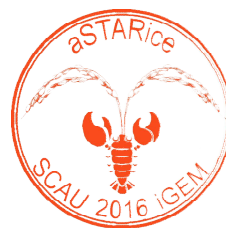


2016

转基因基础科普手册



目录



简单科普篇：

一、你所食用的

1. 简介生活中你食用的转基因
2. 一个合理的担忧——草甘膦
3. 值得更好的转基因产品

二、病态的执迷——反对转基因

1. 他们就想要你眼花缭乱
2. 初步的胜利——木瓜
3. 有机食品并没有更安全
4. 被狂热分子憎恨的人道项目——黄金大米

转基因知识篇：

三、转基因基础知识

1. 什么是转基因
2. 基因与生物性状是什么关系
3. 什么是转基因技术和产品

四、转基因技术的特点

1. 常用转基因技术有哪些
2. 转基因技术与传统育种有何异同
3. 转基因技术有哪些应用

五、转基因技术发展历程

1. 转基因技术是如何产生并发展的？
2. 全球转基因技术的研究有哪些动向？
3. 全球转基因生物的产业化是什么情况？
4. 我国转基因技术发展现状？

技术安全监管篇：

六、转基因技术及其产品安全

1. 转基因技术及其产品安全涉及哪些方面
2. 目前转基因技术及其产品的安全性有何争论？
3. 转基因技术及其产品的安全性怎么评估？
4. 转基因成分可以检测出来吗
5. 转基因生物检测有哪些方法？

七、转基因监管政策

1. 全球主要国家如何监管转基因技术及其产品？
2. 我国如何监管转基因技术及其产品？

关于华农 iGEM 的一切篇：

八、华农 iGEM 知多少

1. 什么是 iGEM？
2. 什么是华农 iGEM？
3. 华农 iGEM2016 的项目是什么？

简单科普篇：

一、 你所食用的

1. 简介生活中你食用的转基因

中国农科院专家列“转基因食品”清单			
	国内市场	美国	欧洲
国外进口	大豆 	大豆	大豆
	油菜籽 	油菜籽	油菜
	玉米 	玉米	玉米
国内生产	番木瓜 	番木瓜	马铃薯 
	棉籽油 	番茄 	甜菜 
美国市场上的色拉油、面包、饼干、薯片、蛋糕、巧克力、番茄酱、鲜食番木瓜、酸奶、奶酪等或多或少都含有转基因成分。			
误传	圣女果 	大个儿彩椒 	
	小南瓜 	小黄瓜 	

虽然这些是转基因食品，但是并没有代表这就一定是我们所不能吃的。他们是否有危害？用这个可以吸引人的眼球来看这个手册。

2. 一个合理的担忧——草甘膦

对转基因食品的担忧不止是安全性，也有其他方面的批评，其中的一项确实值得注意。它说的是基因工程在农业中最常见的应用：除草剂耐性。在这个国家，有四分之三的玉米和棉花经过了基因改造，可以抵御昆虫。这些作物含有 Bt 菌的基因，虫子吃了它们就会死去。还有一个数字比这略高一些：在基因改造之后，有大约 80% 到 85% 的玉米和棉花能抵御清除野草的化学物质、尤其是以“农达” (Roundup) 为名出售的草甘膦。（杀虫和除草，这两个功能往往是捆绑在一起的。）这个比例在大豆中也差不多。在世界范围，大约 50% 分配给转基因作物的土地上种植着抗虫作物，而种植耐杀虫剂作物的土地则超过了 80%。



除草剂耐性除草剂耐性，如同野草和虫子一样，都是对庄稼有害的东西。这一点是相当关键的，知道了这一点，才能理解转基因作物在整体上是提高还是降低了农药的使用。2012年，最理智的转基因批评者查尔斯·本布鲁克(Charles Benbrook)发表了一项研究，他经过计算得出，转基因作物使得美国农药的用量增加了7%。然而也有人在去年对多项研究做了跨国分析，结论是转基因作物使农药的用量减少了37%。不过这两项研究都承认一个基本的区分：抗虫的转基因作物使得杀虫剂的用量减少，而耐除草剂的转基因作物使得除草剂的用量上升。

有两个原因似乎能解释除草剂用量的上升。一个是直接原因：如果你的作物经过了改造、不怕农达，那么你就可以大量喷洒、不必担心作物死亡。还有一个间接原因：如果每个农民都喷洒农达，野草就会适应这个充满农达的世界。为了生存，它们会演化出耐性。而为了杀死这些耐药的野草，农民又必须喷洒更多除草剂。这就像是一场军备竞赛。

虽然就草甘膦的辩论方兴未艾，但专家都同意这是一种比较温和的物质。本布鲁克曾把它称作市场上最安全的除草剂之一。他的结论是：“鉴于其有益的环境属性和毒理学属性，尤其是和它取代的一些除草剂相比，草甘膦用量的大幅增加可能并没有显著提高人类的健康风险。”

对除草剂耐性了解越多，你就越能够理解转基因作物的真相是多么复杂。你先是会发现它们并不邪恶，接着会发现它们也绝非清白。然后你会明白，没有什么东西是绝对清白的。这样那样的除草剂，这样那样的技术，这样那样的风险——一切都是相对而言。最好的策略，无非是将每一种做法与别的做法权衡。最起码，不要再理会那三个字母的标签了

3. 值得更好的转基因产品

在转基因食品问世后的二十年，还有人认为这项技术主要的商业用途是旧式除草剂，这实在是一个笑话。绿色和平组织和 Chipotle 认为，对这个笑话的正确反应是将转基因食品彻底清除。他们完全错了。正是因为这些反技术分子始终不渝地抵制转基因食品的检测、批准和商业开发，才使得黄金大米之类更加先进的转基因产品无法走上市场。要松开除草剂行业对转基因的钳制，最好的策略就是支持转基因技术、促进它的发展，具体的做法是告诉政策制定者、食品生产者和种子公司，你需要更好的转基因产品。

美国农业部有一份最近开发的转基因植物名录，列出了许多值得尝试的选项。名录中包括耐干旱的玉米、抗病毒的李子、不会发黑的苹果、天然毒素较少的土豆、以及较少产生饱和脂肪的大豆。联合国粮农组织也在不久前发布了一份全球清单，讨论了正在酝酿的其他项目：抗病毒的豆类、耐高温的甘蔗、耐盐的小麦、耐疾病的木薯、富含铁质的大米、以及无需大量氮肥的棉花。浏览新闻，你会发现科学家有着更大的抱负：高钙胡萝卜、抗氧化西红柿、不会引起过敏的坚果、抗菌橘子、耐旱的小麦、含有额外营养的玉米和木薯，还有一种亚麻类的植物，能产生此前只在鱼类体内才有的健康油。



它们能显著提高产量、提升农民健康、为地球做出的贡献。它之所以还没做到，是因为我们一直被困在一场关于转基因的愚蠢论战中浪费时间。一边是江湖骗子和伪环保者从左翼向科学发起战争；另一边是懦弱的企业抱着利润丰厚的除草剂，生怕冒犯大众而不敢投资转基因产品。要结束这场战争只有一个办法，那就是一边教育自己、一边向各个机构宣示（包括欧洲各国政府、领导潮流的杂货商、赶时髦的餐饮连锁店、研究性大学、以及生物技术的投资者），要告诉他们，选民和消费者已经准备好了，我们就要那些富含营养、有益环境的食物，无论它们的基因来自哪里。行动吧。

