几乎为零。

另外，反对者还认为，转基因会造成基因污染，引起生物安全上的问题。自有农业生产以来，人类就开始

了对农作物品种的选择。最初的选择是利用自然突变和天然杂交所产生的优良后代，随后开始了有意识的杂交选育过程。无论天然杂交还是人工杂交，都是一个生物个体的全基因组与另一个体的全基因组融合并在后代中发生重组的过程，因而都是广义的转基因的过程。传统方法尽管已培育出大量的好的品种，但工作量巨大，且由于基因重组、基因突变的随机性、不确定性，选择效率较低。而转基因动、植物则是移植人工设计和装配的有某些特定性状的基因，它们能在相对短得多的时间内获得预期的目标性状。如转基因植物，可获得高产、优质、抗旱、抗盐碱、抗病虫害、抗倒伏、抗除草剂、固氮、延熟保鲜等新特性。这些新特性的突变和基因交换在自然状态下是非常缓慢发生的，从生物安全性这一角度分析，转基因动、植物与传统嫁接植物、杂交动物相比，人为加快了基因选择和转移的过程，没有本质不同。

【作者简介】

王宝祥，男，1981 年生，博士。研究方向：水稻遗传育种。

江玲，女，1968 生，博士，教授。研究方向：水稻遗传育种。

浅谈转基因产品安全

张治国　路铁刚
中国农业科学院生物技术研究所

近年来，转基因产品已经进入到老百姓的生活中。当你到超市去，就会发现货架上放着两种类型的大豆油，一种转基因大豆油，另一种非转基因大豆油，转基因的大豆油比非转基因的大豆油每桶（5 升）便宜 20 元。

据统计，自 1996 年全球转基因农作物大规模产业化以来，10 年间全球转基因作物种植面积增加了 52 倍，累计种植面积 4.75 亿公顷。2005 年全球转基因作物市场价值达到 52.5 亿美元，占全球种子市场的 18%。种植转基因农作物的国家从最初的 6 个增加到 21 个。按种植面积大小排序，前三名分别是美国、阿根廷、巴西。中国种植面积为 340 万公顷，排在第五位。2008 年国务院启动了转基因新品种培育重大专项，使转基因产品的安全问题再次被推到风口浪尖。

转基因产品该不该推广？支持者较多，但是反对者也不少。转基因产品安全以前是一个科学问题，是科研工作者所研究的课题。但是现在转基因产品要进入市

场，则变成了老百姓们更加关心的社会问题。老百姓们最关心的是：转基因产品能带来什么好处？食用转基因食品是否安全？转基因作物的种植是否会破坏生态环境，引起生存环境的恶化？

当前一些反对者利用网络制造了巨大的社会舆论。由于普通公众对生物学知识的缺乏而引起社会担忧，使得转基因技术成为众矢之的……

转基因产品到底安不安全？下面将对老百姓们最关心的几个问题进行探讨。

一、转基因能带来什么好处？

农药残留过高一直是现在传统育种所面临的最大安全问题。化学农药的过度使用，不仅造成了环境污染，而且给农民造成巨大的经济损失。众所周知的2010年海南毒豇豆事件就是一个农药残留过高的例子。另外，中国每年有大约5万农民因为使用农药而中毒，其中大约有500人死亡。

当前，已经大规模种植的转基因作物主要是抗除草剂和抗虫害品种。它们可以大大减少化学农药的使用，既减轻了农药对环境的污染，又减少了用于生产、运输、喷洒农药所耗费的原料、能源和排出的废料，对老百姓和环境都有益。新一代的转基因作物能改变食物的营养成分，生产成本也较低，消费者不仅能够买到价格更低的同类商品，而且产品本身营养成分价值更高。

二、食用转基因食品是否安全?

食用安全性，主要包括营养成分、抗营养物质、毒性、致敏性和致畸性等。目前普遍公认的食用安全性评价原则是经济合作与发展组织（OECD）1993 年提出的“实质等同性”（Substantial equivalence）原则。通过对转基因食品中的各种主要营养成分、主要的营养拮抗物质、毒性物质及过敏性成分等物质的种类与含量进行分析测定，并与对应的传统食品进行比较，若两者之间无差异，则认为转基因食品与传统食品在食用安全性方面具有实质等同性，不存在安全性问题。如转基因羊乳汁中含有的人类凝血因子经鉴定和其他方法生产的是同一种物质，那么就可以放心地食用了。若转基因产品与传统产品存在不等同性，则应进行严格的安全性评价。这主要考虑是否含有有毒物质和过敏源，要求对所转入基因认真研究确认对人、畜无毒，不形成过敏源。根据“实质等同性”原则，转基因食品安全性分成三个等级：Ⅰ级，转基因食品成分、营养价值、体内代谢途径、杂质水平和传统食品相同，或变异在已知的范围内，这类食品无需做进一步的分析评价。Ⅱ级，与传统食品极其相似，但产生或缺少某个新成分或特性，对不同成分或特性应做进一步的分析评价。Ⅲ级，与传统食品既不相同也不相似，需要做广泛的营养学和毒理学评价。由此可见，转基因食品的风险是可以进行人为控制的。

三、转基因产品是否会将所转基因再转移到其他生物中，会不会破坏生态环境，打破原有生物种群的动态平衡？

为了避免转基因产品可能对生态方面产生的风险，许多国家对转基因产品进入市场前进行严格的科学评估，采用了更精确的技术和更严格的管理。对转基因作物的栽种范围做出一定限制，例如采取错开花期、不要在有野生的亲缘物种的地区种植相应的转基因作物等。

由此可见，只要严格、规范的使用转基因技术，转基因产品可以给人们生活和自然环境带来更多的好处。它们可能甚至比常规作物和食品更安全。担心转基因产品对人体健康损害是对转基因技术的误解。

【作者简介】

张治国，男，1977 年出生，博士，副研究员。从事水稻突变体创制、筛选、基因挖掘以及转基因育种研究。

路铁刚，男，1964 年出生，博士，研究员，博士生导师。从事水稻生物技术及功能基因组学研究，承担国家和国际科技项目多项。

从动态生态观
正确认识转基因生物

陈旭升

江苏省农业科学院经济作物研究所

一、转基因技术与作物品种的人工改良

大自然自发孕育的物种往往把保存自身、繁衍后代等生存本能作为自己的终极目标，因此天然物种固有的经济性状与人类的需求往往并不吻合。为了使天然物种更好地满足人类所需，随着科学技术的发展，通过各种育种技术，人们开始有目的地来设计改变物种的某些经济性状，实现从纯自然的野生种到培育“非纯自然”品种的转变。

生物育种史实际上是一部利用其他生物基因，改造物种性状的历史。从广义来说，所有人工培育的新品种都是转基因生物，只是转移基因所采取的技术手段不同而已。传统的育种通常采用：①在生物种群中发现有利的自然突变基因，而后采用系统选择或有性杂交等手段转移有利突变基因，选育出目标品种。②通过远缘杂交方法将其他种系中的有利基因转移到目标品种中。③通

过物理、化学、生化等手段诱导有利基因突变，再通过系统选择或杂交选育等手段培育新品种。

转基因育种技术是从上世纪80年代发展起来的一种高科技育种新技术。它是通过更先进的手段，将有利的外源基因通过特定的遗传操作程序转移到目标品种之中。与传统育种技术相比，两者的育种本质是一致的，都是通过基因转移技术，实现由基因控制的目标性状的遗传改良。转基因育种技术是传统育种技术的一种拓展，其方法更精确、更具针对性。利用传统方法培育具有新基因的新品种，人们对其安全性几乎没有担忧与争议；而利用转基因育种技术培育的新品种的安全性，却引起大众的普遍担忧乃至抵制。

从理性的角度思考，我觉得大众应该在了解基本科学知识的基础上，把关心的重点放在转什么基因上。至于抗虫的Bt基因，它对人类是安全的：①许多研究都证明，Bt生物农药比化学农药安全。②目前批准的转Bt基因作物产生的Bt杀虫蛋白，只对鳞翅目和鞘翅目昆虫（比如棉铃虫和玉米切根叶甲）发生作用。因为Bt杀虫蛋白只有在这些昆虫的碱性肠道环境下，与肠道细胞上的受体相结合，才能加工成有毒蛋白，导致昆虫中毒死亡。而人的胃环境呈酸性，人的肠道细胞表面也不含有Bt杀虫蛋白的受体，因此Bt杀虫蛋白对人是无毒的、安全的。当然，对于一些功能未明的外源基因，科学家应该采取非常慎重的科学态度，必须在充分了解新基因功能的基础上，才能进入转基因试验程序。

再从哲学角度来看，其实任何事物都可能带来正反两方面的效应。试想，如果没有人类发明的育种技术，现今各种生物还都是纯原始的野生种，那么我们的生活状况与动物、原始野蛮人能有什么区别呢？因此，当大众在享受现代科技文明带来恩惠的同时，对其相伴而生的一些潜在的负面问题应该进行理性的分析，寻找科学的解决方法，最终达到趋利避害的目的。

二、转基因生物与动态生态观

目前对转基因生物持反对意见的大多是一些极端的环保主义者。他们所持的主要观点：第一，转基因生物违反自然，因而是有害的。第二，外源基因本身是否安全？第三，转基因生物破坏生态平衡。

关于第一点，本人观点是，由于在我们的文化中有一个根深蒂固的概念，总以为“纯自然的东西就是好的（或安全的）”，事实并非尽然。我们不能把“纯自然”与“安全”之间简单地画上等号。其实，自然界存在许多纯自然的无生命物或有生命物，它们并非都是安全的。比如，砒霜是自然的，却会致人死命；果子狸是自然的，却给我们带来了 SARS；箭毒木是纯自然的，但却会“见血封喉”。相反，科学家们通过遗传改良技术培育的各种生物新品种，并非是“纯自然”的，却给人类带来了福祉，从根本上解决了我国 13 亿人的衣食问题。由此可见：“纯自然的东西并非都是好的，非纯自然的东西也并非都是不好的”。

关于第二点，本人认为，转基因生物作为一种新生事物，对转基因生物安全性的担忧与争议应该说是一种正常社会文化现象，是可以理解的。但是，人们的担忧与争议应建立在理性思考与科学实践的基础上，而不能凭个人的主观情感好恶来做简单的是非评判。由于转基因生物的推广应用，除了技术本身以外，它还受社会群体的伦理道德、审美情趣、情感取向等诸多综合因素的影响。据报道，虽然世界各国目前已经试验的转基因生物超过4 500多种，可是获得政府批准上市的品种很少，估计还不到1%。故此，对于一些功能未明的转基因生物，特别是人类直接食用的转基因作物，科学家和政府始终是采取慎之又慎的科学态度，严格限制其在安全性评价允许发放的范围之内，防止外源基因扩散可能带来的负面效应。

关于第三点，本人认为对“生态平衡”要有一种与时俱进的理念。那种一味主张保护天然自然的生态平衡，乃是一种静态生态平衡观。

静态生态平衡观主张：天然自然中的每种生物都在一个密切相互作用的生态网络中扮演重要角色，每种生物也依赖整个网络而生存。它强调网络系统中每一部分的重要作用，即如果某一部分被人为改变或消失了，系统的功能就会被削弱并失去稳定性。而外源人工系统创建的每一次成功都是对固有自然系统的一种破坏，因此极力反对人类对自然系统的干预，认为“只有听任自然界自行发展，它才会运行良好”。然而，进化具有不

可逆性，现今再把人类的创造活动完全排除在自然生态系统之外的极端环保主义理念，是一种不切实际的空想主义理念。我们不可能回到纯天然的原始社会，进化的车轮推动人类社会不断前行，我们只能在动态生态层面谋求天然自然与人工自然的和谐共处，实现在更高层次上的螺旋式回归。

动态生态观立足于人类活动创制的新品种与固有天然物种之间的互动发展。人类依托现代科学技术，有目的地设计培育符合经济目标的转基因生物，但同时也密切关注新型生物在生物圈中可能带来正负两方面的效应，努力发挥转基因生物的正面效应，防止与杜绝转基因生物可能带来的负面效应。从转基因抗虫棉多年的育种实践与生产实践来客观分析，其主导效应无疑是正面的。比如，在中国由于大面积推广国产转基因抗虫棉，农民减少了化学农药的喷洒，在夏天高温季节，棉农因喷施化学农药造成的中毒现象杜绝。并且由于减少了化学农药的使用量，对生态环境起着良性的保护作用，取得了巨大的经济效益与生态效益。

落后就要挨打。近代中国由于科学技术的落后，而遭受西方列强的欺凌，教训十分惨痛。因此，作为一名科研工作者，在转基因技术应用方面，一方面我们要有严谨的科学态度，一步一个脚印，把科研做实做稳。另一方面，我们又要加大转基因技术研究的深度与广度，保持转基因技术的充分储备，应对未来国外转基因技术的入侵与垄断，使我国在转基因高新技术领域立于不败

之地。无疑，发展生物转基因技术对于维护我国长远的政治利益与经济利益，均具有重大意义。

【作者简介】

陈旭升，男，1965 年出生，博士，研究员，硕士生导师。主要从事转基因棉花遗传育种研究。

转基因技术是解决农业危机的有效手段

连正兴

中国农业大学

人们在满足、享受和陶醉现实美好生活时，粮食危机已悄悄向我们走来。1999 年世界人口突破了 60 亿大关，至 2050 年将达到 94 亿。地球上的陆地总面积为 149 亿公顷，现有耕地 15 亿公顷，依据自然环境条件，耕地可最大限度地开发仅为 42 亿公顷。2008 年，世界人平均耕地面积为 0.32 公顷，而我国仅为 0.087 公顷。在这狭小的地块中要种植满足生存的粮食、蔬菜和水果等以及保证肉、蛋、奶供应的动物饲料，粮食危机显得愈发突出。

一、转基因技术给美国带来了巨大的经济利益

美国国土面积 9.6 亿公顷，耕地面积为 1.9 亿公顷，占全世界总耕地面积的 12%；人均占有耕地 0.7 公顷，是世界人均占有耕地面积的 2.9 倍。2009 年，美国转基因作物种植面积达到了 0.64 亿公顷，占到了

全国总耕地面积的1/3，成为全球转基因作物种植面积最多的国家。美国2007年转基因大豆的种植面积占全国大豆总种植面积的74%，转基因玉米为32%，转基因棉花为74%。因其产量高、经营成本低，价格低廉，严重地打压了其他国家的粮食生产，在2007年的全球粮食危机中加大了转基因产品的输出，赚取了巨额外汇，并保持了全球经济霸主地位。

二、转基因技术可直接用于提高畜禽产品数量与质量

常规的新品种培育主要是通过表型推测遗传基础，通过长期的选育建立新的品种或品系，应用于畜牧生产。其育种周期长，如新疆毛肉兼用型细毛羊用了20年的时间才得以育成。比利时兰牛因天然缺失myostatin基因而造成了巨大的肌肉产量，通过转基因技术获得的缺失该基因的转基因小鼠骨骼肌增加了2~3倍，如果能够应用到其他农业动物上，动物的产肉量将达到新的境界，其社会效益与经济效益十分巨大。也许可以说养一头基因敲除猪意味着可以获得2~3头猪的猪肉产量，意味着我国每年可少屠宰生猪2亿~3亿头，可节约饲料用粮上千万吨。

三、转基因技术在生物医药开发领域发挥着积极作用

低成本的重组猪或人胰岛素规模化生产，挽救了数

百万人的生命。肿瘤细胞生产的年销售额数十亿美元的粒细胞集落刺激因子，有效延长了肿瘤患者化疗后的生存期，提高了生活质量。同种或异种来源的激素类药物，解除了病人的痛苦。这些药物依然在人类的日常生活中发挥着重要作用。

以转基因技术为依托的生物制药业正在迅猛发展，建立了大规模的重组蛋白库，用于药物的筛选。在数以千计基因中发现了4种与细胞再生相关的蛋白质分子，揭开了诱导性胚胎干细胞研究序幕，并成为新世纪里程碑式研究成果，也将为组织再生、器官再造等提供新的手段与方法。转基因技术将以其巨大的生命力，在国家的支持与监督之下，在保护人类健康、丰富人们的菜篮子、有效合理利用资源、维护生态环境等方面发挥积极且重要的作用。

四、转基因的安全性是在可控范围内

转基因技术是基于DNA重组技术发展起来的遗传修饰技术，而DNA重组是自然界中所发生的一种正常遗传现象。对于一个物种，重组可形成新的遗传信息或新的基因，使得一个群体在不利的或变化的环境条件中继续生存。通过DNA重组过程，可以有效修复DNA损伤或恢复被错误删除的基因。在减数分裂的过程中，交换过程可在配子中产生与亲代不同的连锁排列，造成了后代与亲代的相似与相异性。因此，自然界中存在的DNA重组是保持物种稳定、创造新物种的一种遗传

机制。

转基因技术是在 DNA 重组原理的基础上，选择了重要的功能基因，通过遗传修饰改变动、植物的遗传组成，加速物种进化，缩短进化历程。所选择的基因主要是自然界已经存在的、功能清楚、对自然环境没有危害的重要基因，且一些基因已经应用于医药领域，并在疾病治疗中发挥着重要作用。

国际上几个典型的转基因安全争议事件的真相

王宫伟　金安江　林拥军
华中农业大学

近几年来，国际上发生了数起转基因作物安全争议事件，被反对转基因技术的人士和组织以断章取义、甚至造假等手段反复引用和传播，也被少数媒体反复进行歪曲性报道，对公众正确认知转基因技术产品产生很大的负面影响。

在此，我们对几个典型争论事件以追根索源的态度加以剖析，以科学事实说明真相。

一、普斯泰（Pusztai）事件

1998 年秋，英国苏格兰 Rowett 研究所的普斯泰（Arpad Pusztai）在英国电视台发表讲话，声称他用转雪花莲凝集素基因的马铃薯喂大鼠，大鼠食用后“体重和器官重量严重减轻，免疫系统受到破坏”。此事引起轰动，从此引发了国际上对转基因作物安全性的争论。绿色和平组织、地球之友等反生物技术组织把这种马铃薯说成是“杀手”（killer），策划了焚烧破坏转基

因作物试验地、阻止转基因作物产品进出口、示威游行等活动。印度两块大的转基因作物试验田被焚毁，美国加利福尼亚大学戴维斯分校的非转基因试验材料也遭破坏，以致研究生的毕业论文都无法答辩。

英国皇家学会对此非常重视，组织了专门的同行评审，并于1999年5月发布报告，指出普斯泰的实验有六方面的严重错误和缺陷，包括：不能确定转基因和非转基因马铃薯的化学成分有差异；对食用转基因马铃薯的大鼠，未补充蛋白质以防止饥饿；供试验用的动物数量少，饲喂几种不同的食物，且都不是大鼠的标准食物，很少具有统计学意义；试验设计差，未作双盲测定；统计方法不当；试验结果无一致性。也就是说，他的实验从设计、实施到分析都有缺陷，得到的结论是没有意义的。普斯泰因此在国际科学界受到严厉批评。不久，Rowett研究所宣布普斯泰被劝提前退休，并不再对其言论负责。

