



邢永忠, 男, 汉族, 博士, 华中农业大学生命科学技术学院教授, 博士生导师, 生命科学技术学院生物科学专业负责人。主要从事水稻产量遗传机理剖析和利用基因编辑技术开发育种新技术研究工作。2007 年入选“教育部新世纪优秀人才计划”, 2011 年农业部作物产量遗传改良创新团队负责人, 2015 年湖北省水稻产量遗传改良创新团队负责人, 《遗传》和 Scientific Reports 杂志编委。研究成果获得湖北省自然科学一等奖 3 项, 获得 7 项国家发明专利和 1 项美国发明专利。

关于转基因作物的理性争论

梁力文, 邢永忠

华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室, 武汉 430070

转基因技术在农业生产上的应用日益显示出其强大的优势。但是近 10 年来, 关于转基因的争论在我国却愈演愈烈, 从乡村到城市、从普通人群到专家、从传统媒体到网络、从谣言到科学澄清、从无端谩骂到科学解释, 无不充斥着关于转基因是非的争论。这些争论一方面反映出我国转基因技术已经走进人们的生活, 另一方面也可以看出人们对转基因技术还缺乏基本的了解。因此, 要让争论更加理性, 人们必须首先了解什么是转基因, 然后再讨论转基因食品到底存不存在安全性问题、转基因作物对环境是否存在影响等问题。科学理性面对这些问题才能够使大家对转基因争论产生共识, 创造和谐局面, 促进转基因技术的发展和利用。

1 转基因技术与转基因作物

对于某个事物理性判断的前提是要对此事物具有充分的了解。所谓的“转基因”是经过人工定向选择某个生物体(供体)的一个(或多个)有特定功能的基因, 通过生物分子技术构建重组的 DNA 整合到一个不含有这一个(或多个)基因的生物体(受体)中, 使得受体表达供体基因而具有其功能, 从而定向改

良受体生物。转基因是一项科学技术, 是科学进步的产物。

自 20 世纪 50 年代以来, 多种生物技术手段被用于作物遗传改良, 如组织培养中的胚胎拯救、单细胞培养产生体细胞无性系以及花药培养等。但是直到对农杆菌(*A. tumefaciens*)的天然转基因机制的效仿和控制, 人们才获得了引入新基因或抑制已有基因的表达从而创造新表型的新方法, 即转基因技术。自 1970 年美国科学家伯格、科恩建立了基因克隆体系以来, 转基因技术才逐步发展, 其应用也拉开了帷幕。1982 年, 美国 Lily 公司利用转基因技术重组了世界上第一个大肠杆菌用于产生胰岛素, 同年也产生了全球第一株转基因烟草。在转基因技术发展的几十年间, 该技术已被广泛运用于医药、工业、农业、环保、能源等领域。

转基因技术也被称为基因工程技术, 在生产重组药物、基因诊断、基因工程疫苗和基因治疗等几个方面均得到广泛应用。基因工程技术在医学上的应用具有更广阔的发展前景^[1]。利用基因工程可以生产出更高效的酶制剂, 获得能大大提高降解污染有机物效率的工程菌, 有利于环保工业的发展。同

收稿日期: 2015-03-24; 修回日期: 2015-08-09

基金项目: 2014 年国家转基因专项项目(编号: 2014ZX08009-001-002)资助

作者简介: 梁力文, 博士研究生, 研究方向: 水稻分子遗传学。E-mail: llwtiger@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 邢永忠, 博士, 教授, 研究方向: 分子遗传学。E-mail: yzxing@mail.hzau.edu.cn

DOI: 10.16288/j.yczs.15-122

网络出版时间: 2015-9-16 11:06:05

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1913.R.20150916.1106.002.html>

时转基因技术在农业领域也得到了广泛的应用,包括转基因动物、植物以及微生物的培育等^[2]。

近几年,由于粮食作物的转基因技术发展迅猛,转基因作物备受瞩目。第一例转基因作物莎弗番茄 FLAVR SAVR(*Solanum lycopersicum*)由美国加州卡基生物技术公司研发,通过引入一个编码植物细胞壁软化酶(多聚半乳糖醛酸酶)基因的反义结构,从而抑制了该基因的表达,使番茄果实成熟后有较长的存放期。该产品于 1994 年 3 月 21 日被投放市场^[3]。西葫芦(*Cucurbita pepo*)作为第 2 个被批准种植的转基因作物,1995 年投放市场,它能同时抵抗 3 种病毒——西瓜花叶病毒、小西葫芦黄花叶病毒和黄瓜花叶病毒(CMV)。其中对黄瓜花叶病毒的抗性,来源于转入植物的病毒壳蛋白基因,使得植物表达此蛋白从而抑制病毒的繁殖和扩散。1998 年夏威夷大学和康奈尔大学共同完成的具有抗环斑病的转基因木瓜投放市场,挽救了衰落的夏威夷木瓜产业。

早期转基因农作物主要具备耐除草剂或者抵抗害虫特性。1998 年,孟山都公司研发出对草甘膦具有耐受性的转基因大豆。草甘膦通过抑制植物叶绿体酶 5-烯醇丙酮莽草酸-3-磷酸(5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate, EPSP)合成酶的作用,而阻碍了芳香族氨基酸的合成,使得植物无法正常生长。他们发现了一种对草甘膦不敏感的 EPSP 酶,将编码该酶的基因转入作物中表达,这样作物就具有了草甘膦耐受性。在喷洒除草剂后,作物生长正常,杂草死亡,从而达到除草目的。自此,一些主要的生物技术公司(拜耳作物科学、陶氏益农、杜邦/先锋、巴斯夫和先正达)都将除草剂耐受目标集中于草甘膦、2,4-D 和磺酰脲,其中有些公司还开发出了同时对两种除草剂具有耐受性的转基因作物。2003 年,孟山都公司成功研发了抗虫的转基因玉米,在玉米体内高效表达苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*)Cry3Bb 基因,产生对鳞翅目昆虫有毒性作用的蛋白,使玉米具有抗虫性。此后一些生物技术公司也相继推出抗各种鳞翅目害虫的转基因作物^[4]。

随着具有抗虫、抗病、耐除草剂等性状的转基因作物大面积推广,品质改良、养分高效利用、抗旱耐盐碱转基因作物也纷纷面世。根据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA, <http://www.isaaa.org/>)提供的数据显示,截止 2014 年共有 27 种不同转基因