二、病态的执迷——反对转基因

1. 他们就想要你眼花缭乱

转基因食品危险吗？似乎有许多人是这么认为的。有这么一个“非转基因生物项目”（Non-GMO Project），专门给不含转基因生物的产品出具认证，过去五年里，企业界已经向这个项目申报了 27000 多种产品。单是去年一年，这类产品的销量就几乎增长到了 3 倍。很快，美国的全食超市（Whole Foods）就会要求超市内的所有转基因商品都贴上标签。雅培公司也推出了非转基因的婴儿配方奶，以给予人父母者“心理上的安慰”。乔氏超市（Trader Joe's）声明不再销售转基因产品，还有墨西哥卷饼连锁餐厅 Chipotle。

有些环保论者和公益机构还想更进一步。美国有几百家组织正呼吁转基因食品强制标注，其中包括消费者协会（Consumers Union）、地球之友（Friends of the Earth）、社会责任医生（Physicians for Social Responsibility）、食品安全中心（the Center for Food Safety）、以及忧思科学家联盟（the Union of Concerned Scientists）。从 2013 年至今，佛蒙特、缅因和康涅狄格州已经批准法律，要求转基因食品标明身份。下一个可能将是马萨诸塞州。

这些法律的关键前提、同时也是消费者焦虑的主要原因，是大众对于健康的关心，这也正是促使企业生产非转基因食品的动力。皮尤研究中心在去年开展了一项调查，结果显示 57% 的美国人认为“一般来说，食用转基因食品是不安全的”。佛蒙特州表示，新标签法的主要目的是帮助人民“避免转基因食品可能带来的危害”。Chipotle 餐厅也宣布，已经有 300 名科学家签署了一份声明，“驳斥了转基因生物对人类的安全性已有公论的说法”。餐厅还表示，在进一步研究之前，“我们认为对转基因产生生物都要谨慎处理。”事实上，世界卫生组织（WHO）、美国医学联合会（AMA）、美国科学院和美国科学促进联合会（AAAS）都已经指出，并没有过硬的证据表明转基因生物有任何危险。数以百计的研究也支持这个结论。然而我们中的许多人并不信任这些担保。我们总是听信怀疑论者，认为这里头大有文章，认为真的有研究发现了和转基因生物有关的风险，认为孟山都公司在掩盖真相。

首先，这件事的确很复杂。但是调查越深，我就在反对转基因的活动中发现了越多骗局。这些活动中充斥着差错、谬误、曲解和谎言。那些宣称孟山都都在掩盖真相的人，他们本身就在掩盖证据，好不让你发现他们对转基因生物的指控都是错的。他们的目的是叫你在复杂的科学面前眼花缭乱、只能凭直觉接受他们的怀疑观点。

其次，反转运动的中心论点——避开转基因食品的理由，是要小心谨慎——根本就是一个骗局。反转人士要你对转基因食品谨慎相待，但他们自己对其他食品却毫不谨慎。他们一方面说转基因作物中的蛋白有毒，可是另一方面，他们又为富含相同蛋白的药物、杀虫剂和非转基因作物辩护。他们把基因工程说得混乱而不可预知，其实研究已经指出，其他改进作物的方法对植物的基因组危害更大，而其中一些方法就是那些反转人士所推崇的。

第三，确实有一些涉及转基因农业的担忧有其道理，比如除草剂、单一栽培和专利方面的问题。但是在这些问题本质上其实与基因工程无关。基因工程不是一个物品，它是一个过程，能以不同的方式运用、创造出不同的物品。要对转基因生物有一个清晰的认识，你就必须对它的不同应用做出区分，对于每一种应用都要认清它的本质。如果你担心的是杀虫剂和透明度，你需要了解的是自己的食品沾染了多少毒物，而一张转基因标签并不能告诉你这个。它只会诱使你买下一件非转基因产品，虽然同类的转基因产品其实

更加安全。

2. 初步的胜利——木瓜

二十年前，夏威夷种植木瓜的果农遇到了麻烦：由昆虫传播的环斑病毒正在摧毁作物。为了阻止病毒，果农们想尽了办法，选择育种、轮作、隔离，样样都试过，没一样见效。后来，有一位科学家另想了一个办法：能不能从病毒的基因里取出编码“外壳蛋白”的无害的一段，然后转移到木瓜的 DNA 里呢？这样培育出的转基因木瓜，是不是就会对病毒免疫？



这位科学家是康奈尔大学的丹尼斯·冈萨维斯（Dennis Gonsalves），他的想法有一部分是来自孟山都公司。孟山都对木瓜不感兴趣：虽然木瓜是发展中国家的一种重要主食，但它不像大豆和棉花那样能赚大钱。于是，孟山都和另两家公司把这项技术转让给了一个夏威夷农民协会。转让是免费的，但只能在夏威夷使用。协会先是将种子免费发给农民，后来开始收费。

今天，这种转基因木瓜已经打了一场胜仗，整个产业因为它而得救了。不过这也是一个警醒世人的故事：后来有人发起了一场运动，要将转基因作物从夏威夷彻底铲除，打败病毒的转基因木瓜差点没能挺过这场运动。这件事给了我们一个沉重的教训：即使一种转基因食品已经被食用了很久、即使它从未对任何人造成危害、即使有许多研究证明了它的安全，也总是会有人质疑它有这样那样的未知风险。

在 1996 年和 1997 年，有三家联邦机构为转基因木瓜颁发了许可。美国农业部表示，在田野试验中，“目标植物、目标外生物和周边环境都没有受到破坏”。美国环境保护署也指出，人类食用被病毒感染的木瓜已经有许多年头，“大多数植株的果实、叶片和茎干里都有完整的木瓜环斑病毒颗粒，其中也包括外壳蛋白。”环保署还援引了这样一段历史资料——

“长久以来，哺乳动物一直在随着食物吃下完整的病毒颗粒，结果并没有对人类的健康造成什么危害。受到病毒感染的植物不仅现在是、而且向来是人类和家畜食谱的一部分，从来没有证据表明植物中的病毒对人类或其他脊椎动物有害。再说，植物病毒也无法在哺乳动物或其他脊椎动物体内繁殖，因而不可能感染人类”。

这个主张并不能使所有人满意。1999 年，也就是新的木瓜种子分发给农民之后的一年，有批评者宣称环斑病毒基因可能与其他病毒的 DNA 相互作用、产生更加危险的病原体。2000 年，一伙暴徒闯进夏威夷大学的一处研究设施，破坏了那里的木瓜树和其他用生物技术培育的植物，还称那些植物为“基因污染”。2001 年，美国公共利益研究组织（U.S. Public Interest Research Group）将夏威夷指为户外转基因作物试验最泛滥的州，并呼吁在全国范围暂停此类试验。组织宣称，“基因工程这门科学太新、太激进”，还说转基因作物“没有经过恰当试验，对于人类健康和自然环境的冲击都还不明了。”