二、帝王蝶（Monarch butterfly）事件

1999年5月，美国康奈尔大学的洛希（Losey）在《Nature》杂志上发表文章，声称用拌有转基因抗虫玉米花粉的马利筋杂草叶片饲喂美国大斑蝶（帝王蝶）的幼虫，发现这些毛毛虫生长变得很缓慢，死亡率高达44%。这一结果被解释为抗虫转基因作物威胁非目标昆虫。绿色和平组织等反生物技术组织据此提出应限制转基因玉米的生产与销售。

1999 年夏天，美国环境保护局（EPA）组织昆虫专家们对帝王蝶问题进行了专题研究。结论是，抗虫玉米花粉在田间对帝王蝶并无威胁，其原因是：①玉米花粉大而重，扩散不远，在田间所有花粉只落在 9.1 米以内，在距玉米 5 米的马利筋杂草上，每平方厘米叶子上只发现 1 粒玉米花粉。②帝王蝶通常并不吃玉米花粉，它们在玉米散完粉后才大量产卵。③在经调查的美国中西部转 Bt 基因玉米占玉米面积的 25%，但田间的帝王蝶数量却很大。美国环境保护局在最近的一个报告中指出，评价转基因作物对非靶标昆虫的影响，应以野外实验为准，而不能仅仅依靠试验室的数据。

三、加拿大“转基因油菜超级杂草”事件

1995 年，加拿大首次商业化种植了通过基因工程改造的转基因油菜。但在种植后的几年里，在加拿大的油菜地里发现了个别油菜植株可以抗 1 ~ 3 种除草剂，进而有人称此为“超级杂草”。后经调查了解到，产生这种油菜植株的原因，是由于农民在收获转基因油菜种子时部分遗落到田间，第二年再种新的油菜品种时，原来的种子发芽成熟后与新的品种之间发生基因漂移所致。

事实上，这种油菜在喷施另一种除草剂 2,4-D 后即被全部杀死。“超级杂草”并不是一个科学术语，只是一个形象化的比喻，目前并没有证据证明已经有“超级杂草”存在。

四、墨西哥玉米事件

2001 年 11 月，美国加利福尼亚大学伯克利分校的 David Chapela 和 David Quist 在 *Nature* 上发表文章，声称在墨西哥南部 Oaxaca 地区采集的 6 个玉米地方品种样本中，发现有 CaMV 35S 启动子及 Novartis Bt11 抗虫玉米种的 adh1 基因相似序列。由于墨西哥为世界玉米的起源中心和多样性中心，当时该消息引起了一些环保人士的关注。绿色和平组织借此大肆渲染，说墨西哥玉米已经受到“基因污染”，甚至指责墨西哥小麦玉米改良中心的基因库也可能受到“基因污染”。

实际上，文章发表后受到很多科学家的批评，指出其在方法学上有很多错误。所谓测出的 35S 启动子，经反复查明是假阳性。所称 Bt11 玉米中的 adh1 基因已经转到了墨西哥玉米的地方品种，则是张冠李戴。因为 Bt11 玉米中的基因是 adh1-S，而作者检测出的是常规玉米品种中本来就存在的 adh1-F 基因，两者的基因序列完全不同，是两码事。显然作者没有比较这两个序列，审稿人和 *Nature* 编辑部也没有核实。

对此，*Nature* 于 2002 年 4 月 11 日载文 2 篇，批评该文的结论是对不可靠的实验结果的错误解释。同期发表编辑申明：该文所提供的证据不足以发表。墨西哥小麦玉米改良中心也发表声明指出，经对种质资源库和新近从田间收集的 152 份材料的检测，在墨西哥任何地区都没有发现 35S 启动子。

五、巴西坚果事件

美国先锋种子公司的科研人员在对大豆做品质改良时，发现巴西坚果（*Bertholletia excelsa*）中有一种蛋白质（2S albumin）富含甲硫氨酸和半胱氨酸，并将这一基因转到大豆中。在研究过程中，他们发现这种蛋白质是过敏源。该公司于是取消了这项转基因大豆的研发计划。

事实上，国际上早已有关于能产生过敏反应的食品及有关基因的清单。研究人员在研究转基因作物时，首先不会采用这些过敏性食物的基因。而且在研发前要查询国际公认的过敏源库，将转基因作物产生的新蛋白质与已知的过敏源做比较，如果相似度高，该研究将会停止。同时，按照国际食品法典委员会转基因食品安全评价标准的要求，各国在转基因安全评价时，均要求是否为过敏源的技术资料，对于有可能成为过敏源的转基因食品会要求停止试验，从管理上也有效地防止转基因食品成为过敏源。

六、欧洲转基因玉米争议事件（Ⅰ）

2010年3月1日，某“旅美学者”在凤凰网的评论版块上发表了一篇题为《转基因安全疑问须由专家自身试验破解》的文章，说“国外正在被不断证实转基因食物不安全”。为了证明这个说法，他举了欧洲几个转基因玉米争议事件作为例子，包括法国人 Seralini

及其同事的论文、奥地利泽特克及其研究小组的论文等。这在网上引起了比较大的反响。

这位“旅美学者”在文中说：“最近，《国际生物科学学报》2009 年第 7 期上发表的 4 位法国科学家的研究结果表明，喂食 3 种孟山都公司的转基因玉米，3 个月后能让老鼠的肝脏、肾脏和心脏受损”。

事实上，Seralini 及其同事的文章发表后，立即受到同行科学家及相关监管机构的广泛质疑和批评。澳大利亚新西兰食品标准局独立调查分析了 Seralini 等人论文中的数据，结果认为喂食转基因玉米后，老鼠表现出的差异性是完全符合常态的。该机构指出，Seralini 及其同事的统计结果与其他病理学、组织病理学、组织化学等方面的相关数据之间缺乏一致性，并且没能给予任何看似合理的科学解释。Seralini 及其同事歪曲了毒理学上的显著性，忽略了其他相关因子对差异性的影响。该机构强调，Seralini 及其同事的论文中提到的差异性与老鼠性别及喂食剂量均无关系。

七、欧洲转基因玉米争议事件（Ⅱ）

其实早在 2007 年，法国人 Seralini 及其同事就曾对孟山都公司转基因玉米的原始数据做出过统计分析，得出了与他们 2009 年公开发表的论文类似的结论。而且在文章发表后，他们同样受到了国际同行和业界的广泛质疑和批评。

科学家们（Doull et al.，2007；Mond，2007）和来

自欧盟、德国、法国、澳大利亚－新西兰、菲律宾的监管机构在审查后均宣布，该文对孟山都公司原始数据进行的重新统计分析中存在大量的错误和缺陷，不认同该文的结论，而支持最初的分析即转基因玉米 MON868 是安全的。

其中，国际期刊《食品与化学品毒理学》发表了同行评议专家组对 Seralini et al.（2007）及孟山都公司的试验研究（Hammond et al.，2006）的评价和复审结果。该专家组由国际上认可的来自美国、德国、英国和加拿大的 6 位毒理学及统计学家组成。

专家组认为，Séralini et al.（2007）对孟山都公司原始数据的重新分析结果中，并没有任何证据表明喂食转基因玉米 MON863 会导致老鼠出现不良副作用。在各种情形下，Séralini et al.（2007）及孟山都公司 Hammond et al.（2006）报告的统计结果，实际上均表明与处理无关，或者不具备生物学及临床上的任何意义。这是因为结果并没有显示出剂量效应，不具备重演性，与其他比如组织病理学上的相关变化没有关联，不在两类性别间均发生，没有发生超出正常范围的差异，或者在生物学上不具有如因果联系的合理性。

总之，Séralini et al.（2007）对孟山都公司原始数据的重新分析结果没有产生任何有意义的新的科学数据来表明转基因玉米 MON863 在 90 天的老鼠喂食研究中会导致不良副作用。

八、欧洲转基因玉米争议事件（Ⅲ）

前文提及的“旅美学者”在文中还提到，“2007年，在奥地利政府的资助下，泽特克教授及其研究小组对孟山都公司研发的转基因玉米 NK603（抗除草剂）和转基因玉米 MON810（Bt 抗虫）的杂交品种进行了实验。在经过长达 20 周的观察之后，发现转基因产品影响了小鼠的生殖能力”。事实究竟是怎样的呢？

2007 年，奥地利泽特克教授领导的研究小组确实对孟山都公司研发的两个转基因玉米杂交品种进行了动物实验。关于转基因玉米是否影响老鼠生殖，共进行了三项研究，其中，Zentek 博士负责的一项发现了潜在问题。此事引起奥地利政府的高度关注，奥地利联邦卫生家庭及青年部对此展开了调查，并于 2008 年 11 月 11 日发布了一个报告，称 Zentek 博士负责这一项研究被多方证明是科学依据不充分的。

欧洲食品安全局评价转基因安全性的专家组最近对该研究也发表了同行评议报告，认为根据 Zentek 博士提供的数据不可能得出任何科学的结论。两位被国际同行认可的专家（Drs. John DeSesso and James Lamb）事后专门审查和评议了 Zentek 博士的研究，并独立地发表申明，认定在 Zentek 博士的研究中存在严重错误和缺陷，该研究并不能支持任何关于食用转基因玉米可能对老鼠生殖产生不良影响的结论。

【文献来源】

[1] The Royal Society Review of data on possible toxicity of GM potatoes

[2] Losey J E. Rayor L S. Carter M E Transgenic pollen harms monarch larvae 1999

[3] Sheltonl A M. Sears M K The monarch butterfly controversy: scientific interpretations of a phenomenon 2001

[4] Food and Ag Biotech (BIO) Press Release EPA report finds biotech crops have little impact on monarch butterflies 2000

[5] MacArthur M Triple - resistant canola weeds found in Alberta 2000

[6] Thomas P Outcrossing between canola varieties - a volunteer canola control issue

[7] Quist D. Chapela I H Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca 2001

[8] Kaplinsky N. Braun D. Lisch D Maize transgene results in Mexico are artifacts 2002

[9] Irvin M Reported adh 1 PCR fragments not from adh 1 gene sequences in transgenic maize 2002

[10] Editor of Nature Editorial note 2002

[11] CIMMYT Latest CIMMYT screens of Mexican maize landrace materials find no presence of promoter associate with transgenes

[12] European Food Safety Authority (EFSA) (2007a).

Statement of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms on the analysis of data from a 90 – day rat feeding study with MON863 maize. Adopted 25 June 2007

[13] European Food Safety Authority (EFSA) (2007b). EFSA review of statistical analyses conducted for the assessment of the MON863 90 – day rat feeding study. 28 June 2007

[14] Bfr, 2007. 90 – Tage – Studie an Ratten mit MON863 – Mais: Keine Hinweise auf gesundheitliches = [Risk of 90 – Day Study on rats with MON863 Maize: No Indication of a Health Risk]. Bundesinstitut fur Risikobewertung (BfR) [Federal Institute for Risk Assessment], Berlin. Opinion No. 009/2207 from the BfR on 29 March 2007. http: //www. BfR. bund. de/cm/208/90_tage_ studie_ an_ ratten_ mit_ mon863_ mais. pdf

[15] AFFSA, 2007. de 1' Agence franc, aise de se'curite' sanitaire des aliments relatif a`la re'cente e'tude publie' el sur le maïs ge' ne' tiquement modifie MON863. Agence Franc aise, de Se curite Sanitaire Des Aliments. La Directice Ge ne rale. AFFSA Dossier No. 2007 – SA – 0109, 26 April 2007

[16] Doull, J., Gaylor, D., Greim, H. A., Lovell, D. P., Lynch, B. and Munro, I. C. 2007. Report of

an Expert Panel on the reanalysis by Seralini et al. (2007) of a 90 - day study conducted by Monsanto in support of the safety of a genetically modified corn variety (MON863). Food and Chemical Toxicology 45 (2007) 2073 2085

[17] FSANZ. Review of the report by S raliniet al., (2007): New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. Food Standards Australia New Zealand July 2007. http: //www. foodstandards. gov. au/_ srcfiles/Review_ of_ Report_ by_ Seralini_ et_ al_ July_ 2007. doc

[18] Monod H., 2007. Exp rience sur rats men e par Monsanto en 2001 -2002 avec certains r gimes comportant du ma s g n tiquement modifi: analyse statistique des courbes d'volution du poids. Study conducted upon request of the CGB (Commission du G nie Mol culaire, France)

[19] Yap, A. C., 2007. Review of the Issue Regarding the Rat Feeding Study of GM Corn Event MON 863. Memorandum for the President from Secretary Arthur C. Yap. Republic of the Philippines, Department of Agriculture, May 16, 2007

【作者简介】

王宫伟，男，1974 年出生，博士，副教授。研究方向：作物遗传育种。

金安江，男，1979 年出生，硕士，助理研究员。主要研究领域：科技传播、高等教育管理。

林拥军，男，1963 年出生，博士，教授。研究方向：植物分子生物学。

对转基因育种争论的实质

焦改丽　吴慎杰
山西省农业科学院棉花研究所

利用转基因技术开展农作物育种是确保粮食安全、提高农产品产量、缓解人口剧增与土地锐减矛盾的根本出路，是农业科技发展方向的必然趋势，转基因产业已势不可挡。

我国是一个农业大国，人口多、耕地少的矛盾日益突出，并将随着人口增长和工业化进程的加快变得更加尖锐。如果没有科学技术的新突破，农业生产就很难再上一个新台阶。农业生物技术对促进我国传统农业向现代农业的转变非常重要，甚至是决定性的，我们国家必须加强转基因技术研究和应用，否则将在日益激烈的国际竞争中丧失战斗力。

转基因技术是一门新兴的、综合性的学科。它以现代生命科学发展为基础，打破不同物种间的界限，按照预先的设计改造生物体（包括植物、动物和微生物），为人类生产出所需的产品，实现传统技术手段的更新，加快农业生产方式的转变，大幅度地提高农业生产效率。由于转基因是精确可控事件，后代表现可以准确预

期，转基因技术与传统育种技术密切结合，有希望培育出多抗、优质、高产、高效的新品种。在人类应对气候变化、资源短缺、环境污染等方面发挥重要的作用。例如，在气候变暖、地球荒漠化越来越严重的现在，水资源已经成为人类文明发展的约束，研究转基因抗旱作物是人类克服这种约束的重要手段。目前转基因抗旱玉米、棉花、水稻等都已经取得了很大进展，距离商业化已经不远。

转基因食品是传统食品在经济学意义上的“替代产品”，它们之间存在着对有限市场份额的竞争。然而，由于相关信息沟通渠道不够畅通等原因，为扶持本国产业，避免转基因技术和产品垄断带来利益损失和进口依赖性的产生，使得相当一部分人对转基因技术及转基因产品心存疑虑甚至产生误解。显然，目前转基因产品多为抗虫、抗除草剂等，这给生产者带来了便利，同时转基因种子销售者、除草剂生产厂家等也从中获得了丰厚利润，而消费者并没有从中得益，却还要承担可能存在风险，自然要对它不感兴趣。因此，绿色和平组织、地球之友等组织，以反对一切改变地球环境和生物物种行为为其哲学，不关心任何有关转基因食品新知识，过分强调转基因食品潜在风险。这种明显偏颇观点，却得到一些由于对转基因技术本质理解不深刻的人而对其产生各种错误的解读，在很大程度上影响了这一技术的迅速推广。这就需要转基因食品生产与销售者为确保其市场占有率，维持消费者信心，一定要通过各种

渠道大张旗鼓地宣传转基因食品的安全性，提高消费者对转基因产品的认识。

国际转基因作物争论的实质并不纯属科学问题，主要是经济和贸易问题。现在转基因作物的安全性已经成了国际贸易的技术壁垒。转基因技术已被列为影响未来全球经济的第三大技术，13 年间，在全球 22 个国家里，共种植了 8 亿公顷的转基因作物。以美国为例，美国通过转基因技术实现了谷物生产低成本和高品质，在世界谷物贸易中长期占据霸主地位，抢占世界 62% 玉米市场和 60% 大豆市场。生物经济正在成为新经济增长点。生物技术产业的销售额每 5 年翻一番，增长率高达 25% ~30%，是世界经济增长率的 10 倍左右。但全球转基因作物正在迅速推广的同时，在农产品富裕国却意欲阻止或延缓这项技术前进的脚步，世界上那些在温饱线上挣扎、在营养不良中受煎熬的人却对这项极具潜力的新技术寄托着希望。转基因食品并不比传统食品有更多风险，饥饿与贫穷才是最大的敌人，生存才是首要问题。

许多国家借助转基因食品安全性争论，出台了转基因限量标准与标识制度。这就大大增加了转基因食品在检测、隔离和标识方面的成本，抬高了其市场价格，从而间接限制了其进口能力，通过加大法律约束，从而延缓了其流通速度。基因工程研究发展速度的确超出了普通公众的理解能力，加上各有所图的利益集团有目的宣传和人们获得信息的渠道、科学的分辨能力、对新知识

的认知程度和理解方式又是千差万别，这些都会使他们对转基因食品产生不同态度，从而引发争论。

一项新技术其本身并不存在对或错，而在于人们运用的方式及目的。只要是从人类生存和健康角度出发去开发应用，对人类的贡献只会是利大于弊。还有最关键一点，“改造自然”的含义到底是什么？如果一切都顺其自然，何来今天农业生产的发展。从生物进化的角度来看，现存物种都是不断经过基因突变在自然选择压力下进化而来。而我们的作物育种最初是在自然基因突变和人工选择压力下逐步驯化而成。我们常规育种的实质是通过远缘杂交和化学诱变提高变异率，然后在人工选择压力下获得我们感兴趣和对人类有益性状（产量高、品质好或味道好）的突变体，实质仍是基因的交流和转移。我们收获的部分农作物实际是物种某一部分变异体，大多农作物在没有栽培条件干预下是无法长久生存的。而科学家研究可控制的、旨在保存物种基本特性的同时兼具其他物种优良性状的转基因，怎么就成了一些人眼中的洪水猛兽了呢？这种转基因与远缘杂交和化学诱变育种比较，基因交流程度要小得多。因此，争论应该以科学为基础，不要为反对而反对。

由此可见，利益冲突是产生观念冲突的关键，更是国家、地区或组织对转基因政策制定的关键。国内一些别有用心的人攻击转基因研究，视转基因技术为洪水猛兽，好像他们是救民于水火之中的英雄，而别人都是卖国求荣的千古罪人。引用国外个别政客或个别所谓专家

的观点，以偏概全，放大弊病，这是它们反对转基因的惯用做法。实际上，掌握先进转基因技术的国家和组织，并不一定乐见我国转基因迅速发展，他们通过雄厚的资金推广和宣传其转基因产品以扩大在我国的市场占有率。不幸的是，国内一些专家鼓动缺乏评价转基因食品安全性所必需科学素质的普通公众反对转基因，这些人承认转基因是新技术、好技术，担心发达国家或组织转基因技术入侵和对种子的控制，认为我们应当通过法律和制度抵制外来转基因种子的进入，不需要进行转基因研究。但是现在生产上用的大多基因专利，转基因专利（除草剂、化肥等）控制在我们国家的很少。如果我们国家不迎头赶上，大力挖掘新的自主基因资源，培育新的转基因作物新品种，打破转基因种子供应商的垄断性，如果我们只是一味地保守自闭，那么进口种子随规模的扩大成本不断降低以及简单便利的管理方式，老百姓完全乐意用之提高农业生产，有可能葬送整个中国市场，这可能是我们国家无所为的可悲下场，也是东北大豆全军覆没的原因之一。自闭必将落后，落后就会挨打。从“八五”以来，我们国家对转基因研究支持力度越来越大，我们需要保证每一种常规作物的多样性（这也是大的基因库，坚决不能忽视），需要开发新的有自主产权的功能基因，开展转基因研究。以国家作为坚强后盾，必将打破国外对我国农业生物技术市场的垄断，避免东北大豆的惨痛教训。当然，我们应该在严格制度和法律监管下进行转基因研究及转基因安全性评

价，积极推动转基因新品种产业化应用，为我国农业生产做出贡献。

至于转基因技术是否安全，你说了不算，一些专家说了也不算，我国已经有法律法规体系、安全评价技术体系，也有良好的行政监管体系，有安全保障的能力。面对当前的争论，我们相信通过争论会引起各方科学地看待转基因，消除公众对转基因技术的误解。

【作者简介】

焦改丽，女，生于1954年，研究员。主要从事棉花生物技术与分子育种的研究。

农药有毒，为何说转基因水稻是安全的

李飞　林克剑

南京农业大学、中国农业科学院植物保护研究所

在谈论转基因水稻时，被问及最多的一个问题是，“杀虫蛋白能杀虫，难道就不会对人体有毒害吗?”这个问题的由来可能与人们对化学农药的认识有关，因为农药能够杀虫，也可以使人中毒。虽然已经有许多专家通过阐明杀虫蛋白的作用机理来解释其为何对人体是安全的，在这里我们想直接通过比较化学农药与杀虫蛋白的差异来分析“农药有毒，为何说转基因水稻是安全的?”