作物商业化生产获得批准,其中包括 19 种粮食作物、5 种纤维或饲料作物和 3 种花卉作物。粮食作物包括阿根廷油菜(*Brassica napus*)、菜豆(*Phaseolus vulgaris*)、菊苣(*Cichorium intybus*)、茄子(*Solanum melongena*)、玉米(*Zea mays* L.)、甜瓜(*Cucumis melon*)、木瓜(*Carica papaya*)、李子(*Prunus domestica*)、波兰油菜(*Brassica rapa*)、马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)、大米(*Oryza sativa* L.)、大豆(*Glycine max* L.)、小西葫芦(*Cucurbita pepo*)、甜菜(*Beta vulgaris*)、甘蔗(*Saccharum* sp.)、甜椒(*Capsicum annuum*)、烟草(*Nicotiana tabacum* L.)、番茄(*Lycopersicon esculentum*)和小麦(*Triticum aestivum*)。非粮食作物包括苜蓿(*Medicago sativa*)、棉花(*Gossypium hirsutum* L.)、匍匐剪股颖(*Agrostis stolonifera*)、亚麻(*Linum usitatissimum* L.)和白杨(*Populus* sp.)。花卉则是康乃馨(*Dianthus caryophyllus*)、矮牵牛(*Petunia hybrida*)和玫瑰(*Rose hybrida*)。2014 年,全球转基因作物种植面积最大 10 个国家累计种植了 1 亿 8 千万公顷的转基因作物(表 1)^[5]。与 1996 年开始转基因作物商业化时的 170 万公顷相比,全球转基因作物种植面积增加了 100 多倍。转基因育种技术得以快速发展的根本原因在于它与传统育种相比具有更高效率和针对性。

2 转基因食品的安全性问题

作物是人类重要的食品来源,因此关于转基因作物争论首当其冲的便是转基因产品的食用安全性

表 1 2014 年全球转基因作物在各国的种植情况

排名	国家	面积(百万公顷)	主要转基因作物
1	美国	70.1	玉米、大豆、棉花、油菜、甜菜、苜蓿、木瓜、西葫芦
2	巴西	40.3	大豆、玉米、棉花
3	阿根廷	24.4	大豆、玉米、棉花
4	印度	11	棉花
5	加拿大	10.8	油菜、玉米、大豆、甜菜
6	中国	4.2	棉花、木瓜、白杨、番茄、甜辣椒
7	巴拉圭	3.6	大豆、玉米、棉花
8	南非	2.9	玉米、大豆、棉花
9	巴基斯坦	2.8	棉花
10	乌拉圭	1.5	大豆、玉米

问题。近 20 年来,人们在这方面的争论颇多,本文按时间顺序,收集了科学界中十大著名的争论事件以及相应的争论结果。

2.1 巴西坚果与转基因大豆事件

1994 年 1 月,美国先锋(Pioneer)种子公司将巴西坚果中编码 2S albumin 蛋白的基因转入到大豆中,从而增加大豆中的含硫氨基酸,提高大豆的营养品质,并将这一科研成果发表于 *Journal of Cellular Biochemistry*^[6]。同年,该公司意识到一些人对巴西坚果有过敏反应,随即对这种转基因大豆进行了测试,发现对巴西坚果过敏的人群同样也对这种转基因大豆过敏,研究结果发表于 *New England Journal of Medicine*^[7],揭示 2S albumin 蛋白正是巴西坚果中的主要过敏原。于是先锋种子立即终止了这项转基因作物的研究计划。但此事后来一度被说成是“转基因大豆引起食物过敏”,至今仍被一些不明真相的人“津津乐道”。这个事件也是迄今发现的唯一因过敏而未被商业化的转基因食品案例,这种转基因大豆没有上市。但是,应该注意到这种转基因大豆导致的过敏性不是技术本身造成的,而是转基因目标基因产物的效应。这一效应源自于天然食物巴西坚果中的基因,但其安全性是可以进行明确的评价。

2.2 普斯陶伊马铃薯事件

1998 年,苏格兰 Rowett 研究所的科学家阿帕得·普斯陶伊(Arpad Pusztai)用转有雪花莲凝集素基因的马铃薯喂食大鼠,在媒体上声称大鼠食用后“体重和器官重量减轻,免疫系统受到破坏”^[8]。在英国正饱受疯牛病摧残的背景下,此事引起了全球的轰动。当时的绿色和平等环保组织称其为“杀手”马铃薯,并破坏了试验地,焚烧转基因作物,阻止转基因产品进出口,还进行了游行示威,从而掀起了欧洲反转基因食品的热潮。英国政府对此事件相当重视,委托英国皇家学会对这项研究进行评审。1999 年 5 月评审报告指出,“普斯陶伊的实验设计、操作以及分析都存在几个方面的缺陷”,“实验的结果不能明确证明转基因食品对健康是有害的”^[9]。随后普斯陶伊提前退休,并声称不再对此前在媒体上发表过的言论负责。1999 年 10 月,医学期刊 *The Lancet* 正式发表了普斯陶伊的研究论文,普斯陶伊认为他的研究结果表明是基因修饰过程而非转入的基因

GNA 导致异常结果,并解释“引入外来基因可能会导致激活或者抑制植物本身的基因”^[10]。*The Lancet* 同一期还发表了荷兰 3 位科学家对普斯陶伊论文的评论,批评他实验中的几个错误,例如大鼠肠道的异常是由于转基因土豆和非转基因土豆之间的营养差异造成,与基因修饰无关;喂食大鼠的土豆,食物单一,容易使小鼠处于蛋白质匮乏状态;实验中每组小鼠只有 6 只,样品数量太少等^[11]。

2.3 叶尔马科娃实验

2005 年 10 月,俄罗斯科学家丽娜·叶尔马科娃(Irina Ermakova)在一次会议中公布了极具爆炸性的结果——用转基因大豆喂养怀孕的母鼠,超过 50% 的新生幼鼠会在 3 周内死亡,并通过新闻媒体大肆宣传。*Nature Biotechnology* 杂志专门联系了叶尔马科娃,请她介绍自己的实验,并且组织了不同领域的专家进行评估。对此叶尔马科娃也与专家评审组产生了争论^[12~14]。结果发现,叶尔马科娃的实验疑点重重。在她的实验材料中,实验组和对照组喂养的食物没有相同的遗传背景,也没有控制两者的背景条件,甚至她所声称实验用到的转基因大豆品种来源都不得而知。另外,她的整个实验都没有按照公认的标准动物毒理学研究方法来进行,实验设计漏洞百出:大鼠可能食物不足、营养不均衡,食物的化学成分不明,多数的饲养方法也不当。另外,她的实验没有采用双盲的方法测量参数,实验样本严重不足,这样的实验无法排除偶然因素造成的实验结果。实验对照组食用非转基因大豆,幼鼠的死亡率也高达 10%。因此她的实验是不可能做出科学性结论的,最终她没有正式发表该研究论文。