2002 年在荷兰发表的一项研究似乎为这股焦灼情绪找到了理由。研究指出，环斑病毒的外壳蛋白在被木瓜吸收之后，其中的一小段会变得很像是蠕虫制造的过敏蛋白。不过两者的相似只是部分，作者还特别指出，这并不说明这种蛋白就能引起过敏；至于木瓜就更不可能引起过敏了。但是反转基因分子没有放过这个机会。“科学社会学”（The Institute of Science in Society）发布了一则“生物安全警示”，题为“转基因木瓜致敏丑闻”。绿色和平组织也举出了荷兰的这项研究，并警告说“转基因木瓜和其他病毒的相互作用可能产生新的病毒”。组织还指责转基因木瓜的开发者在“操弄自然”。

这类警告中的一些的确使人不安，但是科学地看，它们并没有多少意义。时间一年年过去，人们吃着木瓜，

平安无事，但反转分子始终不愿放弃。2004年，绿色和平组织的暴徒捣毁了泰国的一家木瓜种植园，他们说里面的木瓜是“定时炸弹”，还指责它毁掉了夏威夷果农的生活。2006年，绿色和平组织再次发布报告，谴责转基因木瓜。但实际上，果农的困苦之源正是绿色和平组织本身。它一方面阻挠转基因木瓜的批准和销售，一方面又把果农的经济困难怪罪到木瓜头上。

从2006到2010年，美国农业部的科学家在日本监管机构的敦促下对转基因木瓜又开展了几项附加研究。结果确认，这种新型蛋白的基因序列，与任何已知的过敏源之间均无共性。研究中使用的是常见标准——八个连续氨基酸，而不是之前的六个。研究还表明，这种蛋白不像过敏源那么顽强，几秒钟就会被胃液分解。而且，人们向来食用的传统木瓜中反而富含病毒，其病毒蛋白含量是转基因木瓜的八倍。2009年5月，在经过十年研究之后，日本食品安全委员会终于批准了转基因木瓜。又过两年，在解决了环境问题之后，日本市场向这种木瓜敞开了门户。

中国的研究者也做了额外验证。他们用四周时间给一组大鼠喂食转基因木瓜，同时给另一组大鼠喂食传统木瓜。结果显示两组大鼠并无不同。这证实了外壳蛋白的碎片会迅速被胃液溶解、不会在器官中留下可见的残片。

到这时，对转基因木瓜的研究和食用已经到了第十五年。转基因的怀疑者有两条路可选，一是承认自己的噩梦没有成真，二是无视证据、坚信转基因会带来劫难。

这个两难境地使2013年使得反转基因阵营发生了分裂。那一年，掌管着夏威夷最大岛屿的夏威夷县议会曾考虑立法禁止转基因作物。县议会召开的听证会由“占领夏威夷”组织（Occupy Hawaii，支持禁止法案）拍成视频，其中记载了长达一年的意识形态与科学论争。县议会在听取证词、仔细研讨之后，认为转基因木瓜并不符合人们对于转基因生物的刻板印象。其一，它是由公共机构、而不是某一家企业的科学家创造的。其二，它挽救了一种受人喜爱的作物。其三，它在日本和美国都经受住了广泛的验证。其四，它不会对周围的农田异花授粉。其五，它还能减少杀虫剂的用量，因为果农再也不必杀灭传播病毒的蚜虫了。

县议会一位议员玛格丽特·威尔（Margrae Wille）在证据面前低下了头。她原本是夏威夷政坛的反转基因先锋，这份禁止转基因生物的法案就是她提出的。但是在听取了证词之后，她把转基因木瓜从这份禁止清单中勾去了。她还表示，转基因木瓜已经融入了夏威夷当地的农作物，在安全性和异花授粉的试验中也站住了脚跟。她实际上承认了两件事：一，民众担心生物技术会造成种种危害，比如滥用杀虫剂、大公司主宰农业等等，但并不是所有的转基因作物都有这些问题。二，随着时间的推移，当初的新鲜事物也会司空见惯。其他反对者仍不松口，其中的一个主要角色是杰弗里·史密斯（Jeffrey Smith），全世界精力最旺盛的反转积极分子。2013年9月，史密斯以“专家证人”的身份在夏威夷县议会发表了45分钟的证词，但实际上他并没有接受过正规的科学训练。（议会问是否要称他“史密斯博士”，他没有正面回答，只说“不用，叫我杰弗里就好”。）他对县议会宣称，转基因木瓜中的RNA可能打乱人体基因，这些木瓜中的蛋白又会干扰人体免疫系统，引发艾滋病和肝炎。他还说，这些蛋白可能引发癌症。

为了支持自己的证词，史密斯援引了2013年3月的一篇关于转基因作物监管的论文。按他的说法，论文“证明了对这项技术的评估并不足以确保环境和人类健康的安全。而论文中提到的一个例子正是木瓜。”但实际上，这篇论文对木瓜并无主张。它的确提到了木瓜，但只是在反转基因技术做理论批评之余，将它列在了一张转基因作物的清单里。

史密斯还对县议会称，“对转基因木瓜没有开展过任何动物饲养实验”。同为专家证人的夏威夷大学农作物专家赫克托·巴伦苏埃拉（Hector Valenzuela）也表达了相同的意思，说科学家“没有做过哪怕一项研究”来评估转基因木瓜的安全性。两个人都没有提到中国用大鼠所作的转基因饲养研究——它的发表日期还比史密斯引用的那篇理论文章早了两个月，其中并没有发现史密斯主张的那些危险。

为了解释科学组织和监管机构为什么会宣布转基因食品安全，反转基因的证人们又抬出了阴谋论。他们说，美国食品和药品管理局已经被孟山都攻陷，美国科学促进会也是如此。当普利策奖得主、《纽约时报》的科学记者艾米·哈蒙（Amy Harmon）详细陈述转基因木瓜的安全证据之时，不愿相信的县议会成员指摘她的文章是“掌权者的歪曲说辞”。

那么，日本又为什么批准了转基因木瓜呢？巴伦苏埃拉建议县议会读一读维基解密透露的美国政府电报。他说这些电报证明了“美国国务院极力掩盖真相的举措”。这显然是在影射美国官员强迫日本接受转基因木瓜。史密斯也提到了这批电报。但实际上，电报里并没有透露什么阴谋。在这批电报中，有近6000份是从日本境内的美国使领馆发出的。它们的年代从2005年到2010年，正是日本监管机构对转基因木瓜开展辩论并最终批准的时段。环保组织“守护水粮”（Food & Water Watch）曾经在这批电报中搜寻了美国官员为推销转基因生物对外国施压、游说的证据，并在2013年5月公布了搜寻结果，其中并没有提到美国在日本有任何此类活动。

对于反转基因的证人来说，没有什么指控是牵强的，其中有几个还自称“专家”。他们说，转基因生物对皮肤较深的人尤其危险。他们主张疫苗也有危害。他们还说，转基因花朵同样要禁止，因为儿童有可能把它们吃进肚子。

哪怕证据满山满谷他们也不肯说出口的是，转基因木瓜是安全的。夏威夷县的议员布兰达·福特（Brenda Ford）是另一部反转基因法案的发起人，她曾告诉她的同志，即使有人正面提问，他们也不必回答这个问题。她形容基因工程是对染色体的“任意修改”，她还说科学“还处在婴儿期”。史密斯则在证词中主张，农业中的基因转移应该再研究50到150年，然后才能放到田野里使用。

到最后，木瓜幸存了下来。福特的法案胎死腹中。威尔的法案写进了法律，但是仍在法庭上遭遇了阻挠。新法对木瓜网开一面。但是木瓜上仍需贴上转基因标签。实际上，这些标签并不能透露多少信息。它们不