从本质上来说，化学农药主要是有机分子，进入害虫体内后，与某种重要蛋白相结合，从而影响这种蛋白在害虫体内的正常功能。如果这种蛋白是害虫生存必须的，那么就可以达到杀死害虫的目的。

杀虫蛋白（如 Bt 蛋白）本身就是一种蛋白质，其进入害虫体内，通过与害虫体内的另一种重要蛋白作用，影响蛋白的功能，从而影响害虫的发育，达到杀死害虫的目的。

无论是化学农药还是杀虫蛋白，对于害虫而言，都是毒药。为何科学家一再声称，杀虫蛋白对人体无害呢？

这要从生物的器官系统说起。

生理学的基本知识告诉我们，人体共有八大系统：运动系统、神经系统、内分泌系统、循环系统、呼吸系统、消化系统、泌尿系统、生殖系统。而害虫作为生命体，也有上述八大系统。

如果想要快速杀死一种生物，最好的毒剂应该作用于哪种系统呢？人们几乎可以不假思索就能给出答案：神经系统。的确如此，目前大规模使用的化学农药的作用靶标几乎都是神经系统中的某个重要蛋白或基因。

比如，氨基甲酸酯和有机磷类杀虫剂，主要是攻击神经系统的乙酰胆碱酯酶。2008 年的日本毒饺子事件的罪魁祸首甲胺磷就是这类杀虫剂。乙酰胆碱酯酶负责清除突触间隙的重要化学递质乙酰胆碱。如果乙酰胆碱酯酶被抑制，则可能导致生物在接受外界刺激时过度兴奋而导致死亡。有意思的是，乙酰胆碱酯酶的弱抑制剂“他克林”在临床上用于治疗阿尔茨海默症，提高学习和认识能力。

菊酯类农药主要作用于神经系统中的钠离子通道，这类杀虫剂可能是人类直接接触最多的，因为夏天在超市中大量销售的灭蚊剂的主要成分就是菊酯类农药。烟碱类杀虫剂的作用靶标是神经系统的乙酰胆碱受体。著名的 DDT 属于有机氯类农药，其作用靶标也是神经系

统中的钠离子通道。DDT 最大的问题在于其过于稳定，在环境中不容易被降解，而且可以通过食物链在不同的生物体内富集，干扰人体内分泌系统，也有生殖毒性和遗传毒性。

综上所述，因杀虫效果明显而占据大量市场份额的化学农药主要作用于神经系统的重要蛋白或基因，包括乙酰胆碱受体、乙酰胆碱酯酶和钠离子通道等。不幸的是，这些神经系统的基因在人、小鼠、昆虫等不同物种中的保守性很强。也就是说，虽然哺乳动物和昆虫的外形差异很大，神经系统的结构也大不相同，但神经信号传统机制基本上是相似的。因此，能够作用于害虫神经系统的化学农药，也能够作用于人和其他生物的神经系统。这就是农药杀虫，也能使人中毒的原因。

那为什么说转 Bt 基因的水稻不会呢？因为 Bt 杀虫蛋白来源于一种叫苏云金杆菌的细菌，其主要作用于害虫的消化系统。相对来说，消化系统具有更大的分化度。因为不同的生物，取食的习惯明显不同，进而导致中肠的环境大不相同。比如，人的胃肠环境是酸性的，而害虫的中肠环境是碱性的。众所周知，Bt 杀虫蛋白需要碱性环境（pH 为 10 左右最佳）才能被加工成具有杀虫活性的晶体蛋白。另外，蛋白在环境中很容易被破坏变性，尤其是经不起紫外线的照射，不像农药化学分子那样稳定。这就大大地提高了 Bt 杀虫蛋白的环境安全性。

简而言之，化学农药主要作用于神经系统中保守的

重要基因，因此既能杀虫也能使人中毒。而 Bt 杀虫蛋白作用于分化度较大的消化系统，因此只能杀虫，而对人体无毒。反对转基因的人经常问的一个问题，“既然能够杀虫为什么不能杀人?”道理就是这么简单。

也有人曾强调 Bt 杀虫蛋白可能是一种潜在的过敏源。事实上，任何一种外来物质都可能是过敏源，有人吃花生酱也过敏，甚至危及生命安全。科学家们将 Bt 蛋白的氨基酸序列与已知过敏源的氨基酸序列进行比对，毫无同源性可言，而且从 Bt 蛋白 70 多年的应用历史来看，也未曾有过其导致人体过敏的记录和报告。或许可以这样说，相对于人而言，来源于苏云金杆菌的 Bt 蛋白的安全性要远高于化学农药。

需要注意的是，这种产生 Bt 蛋白的细菌最早是从面粉厂发现的，如果这种杀虫蛋白能够杀死人，那么人类早就被这种细菌消灭了。

【作者简介】

李飞，男，生于 1976 年，博士，教授。主要从事昆虫抗药性治理及生物信息学研究。

林克剑，男，生于 1976 年，博士，副研究员。主要从事昆虫生态学及农作物病虫害综合防治研究。

转基因植物很可怕吗

王戎疆
北京大学生命科学学院

转基因植物正在逐步走入百姓的生活，超市中的食用油有的就标明使用了转基因大豆。然而，有关转基因植物安全性的争论在媒体的渲染下，使得老百姓对转基因植物感到十分恐惧。一些朋友经常会问，转基因植物是不是很可怕啊？许多人都知道基因是负责遗传的，转基因植物在遗传物质上做了手脚，人吃起来安全吗？在没有弄清楚之前还是谨慎为好。每每听到身边人这样讲，我都需要给他们仔细解释，分析转基因植物在人体中的消化吸收过程，看看转基因植物是否有想象的那么可怕？

转基因植物是怎样制造出来的呢？首先，根据需要选择合适的外源基因，比如抗虫往往选用一种从细菌中获得的抗虫蛋白基因，然后利用基因过程手段将其插入到植物的基因中，这样植物就可以表达这种抗虫蛋白了，害虫就很难取食了。

先来看转基因植物进入人体后是怎样消化吸收的。

我们吃进来的食物都是在肠道内消化吸收的，大家都很清楚蛋白质是要分解为氨基酸才能被人体吸收，那

么食物中的那些基因呢？就像氨基酸是蛋白质的基本构件一样，基因也有其基本构件。基因本质上是一段DNA（脱氧核糖核酸），其基本构件是核苷酸，根据上面的碱基的不同，可以分为4种核苷酸。基因之所以成为基因，一定要用这4种核苷酸组合构成一条有信息的链，而一旦这条链拆散了，就成为基本原材料了。这就好比盖房子，砖头都是一样的，但可以盖成不同的房子，关键是设计者的想法。在人体中，蛋白质被消化成氨基酸，淀粉（多糖）被消化成葡萄糖，基因被消化成核苷酸，这之后它们才被吸收进人体，供人体建设需要，这时人体根据自己的设计理解（基因遗传信息）来使用这些原材料制造自己的蛋白质、多糖和基因。所以，从这个角度讲，转基因植物中的外源基因根本不会对人体，特别是人的基因构成威胁。

外源基因还会产生外源蛋白，这些蛋白会让害虫受不了，会不会也让人受不了呢？这种想法恐怕太不靠谱了。首先，这些蛋白都是对昆虫有毒而对人体无害的，人们在选择外源基因制造转基因植物之前就会认真筛选掉那些和人体有作用的基因，以免对人造成危害。其次，这些蛋白的量在植物体内是十分低的，比如每千克稻米中外源蛋白的含量大约几个微克。再者，前面也说过，食物进入人的消化道后都要被消化的，蛋白质要变成氨基酸才能被人体所吸收。由此可见，外源蛋白也不会危害到人体健康的。

说到这里，你还会觉得转基因植物可怕吗？

转基因食品：上帝的禁果还是牛顿的苹果

应正宙　李奎

中国农业科学院北京畜牧兽医研究所

近年来，随着信息技术的发展及相关信息的传播，转基因食品已受到越来越多人的关注。而要说起转基因食品，我们首先要了解什么是转基因技术，什么是转基因生物，而什么又是转基因食品。转基因技术是上世纪80年代才开始发展起来的一种新兴技术，该技术主要是通过分子生物学手段将一生物体的基因“嫁接”到另一生物体，由于其广阔的应用前景，转基因技术迅速发展，并成为各国又一争相占领的科技制高点。而通过这种转基因技术获得的生物个体即称为转基因生物。当转基因生物为我们传统农业动、植物时，其可食用产品及加工品也即转基因食品。在这短短30年间，从进化线底部的微生物，到进化线顶端的哺乳动物，无一不被打上了“转基因”的烙印。而现实生活中，人类也已经无法离开转基因产品及其衍生品，如洗衣粉中的酶类、糖尿病患者所需的胰岛素等。专家甚至估计在未来的10余年内，九成药物

将通过转基因技术生产。

随着人类科技的发展，人们逐渐认识到了转基因农业生物的巨大优势，大量转基因农业生物也随即被人们所制造，随之而出现的就是各方的争论。以目前主要商业化种植的转基因农作物为例，争论的焦点主要集中在两个方面：一个是转基因食品对人体自身是否有危害，另一个是转基因生物对生态环境是否有危害。而对人体影响的争论又分为：①农作物中转入的基因表达的蛋白是否对人体有毒性。②农作物中转入的基因是否又转入人体基因组或人体微生物基因组。而对环境影响的争论主要为：①农作物中转入的基因是否会“漂移”入其他非转基因品种或物种。②是否会产生“超级虫子”、“超级杂草”等。现在我们对这些争论进行一一探讨，首先在转基因生物在批准生产前，研究人员都将进行谨慎缜密的科学实验，对其主要转入成分进行几代以上长期的哺乳动物的毒性和致敏性试验，以检测其是否对人体产生潜在影响。然后通过规模试验，检测转基因生物对环境的影响。俗语说：种瓜得瓜，种豆得豆。而产生这种自然现象的科学依据就是因为种间会产生“生殖隔离”——物种间是不可能产生可遗传后代的，也就是说假如在豆旁边种瓜是不会产生“瓜豆”这种新品种的。针对转基因农作物，研究人员将检测转基因农作物种植区周围其他非转基因作物及其他物种是否发生基因“漂移”。研究发现，对于转基因水稻，只需与非转基因水稻种植区间隔 6～10 米，即可使非转基因水稻中

的转基因成分维持在 $1/10^6 \sim 1/10^5$，而在远缘品种间，其杂交则是高度不可育的。1995 年，加拿大曾出现转变为“超级杂草”的转基因油菜，由于之前种植了转抗除草剂基因的油菜，在重新种植其他农作物后，曾遗落的部分转基因油菜子发芽生长后因为抗特定除草剂而较难去除反成了“杂草”，但在改用其他除草剂后就很容易对其生长进行控制。事实上，转基因生物在批准之前，就已经有相关技术储备去控制其发展。相对于这些抗虫、抗病转基因农作物，公众对转功能性基因的农作物的顾虑就相对较少了。

1994 年，第一个转基因产品——保鲜西红柿获得美国农业部（USDA）和食品与药物管理局（FDA）许可，在美国上市。在此之后截至 2009 年，美国转基因食品种类迅速增加，根据美国政府所公布的数据，目前美国市场上 75% 以上的加工食品含转基因成分，90% 以上的大豆和 80% 以上的玉米、小麦为转基因产品。而美国食品与药物管理局更是在 2009 年初批准了世界上第一例转基因动物产品——转基因山羊。转基因动、植物相对于普通动、植物，具有明显的优势：优质、高产、抗虫、抗病毒、抗逆境生存等，因而使其迅速在全世界获得广泛应用，目前已在全球二十几个国家进行了推广种植。

事实上，相对于转基因生物的潜在风险，传统育种方式获得的一些动、植物风险更大。例如很多畜禽疾病是人、畜共患病，且难于利用传统方法检测、控制。在

西方国家，由于肉产品以牛肉为主，在上世纪80年代开始的一场“疯牛病”席卷了整个西方世界，民众与政府谈之色变，对于该疾病目前尚无任何药物预防及治疗，只有大规模屠宰及深埋以消除其风险，而英国科学家发现该疾病甚至还能传染人类。研究发现“疯牛病”的元凶只是一种蛋白，该蛋白在正常的哺乳动物中都存在，但当该蛋白构象发生改变时，其可以“诱使”其他正常蛋白也发生改变，进而出现病症。当研究人员通过转基因技术将编码该蛋白基因敲除后获得的转基因牛，即使注射入病原也不会得病。而我国作为世界第一养猪及猪肉消费大国，同样需要转基因技术来解决相关产业的迫切问题。

在人类自然科学与社会文明的发展过程中，二者之间的发展速度并非总是一致。如同很多科技新生物一样，转基因食品的出现也招致了许多社会民众的质疑甚至是反对。然而作为社会发展及人口膨胀的必然结果，农业技术的发展必须跟上食品的需求及社会现代化需求，而转基因技术将是这其中最优的一个选择。在转基因食品管理中，我们可以看到尽管民众已知碳酸饮料、膨化食品等众多含化学试剂成分的食品危害远大于这已检测的风险极低的转基因食品，但民众却对此反对较少。这正是因为民众有知情权，因而民众同样需要有了解转基因食品的权利，这也是转基因食品管理的一个重要步骤。为此，我们也需要让民众相信，在农业生产中，转基因技术的推广就如“砸

中牛顿的苹果”一般，必将为人类社会发展开启一扇崭新的大门。

【作者简介】

应正宙，男，1985 年出生，硕士。从事转基因动物研究工作。

转基因抗虫农作物安全吗

沈志成
浙江大学

农作物的大规模种植给农作物害虫提供了充足的食物和空间，因此农作物的害虫防治一直是农业生产的重要挑战。第二次世界大战以前，人类没有高效的农药防治害虫，因此害虫造成的危害相当严重。第二次世界大战以后，高效化学农药的大规模应用，给害虫防治带来了前所未有的成功。当时大家认为有了这些化学农药，害虫防治问题从此就解决了。

但是，事情的发展并没有像人们所希望的那样。大量使用化学农药以后，几乎所有害虫都产生了抗药性。一些曾经非常有效的化学农药很快就失去了杀虫能力。不仅如此，由于早期的这些化学农药对高等动物和人类具有非常高的毒性，大量使用对环境和人类的健康构成了重大的潜在危险。后来，尽管科学家们发明了对害虫高效而对人类低毒的杀虫剂，但是害虫很快又对这些新的杀虫剂产生了抗性。

人们开始认识到利用化学农药防治害虫具有相当的局限性，研究和发展其他害虫防治方法十分必要。因

此，科学家们加快了非化学农药防治害虫方法的研究，试图降低化学农药的使用量，克服大量使用化学农药带来的害虫抗性问题和对环境、人类的危害问题。

生物防治是化学农药以外害虫防治的重要方法之一。生物防治是一种利用自然界中的天敌生物进行害虫防治的方法。例如，利用瓢虫、寄生蜂等天敌昆虫，或者利用害虫的病原细菌和病毒等微生物防治害虫。全世界许多国家的科学家进行了大量的生物防治研究，而最成功的技术是利用一种称为 Bt 的细菌防治害虫。昆虫取食 Bt 以后能够被杀死。Bt 是一种对人类非常安全的细菌，大约 200 年前分别在德国和日本被发现的。它通常是一种土壤细菌，如果你从任何地方取一小把土壤样品，你就非常有可能成功分离获得 Bt 细菌。

科学家对 Bt 的杀虫原理进行了大量的研究，发现 Bt 细菌杀虫的原因是其能够产生对害虫有毒的蛋白质，通常称为 Bt 杀虫蛋白。Bt 细菌和 Bt 杀虫蛋白对高等动物和人类非常安全。在过去 Bt 大规模生产和使用中没有发生过任何中毒的事件。因此，Bt 杀虫剂被公认为是一种环境友好、对人安全的生物农药。为了大规模利用 Bt 防治害虫，目前许多国家都有大型发酵工厂大规模生产 Bt 杀虫剂。Bt 细菌及其产生的杀虫蛋白质通常被制造成为粉剂，喷洒在农作物及森林上防治农林害虫。一种可以杀灭蚊虫的 Bt 也被喷洒在滋生蚊虫的水塘等地方以防治蚊虫。

利用 Bt 防治害虫减少了化学杀虫剂的使用，对人

类和环境更加安全。但是，Bt 杀虫剂也存在比较难克服的问题。一是通过发酵生产获得的 Bt 杀虫剂成本往往比化学杀虫剂高，提高了害虫防治成本，农民不愿意大量替代化学杀虫剂。二是 Bt 杀虫剂的杀虫效果比较慢，并且防治效果受到天气等外界因素的影响比较大。因此，Bt 尽管是一种公认的安全和环境友好杀虫剂，但 Bt 杀虫剂在全世界杀虫剂市场中占有比例仍然非常低，不到杀虫剂总量的 1%。可以说，Bt 杀虫剂在农药市场上份额太小，没有能够发挥其应有的作用。

20 世纪 80 年代以后，以 DNA 重组技术为核心的生物技术的发展，给利用 Bt 防治害虫带来了全新的机遇。人们能够将 Bt 杀虫基因导入到农作物中，让农作物自身合成 Bt 杀虫蛋白质。这样我们就不需要通过发酵生产 Bt 杀虫剂，解决了 Bt 发酵成本高的问题。同时，由于 Bt 杀虫蛋白质表达在转基因农作物体内，不需要喷洒生物农药在农作物的表面，防治效果就不受天气等环境因素的影响。不仅如此，在转基因农作物中，Bt 杀虫蛋白质从出苗就开始合成，害虫的初孵幼虫就开始被杀灭，杀虫效果比传统的喷洒 Bt 生物农药有了极大的提高。一般来说，长大的害虫不容易被 Bt 杀灭，因此在使用 Bt 生物杀虫剂时，喷洒太迟杀虫效果往往比较差。例如，转基因的抗虫玉米基本上可以达到 100% 抗玉米螟，但发酵生产的 Bt 杀虫剂就往往达不到这样高的防治效果。