2.4 转基因玉米“MON863”事件

2005 年 5 月 22 日,英国《独立报》披露了孟山都公司的一份研究报告。报告显示,食用了转基因玉米“MON863”的老鼠,血液和肾脏中会出现异常指标。应欧盟的要求,孟山都公司公布了完整的 1139 页的实验报告,并发表了研究论文^[15]。随后欧盟对安全评价的材料以及补充实验的报告进行分析,认为该转基因玉米投放市场并不会对人和动物健康造成负面影响。2007 年,法国科学家塞拉利尼(Séralini)及其同事对孟山都公司的抗虫转基因玉米研究的原始数据重新进行统计分析,得出老鼠在食用该转基因

因玉米后肾脏和肝脏受到了一定程度的不良影响,并将文章发表于 *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* [16]。欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)转基因生物小组负责为欧盟决策者提供食品安全决策科学依据。小组成员包括了来自美国、德国、英国和加拿大的6位毒理学及统计学专家,他们对2007年塞拉利尼发表的论文进行了评审,并在 *Food and Chemical Toxicology* 上发表评价结果:塞拉利尼等人对孟山都公司原始实验数据的重新分析,不能得到喂食转基因玉米对老鼠肾脏和肝脏产生不良作用的结果。认为其实验结果不是建立在对老鼠进行独立实验基础之上的,文中用于统计分析的数据,是借用孟山都公司之前的实验数据,选择了不被同行使用的不合适的统计方法进行数据分析,这样的实验结果和结论都是不科学的[17]。

2.5 转基因玉米升级事件

2009年,De Vendomois等[18]将一个类似于塞拉利尼2007年发表的分析结果发表在 *International Journal of Biological Sciences* 上,比较粗浅地分析了3种转基因玉米品种“MON810”、“MON863”和“NK603”对哺乳动物健康影响,指出它们会对大鼠肾脏和肝脏造成不良影响,此事仍然引起科学界不小的争议。同样,转基因生物小组也对De Vendomois在2009年发表的论文进行评审,同时对3套90天大鼠喂养研究数据重新进行统计分析,转基因生物小组认为论文中提供的数据不能支持作者关于肾脏和肝脏毒性的结论。

2.6 俄罗斯之声转基因大豆事件

2010年4月16日,俄罗斯广播电台俄罗斯之声报道了一则新闻:《俄罗斯宣称转基因食品是有害的》(<http://english.ruvr.ru/2010/04/16/6524765.html>)。新闻声称,“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,转基因作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。当科学家证明了转基因玉米是有害的时候,法国立即禁止了其生产和销售”。实际上,俄罗斯之声报道的新闻事件

中所提及的相关研究机构,并没有在任何学术期刊上发表过该报道中所描述的相关研究的论文,并且所提到的Alexei Surov博士所在的Severtsov生态与进化研究所也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。新闻中还提到法国禁止了转基因玉米的生产和销售,这也与事实不符。法国政府并没有对转基因食品的生产及销售下禁令,而欧盟已经于2004年5月19日决定允许进口转基因玉米在欧盟境内销售。这些事实证实了俄罗斯之声的新闻其实是一则虚假新闻[19]。

2.7 “先玉335”玉米致老鼠减少、母猪流产事件

2010年9月21日,中国媒体《国际先驱导报》发表报道称:山西、吉林部分地区“老鼠变少,母猪流产”……动物的种种异常都源于它们的食物——“父本为转基因玉米”的玉米品种“先玉335”(http://news.xinhuanet.com/herald/2010-09/21/c_13522940.htm)。实际上,据中国农业部门公告,先玉335是美国先锋公司选育的杂交玉米,其母本为PH6WC,父本为PH4CV。该报道发表的当天,先锋公司的母公司——美国杜邦公司就此发表声明,先玉335不是转基因玉米。9月27日,科普作家方舟子发表博客文章也驳斥了此报道,报道中提供的“母猪流产”的“事实”缺乏证据,而“老鼠减少”则很可能是养猫增加,以及建筑材料的改变造成的,把这些和“先玉335相联系”缺乏证据。9月30日,农业部有关负责人表示,“先玉335”是美国先锋公司在中国选育的玉米杂交种,农业部已组织有关单位对市场中的“先玉335”玉米种子进行了检测,均未检出转基因成分。关于“母猪流产”现象,与当地实际情况严重不符,属虚假报道。《国际先驱导报》的这篇报道被《新京报》评为“2010年十大科学谣言”[20]。

2.8 血液中能测出Bt蛋白

2011年5月31日,加拿大学者Aziz Aris和Samuel Leblanc在 *Food and Chemical Toxicology* 杂志上发表了一篇论文[21],称他们检查了加拿大魁北克省东部村镇区域(Eastern Townships, Quebec)怀孕女性和胎儿脐带中的血样,发现在一些血样中含有Bt蛋白Cry1Ab。澳大利亚和新西兰食品标准局(FSANZ)对这篇论文引起的争议做出了回应,再次强调了科学界的主流看法,在日常生活中摄入的

Cry1Ab 蛋白对人来说是安全的 (<http://www.foodstandards.gov.au/consumer/gmfood/cry1ab/pages/default.aspx>)。FSANZ 表示, 即使血液中存在 Bt 蛋白, 也未必是转基因作物引起的。Bt 蛋白作为一种使用了 50 多年的绿色有机杀虫剂, 至今仍然被广泛地应用。目前, 很多绿色有机农作物都使用 Bt 蛋白作为杀虫剂。相反, Bt 转基因玉米中的 Bt 蛋白含量不高, 而且转基因玉米在加工成诸如糖浆之类的食品以后几乎所有的 Bt 蛋白都已损失。因此, 即使血液中出现 Bt 蛋白, 更有可能是因为传统有机作物而非转基因作物导致的。另外, FSANZ 还强调一些媒体对原始论文存在歪曲解读。在原论文里, 作者仅仅提供了数据, 完全没有进行转基因作物安全性的讨论。在论文中, 也没有任何关于怀孕女性和胎儿的健康出现异常的数据。然而, 很多英文媒体却把这篇文章报道成了转基因作物有害健康的“证据”。此外, 食品标准局在回应中提到, 这篇论文的方法选择并不恰当^[22, 23]。此前已有一些研究报道了转 Bt 基因稻谷对小鼠健康的安全性评价, 以转 Bt 基因稻谷作为小鼠饲料, 在实验期间, 被饲喂 90 天的老鼠不仅未发现产生外观不安全和不健康的表现, 而且对小鼠亲代和子代的血清生化指标及其器官的发育均无明显影响; 也未发现转基因成分在小鼠体内发生转移和残留, 因此, 以转 Bt 基因稻谷作为小鼠的饲料基本上是安全的^[24]。还有科学家也证实了转 Bt 玉米与非转基因玉米同样安全^[25]。