会告诉你，杂货店里的水果之所以改造了基因，只是为了可以少用杀虫剂。它们不会告诉你，为了验证这种水果的安全已经投入了大量研究。它们不会告诉你，这种水果人们已经吃了超过 15 年，从未发生事故。它们不会告诉你，当你买下这些水果，你的钱是付给了夏威夷的果农，而不是孟山都。直到今天，还有人相信转基因木瓜是危险的。他们想要更多的研究才会放心。他们永远想要更多研究。他们将自己称为“怀疑论者”。可是，如果你死抱着一个没有根据的信念而无视二十年来的研究与经验，那你就不是怀疑论者了，你只是一个迷信的人。

3. 有机食品并没有更安全

1901 年，一位日本生物学家发现有一株细菌正在杀死本国的丝蚕。后来科学家给这种细菌取了一个名字：苏云金芽孢杆菌（*Bacillus thuringiensis*）。他们意识到这种细菌可以用来保护农作物免受虫害。农民和环保者都喜欢它，因为它自然、有效、而且对脊椎动物安全无害。

到 1980 年代中期，比利时研究者发明了一种更好的办法来制造这种杀虫剂。他们将苏云金芽孢杆菌的一个基因转到了烟草植株当中，使得虫子一吃下植株就会死亡。于是，农民不再需要细菌了。获得了新基因的植株称为“Bt”，它们靠自己就能制造出杀虫蛋白。

这下环保者抓狂了。将他们惹怒的不是杀虫菌，而是转基因技术。他们接着掀起了一场针对 Bt 作物的奇怪反弹。之前公认为无害的一种蛋白，忽然就变成了一个威胁。其实 Bt 的安全应用已经有了很长的历史，但是生物技术的批评者无视这个事实，他们只认准一点：Bt 是一种转基因生物，而转基因生物就是邪恶。1995 年，美国环保局批准了 Bt 土豆、Bt 玉米和 Bt 棉花的种植。环保局认为，这些作物产生的毒性“与苏云金芽孢杆菌在自然条件下产生的毒性完全相同”，它们“在被昆虫摄入后会破坏其身体，对哺乳动物则不造成影响。”然而反对者并未罢休。1999 年，绿色和平组织、食品安全中心、杀虫剂行动网络（Pesticide Action Network）和国际有机农业运动协会（International Federation of Organic Agriculture Movements）结成了联盟，共同对美国环保局提起诉讼，要求它收回成命。诉状称，Bt 作物可能催生抗杀虫剂的昆虫，从而“对目标之外的其他生物造成直接危害”。

这个联盟号称在为环境安全考虑，但奇怪的是，它的考虑却是有所选择的。这场诉讼有 34 个农民自称是受害人和原告，其中有 30 人承认在自己的作物上喷洒过 Bt。原告中还有 16 家农业组织，其中的 14 家也表示它们的成员使用过 Bt 喷剂。还有一名原告是“有机化肥和杀虫产品的供应商”，他的业务包括“向传统苹果种植者出售叶用 Bt 产品”。另一名原告“出售控制农业害虫的有益昆虫及自然生物，是这类产品的最大供应商之一”，而他的业务也包括了“几种 Bt 产品”。

可见，绿色和平组织及其盟友不是在对抗 Bt 产业，而是在保护它。他们试图说服大众：植物制造的 Bt 蛋白是危险的，而细菌制造、再由农民喷洒的 Bt 蛋白则绝对安全。

反转基因的游说者声称 Bt 作物比 Bt 喷剂更加危险，理由之一是 Bt 作物中含有太多细菌的毒素。2007 年，绿色和平组织在印度发起了一次法庭请愿，要求终止 Bt 茄子的野外试验。请愿者对印度最高法院称：“转基因作物中的 Bt 毒素比喷剂的浓度高出 1000 倍”。然而绿色和平组织自己的内部研究却驳斥了这个说法：2002 年，组织根据在中国开展的几项测试发布了一份报告，指出 Bt 作物中的毒素含量十分“有限”。2006 年，组织的研究员在检查德国和西班牙的 Bt 玉米之后意外地发现，“采样的植株大体显示了非常低的 Bt 浓度。”

换作一家诚实的环保组织，在发现这样的证据之后，或许会重新考虑自己反对 Bt 作物的立场。然而绿色和平组织只是改变了策略而已。它在 1999 年的诉讼中主张 Bt 作物制造的毒素太多，现在却调了个头，转而在针对德国和西班牙玉米的报告中，主张转基因作物制造的 Bt 毒素太少，以至于既对人体有害，又无法有效杀虫。

反转基因分子还声称杀虫蛋白在 Bt 作物中被“激活”，在 Bt 喷剂中却没有，所以 Bt 作物对于人类更加危险。这是一个误导的说法。“激活”的意思只是 Bt 蛋白被截短表达，从而能与昆虫的肠道结合。在这一点上，每一种 Bt 植物都各不相同。一个由环境危害评估中心维护的全球转基因作物数据库显示，有些 Bt 蛋白是完全截短的，还有些是部分截短。而即便是完全截短的蛋白，也只处于“半激活”状态，绿色和平组织的顾问在 15 年前给该组织发去的技术评估里已经指明了这点。只要你不是虫子，Bt 蛋白就不会激活。

在 1999 年的那场诉讼中，绿色和平组织宣称在 Bt 作物危险时举出了一条理由，说它们的毒素“在环境中不易降解”。从那以后，组织及其盟友就一再提起这个指控。不过为了方便起见，他们有时也会说出相反的话来。2006 年在新西兰请愿抵制 Bt 作物时，组织改口宣称 Bt 棉花中的毒素含量可能太低，因为“Bt 蛋白会因为高温发生降解”。组织还补充说，植物自身的免疫系统“也可能降低 Bt 蛋白的杀虫活性”。接着，组织又在 2007 年的请愿中主张印度的棉花中 Bt 含量过低，使得昆虫大量繁衍，导致庄稼歉收，农民负债自杀。“自杀”云云，只是反转基因分子编造的又一个谎话。不过从此以后，绿色和平组织宣称转基因作物杀人就有了两个理由：一，说它的毒性比 Bt 喷剂更加持久强烈；二，说它的毒性不如 Bt 喷剂持久强烈。

对于 Bt 作物的批判，最奇怪的部分要数证明它有害的所谓证据。大量研究已经表明，Bt 蛋白是世界上最安全的杀虫剂之一。然而无论是何种杀虫剂，只要你的实验次数够多，总会有一两次呈现出看似令人担忧的相关来。但是要挑战某个科学界的公论，这只是第一步。接下来，专家们还要对这些相关是否体现因果、这些效应又是否重要展开辩论。他们还要用更加精细的对照实验来验证这个新发现。在这一点上，对 Bt 作物和其他转基因生物的批判从来没有合格过。

然而这还不是最奇怪的地方。最奇怪的地方在于，那么多所谓反对 Bt 作物的证据，看来看去，它们充其量能成为反对 Bt 喷剂的证据。

在 2006 年提交给新西兰监管者的请愿中，绿色和平组织主张 Bt 作物施加的演化压力会催生出抗 Bt 昆虫，从而使有机农民无法再“正当地使用 Bt 杀虫剂”。请愿书还警告说，“Bt 的毒性可以在土壤中持续 200 多天”，这会“对目标之外的生物造成危害，并影响土壤生态系统的健康”。然而，组织用来证明土壤危害的三个实验，有两个根本就没有用到 Bt 作物。它们用的是 DiPel，一种商用 Bt 喷剂复合物。绿色和平组织的用意是呼吁新西兰保护 Bt 喷剂不受 Bt 作物之害，然而它所根据的研究却恰恰构成了对 Bt 喷剂的指控。