农作物转基因技术建立以后，国际上的跨国农作物

种业公司和农药公司就大规模地投入了转基因抗虫农作物的研发。在经过大量的安全性试验和评价以后，早在1996年美国农业部和环境保护署就批准了转基因抗虫玉米在美国的商业化种植。时至今日，美国种植的玉米70%以上是转基因玉米品种。应该说，转基因抗虫农作物的问世是人类害虫防治历史上的一个革命性进步。

转基因抗虫农作物在商业化大规模种植以前，一定是经过了大量的安全性试验和评价的。但是作为一种革命性的新技术，人们对转基因抗虫农作物的了解还不是十分清楚，特别是对其食用安全性可能仍然存在疑问。也许其中最大的一个疑问可能是：杀虫蛋白质对昆虫毒性特高，难道对人就完全没有毒性吗？

事实上，长期的科学试验和研究表明，杀虫蛋白质对高等动物和人类是完全没有毒性的。当初利用Bt生物杀虫剂就是为了避免化学杀虫剂的毒性。Bt杀虫蛋白质的最主要特点就是杀虫毒性的专一性。Bt细菌有非常多的株系，但Bt细菌株系的杀虫能力往往是非常专一的。例如，一种Bt株系能够杀玉米螟等鳞翅目昆虫，一般是不能杀蚊虫和甲虫等非鳞翅目的昆虫。早期的转基因抗虫玉米只能抗玉米螟等鳞翅目昆虫，不能抗甲虫。后来科学家们为了防治玉米根甲虫的危害，从大量的Bt株中筛选获得了一种可以杀灭甲虫的杀虫蛋白质（它对鳞翅目昆虫没有杀虫能力）。现在美国的大部分转基因玉米同时合成两种不同的Bt杀虫蛋白质，以达到同时抗玉米螟和根甲虫的目的。在抗虫棉花上，Bt

杀虫蛋白质对棉花的蜷象和蚜虫危害没有防治作用。

虽然 Bt 的杀虫专一性给我们防治各种不同昆虫带来了困难，但是 Bt 毒性的专一性恰恰给我们带来了对人类的高度安全性。也就是说，我们现在利用的 Bt 杀虫蛋白质仅仅对少量昆虫有毒性，对绝大部分昆虫没有毒性，更不用说高度动物和人类了。

Bt 杀虫蛋白质的杀虫机理研究结果，进一步说明了 Bt 对人类没有毒性。科学家们在过去的十几年中，对 Bt 杀虫蛋白质的杀虫机理进行了非常深入的研究。他们发现，Bt 杀虫蛋白质能够杀虫的条件是：①被杀害虫的中肠细胞具有这些 Bt 杀虫蛋白质的受体。②这些害虫的中肠中的消化酶不能快速降解消化 Bt 杀虫蛋白质。玉米螟等害虫的中肠正好具有这些 Bt 杀虫蛋白质的受体，并且它们的中肠不能快速降解消化 Cry1Ab 等 Bt 杀虫蛋白。在众多的昆虫种类中，一种 Bt 杀虫蛋白质能够杀灭的昆虫种类其实仅仅是昆虫纲中非常小的一部分。而且就是这些可能被杀灭的昆虫，一旦它们的受体发生突变，它们对 Bt 杀虫蛋白质的抗性就可以提高许多。例如，美国康奈尔大学的科学家发现一种抗性粉纹夜蛾，它对一种 Bt 杀虫蛋白质的抗性提高了 2 000 倍以上。这种 Bt 蛋白质基本上就不能杀灭这种抗性昆虫了。

昆虫的中肠和人的中肠差别极大。人的中肠既没有 Bt 杀虫蛋白质的受体，杀虫蛋白质也不能逃脱人的蛋白质消化酶的降解。人的消化道内酸性非常高，而玉米

螟、二化螟等的中肠是碱性。因此，Bt 杀虫蛋白质根本就不能在人的中肠中生存。模拟人的中肠条件下的试验表明，Bt 杀虫蛋白质迅速被消化降解成为氨基酸，而这些氨基酸是人的营养成分与从其他食品消化降解而来的氨基酸完全没有区别。目前申请转基因抗虫农作物商业化种植，都需要提供杀虫蛋白质在高等动物中被消化降解的研究资料。如果一种杀虫蛋白质不能在人的消化道中迅速消化降解，即使其没有对人的毒性，一般也是不能获得批准进行商业化推广种植的。因此，Bt 杀虫蛋白质对高等动物和人类产生毒性的两个条件都是不存在的。转基因玉米商业化种植以后十几年来，美国没有发现任何一个由于食用转基因农作物而造成对人有害的案例，进一步证明了目前的安全评价方法和标准是正确的。

此外，Bt 杀虫剂的长期安全生产和使用也间接说明了杀虫蛋白质是安全的。在 Bt 转基因农作物推广以前，发酵生产的 Bt 杀虫蛋白质的大规模应用，就应该已经导致杀虫蛋白质进入了我们的粮食和蔬菜产品。

Bt 对昆虫的毒性可能是自然进化中形成的特殊关系。毒性蛋白质的高度专一性现象其实在自然界是非常普遍的。例如，对人具有极大杀伤力的炭疽芽孢杆菌及其毒素，对昆虫是没有杀虫作用的。也就是说，这些来自生物的杀虫蛋白质对人类没有毒性也是自然界存在的正常现象。因此，从这些蛋白质可以杀昆虫就推论它们对人类有毒，是完全没有科学依据的。

无论是外国还是中国，批准一种转基因农作物的商业化种植是一个非常慎重的决定，对安全性的要求当然是非常高的。在安全上存在任何疑问的转基因农作物都不可能被批准。只有通过大量科学研究试验和安全评价，充分证明了安全性以后，一种转基因植物才能获得批准进入商业化种植和推广。同时我们应该注意到，国际上转基因抗虫玉米和抗虫棉花产业化种植已经十几年了，而这些年来并没有发现转基因农作物任何可能对人和高等生物的毒性问题。今天考虑和判断抗虫转基因水稻和玉米的安全性问题，我们比 1996 年的美国应该具有更多的科学依据和试验数据。

迄今为止，批准推广的转基因抗虫农作物不仅没有毒性，而且它能够通过大幅度降低化学农药的使用而使我们的农产品和农业更加安全。转基因抗虫技术是造福人类的一个革命性技术，是今后农业害虫防治的主要方向之一，我们没有理由放弃利用。

【作者简介】

沈志成，男，1966 年出生，博士，教授。主要从事害虫生物防治、Bt 抗虫蛋白质的发掘和利用等方面研究，在抗虫蛋白质的研发方面获得了 4 个国际和国内专利。

批准的转基因水稻安全吗

马炳田

四川农业大学

华中农业大学研发的“华恢 1 号”和“Bt 汕优 63”获得我国第一张转基因水稻生物安全证书，使中国转基因水稻商业化种植迈出了关键一步。但 100 多名学者在今年全国“两会”期间，联名发表了一封“要求立即停止转基因水稻和玉米商业化生产问题”的公开信。随后相关媒体组织了多场辩论赛，将转基因水稻引入了争议漩涡，争论的最重要的核心问题是转基因作物是否真的安全。推究原因，可能是大众对转基因水稻不够了解或存在误解。作为研发转基因水稻的科研人员，能够理解公众这种担心，同时也应该对转基因做一些科普宣传。

转基因植物通常可界定为遗传物质（脱氧核糖核酸）以非自然发生的方式改变的植物。产生转基因植物所采用的技术被称为“基因工程”或“转基因技术”等，它可使选定的个体基因从一种生物转移到另一种生物，并且还可在不相关的物种之间转移。这些方法用以产生转基因植物，甚至培育转基因粮食作物。

人们对转基因粮食作物，特别是转基因水稻安全性的担忧主要表现在转基因水稻是否影响人类健康、是否带来环境风险等两个方面。

通过对转基因抗虫水稻“华恢1号”和“Bt汕优63”的研究表明，转基因水稻中的Bt蛋白是一种高度专一的杀虫蛋白，只与鳞翅目害虫肠道上的特异蛋白结合而对害虫有毒，而人类肠道上皮细胞没有该蛋白的结合位点，因此不会对人体造成伤害。Bt蛋白作为生物杀虫剂已安全使用70多年，与已知致敏原蛋白氨基酸序列无相似性，不会引起过敏反应。转基因水稻毒性试验表明，转基因水稻对试验动物未见不良影响。营养检测分析表明，转基因水稻的营养成分没有生物学意义上的变化，与普通水稻具有同等的营养价值。这些均是依照我国《农业转基因生物安全评价管理办法》、《转基因植物安全评价指南》等得到的科学结果，评价指标全面规范，过程科学严谨，结论真实准确。因此，批准的转基因水稻与非转基因水稻对人类健康同样安全。

批准的转基因抗虫水稻对稻螟虫等鳞翅目害虫的抗虫效果稳定在80%以上，具有节省投入成本，减小劳动强度和中毒风险，大幅减少农药用量，减少环境污染，维持稻田生物种群动态平衡等优势。同时，转基因抗虫水稻的环境安全性分析和检测结果表明，转基因水稻在生存竞争能力、杂草性和入侵性等方面未发现变化；没有发现Bt蛋白基因漂移对农田生态和自然环境安全有不良影响；没有发现转基因水稻对非靶标害虫、

稻田天敌、经济昆虫以及节肢动物的种群结构与多样性产生不良影响。由于属内种间以及种内亚种和品种间的基因漂移是一个普遍的现象，转基因水稻品种和非转基因水稻品种的基因漂移，对种质资源保护与利用的影响是一样的。因此，转基因水稻与非转基因水稻在国内生产种植对生态环境同样安全。

转基因技术虽然是一种高新技术，但从本质上来说，与我们种质资源创新的常规“杂交”技术是一致的，只是转基因技术操作的基因片段结构和功能更加明确、种类更加多样、操作更加精准。业已证明，批准的转基因抗虫水稻只在抗虫性上与非转基因水稻有显著差异，其余性状与非转基因水稻相似。因此，转基因水稻从技术上来说是安全的。另外，我国从法律法规的建立健全、技术体系的建设、安全评价的科学规范开展和行政监督管理的强化等方面加强农业转基因生物的安全管理，保障了转基因技术研究与应用的安全推进，这也从管理上保障了转基因水稻的安全性。

总之，我国批准的转基因水稻和非转基因水稻是同样安全的。随着转基因技术的普及推广和大众了解的加深，转基因作物的优越性将越来越明显，转基因水稻将逐渐被公众主动接受。

转基因技术与传统技术有什么区别

黎　裕

中国农业科学院作物科学研究所

自从人类栽培作物和饲养动物以来，我们的祖先就从未停止过动、植物的遗传改良。过去几千年里的遗传改良方式主要是对自然突变产生的优良基因和重组体的选择和利用，通过随机和自然的方式来积累优良基因。遗传学创立后近百年的动、植物育种则是采用人工杂交的方法，进行优良基因的重组和外源基因的导入而实现遗传改良。

因此，转基因技术与传统技术是一脉相承的，其本质都是通过获得优良基因进行遗传改良。但在基因转移的范围和效率上，转基因技术与传统育种技术有两点重要区别。第一，传统技术一般只能在生物种内个体间实现基因转移，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。第二，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，所转移的是大量的基因，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经过明确定义的基因，功能清楚，后代表现可准确预期。因此，转基因技术是对传统技术的发展和补充。将两者紧密结合，可相得益彰，大大地提高动、植物品种改良的效率。

转基因植物的安全性争议

王　丰

中国农业科学院作物科学研究所

植物转基因，是将人工分离和修饰过的外源基因导入到需要改良的植物体中，使之产生新的性状，从而达到改良生物的目的。通过转基因技术可培育高产、优质、抗病毒、抗虫、抗寒、抗旱、抗涝、抗盐碱、抗除草剂等特性的作物新品种，以减少对农药、化肥和水的依赖，降低农业成本，大幅度地提高单位面积的产量，改善食品的质量，缓解世界粮食短缺的矛盾。自从1983年世界第一例转基因植物——转基因烟草诞生以来，转基因作物得到了迅猛发展，目前全世界种植有大约1.34亿公顷的转基因作物。

然而，自从转基因技术问世以来，围绕着它的争论和质疑就一直没有停止过。人们对转基因植物的担心主要在于其是否具有生物安全性。转基因生物安全性主要包括生态环境的安全性、食用安全性和是否具有过敏源。由于受到错误或片面的研究结果以及大众传媒的非客观报道的影响，公众对转基因植物及其安全性缺乏正确认识，甚至一些人把它当作洪水猛兽。其实任何一项

科学技术都是一把双刃剑，只要利用得当，都可以更好地造福人类。以下对引发大量争议的转基因玉米安全性事件作为例子进行简单介绍，以便我们能更加科学地认识转基因技术在农业生产中的应用，加强人们对科学问题的深入思考。

公众关于转基因品种对人体有害的错误认识主要有“Pusztai 事件”和“Seralini 事件”。1999 年，英国 Rowett 研究所（RRI）的 Pusztai 在研究结果未发表的情况下，就对媒体宣称“转 Lectin 基因（来源于 Galanthus nivalis 的植物凝集素基因）的马铃薯饲喂大鼠，导致大鼠内脏器官包括肝脏和脾脏重量严重减轻，免疫系统受到严重破坏”，并且认为“这些症状不是食用凝集素的结果，而是转基因过程中的 DNA 结构（DNA construct）所导致”。2007 年和 2009 年，法国卡昂大学的 Seralini 及其同事发表文章认为，将 3 种孟山都公司的转基因玉米连续喂食大鼠 3 个月，能让大鼠的肝脏、肾脏受损。这些研究结果一经发表，在世界范围内引发了公众对转基因作物的激烈争论和不信任感。

然而，这两个研究小组的研究在实验设计、方法、研究结果及数据分析都存在严重的缺陷。

Pusztai 研究结果最重要的缺陷是实验材料和方法的问题。一方面他只用马铃薯饲喂大鼠，因此很可能是饲喂材料的单一性导致大鼠体重和器官的变化。另一方面，饲喂大鼠时，他采用的对照是普通马铃薯而不是转空载体的马铃薯作为对照。这种饲喂方法实际上违背了

OECD（Organization for Economic Co－operation and Development）在1993年提出的食品安全性分析的实质等同性（Substantial Equivalence）原则（OECD，1993）。实质等同性是指某一转基因植物或食品与非转基因对照在实质上（除所转基因控制的性状外）相同。实质等同性需比较的内容为：对于转基因植物主要包括形态、生长、产量、抗病性及其他有关农艺性状；对于转基因食品主要包括脂肪、蛋白质、碳水化合物、矿物质、维生素、抗营养物质（如豆科作物中的酶制剂、脂肪氧化酶等）、毒素和过敏源等。

该实验中转基因马铃薯与普通马铃薯除转基因成分的差别外，在营养成分上也存在巨大差别，如转基因马铃薯相对于普通马铃薯品种蛋白质含量低20%，并且在糖和淀粉含量上也存在显著的差别。因此，可能是转基因马铃薯在营养组成方面的缺陷，而不是转基因本身导致大鼠的发育异常。同样，如果用两种营养成分差别较大的两个非转基因马铃薯饲喂大鼠，可能也会造成类似的结果。因此，Pusztai的实验不科学，其结果不能证明转基因品种对人体有害。

同样，Seralini及其同事的研究方法和结果也是存在大量问题。首先，他们并未亲自做实验，其论文中的对大鼠喂食3种转基因玉米（NK603、MON810、MON863）的试验数据来源于美国孟山都公司的实验数据。他们只是将孟山都公司的数据拿来重新做了一个粗浅统计分析。Seralini及其同事的文章发表后，马上受

到国际同行及相关监管机构的广泛质疑和批评。

法国生物技术高级咨询委员会（French High Counsel on Biotechnology）指出：Seralini 及其同事没有进行独立实验，仅仅是对孟山都公司原始数据做了重新分析，分析中存在大量的错误和缺陷，并且文中仅列出了数据的差异，却没能给予任何生物学或毒理学上的解释，而且这种差异仅反映在某些大鼠和某个时间点上，不能说明任何问题。

澳大利亚新西兰食品标准局（FSANZ）独立调查分析了 Seralini 等人论文中的数据，用事实指出了 Seralini 等人的错误。FSANZ 认为，喂食转基因玉米后，老鼠表现出的差异性是完全符合常态的。并且指出，Seralini 及其同事的统计结果与其他病理学、组织病理学、组织化学等方面的相关数据之间缺乏一致性，并且没能给予任何看似合理的科学解释。Seralini 及其同事的论文中提到的差异性与老鼠性别及喂食剂量均无关系。

科学家们和来自欧盟、德国、法国、澳大利亚－新西兰、菲律宾的监管机构在审查后均宣布，以上两个研究小组的研究在方法和结果上存在大量的错误和缺陷。事实上，以上两个研究小组所涉及的转基因马铃薯和玉米已被世界上很多监管部门认定是安全的。但由于这些研究者的草率，造成错误的判断，进而又造成错误的传播，被一些反对转基因的组织和个人“以讹传讹”，拿来误导公众，成为一个典型的“伪事件”。这个教训十

分深刻。

随着人们对转基因作物在人类健康及生态环境等方面潜在影响的进一步认识，随着科学技术的不断进步，政策的进一步规范和执行，转基因作物将会得到更大面积的推广和应用。

浅谈远缘杂交与转基因作物育种

李兴锋　童依平
华中农业大学

小麦和水稻是我国的主要粮食作物，我们从这些粮食作物获得能量和营养物质。我们不仅关心粮食产量的高低、粮食中的营养是否丰富、做成的食品是否好吃(加工品质)，同时也关心粮食生产过程中用了多少化肥、打了多少农药。为了在少施化肥、少打农药的条件下获得更多的、符合人们消费需求的粮食，科学家需要对农作物进行品种改良，提高农作物的丰产性，改良粮食的营养和加工品质，提高农作物的肥料利用效率以少施化肥，增强农作物的抗病虫能力以少打农药。而粮食作物的丰产性、品质、肥料利用效率和抗病虫能力是由基因控制的，因此要改良农作物品种，就需要在育种过程中利用能控制这些性状的优良基因。

我们平时所说的杂交育种，首先需要通过种内两个不同的品种之间进行杂交以实现基因交换，然后从其杂交后代的分离群体中筛选综合了双亲优良性状或基因的优良个体进而形成品种。但是由于人类长期定向选择和集约化品种的选育推广，自然界中栽培农作物种内基因

库中可利用的优异基因源正在日益减少。而社会、环境条件的变化和人们生活水平的提高，农业生产又面临着许多前所未有的新挑战。当现有品种的优良基因都不能满足要求的时候，育种家不得不把目光投向更为广阔的生物资源库，从野生近缘种或者是亲缘关系更远的物种中寻找优良的可用的基因。