2.9 转基因作物是否会形成小 RNA 进入血液

2011 年, 南京大学生命科学学院张辰宇教授在 *Cell Research* 杂志上发表论文^[26], 称稻米中有一种含量丰富的植物微小 RNA(miR168a) 在人的血清里大量存在。植物小 RNA(microRNA) 可以通过日常饮食进入人体血液和组织器官, 且可调控人体基因表达。这项研究引起国际科学界的又一次热议, 也被多家国内外媒体报道。一些研究者迅速抓住“良机”, 开始埋头于中药的小 RNA 是如何发挥“药效”的, 而一些媒体则是迅速将该研究的负面效应放大: 如果转基因食品进入人体, 会不会以小 RNA 的形式来干扰人基因表达, 从而产生遗传效应呢? 对于张辰宇教授的研究结果, 已经有两篇论文对其质疑: 一是孟山都公司 2012 年在 *BMC Genomics* 发表的文章, 表明在动物体内发现的植物小 RNA 可能来源于测

序操作中的污染^[27]; 另外一则研究来自约翰霍普金斯医学院的助理教授 Kenneth Witwer 于 2013 年 7 月发表在 *RNA Biology* 上的文章^[28], 以尾纤猕猴 (*Macaca mulatta*) 为研究对象进行了类似实验。他给猕猴喂食豆类制品的冰沙, 并对猕猴进食前后的血液分别进行植物小 RNA (0、1、4、12 h) 分析后, 观察到一些植物小 RNA 低水平扩增, 但这个结果非常不稳定: 有时植物小分子 RNA 检测结果显示有微量存在, 有时检测结果显示完全没有。这些小 RNA 的扩增与预期有出入, 不符合植物小 RNA 与饮食摄入量的因果关系。这个研究表明, 张辰宇教授的研究结果可能是由于技术问题导致的假阳性。由于任何植物小 RNA 在血液的浓度太低而不能直接测量, 这些研究均使用逆转录-聚合酶链反应 (RT-PCR) 技术来检测小 RNA 的浓度, 即通过扩增一小段基因来检测目标基因的浓度。Kenneth Witwer 博士在喂食猕猴豆类制品的冰沙之前 (即 0 h), 在其血液样本中也检测到了同样的小 RNA, 这就让进食冰沙之后的样本结果失去了意义。他推测, 这些小 RNA 可能是猕猴自身的基因片段, 只是这些片段与植物小 RNA 足够相似, 以致可以进行复制扩增, 也就是造成实验是假阳性的原因。Kenneth Witwer 的实验与张辰宇研究实验为何有如此大差异? Kenneth Witwer 进一步求证, 使用了微流体液滴数字 PCR 技术 (Droplet Digital PCR), 这个技术可以使千万个反应同时进行, 研究者可以从其中检查这些反应结果是否一致, 也就是说, 能够判断实验结果是偶然还是必然。该技术灵敏度极高, 同时能克服核酸降解的不利影响, 非常适合一些稀有样本中核酸的精确检测。Kenneth Witwer 根据实验结果表明, 在猕猴体内检测到的植物小 RNA 是属于非特异性扩增到的。同时, Kenneth Witwer 博士也认为, 这个实验还需要更多证据来求证。张辰宇教授则认为, 在 Kenneth Witwer 的实验中, 两个研究对象检测 5 种小 RNA, 研究样本量太少是该实验的不足之处。他还强调不是所有食物中的外源性植物小 RNA 都可以被完整吸收, 因此他的实验室在 2000 多种植物小 RNA 中确认了 30~50 种小 RNA 以较高浓度存在于人体血清中。同样, 张辰宇教授也表示非常有必要用更多的实验来证实这个结果^[29,30]。

2.10 转基因玉米诱发肿瘤事件

2012 年 9 月法国科学家塞拉利尼又在 *Food and*

Chemical Toxicology 发表了一篇文章,表示大鼠长期食用抗草甘膦的转基因玉米 NK603 会致癌,实验老鼠身上出现乒乓球大小的肿瘤^[31]。这引发了媒体的广泛报道,造成了公众严重的担忧。欧洲食品安全局(EFSA)迅速对该研究进行了调查,在 10 月 4 日对该研究做出初步评审。他们认为这一研究报告内容不充分,缺乏实验设计、实施以及分析的关键细节,并不能得出实验组和对照组之间有显著差异。欧洲其他一些监管部门如德国联邦风险评估研究所也对此做了分析,认为塞拉利尼的数据不能支持他的结论^[32]。塞拉利尼对这些评论做了书面答复,承认其研究发布的数据不足。由于 EFSA 没有公布转基因玉米 NK603 获批的数据,因此对转基因玉米 NK603 依旧争论不休。但 EFSA 综合 6 个欧盟成员国食品监管机构的意见,在 11 月 28 日,最终评估了塞拉利尼的研究:鼠种存在问题,样本量少,公布资料有限(主要指喂养细节),统计方法存在问题,且统计过程中缺乏数据,塞拉利尼的研究结论不能被其提供数据支持^[33]。而他发表在 *Food and Chemical Toxicology* 上的文章,2014 年 1 月被撤稿^[34]。

以上这些事件是在转基因作物生产与发展 20 年来,导致全球关于转基因食品安全热烈争议,它们同时也是转基因技术在农业生产与发展中的标志性事件。

3 转基因作物的环境安全性问题

除了对转基因食品是否安全产生争议以外,转基因作物对环境是否安全也是争议的热点。关于环境安全性问题,人们主要质疑转基因作物是否造成生态平衡破坏。下面介绍几件在国际上具有影响力的争议事件,以了解这些质疑声音的由来。

3.1 超级杂草事件

1995 年,加拿大首次商业化种植转基因油菜,在个别田块出现了可以同时抗 2~3 种除草剂都具有抗性的油菜植株。有生态人士就此提出,种植转基因抗除草剂作物是否会产生“超级杂草”并破坏生态环境?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”的说法并不科学,能抵抗所有除草剂的杂草和作物是不存在的^[35]。美国科学院院士 Peter H. Raven 说:“人们担心转基因从