2007 年，绿色和平组织在印度请愿禁止 Bt 茄子时又重复了这一谬误。请愿书中写道：“天然细菌中的 Bt 蛋白对于先进有机农业十分重要。”所以，因为 Bt 作物的种植而演化出来的抗 Bt 昆虫“将对许多种类的农业生产构成严重威胁，而印度这样的国家又不可避免地依赖于这些种类的农业生产。”然而这份请愿书的附录却显示，用来证明 Bt 作物危害农业的研究，使用的是 Javelin、Foray 和 VecroBac——三种都是 Bt 喷剂复合物。

这个矛盾在整个反转基因运动里贯穿始终：一边是对 Bt 作物可能的危害提心吊胆，一边又是对 Bt 喷剂产业的无尽吹捧。有机消费者联盟曾表示：“农民对 Bt 的使用向来是节制的，一般只在不得已的时候才用。”然而这个说法和商用 Bt 喷剂的产品说明并不符合。有这么一本推荐“机械化喷管式喷雾器”的小册子里写道：“飞机喷洒对于许多作物都是家常便饭。”另一本册子也表示：“许多鳄梨果园都采用直升机喷洒。”其中还对喷洒的饱和度格外强调：“喷洒时务必覆盖植物的所有表面，甚至是叶片下方也不能遗漏。”

绿色和平组织叫大家不必担心，因为“天然 Bt 喷剂中的蛋白会自动降解”，时间在两周以内。然而这又是一个虚假的保证，因为农民用重复喷洒抵消了降解。有一本典型的产品手册建议用户“每隔 5 到 7 天喷洒一次”。这个频率足够将毒素送进你的嘴里了，因为产品说明还告诉种植者：“成熟的果实可以在喷洒的当天就采摘并且食用。”在几个 YouTube 视频中，有机农民们也给出了相同的指导：你的蔬菜每隔四天就要喷洒一次 Bt，每块表面都要喷到，而且喷完之后立即就能食用。

和 Bt 作物不同，Bt 喷剂包含着活的细菌，这些细菌是可以在食物中繁殖的。几年前，研究者检查了丹麦市场上销售的蔬菜，结果发现其中有 23 种菌株和商用 Bt 喷剂中使用的完全相同。中国的一项类似研究也在牛奶、冰淇淋和绿茶饮料中发现了 19 种 Bt 菌株，其中的 5 种和 Bt 喷剂中使用的完全相同。在加拿大，研究者对 Bt 喷剂使用区域内外的人们取了鼻腔样本检查，结果发现喷洒作物之前有 17% 的样品含有细菌，而喷洒作物之后这个数字升到了 36% 至 47%。

Bt 喷剂在全世界的使用量一直没有人监测。去年秋天，《华尔街日报》估计生物杀虫剂每年的销售额大约是 20 亿美元。Bt 喷剂据说在这个市场中占到了 57% 至 90% 的份额。另据报道，在 2001 年，美国有超过 40% 的西红柿和 60% 的芸苔属作物使用了 Bt 喷剂，其中包括西兰花、花椰菜和卷心菜。从那以后，生物杀虫剂的销量又有大幅上升。在欧洲，它们自 2000 年以来的年增长率接近 17%。所有的市场分析均预测生物杀虫剂的增长速度将远远超过杀虫剂市场的平均水平，部分原因是政府的推动。《华尔街日报》预测到 2020 年，全球杀虫剂销量中的 10% 将是 Bt 和其他生物配方。

一方面是转基因生物遭到批判，另一方面是生物杀虫剂欣欣向荣，这个矛盾局面的一个结果，是你自认为吃下更少 Bt 的同时，实际却吃下了更多。假设你在德国生活。根据 2014 年的一份国会研究报告，德国拥有全世界最严格的转基因政策。它要求转基因食物贴上标签，限制转基因生物的种植，甚至欧盟批准的一些作物，在德国都被禁止。然而联合国的数据却显示，最近 10 年以来，在德国每 1000 公顷可耕种土地上，平均每年销售的生物及植物杀虫剂就达到 125 吨（这个类别就包括 Bt），农民将它们喷洒在作物或种子上。换算下来，每年每英亩土地的用量超过 100 磅（约 45 公斤）。而相比之下，每英亩 Bt 玉米所产生的毒素还不到 4 磅（约 1.8 公斤）。

知道是谁在销售那么多 Bt 喷剂吗？就是绿色和平组织点名批评销售化学杀虫剂和转基因生物的那几家坏公司。绿色和平的一张清单上罗列了在全世界销售杀虫剂的流氓公司，其中 2012 年至今位居前四的孟山都、先正达、拜耳和巴斯夫已斥资约 20 亿美元进入生物杀虫剂市场。另一家农业化学巨头杜邦也在这个领域投入了 60 亿美元。如果你正在抵制转基因作物，或者为了逃避 Bt、反对大企业垄断农业而购买有机作物，那么我劝你三思。孟山都已经比你领先一步了。

反转基因的狂热分子拒绝对 Bt 的真相。两年前，有机消费者联盟和它的盟友“绿色医药信息网”（GreenMedInfo）刊出了这样的标题：《新近研究发现转基因食品与白血病存在关联》。其实这项“新近研究”使用的是伴孢晶体，而伴孢晶体是 Bt 喷剂的组成成分，与 Bt 作物无关，但是这个标题到今天仍没有改正。（这项研究本身就是一团糟，大多数喂给被试动物的根本就不是 Bt 毒素，而且由于某些未公开的原因，这篇论文还曾被一本正规期刊撤下，转而发表在了一本从前根本不存在的杂志上。）与此同时，绿色和平组织还在去年发布了一份“示范”农业目录，并在其中称赞一家西班牙农场“将苏云金亚孢杆菌的使用扩展到了更加广泛的耕地之中”。这两个组织都鼓励大家购买有机作物，但它们都没有提到有几十种 Bt 杀虫剂已经获准在有机农业中使用的事实。

转基因标签对这个问题没有帮助。标签不会透露你吃的食物里有没有 Bt，它们只能制造一种错觉，让你觉得自己已经躲开了 Bt。这是非转基因生物项目给予我们的一个教训：让生产者主动给食物贴上标签，号称是给了你“知情选择权”。今年早些时候，石板杂志（Slate）的实习生娜塔尼亚·莱维（Natalia Levy）和格里尔·普雷蒂曼（Greer Prettyman）联系了 15 家玉米生产商，他们都为自己的玉米产品贴上了非转

基因生物计划标签。两人逐一询问这些公司他们的产品成分是否喷洒过生物杀虫剂。有五家公司没有答复。两家谎称他们的有机认证显示他们没有使用杀虫剂或任何可能有害的东西。有一家含糊其辞，当两人继续追问时，他们只是重复原来的回答。还有一家表示会遵守法律。另有三家承认自己并不知道。没有一家公司能够清楚地保证，自己的产品没有喷洒 Bt。