远缘杂交通常是指植物分类学上不同种、不同属甚至亲缘关系更远的物种之间的杂交。通过远缘杂交可将其他近缘种属的有益性状（如抗病、抗虫、抗逆性强、优质）的基因资源导入栽培种，从而培育出高产、品质优良、抗病虫能力强、肥料利用效率高的农作物新品种。目前该方法已在大田作物、蔬菜作物、果树和花卉育种中广泛应用，并成为育种工作的一个重要领域。

例如，李振声院士利用小麦的近缘植物长穗偃麦草与普通小麦进行杂交，培育出高产优质的小偃4号、5号、6号、54号、81号等系列小麦新品种，其中仅小偃6号就累计推广1 000万公顷。我们许多小麦育种家利用小偃系列小麦品种作为亲本，选育出了几十个小麦新品种，累计种植面积达2 000多万公顷。还有普通小麦与黑麦杂交所形成的1BL.1RS易位系，将黑麦1RS染色体上所携带的多种抗病基因、抗飞虱基因及与丰产性、适应性有关的基因转移到普通小麦遗传背景中，并且具有稳定遗传的特点，在世界小麦生产和育种中得到了广泛的应用。果树和蔬菜作物中，自然发生和人工获得的远缘杂种也有很多例子。例如我们平时所吃的苹果

梨，不仅品质好、丰产，而且抗寒，被认为是秋子梨和沙梨的天然种间杂种。此外，国内外许多科学家在苹果、梨、杏、李、樱桃、葡萄、柑橘的新品种培育过程中也广泛地采用了远缘杂交技术，并获得许多优良的新品种。

虽然远缘杂交可以转移来自不同近缘种、不同近缘属的有利性状和基因，在农作物品种培育和保证我国粮食安全中发挥了巨大作用，但是它也存在着一些缺点。主要表现为由于杂交亲本之间遗传关系相对较远，在杂交过程中会出现杂交不亲和、杂种衰亡或不育以及杂交后代疯狂分离、获得稳定材料耗时较长等现象。此外，远缘杂交技术中杂交亲本之间亲缘关系不能太远，通常为不同属植物之间的杂交，很少见到不同属以上类型（如不同科间材料杂交）的杂交成功的报道，更不用说植物和动物或是微生物之间的遗传信息交流。此外，远缘杂交转移外源优良性状时，通常是外源种属的整条染色体臂或者染色体片段向栽培品种的转移。即使是小片段的外源染色体，其上面也可能有着成百上千的基因，因此其上面除了我们所想要的有利性状和基因外，可能还携带有我们所不想要的不利性状或基因。例如我们上面所说的小麦—黑麦 1BL.1RS 易位系，除了转移黑麦的抗病、高产和广适等优良基因外，1RS 上的黑麦碱合成基因也同时转移到普通小麦中，导致所形成的此类小麦品种一般加工品质都比较差。

为了快速向目标品种中转移优良基因，科学家发明

了转基因技术。转基因技术是指将外源基因整合在目标品种的基因组中，培育出符合人们要求的作物新品种的基因转移技术。与传统的杂交育种不同，转基因技术最大的特点就是能够实现优良基因在植物、动物和微生物间的转移，进一步拓宽了育种中种质资源的利用范围，从而培育出一些具有新的优异性状的品种，使得依靠常规育种技术达不到的目标得以实现。这一特点与育种途径中的远缘杂交有着异曲同工的特点，但是又有着其不可比拟的优越性和特点。目前转基因作物育种中的基因来源主要有三类：植物、微生物、动物。

植物有利基因的利用：转基因技术中植物科属的界限正在被打破，不同科甚至亲缘关系更远的优良基因转移已经实现。例如，科学家通过转基因技术，将胡萝卜素形成的基因转移到水稻中，在水稻胚乳中可以合成胡萝卜素，使得原本白色的大米变成了金黄色的“金色大米”。此外，将红树耐盐基因转移进烟草、将仙人掌的抗旱基因转移给谷类作物、将稗草的抗逆基因转移给水稻等研究均已获得成功，相关的研究报道越来越多。除此之外，科学家还可利用转基因技术增强或关闭作物本身的一些基因的表达，从而实现作物改良的目的。例如，我们可以通过基因干扰或沉默技术关闭小麦种子中黄色素合成相关基因，从而提高小麦面粉的白度，降低面粉中增白剂的使用。

微生物有利基因的利用：这方面成功的例子比较多，也是目前有人质疑转基因作物安全性的主要原因之

一，因为目前抗虫、抗病转基因作物的抗性基因主要来自微生物。例如，生产中广泛应用的转基因抗虫棉的抗虫基因就来自苏云金芽孢杆菌（Bt）的杀虫蛋白基因。苏云金杆菌是自然界中普遍存在的一类细菌，其含有的杀虫基因已被作为生物杀虫剂广泛应用了70多年，其杀虫原理国内外已经研究得十分清楚。此外，利用编码病毒外壳蛋白基因培育抗病毒病害的转基因作物，利用细菌细胞壁降解酶基因、几丁质酶等基因培育抗细菌性或真菌性病害的转基因作物，均有了许多成功的报道。

动物有利基因的利用：这方面的报道相对较少。例如，将鱼的抗冻基因转到农作物身上，提高农作物的抗寒性；将萤火虫的发光蛋白基因导入烟草，使其在夜间也能发光，均有成功的研究报道，但距商业化还有一段距离。

利用转基因植物作为生物反应器生产药用蛋白和疫苗，已成为制药产业重点开发的热点领域。因为利用植物生产药物比利用微生物发酵生产药物具有如下优点：栽培费用低、产量高；从基因到蛋白所需用的时间相对较短；需要资金少；治疗风险小。把基因药物生产逐步移向农场，利用植物来生产药物是一种全新的生产模式，国际上发达的工业国家特别是美国、英国、荷兰、芬兰和日本都已把植物反应器开发列入国家生物技术革命的战略性计划。据不完全统计，目前已有几十种药用蛋白或多肽在植物中成功表达，一些研究机构或公司已开始从这些药物蛋白的生产中获得了巨大经济效益。例

如，利用植物表达生产乙肝疫苗、霍乱疫苗、口蹄疫疫苗等均有成功的研究报道。

此外，与远缘杂交相比，转基因作物一般是一个或少数几个目标基因的定向转移，目标比较明确，后代表现容易预期和把握。可有效地打破有利基因和不利基因的连锁，充分利用有用基因实现作物的定向遗传改良，加快作物的育种进程，使人们可以更快、更有目的地去培育我们所需要的品种。

因此，在改良和提高现有转基因技术和方法、培育无筛选标记的转基因品种、严格执行转基因安全相关管理规定、加强转基因作物安全评价的情况下，转基因作物将会在作物的遗传改良和农业生产中发挥越来越重要的作用。

经过安全性评价的转基因作物是安全的

王坤波　刘方

中国农业科学院棉花研究所

基因工程技术在20世纪90年代开始在食品工业中应用，其标志是第一例重组DNA基因工程菌生产的凝乳酶在奶酪工业的应用。

2010年，全球已有29个国家批准了转基因作物的商业化种植。

目前全球商业化的转基因食品主要包括：油菜、棉花、大豆、玉米、西红柿、马铃薯、甜瓜、番木瓜、甜椒、甜菜、西葫芦、转牛凝乳酶基因工程菌、转基因面包酵母菌等。其中转基因大豆是种植面积最大的转基因作物，占转基因作物种植面积的70%以上。美国是转基因食品最大的生产国和消费国，在美国食品市场约有九成的食品中含有转基因成分。目前，商业化的转基因大豆品系有6种，主要特性是抗除草剂和高油酸。但种植面积最大的是孟山都公司商业化的转基因抗除草剂大豆40-3-2。

我国目前是第六大转基因作物生产国，主要是转基

因抗虫棉花。在中国境内批准商业化种植的转基因作物种类共4种：棉花、西红柿、甜椒和矮牵牛。

那么，转基因大豆是否安全呢？这是消费者普遍关心的问题。转基因食品的安全性问题主要涉及两个方面：对环境和生物多样性的影响、对人类健康的影响。首先，来看一看转基因食品在商业化以前，需要进行哪些安全性的评价，这样就能知道转基因大豆到底是否安全。

一、转基因食品安全性评价的主要内容

1993年，经济合作与发展组织（OECD）提出对现代生物技术食品采用实质等同性的评价原则。在1996年FAO/WHO召开的第二次生物技术安全性评价专家咨询会议，提出了实质等同的评价原则：①转基因食品与现有的传统食品具有实质等同性。②除某些特定的差异外，与传统食品具有实质等同性。③与传统食品没有实质等同性。实质等同性的评价原则，是目前世界各国评价转基因食品安全最主要也是最基本的原则。

在进行评价时应根据下列情况分别对待：

第一，与现有食品及食品成分具有完全实质等同性。若某一转基因食品或成分与某一现有食品具有实质等同性，那么就不用考虑毒理和营养方面的安全性，两者应等同对待。

第二，与现有食品及成分具有实质等同性，但存在某些特定差异。这种差异包括：引入的遗传物质是编码

一种蛋白质还是多种蛋白质，是否产生其他物质，是否改变内源成分或产生新的化合物。新食品的安全性评价主要考虑外源基因的产物与功能，包括蛋白质的结构、功能、特异性食用历史等。在这种情况下，主要针对一些可能存在的差异和主要营养成分进行比较分析。目前，经过比较的转基因食品大多属于这种情况。

第三，与现有食品无实质等同性。如果某种食品或食品成分与现有食品和成分无实质等同性，这并不意味着它一定不安全，但必须考虑这种食品的安全性和营养性。

（一）营养成分和抗营养因子是转基因食品安全性评价的重要组成部分

对转基因食品营养成分的评价主要针对蛋白质、淀粉、纤维素、脂肪、脂肪酸、氨基酸、矿质元素、维生素、灰分等与人类健康营养密切相关的物质。根据转基因食品的种类以及对人类营养的主要成分，还需要有重点的开展一些营养成分的分析。例如，转基因大豆的营养成分分析，还应重点对大豆中的大豆异黄酮、大豆皂甙等进行分析，一方面，这些成分是一些对人类健康具有特殊功能的营养成分，同时，也是抗营养因子。其实，几乎所有的植物性食品中都含有抗营养因子，这是植物在进化过程中形成的自我防御的物质。目前，已知的抗营养因子主要有蛋白酶抑制剂、植酸、凝集素、芥酸、棉酚、单宁、硫苷等。

转基因食品是否因为插入了外源基因而产生毒素，

或者插入的外源基因产物对人体产生毒理学效应是安全性评价的一个重要方面。现在已知的植物毒素约1 000余种，绝大部分是植物次生代谢产物，属于生物碱、萜类等有机物。其中，最重要的是生物碱和萜类植物。如千里光碱等双稠吡咯烷以及金雀儿碱等双稠哌啶烷类生物碱是强烷化剂，具有强烈的肝脏毒性，并有致癌、致畸作用。

在人类食品植物中也产生大量的毒性物质和抗营养因子，如蛋白酶抑制剂、溶血剂、神经毒剂等。到目前为止，自然界共发现四类蛋白酶抑制剂：丝氨酸蛋白酶抑制剂、金属蛋白酶抑制剂、巯基蛋白酶抑制剂和酸性蛋白酶抑制剂。这些蛋白酶抑制剂在抗虫基因工程研究中得到了广泛的应用。在许多豆科植物产生相对较高水平的凝集素和生氰糖苷。植物凝集素（Lectin）在食用前未被消化或加热浸泡除去，可以造成严重的恶心、呕吐和腹泻。如果生食豆类和木薯，其生氰糖苷含量能导致慢性神经疾病甚至死亡。

在通过对基因序列数据库EMBL和蛋白质序列数据库的SWISSPORT的查询中，共发现毒蛋白1 458种。对转基因食品的毒理学检测，主要是用传统的毒理学检测方法，包括外源基因产物的急性经口毒性试验、亚慢性毒性试验、遗传毒性试验等。目前，我国的转基因食品安全性评价采用的是1983年由卫生部颁发的《食品安全性毒理学评价程序与方法》标准，该标准的最新版本为2003年修订的。

（二）转基因食品的过敏性评价是安全评价的另一个重要方面

食物过敏是人类食物食用史上一个由来已久的卫生问题。全球有近2%的成年人和4%～6%的儿童有食物过敏史。

在儿童和成年人中，90%以上的过敏反应是由八类食物引起的：蛋、鱼、贝壳、奶、花生、大豆、坚果和小麦。一般过敏性食品都具有一些共同特点，如通常都能耐受食品加工、加热和烹调操作，可以抵抗肠道消化酶的作用等。但是，值得强调的是，具有这些特性的物质并非都是过敏源。

早期，对转基因食品过敏性评价，是采用国际食品生物技术委员会与国际生命科学研究院一起制定的一套分析遗传改良食品过敏性树状分析法。用该法分析了含巴西坚果高甲硫氨酸贮藏蛋白2S清蛋白的转基因大豆，这种大豆原拟作为改良的动物饲料。在对3位过敏病人的皮肤穿刺试验中，证明为阳性，进一步证明这种转基因大豆的潜在过敏性。孟山都公司也用这种树状分析评价抗除草剂草甘膦大豆40-3-2的潜在过敏性，结果发现转入大豆的EPSPs酶与已知过敏源无明显的序列同源性，在模拟的哺乳动物消化系统中很快被消化降解。随着认识的成熟，目前主要遵循国际食品法典委员会制定的《转基因植物来源食品食用安全评价指南》国际标准附件中提出的过敏评价方法。

在对转基因食品安全性进行评价时，还要考虑抗生

素抗性标记基因的安全性、外源基因插入而导致的非期望效应、加工过程对食品营养和安全的影响等方面。总之，在进行转基因食品安全性评价时遵循了以下原则：实质等同性原则（substantial equivalence）、预先防范（precaution）的原则、个案评估的原则（case by case）、逐步评估的原则（step by step）、风险效益平衡的原则（balance of benefits and risks）和熟悉性原则（familiarity）。

二、安全性评价后的转基因作物是安全的

在了解了转基因食品安全性评价的内容后，再来谈转基因大豆的安全性。我国进口的转基因大豆主要是孟山都公司的抗除草剂转基因大豆。在发放转基因大豆安全证书前，我国需要对其安全性做全面的评估。例如，农业部农业转基因生物安全管理办公室要求孟山都公司根据我国安全管理的要求，提交相关的安全性评价试验资料，并要求对抗除草剂转基因大豆涉及安全的关键指标，在我国权威的检测机构进行安全性验证试验。最后，国家农业转基因生物安全委员会对验证试验结果和孟山都公司提交的安全性评价试验资料进行的综合性评价分析，在确认安全后，由国家管理部门发放安全证书。目前，该转基因大豆已经获得了阿根廷、巴西、欧盟、日本、韩国、俄罗斯、加拿大、南非、澳大利亚等国家和地区的安全证书。

虽然，就目前的转基因食品安全评价技术而言，还

有其不完善的地方，如缺乏系统的过敏性评价技术方法和非预期效应的检测方法。但科学是在不断进步的，转基因食品的安全性评价方法也是不断进步的，转基因食品的风险防范措施也是不断完善的。因此，转基因大豆在经过了目前的安全性评价后，可以认为是安全的。但是，并不能保证将来所有的转基因食品都是安全的。因为转基因技术如同其他新出现技术一样，是一把双刃剑，关键取决于利用的目的和方式。其对人类有利的一面：利用转基因技术改造农作物，使其自身可以对病虫害产生抵抗力，从而减少对农药的需求；利用转基因技术生产生物农药，在提高药效的同时，减少了降解的时间和对人、畜的毒性；利用转基因技术改造家畜和家禽，使其对病害的抵抗力增加，减少抗生素的使用；利用转基因技术使动物内源生长激素分泌增加，对饲料的利用率提高，脂肪生成减少，瘦肉增加，可以杜绝抗生素、激素和违禁药物的使用。因此，转基因技术可以改善食品生产的环境，提高食品的营养，消除食品的污染源，在改善和保障食品安全方面有着巨大的应用前景。

【作者简介】

王坤波，男，1956 年生，博士，研究员，博士生导师，中国农业科学院跨世纪学科带头人。长期从事棉花种质资源与细胞生物学研究，主持国家科研项目 30 余项。

科学分析八个所谓“转基因的安全性事例”

陈茹梅

中国农业科学院生物技术研究所

从上个世纪80年代世界上第一例转基因植物诞生以来，转基因的相关研究日益加快，转基因的产品越来越多。据初步统计，关于转基因作物的研究论文在2000年共发表676篇，2009年数量增加到1 301篇，这10年论文总数量为10 171篇。相关的新闻报道更是不计其数，其中偶尔有些反对转基因的声音。在生物技术育种20多年的发展中，千千万万的关于转基因科学研究中，仅有8个所谓的“转基因的安全性问题”事例，其中6个与食用安全相关，两个与生态安全相关。本文通过对这些事例的剖析，看清楚这些事例是否是以科学为基础？同时也让更多的公众真正了解事情的真相。

一、事实的叙述与分析

食用事例1：巴西坚果与转基因大豆，发生于美国，发端于科研论文

大豆是营养丰富的食物，营养来自于其富含氨基

酸，但是大豆中的氨基酸中缺乏含硫氨基酸。巴西坚果（*Bertholletia excelsa*）中有一种富含甲硫氨酸和半胱氨酸的蛋白质（2S albumin）。为进一步提高大豆的营养品质，1994 年 1 月，美国先锋（Pioneer）种子公司的科研人员尝试了将巴西坚果中编码 2S albumin 蛋白的基因转入大豆中（文章摘要发表于《细胞生物化学杂志》*Journal of Cellular Biochemistry*，1994，Suppl 18A：78）。研究结果表明，转基因大豆中的含硫氨基酸的确提高了。

但是，要对这种大豆进行产业化开发，就必须明确人食用是否安全，这是国际通行的做法，并且由各国制定法规加以规范。转基因作物必须按照法规的要求，开展食用安全性评价并得到食用安全的结论才有可能获准商业化。在研究人员对转入编码蛋白质 2S albumin 基因的大豆进行了测试之后，发现对巴西坚果过敏的人同样会对这种大豆过敏，蛋白质 2S albumin 可能正是巴西坚果中的主要过敏源（研究结果发表于《新英格兰医学杂志》*The New England Journal of Medicine*，1996，334：688～692）。

因此，先锋种子公司立即终止了这项研究计划，此事后来一度被说成是“转基因大豆引起食物过敏”，作为反对转基因的一个主要事例，但实际上“巴西坚果事件”也是所发现的因过敏未被商业化的转基因案例。恰恰说明对转基因植物的安全管理和生物技术育种技术体系具有自我检查和自我调控的能力，能有效地防止转基因食品成为过敏源。事实上，巴西坚果被认为是人类