某些种植的作物转移到其他种植的作物当中,这种威胁是想象出来的。世界上有 2 万种杂草,很多杂草都在侵蚀着我们的土地,而且在不断蔓延,有些人觉得转基因也会带来这样的问题,会带来这样侵略性的植被。与其担心这个,远不如担心这 2 万多个有侵略性的杂草”。转基因抗除草剂作物不会成为无法控制的超级杂草,种植转基因抗除草剂作物也不会使别的植物变成无法控制的杂草。值得注意的是,农作物的基因向杂草转移的现象是存在的,因此应该防止转基因向杂草转移。在有作物野生亲缘群落和作物近缘杂草的地区应注意检测基因的转移,采取相应的防范措施^[36]。2013 年国际权威期刊 *Nature* 发表“转基因作物的事实与谣传”的特刊,农民种植转基因农作物,使用了比较单一的除草剂从而使得一些杂草产生了抗性,导致这一问题的产生是源于种植转基因农作物的不合理方式,但总体来说,与工业规模种植的传统农作物相比,抗除草剂转基因作物对环境的破坏还是较小的^[37]。目前越来越多的农民采取了混合多种除草剂进行预防式和应对式相结合的杂草控制方案^[38]。

3.2 美国帝王蝶事件

1999 年 5 月,康奈尔大学的昆虫学教授洛希(Losey)在 *Nature* 杂志发表文章^[39],称用带有转基因抗虫玉米花粉的马利筋(一种杂草)叶片饲喂帝王蝶的幼虫,发现这些幼虫生长缓慢,且死亡率高达 44%。该结果表明抗虫转基因作物同样对非目标昆虫产生威胁,由此引发转基因作物环境安全的争论^[40, 41]。美国政府高度重视此问题,美国环保局(EPA)组织昆虫专家对帝王蝶问题展开专题研究^[42]。他们分别在美国的 3 个州和加拿大进行了专门的实验,研究表明康奈尔大学研究组的实验结果不能反映田间实际情况,转基因抗虫玉米花粉在田间对帝王蝶没有威胁。其主要原因有:(1)玉米花粉大而重,因此扩散不远。在田间,距离玉米田远的马利筋杂草上,每平方厘米草叶上只发现有一粒玉米花粉;(2)帝王蝶通常不吃玉米花粉,它们在玉米散粉之后才会大量产卵;(3)在所调查的美国中西部田间,转基因抗虫玉米地占总玉米地面积的 25%,但田间帝王蝶数量却很大。此后,2001 年 10 月,洛希研究组在 *PNAS* 杂志发表文章称^[43]:帝王蝶幼虫经转 *Bt* 基因抗虫玉

米 Bt11 和 MON810 花粉饲喂 14~22 d 对其存活的影响可以忽略不计。

3.3 墨西哥玉米基因污染事件

2001 年 11 月, 美国加州大学伯克利分校的微生物生态学家戴维·查佩拉(David Chapela)和戴维·奎斯特(David Quist)在 *Nature* 发表文章^[44], 指出在墨西哥南部地区采集的 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。文章发表后受到很多学者的批评, 指出其试验方法上有许多错误。一是原作者测出的 CaMV35S 启动子经复查证明是假阳性; 二是原作者测出的 *adh1* 基因是玉米中本来就存在的 *adh1F* 基因, 与转入 Bt11 玉米中的外源 *adh1S* 基因, 两者的基因序列完全不同。事后 *Nature* 杂志于 2002 年 4 月 11 日刊文^[45], 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”。墨西哥小麦玉米改良中心也发表声明指出, 经对种质资源库和从田间收集的 152 份材料的检测, 均未发现(CaMV)35S 启动子。绿色和平组织借此消息大肆渲染, 说墨西哥玉米已经受到了“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了“基因污染”, 却没如实报道文章被批评存在实验结果不可靠的实情。但仍旧影响了公众对待转基因的情绪, 这也导致了争议持续不断。科学家们也在努力寻找真相, 2005 年有研究报道墨西哥没有转基因玉米污染^[46], 2009 年墨西哥分子生态学家埃琳娜·阿尔瓦雷兹·拜拉(Elena Alvarez-Buylla)与植物分子遗传学家阿尔玛·派尼若-尼尔森(Alma Piñeyro-Nelson)发表研究报道墨西哥当地玉米品种中检测到了与奎斯特之间发表的 DNA 序列片段^[47], 随后有美国科学家质疑这项研究^[48], 认为该实验研究样本量太小, 不足以代表所有墨西哥玉米群体, 且实验 PCR 对照设置存在问题, 其结果为假阳性, 更有可能是实验污染造成的结果。

3.4 中国 Bt 抗虫棉事件

2002 年 6 月 3 日, 南京环境科学研究所与绿色和平组织在北京召开会议, 南京环境科学研究所、绿色和平组织顾问薛达元在会上发表了题为“转 Bt

基因抗虫棉环境影响研究综合报告”^[49], 6 月 4 日《China Daily》上发表了题为“GM Cotton Damage Environment”的文章(<http://www.gmwatch.org/index.php/news/archive/2002/2331-bt-cotton-in-china-summary-of-research>)。随后被很多媒体转载刊发, 引发国际争论, 成为国际上争论转基因抗虫棉安全性的重大事件之一。首先国际同行对这个报告本身是这样评论的: 文章没有经过同行评审, 没有说明研究方法, 没有生物学统计数据, 违反生物学的一般常识, 只是按作者的个人意愿断章取义。多国科学家也纷纷发表评论反驳绿色和平组织的观点, 认为抗虫棉不是“无虫棉”, 抗虫棉中的 Bt 基因主要是针对鳞翅目的某些害虫, 并不杀死所有害虫, 包括盲蝽象、红蜘蛛及甜菜夜蛾。棉农只要采取适当防治措施, 如喷洒一般有机磷或菊酯类农药, 这些害虫便可得到有效控制, 根本谈不上“超级害虫”, 更不能说是抗虫棉破坏环境^[50]。中国农科院植物保护研究所所长吴孔明在“生物安全国际论坛第四次研讨会”上指出, 自己团队多年的研究表明, 转基因棉花的广泛种植也让邻近的包括玉米等在内的非转基因作物田中的棉铃虫类 Bt 抗虫基因针对的靶标昆虫大幅减少, 从而减少了化学杀虫剂的需要, 减少农药对环境的污染, 其研究于 2008 年发表在 *Science* 上^[51]。

以上这几件与转基因环境安全有关且影响力较大的争议, 持续至今, 和一些其他争议一样它们大部分围绕了这样的几个问题: 转基因作物是否会产生超级杂草? 转基因作物是否会杀死非靶标生物(生物系统中一些中性昆虫、有益的天敌以及非昆虫其他类型生物)? 转基因作物是否会通过天然杂交或者遗传漂变而逃逸到非转基因作物中从而产生潜在的生态威胁? 转基因作物是否会影响农田生态系统的多样性? 转基因作物的种植对土壤微生物有没有影响? 这些也都是在转基因作物商业化生产之前必须进行的科学评价和回答的环境安全问题^[52-57]。全球的科学家们都在努力回答这些问题, 此处不再赘述。