这就是反转基因运动的基本缺陷。它只是假装要让你知情。当你越过他们的教条、追查证据时，你就会发现这场运动对于遗传工程的执迷是完全错误的。如果真要贯彻它鼓吹的那些原则——环境保护、公众健康和社区农业——更好的办法是对每个案例逐一考察，而不是将转基因作物作为全世界任何问题的代罪羊。这就是真相，混乱而复杂，它不能用一张标签来概括，真是可惜。

4. 被狂热分子憎恨的人道项目——黄金大米

当今世界，有2.5亿学龄前儿童正受到维生素A缺乏症的困扰。每一年，这些孩子里都有25万至50万人变成盲人。接着不到一年的时间里，这些盲童中的半数便会死亡。这种病大量出现在东南亚。那里的人民主要靠大米获得营养，大米中没有足够的β-胡萝卜素，而β-胡萝卜素经过消化就会产生维生素A。25年前，由瑞士联邦理工学院的印戈·波特里库斯（Ingo Potrykus）牵头，一群科学家开始着手解决这个问题。他们的计划是培育一种新型大米，使之能够产生β-胡萝卜素。



这个想法听起来或许离谱，可是在波特里库斯看来，它至少比当时一些政府正在采取的措施要合理：那些政府每年向每位国民分发两片高剂量维生素A片。与其如此，把β-胡萝卜素直接嵌入当地的主要作物不就方便多了吗？那样，人民就能自己栽培这种营养物质并且每天摄入、而不是依靠政府偶尔分发了。这是一条长久之计，是在用生物技术预防病痛、残障和死亡。

1999年，波特里库斯和同事取得了第一次突破。他们利用水仙花和细菌的基因，创造出了世界上第一种β-胡萝卜素大米。这种金灿灿的谷物获得了“黄金大米”的称号。时任总统的克林顿热烈祝贺了这项成就，还敦促转基因的怀疑者也接受这种产品。他承认基因工程“常被看作是与农业公司利益攸关的事务，也常有人说它全为利益、违背食品安全。”但是在维生素A缺乏症这个问题上，无所作为才是对人民健康的更大威胁。“如果我们能向发展中国家提供更多黄金大米，那么它每天都能挽救40000条生命。”克林顿说道。

反转基因组织感到了挫败，因为这个人道项目破坏了他们对基因工程一贯的反对态度。2001年，绿色和平组织的反转基因协调员本尼迪克特·海林（Benedikt Haerlin）与波特里库斯一同出席了法国的一场新闻发布会。海林在会上承认，黄金大米确实起到了“积极的作用”，而且“对我们的立场构成了道德威胁”。绿色和平组织不能把大米说成毒药，于是转而在技术上反对这个项目：他们说，黄金大米无法产生足够的β-胡萝卜素。

在生物技术的批评者看来，更好的做法是帮助人民自给自足，在自家的院子里种满大豆、南瓜和其他富含维生素A的作物。如果这一点无法做到或者效果不佳，绿色和平组织建议，政府还可以采用补剂（即分发维生素A片）或食物强化的做法——也就是在集中处理的糖、面粉和人造黄油中拌入维生素A。

关于黄金大米，绿色和平组织没有说错：在当时，它的确不能提供足够的β-胡萝卜素来治愈维生素A缺乏症。可是其他方法同样不能。为黄金大米提供支持的是洛克菲勒基金会，基金会主席戈登·康韦（Gordon Conway）2001年在写给绿色和平组织的一封信里解释了部分困难：

“完全平衡的饮食当然是首选，但是一个家庭越是贫困，家里的孩子就越难摄入平衡的饮食，也越容易依赖大米这样的廉价主食。当天气干燥，水果和蔬菜供应短缺、价格昂贵时，这一点就尤其明显。”康韦的观点和联合国儿童基金会的几位营养学家相同，他们都怀疑那些贫穷国家的本地作物无法供应足够的β-胡萝卜素供人消化。而在波特里库斯看来，号召人民在自家后院种植作物（“何不食胡萝卜蛋糕”），是一种西方式的无知。“那些国家的几亿穷人根本没有土地，”他指出，“他们没有房子，也没法在房子边上种水果树。”

波特里库斯和康韦希望尝试一切方法缓解维生素A缺失症：多样化、强化、补充、再加上黄金大米。可是反转基因团体却拒绝这么做。他们把黄金大米称作基因工程的一匹“特洛伊木马”。他们的双重标准玩得越来越熟练。在他们的宣传中，那些贫穷国家的人民不吃黄色大米、却不知怎的可以学会种植陌生的蔬

菜。他们把黄金大米描绘成一场金融阴谋，当波特库里斯澄清黄金大米将免费送给贫农，他们又抗议免费分发会对当地作物造成基因污染。有些反转基因组织说，黄金大米应该废除，因为它捆绑了70项专利。另一些组织却说，所谓的70项专利是黄金大米的项目负责人捏造出来的谎言，目的是为他们和全球企业阿斯利康制药的合作寻找借口。

就在批评者企图阻止项目时，波特库里斯和同事正在着手改进黄金大米。2003年，他们开发出了新的大米品种，其中的β-胡萝卜素含量达到了原来的8倍。2005年，他们又揭晓了一个新的品系，其β-胡萝卜素是原来的20倍。这下，转基因的批评者再也无法指责黄金大米营养不足了。于是他们又调转枪头，宣称β-胡萝卜素和维生素A是危险的。

2001年，“地球之友”组织曾嘲笑黄金大米“无法缓解维生素A缺乏症，因为它制造的β-胡萝卜素微乎其微。”可是到了2004年11月，组织改换了论调，号称那些产生β-胡萝卜素的作物“会直接毒害人体，或造成胚胎的异常发育”。另一个反转基因游说组织“科学社会学会”在一份2006年的报告中记录了自身的立场变化：

“本学会曾在2000年对黄金大米做过批评。我们的结论之一是这种大米产生的β-胡萝卜素太少，无法缓解当时的营养不良局面。从那以后，黄金大米植株虽已经过改良，但仍不足以提供必要的营养。另一方面，在食物中提高β-胡萝卜素的含量，可能使那些已经从饮食中吸收足量维生素A的人过量摄入这种物质。实际上，维生素A的缺乏和补充，都可能导致出生缺陷。”

为了掀起新一轮恐慌，反转基因分子、索尔克研究院的神经生物学家大卫·舒伯特（David Schubert）起草了一篇论文，论述补充维生素A带来的所谓“灾难”。2008年，他把文章发表在了《药用食品杂志》

（*Journal of Medicinal Food*）上。文中指出，β-胡萝卜素和几十种相关化合物（称为“类胡萝卜素”）能够产生一类称为“类视黄醇”（retinoids）的化合物，其中就包括维生素A。他还宣称，所有的类视黄醇都“可能导致出生畸形”，所以“在引种黄金大米之前需要开展广泛的安全检测”。

在这篇论文中，舒伯特一步步扭曲了证据。为证明黄金大米可能有毒，他引用了1994年发表在《新英格兰医学杂志》上的一项研究。他说这项研究发现“吸烟者在饮食中补充β-胡萝卜素会增加罹患肺癌的风险”。可有一件事他忘了提：那项研究中的β-胡萝卜素摄入量，相当于每天吃10到20碗黄金大米。他同样没有援引论文的其余部分，其中特别写到，一般而言，β-胡萝卜素反而与较低的胃癌风险相关。另外，他还声称美国国家研究委员会在2004年的一份报告指出了基因工程“相比其他一些修改基因的方法，有更大的可能会引起不可预知的变化。”但实际上，国家研究委员会的那份报告是这样描述基因工程的：