天然的食物，它本身就含有这种过敏源，因此，天然食物也并非对所有人都是安全的。

食用事例2：普斯泰（Pusztai）马铃薯事件，发生于英国，发端于电视新闻

“普斯泰（Pusztai）事件”，1998年秋天，苏格兰Rowett研究所的科学家阿帕得·普斯泰（Arpad Pusztai）通过电视台发表讲话，声称在实验中用转雪花莲凝集素基因的马铃薯喂食大鼠，大鼠“体重和器官重量严重减轻，免疫系统受到破坏”。此言一出，即引起国际轰动。绿色和平组织等把这种马铃薯说成是“杀手”，并策划了破坏转基因作物试验地等行动，焚毁了印度的两块试验田，甚至美国加利福尼亚大学戴维斯分校的非转基因试验材料也遭破坏，以致研究生的毕业论文都无法答辩。随后，欧洲掀起反转基因食物热潮。

普斯泰的实验遭到了权威机构的质疑。英国皇家学会对“普斯泰事件”高度重视，组织专家对该实验展开同行评审。1999年5月，评审报告指出普斯泰的实验存在失误和缺陷，主要包含六个方面：不能确定转基因与非转基因马铃薯的化学成分有差异；对试验用的大鼠仅仅食用富含淀粉的转基因马铃薯，未补充其他蛋白质以防止饥饿是不适当的；供实验用的动物数量太少，饲喂几种不同的食物，且都不是大鼠的标准食物，欠缺统计学意义；实验设计差，未按照该类试验的惯例进行双盲测定；统计方法不恰当；实验结果无一致性。通俗地讲，该试验设计不科学，试验的过程错误百出，试验

的结果无法重复，也不能再现，因此结果和相应的结论根本不可信。

普斯泰是在尚未完成实验，并且没有发表数据的情况下，就贸然通过媒体向公众传播其结论，是非常不负责任的。不久之后，Pusztai 博士本人就此不负责任的说法表示道歉。Rowett 研究所宣布普斯泰提前退休，并不再对其言论负责。

食用事例 3：孟山都转基因玉米事例一，发生于法国，发端于科研论文

2007 年，法国分子内分泌学家 Seralini 及其同事对孟山都公司转抗虫基因玉米的原始实验数据做过统计分析（文章发表于《环境污染与毒物学文献》*Archives of Environmental Contamination and Toxicology*，2007，52：596～602），得出老鼠在食用转基因玉米后受到了一定程度的不良影响。

当时，一些科学家和监管机构就指出他们的工作存在着大量的错误和缺陷。来自美国、德国、英国和加拿大的 6 位毒理学及统计学专家组成同行评议组，对 Seralini 等人及孟山都公司的研究展开复审和评价，认为，Seralini 等人对孟山都公司原始实验数据的重新分析，并没有产生有意义的新数据来表明转基因玉米在 3 个月的老鼠喂食研究中导致了不良副作用。并在《食品与化学品毒理学》上发表了评价结果。

2009 年，Seralini 及其同事再次把欧盟转引的美国孟山都公司的实验数据重新做了一个粗浅的统计分析，

在2009年第7期《国际生物科学学报》上发表文章，文中指出，食用了90天转基因玉米（抗除草剂玉米NK603，抗虫玉米MON810和MON863）的老鼠，与食用转基因玉米不到90天的老鼠，其肝肾生化指标有差异。据此把这种差异解释成食用转基因玉米后造成的。

该文章发表后，便受到了监管机构及同行科学家的批评。法国生物技术高级咨询委员会指出，Seralini及其同事发表的论文中仅列出了数据的差异，却没能给予任何生物学或毒理学上的解释，而且这种差异仅反映在某些老鼠和某个时间点上，不能说明任何问题。此外，Seralini及其同事没有进行独立实验，仅仅是对孟山都公司原始数据做了重新分析，显得粗略、证据不足或解释错误，根本不足以推导出转基因产品会导致某些血液学上的、肝肾的毒性迹象这样的结论。总之，Seralini等人的论文没有任何新的科学信息。另外，澳大利亚新西兰食品标准局通过对Seralini等人论文数据的调查分析指出，此论文的统计结果与组织病理学、组织化学等方面的相关数据之间缺乏一致性，且没能给予合理解释。该机构同时认为，喂食转基因玉米后老鼠表现出的差异性是符合常态的。对于这篇文章最大的质疑在于，Seralini等人的实验结果仍然和2007年的文章一样，不是建立在亲自对老鼠进行独立实验的基础之上，文中进行统计分析的数据，仍然是借用来源自孟山都公司之前的实验，他们仅仅是对数据选择了不合适的、不被同行使用的统计方法做了重新分析，因此结果和结论都是不科学的。

食用事例4：孟山都转基因玉米事例二，发生于奥地利，发端于研究报告

2007年，奥地利维也纳大学兽医学教授约尔根·泽特克（Juergen Zentek）领导的研究小组，对孟山都公司研发的抗除草剂转基因玉米NK603和转基因Bt抗虫玉米MON810的杂交品种进行了动物实验。在经过长达20周的观察之后，泽特克发现转基因玉米对老鼠的生殖能力存有潜在危险。

事实上，关于转基因玉米是否影响老鼠生殖的问题，共进行了三项研究，而仅有泽特克负责的其中一项发现了问题。该研究结论发布时，尚未经过同行科学家的评审，泽特克博士在报告时自己都表示，其研究结果很不一致，显得十分初级和粗糙。

欧洲食品安全部评价转基因安全性的专家组最近对泽特克的研究发表了同行评议报告，认为根据其提供的数据不能得出科学的结论。同时，两位被国际同行认可的专家（Drs. John DeSesso和James Lamb）事后专门审查及评议了泽特克博士的研究，并独立地发表申明，认定其中存在严重错误和缺陷，该研究并不能支持任何关于食用转基因玉米MON810和NK603可能对生殖产生不良影响的结论。

食用事例5：俄罗斯之声转基因食品事件，发生于俄罗斯，发端于电台新闻

与其说是一个事例，倒不如说是一则虚假新闻。2010年4月16日，俄罗斯广播电台俄罗斯之声以《俄

罗斯宣称转基因食品是有害的》为题报道了一则新闻（http：//english. ruvr. ru/2010/04/16/6524765. html）。新闻称，由全国基因安全协会和生态与环境问题研究所联合进行的试验证明，转基因生物对哺乳动物是有害的。负责该试验的 Alexei Surov 博士介绍说，用转基因大豆喂养的仓鼠第二代成长和性成熟缓慢，第三代失去生育能力。俄罗斯之声还称“俄罗斯科学家的结果与法国、澳大利亚的科学家结果一致。当科学家证明转基因玉米是有害的，法国立即禁止了其生产和销售”。

实际情形是怎样的呢？通过目前掌握的资料了解到，Alexei Surov 博士所在的 Severtsov 生态与进化研究所并没有任何研究简报或新闻表明 Alexei Surov 博士曾写过这样的信息，俄罗斯之声报道的新闻事件也没有在任何学术期刊上发表过研究论文。此外，俄罗斯之声用的标题是《俄罗斯宣称转基因食品是有害的》，而其他新闻报纸则用的是“一个俄罗斯人宣称”。显然“俄罗斯宣称”与“一个俄罗斯人宣称”是有显著区别的。至于新闻中提到法国禁止了转基因玉米的生产和销售，这与事实不符。法国政府并没有对转基因食品的生产和销售下禁令，而是恰好相反。欧盟已经于 2004 年 5 月 19 日决定允许进口转基因玉米在欧盟境内销售。

食用事例 6：广西迪卡 007/008 玉米事件，发生于中国，发端于网络媒体

无独有偶，这一事例是发生在中国的一则虚假新闻：从 2010 年 2 月起，一篇题为《广西抽检男生一半精液异

常，传言早已种植转基因玉米》、署名为张宏良的帖子在网络上传播甚广，引发了不少公众对转基因产品的恐慌。文章称："迄今为止，世界所有国家传来的有关转基因食品的负面消息，全都是小白鼠食用后的不良反应，唯独中国传来的是大学生精液质量异常的报告。"

从帖子的标题到内容，作者很显然试图将广西大学生精液异常与种植转基因玉米这两件事联系起来，这也正是导致公众恐慌的根本原因。其中，广西种植转基因玉米之说，作者依据的材料是有网络报道称"广西已经和美国的孟山都公司从2001年至今在广西推广了上千万亩'迪卡'系列转基因玉米"。广西大学生精液异常之说，则依据的是广西新闻网2009年11月19日登出的报道：广西在校大学男生性健康，过半抽检男生精液不合格。但从了解的情况来看，第一个说法不属实，第二个说法有明确出处但和转基因没有关系。

迪卡007/008为传统的常规杂交玉米，而不是转基因作物品种。对此，孟山都公司、广西壮族自治区种子管理站、农业部分别从不同的角度予以了证实。

2010年2月9日，美国孟山都公司在其官方网站公布了"关于迪卡007/008玉米传言的说明"。说明指出，迪卡007玉米是孟山都公司研发的传统常规杂交玉米，于2000年春天通过了广西壮族自治区的品种认定，2001年开始在广西推广种植。迪卡008是迪卡007玉米的升级品种杂交玉米，2008年通过了审定，同年开始在广西地区推广。广西壮族自治区种子管理站在随后

的“关于迪卡 007/008 在广西审定推广情况的说明”中确认了这一说法，并介绍 2009 年迪卡 007/008 的种植面积分别占全区玉米种植总面积 51 万公顷的 14.5%、3.5%。

2010 年 3 月 3 日，农业部农业转基因生物安全管理办公室负责人在接受中国新闻网记者采访时表示，网上关于“农业部批准进口转基因粮食种子并在国内大面积播种”的消息不实，农业部从未批准任何一种转基因粮食种子进口到中国境内种植，在国内也没有转基因粮食作物种植。

对于广西抽检男生一半精液异常的说法，确有出处，即由广西医科大学第一附属医院男性学科主任梁季鸿领衔完成的《广西在校大学生性健康调查报告》。从广西新闻网那篇文章的内容来看，研究者根本没有提出广西大学生精液异常与转基因有关的观点，而是列出了环境污染、食品中大量使用添加剂、长时间上网等不健康的生活习惯等因素。这从另一个材料也能得到印证。参与该报告调查的梁季鸿的助手李广裕根据该调查报告完成了 2009 年硕士学位论文《217 例广西在校大学生志愿者精液质量分析》。在论文最终的结论中写到：“广西地区大学生精液质量异常的情况以精子活率和活力低比较突出。其精子的活率明显低于国内不同地区文献报道的结果。广西地区大学生精子活率、活力低及精子运动能力减弱，可能与前列腺液白细胞异常，精索筋脉曲张，支原体、衣原体感染，ASAB（+）有关。”

生态安全事例 1：帝王蝶（Monarch butterfly）事件，发生于美国，发端于科研论文

1999 年 5 月，康奈尔大学昆虫学教授洛希（Losey）在 *Nature* 杂志发表文章，称其用拌有转基因抗虫玉米花粉的马利筋杂草叶片饲喂帝王蝶幼虫，发现这些幼虫生长缓慢，并且死亡率高达 44%。洛希认为，这一结果表明抗虫转基因作物同样对非目标昆虫产生威胁。

然而，洛希的实验受到了同行科学家们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，且没有提供花粉量数据。美国环境保护局（EPA）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 米远的马利筋杂草上，每平方厘米草叶上只发现有 1 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，转抗虫基因玉米地占总玉米地面积的 25%，但田间帝王蝶数量却很大。

同时，美国环境保护局在一项报告中指出，评价转基因作物对非靶标昆虫的影响，应以野外实验为准，而不能仅仅依靠实验室数据。

生态安全事例 2：墨西哥玉米事件，发生于墨西哥，发端于科研论文

2001 年 11 月，美国加利福尼亚大学伯克利分校的微生物生态学家 David Chapela 和 David Quist 在 *Nature*

杂志发表文章，指出在墨西哥南部 Oaxaca 地区采集的6个玉米品种样本中，发现了一段可启动基因转录的DNA 序列——花椰菜花叶病毒（CaMV）“35S 启动子”，同时发现与诺华（Novartis）种子公司代号为“Bt11”的转基因抗虫玉米所含“adh1 基因”相似的基因序列。

实际情况如何呢？墨西哥作为世界玉米的起源中心和多样性中心，当时明文禁止种植转基因玉米，只是进口转基因玉米用作饲料。此消息一出，便引起了国际的广泛关注，绿色和平组织甚至称墨西哥玉米已经受到了“基因污染”。

然而，David Chapela 和 David Quist 的文章发表后受到了很多科学家的批评，指其实验在方法学上有很多错误。经反复查证，文中所言测出的“CaMV35S 启动子”为假阳性，并不能启动基因转录。另外经比较发现，两人在墨西哥地方玉米品种中测出的“adh1 基因”是玉米中本来就存在的“adh1-F 基因”，与转入“Bt 玉米”中的“adh1-S 基因”序列并不相同。

对此，*Nature* 杂志于 2002 年 4 月 11 日刊文两篇，批评该论文结论是“对不可靠实验结果的错误解释”，并在同期申明“该文所提供的证据不足以发表”。

同时，墨西哥小麦玉米改良中心也发表声明指出，通过对其种质资源库和新近从田间收集的 152 份玉米材料进行检测，并未在墨西哥任何地区发现“35S 启动子”。

二、结论

通过对以上这些所谓“转基因安全性事例”的剖析，大家可以知道：

第一，“巴西坚果”事例中的转基因大豆在研究阶段就中断，该事例表明生物技术育种技术体系可以自我检查和自我调控，能够做到确保安全。

第二，其他的事例均被权威机构否定，因为这些事例发端的实验设计不严谨，存在缺陷和失误，所以实验结果和结论是错误的，不足为信。因此只是所谓的“事例”。但是有些或不明真相或别有用心的组织、机构和有些人云亦云的媒体却经常断章取义地把事件的发生和经过抛出来吸引眼球，误导老百姓，从来不提及事件最终被权威机构否定的结果。

第三，特别是发生于俄罗斯和中国的两例，发端于电台和网络媒体，根本就是虚假新闻，但是却被以讹传讹，混淆视听，误导公众。

本文的目的是为了使更多的受众深入了解这些所谓“事件”的来龙去脉，客观理性地对待转基因技术和生物技术育种产品。希望本文能够引起媒体的重视，不要再错误地报道以上这些所谓的“转基因安全性事件”。

【作者简介】

陈茹梅，女，1972 年出生，博士，研究员。主要从事植物基因工程研究。

老百姓如何科学认识转基因食品

李玲龙
中南大学隆平分院

2009年8月，农业部颁发了转基因抗虫水稻“华恢1号”、“Bt汕优63”两种转基因水稻和一种转基因玉米的安全证书，转基因水稻可在湖北省生产应用。“一石激起千层浪”，转基因水稻的安全性成为公众关注的热点。作为普通民众，我们该如何科学认识转基因食品安全性，避免被误导呢？让我们一起来揭开转基因的神秘面纱，认识和了解转基因技术，消除对转基因食品的顾虑。

一、转基因食品的由来

所谓转基因食品，就是利用分子生物学技术，将某些生物的基因转移到其他物种中去，对目标生物的遗传物质进行修饰，使其在性状、营养品质、消费品质方面向人类所需要的目标转变，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。它的研究已有几十年的历史，但真正的商业化是近10余年的事。20世纪90年代初，市场上第一个转基因食品出现在美国，

是一种保鲜西红柿，这项研究成果本是在英国研究成功的，但英国人没敢将其商业化，美国人便成了第一个吃螃蟹的人。

此后，转基因食品一发不可收。据统计，美国食品和药物管理局确定的转基因品种已有43种。美国是转基因食品最多的国家，60%以上的加工食品含有转基因成分，90%以上的大豆、50%以上的玉米是转基因的。转基因食品有西红柿、马铃薯、大豆、油菜、玉米等及其加工品。虽然转基因食品与普通食品在口感上没有多大差别，但转基因的植物、动物有明显的优势：优质、高产、抗虫、抗病毒、抗除草剂、抗逆境生存等。

如果掌握一点分子生物学和转基因技术的知识，就应该知道转基因食品不是什么害人的东西，只要是被批准上市的转基因食品就是安全可靠的，不会对健康造成危害。转基因食品上市已经十几年，还没有出现哪怕一例因为吃了它而出问题的。国外权威机构对转基因食品的安全性是有定论的。美国食品药品管理局（FDA）的报告指出："FDA没有发现也不相信，正在开发中的、用于作为食品和饲料的新作物品种一般会带来安全或管理问题。"欧洲委员会的报告也指出，转基因作物并未显示出给人体健康和环境带来任何新的风险；由于采用了更精确的技术和受到更严格的管理，它们可能甚至比常规作物和食品更安全。

转基因技术是一项可以造福人类的技术，可以利用它让作物具有抗病虫害的特性，提高食物的营养价值，

去除食物中的有害成分，增加作物产量，等等。因此，合理、有效地利用它，不仅可以降低生产成本，而且可以使食品更安全、更营养、更便宜，对消费者、对环境也都是大有好处的。当然，就像所有的技术，如果使用不当，也会造成问题，比如转入的新成分可能会导致过敏，可能会对生态造成不利影响。所以，转基因产品在推广、上市之前都会经过一系列严格的检测和评估，排除这些可能的不良因素。从总体上来说，转基因技术仍是传统育种方法的延伸，只不过比传统育种技术更为精确，更有针对性，更容易控制而已。

二、转基因食品前景乐观，具有深远的战略意义

从目前的研究成果来看，转基因食品是安全的，对人们的生产生活都是有利的。在 10 年前没有用转基因抗虫棉的时候，棉铃虫泡在农药里都死不掉。自从我们实施了棉花转基因工程后，棉花不仅抗虫害能力增强，而且产量也提高了。现在国家通过设立重大专项来支持转基因研究和应用，同样也考虑了国家利益。中国是一个生物多样性非常丰富的国度，我们必须抓住这次机遇，抢占转基因“高地”。

虽然对于转基因食品还存在这样那样的争论，但它的优势还是表现得越来越显著。一种在美国得到种植的转基因玉米中色氨酸含量提高了 20%。色氨酸是人体必需的氨基酸，无法自己合成，只能从外界摄取，一般

植物性食品中色氨酸含量很低甚至没有，只有从动物性食物中获取，转基因玉米的出现，对于素食主义者而言，无疑是个喜讯。转基因油菜，不饱和脂肪酸的含量大增，对心血管有利。转基因工程牛奶，增加了乳铁蛋白、抗病因子的含量，降低了脂肪含量……

西方发达国家已充分认识到转基因食品的发展前景，并注入大量资金。在我国，人多地少状况突出，基因工程是解决粮食产量、提高粮食质量的重要途径。近年来，我国转基因食品的研究有了长足的进步。随着转基因食品商业化的步伐不断加快，转基因食品必将成为人们餐桌上的美味佳肴。

三、转基因食品的安全问题

转基因食品的安全性到底怎么样？是否能吃？从本质上讲，转基因生物和常规育成的品种是一样的，两者都是在原有的基础上对某些性状进行修饰，或增加新性状，或消除原有不利性状。常规育成的品种仅限于种内或近缘种间，而转基因植物中的外源基因可来自植物、动物、微生物。由于转基因食品在体内不积累，从理论上讲，转基因食品是安全的。此外，转基因食品上市之前是经过大量试验和政府部门严格检验的。至于人们怀疑转基因食品可能对人体产生种种危害，主要是他们对基因工程不了解，而且这些“危害”是毫无科学根据的。

2002 年 10 月，世界卫生组织发布了一份名为《关

于转基因食品的20个问题》，在这份文件中，世界卫生组织表示："不同的转基因生物包括以不同方式插入的各种基因。这意味着应逐案评估个别转基因食品及其安全性，并且不可能就所有转基因食品的安全性发表总体声明。目前在国际市场上可获得的转基因食品已通过风险评估，不会对人类健康产生危险。此外，在此类食品获得批准的国家普通大众对这些食品的消费未显示对人类健康的影响。"

经农业、科技、环保、卫生等11个农业转基因生物安全管理部际联席会议成员部门审议，中国颁发了一个转基因玉米品种以及两个转抗虫基因水稻品种的生产应用安全证书。这一举措被业界认为具有里程碑性的意义。

转植酸酶基因玉米可以提高饲料的利用效率，减少饲料中磷酸氢钙的添加量，降低饲养成本；减少动物粪、尿中植酸磷的排泄，减轻环境污染，有利于环境保护。此外，利用农业种植方式生产植酸酶，还具有节能、环保、低成本的优势。

转抗虫基因水稻不仅能有效控制螟虫等鳞翅目害虫危害，保障水稻增产，还能减少80%的化学农药用量。人类安全使用Bt蛋白来抗虫已有70多年历史，没有发生一起让人中毒和过敏的例子。它本身是有机物，是有机食品允许使用的生物抗虫剂。由国家指定的有资质的单位用转基因大米喂养了很多代白鼠，没有发现转基因大米对白鼠生长、发育、智力、免疫、生殖等有任何不

良影响。

绿色环保组织和一些媒体以“未知危害”为由，反对转基因作物的推广是没有任何科学依据的。按照他们的逻辑，我们是不是也可以以“未知危害”为由反对一切技术呢？正是因为一般民众对转基因存在很多误解，“环保组织”又通过虚假宣传制造社会恐慌，才导致转基因水稻等产品迟迟得不到推广。不了解会使消费者对转基因食品不敢吃，因为大家对未知的东西有种恐惧心理，这是可以理解的。但是我们不能长期被这种思想所误导和禁锢。相信随着人们对转基因食品更深入了解和科普知识的普及，转基因食品会渐渐得到大家的青睐，同时利用转基因技术创造的成果可以让我们人类的生活更加多姿多彩！

转基因植物——坦然面对、合理应用、科学发展

付道林

山东农业大学

1983 年，世界首例转基因植物在美国问世，标志着植物转基因时代的兴起。随之出现对转基因植物产品的两种声音，支持和反对。近年来，随着转基因产品的丰富，两种声音的交汇愈发频繁。结合多年来对生物学的理解，现将部分心得体会与大家分享。

一、什么是基因?