诚然, 转基因作物应用安全与否是需要慎重考虑的。然而, 当今转基因作物在大部分人心中却是“不安全的”。转基因作物在社会上的负面影响主要是由两方面的原因造成的。一是源于不严谨的科学研究结果, 相关研究的实验设计、实施、数据分析

和下结论都缺乏严密的科学性,这些不可靠结果的公开发表,导致公众舆论的恐慌,特别是对转基因不太懂的普通市民影响很大,因为它们是“科研结果”。这种研究被称为不严谨科学,应该受到严厉的批评,不仅缺乏科学性,更是降低了科学在众人心中的可信度^[58]。二是普通市民几乎不知道这种不严谨的研究结果被批驳和被撤稿的最后结果。因此,别有用心的人选择性报道这种“新闻性”科研结果,有意忽略之后的进一步报道,具有很伪善的欺骗性。因此,知道科学真相的公众少而又少,而往往这样别有用心的人却不需要负任何责任就造成了他所需要的“轰动效应”。

4 关于转基因谣言

当下中国社会中的“转基因”话题,已不再只是科学界中纯粹辩证的话题了,这个话题还混杂了些许政治、经济、新闻等的特质。“转基因”已被复杂化,因此衍生了不少社会中“谣言”。例如,“*Bt* 稻谷连虫子都不吃,我们人类就更不吃了”、“黄金玉米是转基因玉米,并导致湖南怀化通道玉米绝收”、“国产非转基因菜籽油有浓香更健康”、“转基因作物能增产是骗人的,因为没有‘增产基因’”、“转基因大豆浸泡了不会发芽,人吃了也会绝育”、“转基因作物不能留种”等等诸如此类的谣言,都是没有科学依据的“谎言”,基于一些科学知识便可将其驳斥^[59]。在微媒体时代,科学谣言的最大特点一是总是跑在真理的前面;二是总是披着科学的外衣常常以真理之名蛊惑人心^[60]。纵观全球,不同国家人民群众面对转基因作物这一问题,态度也不同,中国公众对转基因的了解程度比发达国家更低^[61],如今已分化出被称为“中国式的谣言”。对此,除了需要鼓励更多的科研者耐心持久地科普转基因技术以外,还呼吁更多的公众以及媒体能理性地参与科学中的争议从而进行科普传播工作,而非“道听途说”,然后将其演变成谣言。还有一些谣言如“美国人对于转基因只种不吃”、“欧洲绝对禁止转基因食品”、“美国大多数要求标识转基因”等,其部分责任应归咎于部分媒体的报道过于片面、夸大或者不属实,这对大众产生了严重误导,使得中国大部分群众对“转基因”产生恐惧,更有甚者将其“妖魔化”而令民众怨声载道,这也导致当今并非所有的谣言都那么容易被破解的

局面。

而有时候“辟谣往往无力”,卡普费雷在《谣言》一书中总结了“辟谣无力”的种种原因^[62]。首先,辟谣信息往往不如谣言信息“有用”;其次,受众一旦接受某个谣言,可能无意识地回避辟谣;再次,信息接受存在障碍。记忆心理学显示,抽象的概念比具体的概念更容易被记住,“X 不会致癌”的说法很可能会被错记成“X 与癌症存在关联”;最后,辟谣行为本身会带来反弹。人们往往会根据自己的立场来选择对某个观点的态度。所以,很多人并不在乎谣言本身的逻辑是否缜密、事实是否可靠,只是因为它与自己期望的、想象的情况一致,便拿来为自己所用了。而辟谣者往往会陷入某种形式的“阴谋论”^[63]。这也是为什么科学技术是谣言的“重灾区”。因此,我们呼吁新闻媒体做好求真、求是,保证传播媒介的公平性和稳定性,不要不负责任的报道、不要虚假的报道、不要“虎头蛇尾”式的报道,媒体应当做好完整性报道以及科学性报道^[64];本着新闻工作者的职业道德不要为利益所驱使,做好科普宣传工作。作为公众,也不能不假思索,人云亦云传播谣言,这样只会助长民怨,制造混乱局面。

5 争论更需“理性”的思考

2015 年中央“一号文件”在“强化农业科技创新驱动作用”中提到,“加强农业转基因生物技术研究、安全管理、科学普及”,其中加强转基因科学普及首次写入中央“一号文件”。2014 年 10 月 17 日,中国工程院院士、中国农科院副院长吴孔明在向媒体介绍转基因时明确表示,食用转基因产品不会改变人的遗传物质,不会影响生育能力,也不会影响子孙后代^[65]。谣言只需澄清事实,不攻自破,但造成的公众恐慌的后果,却需要大量的人力和财力,来平复公众内心的不安。在某种层面上,这些谣言还使得政府管理部门在民众心里的公信力降低了不少。只有普通民众很好地了解转基因科学,这种局面才会缓和,“中国式谣言”才会减少。虽然,权威机构世界食品安全委员会制定的相关转基因安全性评价流程,其程序严谨,考虑全面,但这些并不被民众所了解^[66]。因此加强科学普及将对农业科技创新具有重要意义。

科学普及与传播是人类社会持续面临的科技与

社会的实践难题之一^[67]。从历史上看,就算是风险较小的科技成果,一般也需要经历漫长的普及过程,才被大众接受,更何况是现今众说纷云的“转基因”新技术。当科学信息的输入量过大、输入频率过高,可能会反而降低人们的关注度,在科学教育程度不高的地区,有时甚至反而刺激公众选择性地接受科学认知或者完全脱离复杂的科学认知而形成自我的判断。这就如同人们到超市里买东西,导购员过分热情的推销,非但不能引起顾客的购买欲望,反而会导致顾客的逆反心理。这也是目前造成社会公众的普遍“不接受”的心理事实的原因。对于公众而言,需要的是更多耐心,“用理性的眼光去信赖科学,用动态的包容去期待发现,就能让科学帮助人类趋利避害”^[68],创造以及维护和谐的社会环境。

有关转基因作物的科学争议以及争议“滋生”的谣言,对于科研工作者一方面是欣慰的,正是这样“你来我往”的辩证,促进了科研界激烈的交流和讨论,推动了科学的发展;另一方面是令人担忧的,有些科研工作者显得不够理性,甚至有的则是摇着“科学”的旗帜进行招摇撞骗。在科学的平台上,科研者们应该遵守科学伦理道德,科研成果应该经过同行评议后,才可公布于众,正式发表;科学中讲求诚信,杜绝造假,杜绝伪科学;对待科学研究,要严谨思考,要耐心解决问题,但也绝不能“胡搅蛮缠”;科研工作者们要正视一切科学争议,要及时检测,及时发现可能风险,不能因为潜在风险的存在就妨碍科学探索的脚步,应该采取相应的预防手段及时解决。