“基因工程相比其他一些修改基因的方法（比如窄杂交narrow crosses），有更大的可能会引起不可预知的变化；但是和另一些方法相比（比如辐射诱发突变），它的可能性却更低。所以说，比起促成结构变化的手法，还是变化本身的性质更加值得思考。”

舒伯特在引文中略去了句子的后半部分（“但是和另一些方法相比，它的可能性却更低”），使得国家研究委员会的这份报告仿佛成了对转基因作物的警示，而实际上，报告已经澄清了对转基因生物的恐慌是一种固执的错误。

舒伯特给了黄金大米的反对者他们孜孜以求的东西：所谓的“科学证据”。从那以后，每一个反转基因的游说组织，都会引用他的论文。反转运动有了新立场，以“禁止转基因食品”（Ban GM Food）的用词为例，就是“黄金大米会产生过量的β-胡萝卜素，且研究显示，从β-胡萝卜素中产生的一些类视黄醇素含有毒性，会造成出生缺陷。”

转基因知识篇：

三、 转基因基础知识

4. 什么是转基因

转基因技术的理论基础来源于进化论衍生来的分子生物学。基因片段的来源可以是提取特定生物体基因组中所需要的目的基因，也可以是人工合成指定序列的 DNA 片段。DNA 片段被转入特定生物中，与其本身的基因组进行重组，再从重组体中进行数代的人工选育，从而获得具有稳定表现特定的遗传性状的个体。通俗的说，就是一种生物体内的基因转移到另一种生物或同种生物的不同品种中的过程。



5. 基因与生物性状是什么关系

基因控制生物性状过程十分复杂，至今这个问题仍然是分子遗传学前沿研究的重点，但其基本原理已被现代生命科学研究所揭示。1958 年，一个名叫克里克的英国科学家最早提出了基因如何控制生物体性状的原理，在遗传学上称为遗传信息传递的规律，命名为中心法则。中心法则阐明了遗传信息传递的方向，即遗传信息从 DNA 传递至 RNA（核糖核酸），再传递至多肽（蛋白质）。蛋白质的性质和功能是由基因控制的，而蛋白质的功能决定了生物性状的表现，早已查明蛋白质是由二十种氨基酸组成的。基因编码序列中的四种碱基的不同排列方式决定了基因的特性，DNA 中的遗传信息忠实地传递给 RNA，RNA 中的核苷酸序列每三个决定了蛋白质中一个氨基酸的序列，我们称之为“三连体密码子”。就像莫尔斯电报密码一样，几个阿拉伯数字决定了一个字，而一连串的数字决定了一个完整的语句，并表述了一个完整的意思一样，基因的碱基序列决定了蛋白质的氨基酸序列。目前，决定二十种氨基酸序列的三连体密码子均以破译。在细胞中，有一套十分精密的工作系统可以准确地把这些基因所编码的蛋白质生产出来。蛋白质是生物个体生命活动的承担者和体现者。

通俗的说，基因就是通过决定合成特殊功能的“蛋白质”来决定生物体的性状特征

6. 什么是转基因技术和产品

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，通过外源基因的稳定遗传和表达，达到品种创新和遗传改良的目的。也可通过干扰或抑制基因组中原有某个基因的表达，去除生物体中某个我们不需要的特性，也就是我们常说的“遗传性状”，人们常提到的“遗传工程”、“基因工程”、“遗传转化”均为“转基因技术”的同义词。“外源基因”是指在生物体中原来不存在的基因，也就是外来的基因。转移了外源基因的生物体会因产生新的多肽或蛋白质而出现新的遗传性状。目前，商业化的转基因作物的外源基因大部分来自于外源物种，如转基因抗虫棉的 Bt 基因来源于一种土壤细菌—苏云金芽孢杆菌的基因。而开发来源于本物种的基因并转化到该物种是当前转基因研究的热点，改变“内源基因”的表达模式也可显著改变物种的遗传性状。

转基因产品是采用转基因技术改造后的生物体及加工产品，主要包括转基因生物和转基因食品。转基因生物是指经转基因技术修饰的生物体，常被称为“遗传修饰过的生物体”(Genetically modified organism, 简称 GMO)，包括转基因植物、动物和微生物；转基因食品是指利用生物技术改良的动物、植物和微生物所制造或生产的食品、食品原料及食品添加物等。

四、 转基因技术的特点

4. 常用转基因技术有哪些

动物、植物和微生物转基因的基本原理非常相似，但转基因方法各不相同。微生物比较容易实现转基因操作，而植物和动物的转基因相对困难。现代生物技术已产生了多种分别针对微生物、植物和动物的转基因方法。

(1) 微生物转基因方法

转化(transformation)是转基因操作过程中的关键技术，是指一段同源或异源的 DNA 转入受体细胞的转移过程，是现代分子生物学研究和基因工程不可缺少的重要技术。目前常用的转化方法有氯化钙(化学转化法)和电转化法。

氯化钙(CaCl₂)法：该法最先是 Cohen 于 1972 年发现的。其原理是细菌处于 0℃，CaCl₂ 的低渗溶液中，菌细胞膨胀成球形，转化混合物中的 DNA 形成抗 DNase 的羟基-钙磷酸复合物黏附于细胞表面，经 42℃ 短时间热冲击处理，促使细胞吸收 DNA 复合物，在丰富培养基上生长数小时后，球状细胞复原并分裂增殖，被转化的细菌中，重组子中基因得到表达，在选择性培养基平板上，可选出所需的转化子。Ca²⁺ 处理的感受态细胞，其转化率一般能达到 $5 \times 10^6 - 2 \times 10^7$ 转化子/ug 质粒 DNA，可以满足一般的基因克隆试验。如在 Ca²⁺ 的基础上，联合其他的二价金属离子(如 Mn²⁺、Co²⁺)、DMSO 或还原剂等物质处理细菌，则可使转化率提高 100-1000 倍。化学法简单、快速、稳定、重复性好，菌株适用范围广，感受态细菌可以在 -70℃ 保存，因此被广泛用于细菌外源基因的转化。

电转化法：电转化的研究始于本世纪 70 年代。1979 年首次实现了细胞电融合，1980 年成功地应用于质粒导入。电转化的基本原理是，当细胞放在电场中，细胞膜起着电容器的作用，电流不能通过离子通道除外，随着电压升高，细胞膜组分被极化，并在细胞膜两边产生电位差。当电位差超过某一临界水平，细胞膜局部被击穿，形成一些瞬时的孔洞，孔径大小足以让大分子和小分子如(ATP)进入或从细胞中排出。如果电场强度和脉冲持续时间不超过临界限度，这种通透性是可逆的，否则细胞会遭到不可逆的损伤或死亡。研究电穿孔的机理，主要是脉冲的幅度、宽度、波形和个数等对细胞膜通透性变化的作用，其中脉冲幅度的作用研究得最充分。

质粒 DNA 电转化基本操作步骤包括细胞的制备、质粒 DNA 的转化(包括质粒 DNA 的分离纯化和目的基因的载体构建、酶切、连接)和转化子的筛选。影响电转化效率的主要因素有：受体菌种类、生长时期和质量浓度，质粒种类、大小和用量，电激参数包括电阻、电容、电场和电击介质，电击前后孵育时间、电击后培养和转化子的筛选等。