基因是携带生物信息、决定生物体性状的基本功能遗传单位。基因通常由 3 个基本元件组成，启动子在适合条件下启动基因表达，编码区经转录翻译形成基因产物，终止子确保基因有效终止。在高等和部分低等生物中，基因的基本组成单位都是脱氧核糖核苷酸；3 个相邻核糖核苷酸构成一组遗传密码子，编译特定氨基酸或代表终止密码子。不同生物种类的基因总数各异，人类大约 2.6 万 ~4 万个基因，水稻大约 4 万 ~6 万个基因，模式植物拟南芥大约 2.5 万个基因。就功能而言，部分

基因属于管家基因，是维持细胞基本生命的必需基因，表达相对稳定，如微管蛋白基因和核糖体蛋白基因等。有些基因则具有特定的时间和空间表达模式，决定细胞特异性状。从进化角度，不同物种间的同源基因可以追溯到共同祖先。因此，基因作为遗传信息的共同载体，并非深不可测。

二、社会发展造就了转基因时代

直到上世纪30年代，人们对遗传的认识还仅停留在“种豆得豆、种瓜得瓜”的朴素境界。自上世纪40年代起，人们开始研究性状的控制基础。1944年，美国科学家艾弗里和他的同事一起证实了脱氧核糖核苷酸（DNA）是遗传物质。1953年，沃森—克里克提出DNA双螺旋模型，由此开创了生命科学的新纪元。

通常情况下，高等植物的世代交替途经花粉双受精过程，实现雄雌配子的融合和子代种子的形成。随着人们对基因结构和功能的认识，基因工程操作逐渐成熟。在此基础上，利用超越常规授粉方式实现遗传物质整合、培育转基因植物应运而生。在自然界中，根瘤农杆菌可以将其Ti质粒上的T-DNA转移并整合到寄主植物中，该原理被广泛用于转基因植物的创建。此外，许多直接转化方法也被广泛用于转基因操作。1993年，美国上市了第一例转基因晚熟西红柿；1996年，首例转基因作物——抗除草剂大豆在美国商业化生产。自此，全球转基因植物产品蓬勃发展。到目前为止，转基因食

品遍及世界各地，其中，发达国家的转基因产品占世界总量的85%，主要集中在美国和加拿大。

2010年，全球有29个国家批准了转基因作物种植，面积达1.48亿公顷，占全世界15亿公顷农田的10%。目前主要的转基因作物有：大豆（占全球转基因作物种植面积的50%）、玉米（31%）、棉花（14%）和油菜（5%）等。耐除草剂仍是主要转基因性状，占全球转基因作物面积的61%。近年来，复合性状转基因作物（如抗虫、耐除草剂以及抗旱等）的培育已成为发展趋势，种植面积逐年增大。

转基因作物在降低生产成本、提高单位生产力方面发挥着重要作用。1996—2009年，全球转基因作物的种植节减39.3万吨杀虫剂，累计收益650亿美元。2010年全球转基因作物种子的市场价值约112亿美元，而商业转基因玉米、大豆以及棉花产品的价值高达1 500亿美元。因此，研发转基因产品、抢占科技制高点、增强国际竞争力，逐渐成为国际社会引领未来发展的战略决策。

三、转基因产品安全吗?

近年来，转基因产品引起了广泛的社会争议。在日常生活中，我们经常遇到“转基因产品安全吗”一类的问题。这既是我国民众关心的问题，也同样困惑着其他国家的大多数人群。

人们最为担心的是转基因食品具有潜在毒性、引起

过敏反应、导致营养失调等。然而，自第一例转基因产品上市以来，世界范围内数亿人食用各种转基因食品，迄今尚无确凿证据证实转基因食品对人体有害。其实，植物个体和人体一样“聪明”，如果转基因的异位表达具有不良的作用，转基因植物在细胞水平和植株整体水平同样会表现异常，然而这在所释放的转基因植物中未曾出现。从食用者角度出发，人类的消化系统将食物分解成可吸收的小分子。食物核酸在小肠内核酸酶、二酯酶和核苷酶的作用下，分解成核苷酸、核苷磷酸、核糖、碱基，或参与代谢途径，或降解排出体外。食物蛋白则在蛋白酶作用下水解成 2 ~ 3 个氨基酸残基组成的小肽或氨基酸，被人体吸收再利用。可见，人们对转基因食品安全性的担心在某种程度上是出于心理负重。尽管如此，增强对转基因产品的安全测试对其健康发展意义重大。

此外，部分专业人士也担心转基因植物的应用会对生态环境产生破坏作用。近年来，世界范围内大规模种植表达杀虫剂的转基因植物用以抵抗农业害虫。然而，人们对种植抗虫转基因植物对生态环境可能产生的潜在影响并无一致定论，而且已经开展了技术研究和监测监控，不太可能出现有的人担心的问题。

四、我国转基因发展趋势及生物安全现状

我国是一个人口大国，全面建设小康社会、确保粮食安全是我国面临的艰巨任务。加强转基因研究和应

用、发展优势产业、增强国际竞争力，对于构筑小康社会和确保国家粮食安全意义重大。2006 年，国务院《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》确定了转基因生物新品种培育等重大专项，为我国未来 15 年科技发展的重中之重。2010 年，中央 1 号文件指出："继续实施转基因生物新品种培育科技重大专项，抓紧开发具有重要应用价值和自主知识产权的功能基因和生物新品种，在科学评估、依法管理基础上，推进转基因新品种产业化"。转基因生物新品种培育重大专项是依据世界科技发展趋势、着眼于我国国情和农业发展需要的必然选择。

农业转基因生物安全，是指防范农业转基因生物对人体健康、植物、动物、微生物和生态环境构成的危险或者潜在风险。经过多年的努力，我国在转基因安全方面已经建成完善的体系。

（一）组建了成熟的管理体系

国务院实行农业转基因生物安全管理部际联席会议制度，由农业、科技、环保、卫生、商务、质检、食品、药品等部门负责人组成，研究协调农业转基因生物安全管理工作中的重大问题以及转基因生物的商业化生产、标识管理和进出口政策。国家设立农业部农业转基因生物安全管理领导小组和管理办公室。各省、自治区和直辖市设立专门的农业转基因生物安全管理机构。

（二）建立了强大的行业技术支撑

2002 年，我国成立了第一届国家农业转基因生物

安全委员会（安委会），委员囊括了全国从事农业转基因生物研究、生产、加工、检验检疫、卫生、环境保护等方面的专家，负责农业转基因生物的安全评价工作。2004 年，国家成立了全国农业转基因生物安全管理标准化技术委员会（转基因标委会）。转基因标委会制定转基因生物安全的标准化体系，开展转基因生物及其产品相关的行业标准修订和标准技术复核、宣讲、咨询、调查分析工作。截至 2009 年底，农业部发布了 62 项转基因生物安全技术标准。

（三）发布了全面的行业规章制度

建成了适合我国国情并与国际接轨的法规条例和技术规程，依法管理取得显著成效。1993 年，原国家科学技术委员会颁布了《基因工程安全管理办法》，为我国转基因生物安全管理提供了基本框架。1996 年，农业部发布了《农业生物基因工程安全管理实施办法》。2001 年，国务院颁布了《农业转基因生物安全管理条例》（简称《条例》），对在中国境内从事农业转基因生物研究、试验、生产、加工、经营和进出口等活动进行全过程安全管理。农业部先后配发了《农业转基因生物安全评价管理办法》、《农业转基因生物进口安全管理办法》、《农业转基因生物标识管理办法》、《农业转基因生物加工审批办法》。国家质量监督检验检疫总局也配发了《转基因产品进出境检验检疫管理办法》。《条例》及配套规章共同构成了我国转基因生物安全管理的法规体系。

（四）设置了转基因评估检测机构

全国已经建设了一批安检测试机构，其中37个已通过国家计量认证和农业部审查认可。这些机构主要开展农业转基因生物安全评价和应急预警，农业转基因生物安全管理科普宣传、公众交流和技术标准、管理规范研制，农业转基因生物产品成分、食用安全、环境安全检测鉴定和监测监控，农业转基因生物安全评价与检测鉴定技术交流和国际合作等工作，为《条例》及其配套规章实施提供技术支撑和咨询服务。

（五）强化了监管和督查力度

各级政府有关部门本着对广大民众高度负责任的态度，不断健全管理规章，切实加强田间试验、品种审定、种子生产经营和产品标识等环节的行政执法监管，确保产品有标识、能溯源、可控制，切实保障广大人民群众的知情权和选择权，保障转基因生物产业健康持续发展。

五、合理开发利用转基因产品

为更合理的开发和利用转基因植物，我国已经从以下多方面作出了部署。

（一）规范转基因植物产品的释放、种植和投放

我国颁布的《农业转基因生物安全管理条例》和《农业转基因生物标识管理办法》对农业转基因产品有着严格规范。结合国际和国内转基因产品的发展，我国还将修改、补充和完善现有规范条例，做到有法可依，

执法必严，违法必究。同时，加强对规范条例的监督实施，确保转基因产业的健康发展。

（二）提高转基因植物产品的亲和力

在转基因操作中，大家习惯利用微生物来源的抗生素抗性筛选基因等。大众担心食用携带抗生素抗性基因的食品会导致对抗生素的获得抗性。为消除大众的恐惧心理，需要开发容易为大众接受的筛选标记。相关基因元件，包括启动子和终止子，也需要从受体植物自身开发。另外，转基因产品不得携带除目的基因表达元件之外的其他载体序列。从生物多样性出发，设置转基因植物和未转基因植物保护地。在发挥转基因产品优势的同时，有效保护我国野生和现有生态资源。

（三）加强过程管理，实现前期指导、中期督导、后期跟踪

前期指导是目前较为容易忽略的重要环节。在转基因设计阶段，根据基因特点和应用重点，考虑其布局的多样性，合理安排基因表达、积累模式。比如说，抗除草剂的基因可以在叶片和茎秆特异表达，避免在果实中的积累。过程监管同样重要，2011 年，农业部、环境保护部、科学技术部和卫生部组成转基因生物安全联合调查组对山西、黑龙江、吉林、山东、广东等多个省份的转基因生物安全展开调查，及时发现和解决问题。

（四）扩大转基因知识宣传

转基因技术正在引领全球农业科技革命。然而，我国广大民众对转基因不了解，有时会产生恐惧心理。通

过科普教育，消除心理障碍，同时提高我国大众对转基因生物及其产品的认知水平。大力开展法规培训和科普宣传，努力提高研发者、经营者和管理者的安全意识和管理水平。

面对机遇和挑战，从事生命科学研究的人员有义务和责任投入国家转基因生物新品种培育进程，尽职尽责维护转基因生物安全，加速转基因生物技术研究与应用的健康发展。随着人们对基因功能的深入了解，转基因植物操作将逐步实现目标精确、设计合理、种植规范和产品健康。

【作者简介】

付道林，男，1971 年出生，博士，教授。主要从事小麦种质创新、基因克隆和生物技术研究。

转基因生物
食用安全评价的主要内容

黄昆仑
中国农业大学

转基因生物是指利用现代生物技术，按照人类的期望改造的生物品种。这些生物新品种在抗病虫、耐受除草剂、改善加工特性、提高营养品质等方面日益发挥出重要的作用。转基因食品是指以转基因生物为原料加工生产的食品的总称。为保障人类的健康安全，促进生物技术的可持续发展，各国政府均在转基因食品上市前对转基因生物的食用安全进行全面的评估，以确保转基因食品的安全，防止具有潜在风险的转基因食品进入消费市场。一般来说，转基因生物在批准商业化生产前，需要进行如下方面的食品安全评估。

一、转基因食品的营养学评价

人们对食品的需求就在于它为人类提供生存所必需的能量和各类营养物质，因此，对营养成分的评价是转基因食品安全性评价的重要组成部分。评价的营养物质主要包括蛋白质、淀粉、纤维素、脂肪、脂肪酸、氨基

酸、矿质元素、维生素、灰分等与人类健康营养密切相关的物质。评价时，将不同年份或不同生长地点的转基因食品的主要营养成分和对照的非转基因食品进行比较，评估转基因食品在营养上是否与非转基因食品一样具有同等的营养价值。由于用于加工的农产品中的营养物质含量受品种、种植环境、生长期、生长过程中农艺措施、不同生产年份等多因素影响而产生差异，如水稻不同的品种、不同的种植环境、不同生长期、不同农艺措施等都会影响稻米中的营养成分含量，也就是说，市场上人们消费的各种普通大米在营养成分的含量上并不是完全一致的。因此，在评估转基因食品的营养时就需要考虑这一客观存在的因素。针对这种情况，经济合作与发展组织（OECD）在全球进行了调研和专家论证后，出台了一系列的农产品营养成分手册，给出了不同种类的作物及其加工产品的营养成分变化范围，并提供了相应的历史数据和参考文献。同时国际生命科学学会（ILSI）也建立了各种农作物的营养成分数据库，作为对各种转基因作物营养成分的参考范围。因此，对转基因食品的营养评价，除了要与对照的非转基因食品进行比较，还需要参考 OECD、ILSI 及本国已有的同类作物营养成分范围，确定转基因食品的营养成分是否在这些范围内。如果在范围内，则可以认为转基因食品具有与非转基因食品同等的营养功效。

此外，对一些存在较大差异，或改变了主要营养成分的转基因食品（如高赖氨酸转基因玉米），要了解转

基因食品是否具有与传统食品同样的营养功能，动物营养学评价手段是必不可少的。这里所说的营养学评价主要是指两个方面：一是通过动物生长情况、营养指标或者动物产品的营养情况来评价转基因食品对实验动物的营养作用，如大鼠30天生长试验。二是通过动物的生长与代谢指标来评价转基因食品中某种营养物质能否被动物正常利用，如大鼠的蛋白利用率试验等。

目前，国际上批准生产的转基因食品和我国颁发安全证书的转基因水稻、玉米都经过了营养学的评价，试验数据都证明了这些转基因产品与非转基因食品具有同等的营养功效。

二、转基因食品的抗营养因子评价

食品不仅含有大量的营养物质，也含有广泛的非营养物质，有些物质会影响营养物质的吸收利用，称为抗营养因子或者抗营养素。抗营养因子降低了蛋白质、维生素和矿物质等营养物质的最大利用以及食物的营养价值。几乎所有的植物性食品中都含有抗营养因子，这是植物在进化过程中形成的自我防御的物质。目前，已知的抗营养因子主要有蛋白酶抑制剂、植酸、凝集素、芥酸、棉酚、单宁、硫甙等。然而大多数抗营养因子的有害作用是由加工不善引起的，经过简单的处理就会消失，如加热、浸泡和发芽处理等。如我们经常食用的豇豆中由于含有豇豆蛋白酶抑制剂而不能生食，需要烹调熟制后，才能食用。对转基因食品的抗营养因子的安全

评价，是将转基因品种中的抗营养因子含量与其对照非转基因食品进行比较，其评估方法与营养成分的评估方法一样。

三、转基因食品的毒理学评价

转基因食品是否会由于导入了外源基因而产生对人体有毒的物质，是人们对转基因食品产生担忧的重要方面。对转基因食品的毒理学评价是转基因食品上市前重要的评价环节。转基因食品的毒理学安全性评价主要从两方面着手，一是对外源基因表达产物的毒性检测和评价，二是对整个转基因食品的毒性检测和评价。

外源基因表达产物的检测一般依照传统化学物质的安全性评价方法。对外源基因表达蛋白的检测评价一般有三个指标：一是通过与国际权威大型公共数据库中已知的毒性蛋白进行蛋白质氨基酸序列的同源性比较，分析是否与毒蛋白具有相似的氨基酸序列。二是在加热条件下和模拟人体胃肠消化液中，检测分析转入蛋白质是否耐热或抗消化。三是转入蛋白的急性经口毒性试验。整个食品的毒理学检测也是采用传统化学物质的评价手段，一般采用亚慢性毒性试验来评价转基因食品的整体的安全性。

根据个案分析的原则，对一些转入特殊功效成分的转基因食品，可以考虑其他方面的毒理学检测试验，如遗传毒性试验、传统致畸试验、繁殖试验和代谢试验等。对目前商业化生产的转基因作物，这些试验是不需

要的。目前，包括欧盟、日本、韩国、澳大利亚、美国、加拿大等国家和地区都没有提出这些毒理学试验的要求。

我国目前批准的转基因水稻和玉米都已经做过转入蛋白和整个转基因食品的毒理学检测和评价。试验数据证明，食用该转基因水稻、玉米与非转基因对照同样不具有毒理学意义上的安全风险。实际上，我国批准的转基因水稻还进行了遗传毒性、慢性毒性、传统致畸、三代繁殖等毒理学试验，安全检测指标已经超出了欧美发达国家和国际食品法典委员会、世界卫生组织等建议的评价内容要求。这些毒理学试验都证明，转基因水稻“华恢1号”及“Bt汕优63”与传统水稻一样安全。