面对转基因问题,政府、科研人员、新闻媒体以及普通民众都应该扮演好各自在社会中的角色,积极参与到科普工作中来。这样有助于转基因技术的发展和利用,从而解决“三农”问题、缓解能源压力、改善生态环境以及保障粮食安全等社会可持续性发展的重大问题。

参考文献

- [1] 郭海涛, 何光志. 基因工程技术在医学中的应用. 北方药学, 2013, 10(12): 54–56. [DOI]
- [2] 崔兴国. 植物基因工程在现代农业中的应用. 现代农业科技, 2011, (17): 52–53. [DOI]
- [3] Bruening G, Lyons JM. The case of the FLAVR SAVR tomato. *Calif Agric*, 2000, 54(4): 6–7. [DOI]
- [4] Chrispeels MJ, 郑婕. 全球转基因作物的产量和销量. 华中农业大学学报, 2014, 33(6): 120–132. [DOI]
- [5] Jame C. 2014 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势. 中国生物工程杂志, 2015, 35(1): 1–14. [DOI]
- [6] Improved crop and plant products through biotechnology. Keystone symposium. Keystone, Colorado, January 9–16, 1994. Abstracts. *J Cell Biochem Suppl*, 1994, 18A: 73–122. [DOI]
- [7] Nordlee JA, Taylor SL, Townsend JA, Thomas LA, Bush RK. Identification of a Brazil-nut allergen in transgenic soybeans. *N Engl J Med*, 1996, 334(11): 688–692. [DOI]
- [8] 何玲. 普斯陶伊(Pusztai)事件及其思考. 自然辩证法研究, 2004, 20(8): 91–95. [DOI]
- [9] Loder N. Royal society: GM food hazard claim is 'flawed'. *Nature*, 1999, 399(6733): 188. [DOI]
- [10] Ewen SWB, Pusztai A. Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine. *Lancet*, 1999, 354(9187): 1353–1354. [DOI]
- [11] Enserink M. Transgenic food debate. *The Lancet* scolded over Pusztai paper. *Science*, 1999, 286(5440): 656. [DOI]
- [12] Marshall A. GM soybeans and health safety—a controversy reexamined. *Nat Biotechnol*, 2007, 25(9): 981–987. [DOI]
- [13] Chassy B, Moses V, McHughen A, Giddings V. Response to GM soybeans—revisiting a controversial format. *Nat Biotechnol*, 2007, 25(12): 1356–1358. [DOI]
- [14] Ermakova IV. GM soybeans—revisiting a controversial format. *Nat Biotechnol*, 2007, 25(12): 1351–1354. [DOI]
- [15] Hammond B, Lemen J, Dudek R, Ward D, Jiang C, Nemeth M, Burns J. Results of a 90-day safety assurance study with rats fed grain from corn worm-protected corn. *Food Chem Toxicol*, 2006, 44(2): 147–160. [DOI]
- [16] Seralini GE, Cellier D, De Vendomois JS. New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2007, 52(4): 596–602. [DOI]
- [17] Doull J, Gaylor D, Greim HA, Lovell DP, Lynch B, Munro IC. Report of an Expert Panel on the reanalysis by of a 90-day study conducted by Monsanto in support of the safety of a genetically modified corn variety (MON 863). *Food Chem Toxicol*, 2007, 45(11): 2073–2085. [DOI]
- [18] De Vendômois JS, Roullier F, Cellier D, Seralini GE. A comparison of the effects of three GM corn varieties on mammalian health. *Int J Biol Sci*, 2009, 5(7): 706–726. [DOI]
- [19] 刘建成. 粮食安全的命脉——理性认识转基因. 中国防

- 伪报道, 2011, (6): 16–19. [DOI]
- [20] 国内外转基因“事件”. 种业导刊, 2014, (11): 27–28. [DOI]
- [21] Aris A, Leblanc S. Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada. *Reprod Toxicol*, 2011, 31(4): 528–533. [DOI]
- [22] Goldstein DA, Dubelman S, Grothaus D, Hammond BG. Comment: Aris and Leblanc "Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada". *Reprod Toxicol*, 2012, 33(1): 120–121; author reply 122–123. [DOI]
- [23] Mueller U, Gorst J. Comment on "Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada." by A. Aris and S. Leblanc [*Reprod. Toxicol.* 31 (2011) 528–533]. *Reprod Toxicol*, 2012, 33(3): 401–402; author reply 403–404. [DOI]
- [24] 张珍誉. 转 Bt 基因稻谷对小鼠健康的安全性评价[学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2010. [DOI]
- [25] Liu P F, He X Y, Chen D L, Luo Y B, Cao S S, Song H, Liu T, Huang K L, Xu W T. A 90-day subchronic feeding study of genetically modified maize expressing Cry1Ac-M protein in Sprague–Dawley rats. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50(9): 3215–3221. [DOI]
- [26] Zhang L, Hou D X, Chen X, Li D H, Zhu L Y, Zhang Y J, Li J, Bian Z, Liang X Y, Cai X, Yin Y, Wang C, Zhang T F, Zhu D H, Zhang D M, Xu J, Chen Q, Ba Y, Liu J, Wang Q, Chen J Q, Wang J, Wang M, Zhang Q P, Zhang J F, Zen K, Zhang CY. Exogenous plant MIR168a specifically targets mammalian LDLRAP1: evidence of cross-kingdom regulation by microRNA. *Cell Res*, 2012, 22(1): 107–126. [DOI]
- [27] Zhang Y J, Wiggins BE, Lawrence C, Petrick J, Ivashuta S, Heck G. Analysis of plant-derived miRNAs in animal small RNA datasets. *BMC Genomics*, 2012, 13(1): 381. [DOI]
- [28] Witwer KW, McAlexander MA, Queen SE, Adams RJ. Real-time quantitative PCR and droplet digital PCR for plant miRNAs in mammalian blood provide little evidence for general uptake of dietary miRNAs: limited evidence for general uptake of dietary plant xenomiRs. *RNA Biol*, 2013, 10(7): 1080–1086. [DOI]
- [29] Chen X, Zen K, Zhang CY. Reply to Lack of detectable oral bioavailability of plant microRNAs after feeding in mice. *Nat Biotechnol*, 2013, 31(11): 967–969. [DOI]
- [30] Dickinson B, Zhang Y J, Petrick JS, Heck G, Ivashuta S, Marshall WS. Lack of detectable oral bioavailability of plant microRNAs after feeding in mice. *Nat Biotechnol*, 2013, 31(11): 965–967. [DOI]
- [31] Séralini GE, Clair E, Mesnage R, Gress S, Defarge N, Malatesta M, Hennequin D, De Vendômois JS. Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50(11): 4221–4231. [DOI]
- [32] Nicole W. A closer look at GE corn findings. *Environ Health Perspect*, 2012, 120(11): a421. [DOI]
- [33] De Seguridad, Alimentaria AE. Review of the Séralini *et al.* (2012) publication on a 2-year rodent feeding study with glyphosate formulations and GM maize NK603 as published online on 19 September 2012 in Food and Chemical Toxicology. *EFSA J*, 2012, 10(10): 2910. [DOI]
- [34] Retraction notice to. "Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize" [*Food Chem. Toxicol.* 50 (2012) 4221–4231]. *Food Chem Toxicol*, 2014, 63: 244. [DOI]
- [35] 贾士荣, 金茈军. 国际转基因作物的安全性争论——几个事件的剖析. 农业生物技术学报, 2003, 11(1): 1–5. [DOI]
- [36] 张启发. 转基因作物: 研发、产业化、安全性与管理. 中国大学教学, 2003, (3): 35–40. [DOI]
- [37] Gilbert N. Case studies: A hard look at GM crops. *Nature*, 2013, 497(7447): 24–26. [DOI]
- [38] Brookes G, Barfoot P. 转基因作物应用(1996—2012)对全球社会经济与环境的主要影响. 华中农业大学学报, 2014, 33(6): 16–23. [DOI]
- [39] Losey JE, Rayor LS, Carter ME. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 1999, 399(6733): 214. [DOI]
- [40] Beringer JE. Cautionary tale on safety of GM crops. *Nature*, 1999, 399(6735): 405. [DOI]
- [41] Crawley MJ. Bollworms, genes and ecologists. *Nature*, 1999, 400(6744): 501–502. [DOI]
- [42] Shelton AM, Sears MK. The monarch butterfly controversy: scientific interpretations of a phenomenon. *Plant J*, 2001, 27(6): 483–488. [DOI]
- [43] Stanley-Horn DE, Dively GP, Hellmich RL, Mattila HR, Sears MK, Rose R, Jesse LCH, Losey JE, Obrycki JJ, Lewis L. Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2001, 98(21): 11931–11936. [DOI]
- [44] Quist D, Chapela IH. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 2001, 414(6863): 541–543. [DOI]
- [45] Kaplinsky N, Braun D, Lisch D, Hay A, Hake S, Freeling M. Biodiversity (Communications arising): maize transgene results in Mexico are artefacts. *Nature*, 2002,