四、转基因食品的过敏性评价

食物过敏是一种特殊的人体免疫反应。一般认为，食物过敏在成人中的患病率为2%，而儿童则高达8%。食物过敏最常见的临床表现为出现皮肤症状，并可见呼吸道症状和消化道症状。如皮肤瘙痒、湿疹、荨麻疹、头晕、恶心、呕吐、腹泻。常见的过敏性食物有8大类：鸡蛋、牛奶、鱼、贝壳类海产品、坚果、花生、黄豆、小麦。在我国，芝麻、水果等食物过敏也相当常见。因此，过敏不是转基因食品所独有的。但是，由于转基因技术打破了自然界中物种间的遗传物质的生物屏障，为防范由于转基因技术造成的物种间过敏基因的转移，进行过敏性评价就成为转基因食品上市前必要的评

价环节。

目前，世界各国均采用了国际食品法典委员会推荐的转基因食品过敏分析原则和程序，并根据各国的实际情况进行转基因食品的过敏分析。主要从三个方面评估转基因食品中转入蛋白是否是过敏源：一是外源基因是否来自含有过敏源的生物。二是通过与国际权威大型公共数据库中已知的过敏源进行比较分析，是否具有序列相似性。三是检测分析转入蛋白对模拟人体胃液中胃蛋白酶的消化稳定性。

我国目前批准的转基因水稻和玉米都已经进行了外源基因表达产物的过敏性检测和评价。试验数据证明，转基因水稻和玉米中转入的外源基因不会带来新的过敏源，对食用大米和玉米的人群不会增加过敏的风险。

【作者简介】

黄昆仑，男，1968 年出生，博士，教授，博士生导师。主要研究领域：转基因产品食用安全评价与检测、食品安全风险评估技术与检测技术。

不要“妖魔化”转基因

宋兆强　江玲
南京农业大学

近来，对转基因作物安全性的怀疑引起民众的高度关注。一些“专家”引用一些莫须有的“科学数据”，大谈转基因作物对粮食安全、生态环境的危害，夸夸其谈，危言耸听，引起民众对转基因的一时恐慌。有些人借此否定转基因作物，视转基因为洪水猛兽，盲目排斥，甚至上升到民族国格问题，要求放弃中国已蓬勃发展的转基因研发。将新兴的转基因技术妖魔化的无知谬论及盲目排斥，必不利于国家科技的进步，不利于国家粮食问题的解决。

转基因是指运用科学手段从某种生物中提取所需要的基因，将其转入另一种生物中，与另一种生物原有的基因进行重组，从而获得特定优良遗传性状。其本质是通过获得优良基因进行遗传改良。利用转基因技术可以改变动、植物性状，培育新品种，也可以利用其他生物体培育出人类所需要的生物制品，用于医药、食品等领域。

转基因其实并不可怕，同传统杂交育种目标一致，

就是改良作物性状，培养出具有高产、优质、高抗等优良性状的作物品种。传统杂交育种其实也是一种广义的转基因，以现代分子生物学为基础的转基因，直接干预基因本身，人们不再被动地等待基因无序的转变，然后再从中筛选有用的品种，其结果更加可控。

一、转基因——亿万年来一直在进行

地球生命从简单原始的单细胞生物到现在的物种丰富多彩的生物圈，一直不断地进化发展着，物种的进化历程本身就是基因的不断转变过程。

例如，细菌可以通过多种途径进行种内外细胞间“转基因”，如转化、接合、转导和细胞融合。转化是指受体细菌直接摄取裸露的 DNA 片段（自然界周围环境里也存在着大量的游离的基因，如还未被完全分解的死亡腐烂的生物体），从而得到新的表达性状，是生物进化的早期获取外源基因的主要途径。接合是以细菌的性菌毛为中间介质，将遗传物质从供体菌转移给受体菌。转导是细菌以温和噬菌体为载体，将供体菌的 DNA 片段转移到受体菌内，从而使受体菌获得新的性状。转导普遍发生于多种细菌中，陆生环境、水生环境和动、植物体内等各种条件下均可发生。虽然“转基因”的几率较低，但在进化历程中发挥着重要的促进作用。细菌通过多种方式实现不同生物个体之间基因的交流整合，加快了适应环境的能力，促进了生物的进化。

植物、动物、微生物的大量基因组也可以在不同物

种间水平的直接跳跃转移，某一种真核生物个体可以通过基因流动从另一种群甚至另一物种中获得原来不拥有的基因，这种自然界的“转基因”在生物进化史上导致了新物种的出现。现在动、植物的基因组中存在大量的“转基因”痕迹，在蛋白质域结构的演化过程中，水平转移的基因融合担当了一个重要的角色，远缘物种中同样结构域的融合非常普遍，这表明水平基因转移演化是经常发生的。甚至于高等生物的灵长类，也发现了不同物种间转基因的证据。更有研究显示，人类本身在进化历程中也从其他生物物种中转移得到一些基因，而这些基因直接影响了从古猿到人的转变过程。可以说，没有“转基因”，就没有今天的人类。

二、转基因并不是人类的专利

提起转基因，多数人往往会认为是人类的发明，其实，转基因更应该被定义为是一种科学发现。

在土壤中普遍存在着一种叫农杆菌的微生物，生活在植物的根的表面，依靠由根组织渗透出来的营养物质生存，是自然界的转基因大师。根癌农杆菌和发根农杆菌的细胞中分别含有 Ti 质粒和 Ri 质粒，其上都有一段可插入到植物基因组中的 T-DNA。农杆菌在自然条件下趋化性地侵染大多数双子叶植物的伤口，进入细胞后将此 T-DNA 插入到植物基因组中，从而打破了物种生殖隔离，诱导植物产生冠瘿瘤或发状根。平时我们看到的许多树干上鼓起的一个个大包，就是农杆菌的杰作。

神奇的农杆菌引起了科学家的关注，科学家向根瘤农杆菌学习，终于学会了将一物种基因转入另一物种的方法，这就是现在农杆菌介导法的转基因技术。然而说是技术，其实也是借用了根瘤农杆菌自身的转移基因的能力。

三、传统育种与转基因育种

从古代开始，人类就开始了基因改造的工作。最初的手段就是将相近物种进行杂交，然后从大量后代中根据自己的需要进行筛选，被动地等待物种基因的变化，从中选择有用个体进行培养。经过成千上万年的选择，终于培养出了家畜、家禽、金鱼等新物种，没有这些“转基因”，就不会有这些物种的出现。

我们所熟知的杂交水稻，就是传统杂交育种利用不同品种的水稻互相交配，将不同品种中分布的优良基因集中到一个品种中，其实也是一种广义的转基因，只不过是同时转移了成千上万个基因。还有就是利用环境的剧烈变化刺激生物体基因突变，以期望造出新品种，将一部分发生了基因转变的植株被筛选出对人类有利的继续培养，在几十年前就已普遍应用，也培养出一些好的品种。

现代的转基因，相比于之前的转基因筛选，人类开始直接干预基因本身，研究基因排列与产生后果的对应关系，使得产生的结果更加可控。应该说，转基因比常规育种方法更能精确预测，也更安全。

四、转基因与食品安全

有人认为，自然的食品是安全的，而转基因食品来自人工改造过的作物，是不安全的。这里有个严重的误解！作为我们食物的主要农作物，都经过了近万年的进化和“改造”，修饰的基因数以千计。

自然的不一定都是安全的。自然界中的大多数植物为了抵御那些危害它们的动物都不同程度地产生毒素，作为在进化过程中形成的一种防卫机制。例如，野生马铃薯产生的龙葵碱是一种对人、畜高度有毒的物质，野生木薯带有对人致命的氰化物，甚至大豆也产生引起人胃痉挛的物质。此外，安全性只是相对的，对于一部分人群安全的食品，对另一部分人不一定安全，如虾、蟹等海鲜食品是大多数人的美味佳肴，但对少数人则产生过敏反应。

而转基因恰恰可以除去这些危害。育种学家可以依靠现在转基因技术，将一些作物内对人有毒物质的控制基因敲除，从而改良作物性状。从这一层面上讲，转基因是使得食品更安全了呢还是更不安全了呢？结果不言而喻。

对于目前转基因作物出现危害的报道，多数都是经过权威机构分析后予以驳斥过的，也有一些是主观猜疑。一些民众信以为真，以讹传讹，引起过度的恐慌。比如，有人耸人听闻地把生育能力与转基因纠缠在一起。到目前为止，没有一个机构能够把生育能力下降的

数据与任何因素明确地联系在一起。英国研究人员宣布的转基因马铃薯对小鼠肾脾和消化道造成损伤的试验，已经被证明是偏向性地选取样本的原因，是错误的实验结论。

转基因作物的商业化必须有详尽的食用安全性评价，主要指食品和药品的安全性评价，要求对所转入基因认真研究，确认对人、畜无毒，不形成过敏源。由于对转入基因的安全评估比初期更加严厉，所以目前的转基因食品都经过了科学家无数次科学实验，严格苛刻的安全检验，出现转基因对人体毒害事件的可能性基本不存在。

五、转基因与生态安全

有人认为转基因技术打破了自然界中原先仅限于种内或近缘种间的基因重组和交流，把来源于任何生物甚至是人工合成的基因转到生物体体内，担忧转基因生物在自然界中释放将污染自然基因库，打破原有的生态平衡。其实，这种担心被盲目夸大了。

由于转基因技术是新生产物，不少人在担心它是否安全。所以世界很多国家都制定了对转基因生物的管理法规，负责对其安全性进行评价和监控。目前对转基因生物安全性评价主要集中在两个方面：环境安全性和食用安全性。

环境安全性评价的核心问题是转基因生物释放到自然界后，是否会将所转基因再转移到其他生物中，会不

会破坏生态环境，打破原有生物种群的动态平衡。转基因作物要将所转基因再转移给其他物种的可能性有三个方面：演变成农田杂草、基因漂流到近缘野生种、影响自然生物类群。

转基因作物演变成农田杂草的可能性几乎不存在。有推测者认为，农作物在获得新的基因后，其生存竞争力可能改变。如果在长势、越冬能力和种子产量等方面比非转基因植株强许多，就会演化成杂草，改变自然的生物种群。然而从目前转基因植物的田间试验结果来看，转基因植物的生存竞争力并未明显增加，所以也就不会演化成农田杂草。

基因漂流到近缘野生种，通过自然杂交将自身的基因转入野生种的几率很低。自然界物种为了保持自身的稳定性，对遗传物质的改变是有严格控制的，基因漂流仅限于亲缘关系极近的物种之间，基因流动到远缘物种的可能性在亿万年间的进化历程是存在的，但是概率极低，在人类近代史上发生的可能性极其微小，何况生物体基因数以万计，为何偏偏转移的就是那数万分之一的基因呢？况且即使基因漂流到野生种，如果不改变它的生存竞争力，对环境也不会构成威胁。

对自然生物类群的影响担心过度了。通常转入的抗虫或抗病相关基因，其直接作用对象是其他生物，有人担心如大面积和长时期使用，昆虫有可能产生抗药性。对于这种担心，我想以传统农药杀虫与转基因抗虫做一对比。

近百年来，农业普遍施用农药，有效地抵抗了农业病害虫的侵害，大大提高了粮食产量。然而同时，农药的大规模施用也产生巨大危害，环境污染、农药残留，最终危害了人自身的健康。另外，农药长期大量的喷洒使得农业害虫抗药性大大提高，产生了对农药高抗的害虫，少数害虫在较高的农药喷洒下也不会死亡。究其原因，是农药在长期对害虫自然选择的结果。在农药使用初期，少量的农药作用于害虫（农药使用量少、喷洒不均匀等原因），多数害虫也会死亡，但由于变异农药产生较小抗性的个别害虫会侥幸逃过一劫，这些害虫产生对农药有抗性的后代，再次低量农药处理，由于农药的低量，抗性很小的害虫被杀死，但抗性大点的害虫又会逃脱，长期反复，使得害虫的抗药性大大增强。这类似于跳高，如果我们利用楼梯为台阶一阶一阶往上跳，可以跳到很高的高度。

然而，转基因不同，新转入可杀死害虫但对人无害的基因，在作物体内所有组织都会产生足够杀虫的蛋白质，虫子吃了会立即死掉，没有繁衍后代的机会。而且在转基因作物推广时，一般要求种植一定比例的非转基因作物，以进一步减少害虫抗药性产生的可能性，以防万一。

六、转基因与专利陷阱

有人认为我国转基因作物涉及多项国外专利，如果商品化，将落入外国的“专利陷阱”，进而威胁粮食主

权和安全，所以，有人就高举爱国主义摇旗呐喊，抵制转基因。更有甚者视转基因为帝国主义霸权的工具，号召放弃21世纪朝阳产业——转基因。

诚然，转基因技术最早在美国出现并申请专利，美国是世界上转基因技术最发达的国家。但在水稻方面，中国不仅在杂交技术，在转基因技术也走在世界前列。经过我国生物科学家多年的努力，一些功能基因、转基因方法已在我国申请了专利保护。目前国内两个转基因水稻专利完全归属于我国，不存在中国失去专利“控制权”的问题。我国专利法规定的交叉许可、专利强制许可制度以及植物品种保护制度、农民留种豁免制度以及《中华人民共和国种子法》规定的品种审定推广制度等，为我国作物品种的推广和产业化划定了安全线和保护区。

我国的转基因方兴未艾，科学技术不断进步，研究成果不断涌现，国际影响越来越大。对于个别跨国公司凭借其所有专利对发展中国家实施霸权的行径，我们坚决反对。我国的转基因有自己的优势，我们绝不是羔羊！

七、转基因产业——落后就要挨打

上世纪90年代初，英国首先研究成功了一种转基因保鲜西红柿，英国人没敢将其商业化，美国成了第一个“吃螃蟹”的国家，看到美国的成功，保守的英国人后悔不迭。此后，转基因食品悄然兴起，迅速勃发成

一种新兴产业。据统计，美国食品和药物管理局确定的转基因品种已有43种。美国是世界上转基因技术最发达的国家，也是转基因食品最多的国家。转基因大豆、转基因水果、转基因蔬菜，种类繁多。

由于转基因动、植物具有品质、产量、抗性等巨大的优势，迅速冲击各大传统农业。中国东北大豆曾经由于高产、优质而在国际市场上非常抢手，但是美国研究成功的转基因大豆以品质、价格的绝对优势，使得东北大豆在国际市场上竞争力荡然无存，并且迅速占领中国市场。中国大豆市场受到进口转基因大豆低价竞争的严重冲击，在国内原料市场上毫无竞争力，美国转基因大豆潮水般涌入中国，种植东北大豆再无盈利，国内大量大豆加工企业停产倒闭，并进一步连累到油脂等相关行业，中国本土大豆产业面临空前的生存危机。2010年，中国自产大豆1 510万吨，进口大豆5 480万吨，78%的大豆依赖进口。中国大豆进口量占全球54%。中国大豆产业之殇警示我们，落后就要挨打！

紧接着，转基因玉米、转基因棉花、转基因水果、转基因蔬菜……转基因产业的优势不可抵挡，国外转基因食品在中国攻城略地。中国加入世界贸易组织，市场一体化，有喜有忧。我国传统农业正在受到国外转基因优势农业的巨大冲击。

长期以来，依靠庞大的研发资金支持，转基因技术整体上为欧美国家所领先，包括转基因大豆、小麦、玉米、油菜、马铃薯、蔬菜、水果等，技术多为欧美生物

技术公司所垄断。欧美生物技术公司已经迅速抢占了转基因大豆、小麦、棉花、玉米、油菜、马铃薯、蔬菜、水果等产业，盈利巨大，形成了跨国垄断的农业巨头。但是，中国确立了自主创新的发展战略，奋起猛追，国家投入了大量资金，也取得了显著的成绩。上个世纪90年代，孟山都公司抗虫棉曾占据了我国市场的90%以上。我国在本世纪初成功研发出拥有自主知识产权的转基因抗虫棉并迅速产业化。到2009年，国产抗虫棉占据国内市场的90%左右，并开始进入国际市场，而孟山都公司抗虫棉基本退出了中国市场。

众所周知，中国是世界上最大的水稻消费国，这么一个庞大的消费市场，对欧美的生物技术公司来说是个多大的诱惑，包括孟山都、先正达等跨国公司也一直投入巨资研发转基因水稻。一旦被欧美生物技术公司进一步垄断转基因水稻，后果将不堪设想。所以我国重点投入资金进行研发，取得了骄人的成绩，中国的转基因水稻研究目前已经进入了世界领先水平。

八、转基因农业——现代农业的明天

转基因是农作物新品种培育技术进步的必然结果，转基因技术是绿色农业成功的保证，转基因是提高中国农业竞争力的必需。如果我们放弃转基因，其短视行为与闭关锁国无异，其结果是丧失掉中国在这一朝阳领域的所有优势，是自残的表现。

近年中国粮食虽然连年增产，但是，人口、资源、

生态问题突出，粮食安全面临许多挑战。而要从根本上解决中国粮食安全问题，必须依靠科学创新，虽然我国杂交水稻技术研究取得了重大突破，大幅度提高了水稻产量。然而，袁隆平也很清楚地表示，如果不加快发展农业生物技术，杂交水稻的优势会在5～10年内丧失，今后利用生物技术开展农作物育种是农业科技的发展方向和必然趋势，转基因技术是分子技术中的一类，因此必须加强转基因技术的研究和应用，没有技术就没有地位。对待转基因产品，科学慎重的态度并不是拒绝反对的态度。

1983年世界上第一例转基因植物成功培植以来，转基因技术发展突飞猛进。1996年，全球转基因作物种植面积为174万公顷，2000年达到了4 420万公顷，2002年5 867万公顷，2010年，全球转基因作物种植面积高达1.48亿公顷，比最初推广的1996年扩大了87倍，累计种植面积就已经突破了10亿公顷。在现代农业的历史上，这是应用发展最快的作物技术，并且增势依旧不减。预计到2015年，将有40个国家商业化种植转基因作物，共有2 000多万种植户受益于此技术，种植面积也将达到2亿公顷。种植转基因作物带来了巨大的经济和环境效益，1996—2007年，全球转基因作物的累计收益高达440亿美元，累计减少使用杀虫剂有效成分35.9万吨。经过我国科学家多年艰苦努力，我国农业生物技术研究开发和产业也已经取得了显著进展。仅转基因抗虫棉一例，2008—2010年，我国新培育36

个抗虫棉品种，国产抗虫棉市场份额达到93%，累计推广1 113万公顷，实现效益160亿元。

转基因是今天农业的明天，是推动粮食增产、品质提高的不二选择。虽然转基因在发展过程可能会出现些许问题，但不能无视其巨大的潜力。对待转基因，必须用发展解决发展中的问题，而不是盲目排斥，更不能“妖魔化”而耽误发展机遇。

【作者简介】

宋兆强，男，1984年生，硕士。主要从事水稻遗传育种研究。

江玲，女，1968年生，博士，教授。主要从事水稻遗传育种研究。

ISBN 978-7-109-13733-2

定价：16.00元