- 416(6881): 601–602. [DOI]
- [46] Marris E. Four years on, no transgenes found in Mexican maize. *Nature*, 2005, 436(7052): 760. [DOI]
- [47] Piñeyro-Nelson A, Van Heerwaarden J, Perales HR, Seratos-Hernández JA, Rangel A, Hufford MB, Gepts P, Garay-Arroyo A, Rivera-Bustamante R, Álvarez-Buylla ER. Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Mol Ecol*, 2009, 18(4): 750–761. [DOI]
- [48] Schoel B, Fagan J. Insufficient evidence for the discovery of transgenes in *Mexican landraces*. *Mol Ecol*, 2009, 18(20): 4143–4144. [DOI]
- [49] Dayuan X. A summary of research on the environmental impact of Bt cotton in China. Hong Kong: Greenpeace and Nanjing Institute of Environmental Sciences, 2002. [DOI]
- [50] 剖析国际十大“转基因安全事例”. 中国农业信息, 2013, (2): 10–12. [DOI]
- [51] Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 2008, 321(5896): 1676–1678. [DOI]
- [52] Ellstrand NC. When transgenes wander, should we worry? *Plant Physiol*, 2001, 125(4): 1543–1545. [DOI]
- [53] Conner AJ, Glare TR, Nap JP. The release of genetically modified crops into the environment. *Plant J*, 2003, 33(1): 19–46. [DOI]
- [54] Messeguer J. Gene flow assessment in transgenic plants. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 2003, 73(3): 201–212. [DOI]
- [55] Andow DA, Zwahlen C. Assessing environmental risks of transgenic plants. *Ecol Lett*, 2006, 9(2): 196–214. [DOI]
- [56] Sanvido O, Romeis J, Bigler F. Ecological impacts of genetically modified crops: ten years of field research and commercial cultivation. *Adv Biochem Eng Biotechnol*, 2007, 107: 235–278. [DOI]
- [57] Lu BR, Yang C. Gene flow from genetically modified rice to its wild relatives: Assessing potential ecological consequences. *Biotechnol Adv*, 2009, 27(6): 1083–1091. [DOI]
- [58] Arjó G, Portero M, Piñol C, Viñas J, Matias-Guiu X, Capell T, Bartholomaeus A, Parrott W, Christou P. Plurality of opinion, scientific discourse and pseudoscience: an in depth analysis of the Séralini et al. study claiming that Roundup™ Ready corn or the herbicide Roundup™ cause cancer in rats. *Transgenic Res*, 2013, 22(2): 255–267. [DOI]
- [59] 肖国樱, 周浩, 孟秋成, 陈芬. 中国转基因作物的主要争论问题与解读. 农业现代化研究, 2011, 32(6): 666–669. [DOI]
- [60] 雷建树. 微媒体时代科技媒体应对科学谣言的策略. 新闻爱好者, 2012, (7): 23–24. [DOI]
- [61] 黄季焜, 仇焕广, 白军飞, Pray C. 中国城市消费者对转基因食品的认知程度、接受程度和购买意愿. 中国软科学, 2006, (2): 61–67. [DOI]
- [62] 郑若麟. 郑若麟: 也谈如何才能有效遏制“网络谣言”——卡普费雷的《谣言》一书给我们的启示. 记者观察, 2013, (10): 48–51. [DOI]
- [63] 果壳. 2010 年十大科学谣言(上). 科学与文化, 2011, (3): 26–27. [DOI]
- [64] 金颖. 中国科技类报纸转基因报道内容分析[学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2011. [DOI]
- [65] 魏铭言. 农科院副院长: 转基因食品不影响生育能力和后代. 湖南农业, 2015, (1): 31. [DOI]
- [66] 董丰收, 彭于发, 郑永权, 赵静, 姚建仁. 理性认识转基因植物食品的安全性. 生物技术通报, 2003, (1): 17–22. [DOI]
- [67] 于川, 徐飞. 现代农业生物科技的认知困境及反思——从当前关于转基因食品的争议谈起. 自然辩证法研究, 2015, (1): 108–114. [DOI]
- [68] 罗云波. 转基因作物热点问题之见解. 中国食品学报, 2013, 13(11): 1–5. [DOI]

(责任编辑: 高彩霞)