(2) 植物转基因方法

目前，植物转基因主要采用农杆菌介导法、基因枪法和花粉管通道法。

农杆菌介导转化法：农杆菌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，并可诱导植物产生冠瘿瘤或发状根。通常人们会在许多双子叶植物靠近地面的根茎交界处看到一种帽状肿瘤，就是由农杆菌的一种根癌农杆菌侵染造成的。现代分子生物学的研究揭示了农杆菌诱导植物产生冠瘿瘤或发状根的原因。农杆菌的细胞中含有一种特殊的质粒，分别为 Ti 质粒或 Ri 质粒。当农杆菌侵染植物的伤口时，这种质粒可以把其中的一段包含多个基因的 DNA 转入植物细胞并插入到植物基因组中，我们称之为“T-DNA”，即转移(Transfer)DNA 的缩写。这些基因在植物细胞中表达，就诱导植物产生了冠瘿瘤或发状根。之后，科学家对农杆菌及其所含的 Ti 质粒或 Ri 质粒进行改造，去除了 T-DNA 中的致瘤基因，而将有用的外源基因插入，使其不能对植物产生有害的症状，而仅仅能将人们所希望的基因转入到植物基因组中。农杆菌介导法起初只被用于双子叶植物，科学家发现双子叶植物中存在一种叫做乙酰丁香酮的物质，可以诱导 T-DNA 的转移，而这种物质不存在于单子叶植物。近年来在一些单子叶植物(如水稻、玉米等)中也得到了广泛应用，在转化时加入乙酰丁香酮是成功的关键。

基因枪法：通过一种被称为基因枪的设备，利用火药爆炸或高压气体加速，将包裹了带外源目的基因的高速微弹直接送入完整植物细胞中。外源目的基因会随机地插入到植物基因组中，从而实现转基因操作。与农杆菌介导的转化方法相比，基因枪法不受植物是否单子叶或双子叶类型的限制，且其载体质粒的构建

也相对简单；但基因枪法产生的转基因植物中，外源基因的表达不如农杆菌介导法稳定，成本也相对较高，而且需要特殊的仪器。

花粉管通道法：这种方法是由我国科学家周光宇于上世纪 80 年代初发明的，主要原理是在植物开花之际，向植物花器的子房中注射含外源目的基因的 DNA 溶液，利用植物在开花、受精过程中形成的花粉管通道，将外源 DNA 导入受精卵细胞，并进一步整合到植物细胞的基因组中，然后随着受精卵的发育而产生转基因新个体。该法最大的优点是不依赖植物组织培养，无需特殊仪器设备，技术简单、易行，但重复性还有待于进一步提高。

(3) 动物转基因技术

常用的动物转基因技术有核显微注射法，精子介导的基因转移法，核移植转基因法和逆转录病毒法。

核显微注射法：在显微镜下，用一根极细的玻璃针（直径 1-2 微米）直接将外源 DNA 注射到受精卵的细胞内，注射的外源基因与胚胎基因组融合，然后进行体外培养，最后移植到受体动物子宫内发育。这样随着受体动物的分娩就可能产生转基因动物个体。核显微注射法是动物转基因中最常用的方法，但其存在效率低、表达不稳定、以及需要大量的动物供体和受体动物等缺点。

精子介导的基因转移法：该方法是把动物精子作适当处理后，使其携带外源基因。然后，用携带外源基因的精子给发情母畜授精，在母畜所生的后代中，就有一定比例的动物是转基因个体。同显微注射方法相比，精子介导的基因转移法具有成本低且无需对受体动物进行特殊处理的优点。

核移植转基因法：先将基因导入到体外培养的体细胞中，筛选获得带转基因的细胞。然后，将其细胞核取出，并移植到去掉细胞核的卵细胞中，生产重构胚胎。重构胚胎再移植到母体中，从而产生转基因动物。体细胞核移植是一种相对比较新的动物转基因技术。

逆转录病毒法：利用逆转录病毒 DNA 的 LTR 区域具有转录启动子活性这一特点，将外源基因连接到 LTR 下部进行重组后，包装成高滴度颗粒，去直接感染受精卵，或微注入囊胚腔中，随后携带外源基因的逆转录病毒 DNA 整合到宿主染色体上。该方法的优点是操作简单，外源基因的整合效率较高，动物病毒所具有的启动子不但可以引发一些选择标记基因的表达，还能引发所导入的外源基因的表达。但是反转录病毒载体容量有限，并且外源基因难以植入生殖系统，成功率较低。病毒衣壳大小有限，不能插入大的外源 DNA 片段。

5. 转基因技术与传统育种有何异同

自从人类养殖动物和耕种作物以来，就从未停止过对养殖的动物和耕种的作物进行遗传改良。随着科技的不断进步，这种遗传改良逐渐发展成为一种重要的农业科学技术，即育种学。传统的育种学主要采取杂交育种技术，即通过携带优良遗传性状基因的父母本通过有性杂交，获得优于父母本的子代个体，通过选择获得优良品种，优良品种对于推动现代农业的发展具有十分重要的意义。不同物种，其育种技术千差万别，但根本目标都是使目标物种最大程度地具备对人类生产、生活有利的特征，而减少不利的性状。基因是决定生物性状和特征的根本要素。因此，育种的基本原理就是通过人为的干预，使养殖的动物和种植的作物中不断地积累“有利”基因而减少“不利”基因。无论是传统的常规育种技术，还是现代生物技术产生的转基因育种技术，都是以使动物或植物获得优良基因为目的来进行遗传改良的。在这个层面上，转基因育种与常规育种是一脉相承的，其本质相同，都是遗传物质，即基因的交流。

但是，转基因技术又与传统育种技术明显不同。我们上面提到，常规育种技术要通过有性生殖阶段，然而要从种外引入优良基因就无能为力了，因为不同的物种难以或根本不能产生后代，即所谓的“生殖隔离”。首先，转基因技术可以打破物种的界限，实现传统育种技术不能做到的物种间的基因转移，理论上可实现任何物种间的基因交流。其次，转基因技术实现了对具体基因进行精确操作。传统育种技术通常是在基因组水平上对目标物种进行选择的，对于目标物种后代性状的预见性相对较差；而转基因技术则是针对功能明确的基因进行操作和转移，可以准确地预知转基因后代的性状。就是由于转基因技术与常规育种技术间存在的这两个明显的不同，使科学家通过转基因技术可以更加快速、高效地改变目标物种的性状特征，从而极大地加快了育种的速率、提高了育种的效率。

6. 转基因技术有哪些应用

转基因技术已广泛地应用于基础科学研究、农业、医学及工业等多个领域。

(1) 对基因功能及其表达调控的基础研究中，转基因技术已成为必不可少的工具。将目标基因导入到不同物种中，研究基因的结构和功能、组织特异性表达水平、代谢网络调控，从而最终揭示目标基因的功

能已成为现代分子生物学研究中普遍采用的方法。另外，植物功能基因组学研究所需要的大量突变体，也是大多通过转基因技术获得的。

(2) 转基因技术在农业中的应用，除了包括人们熟知的转基因育种之外，还可应用于动植物病害防治。目前，转基因技术应用规模最大的领域就是转基因育种。除了培育众所周知的转基因抗虫和抗除草剂农作物外，转基因技术还可应用于培育为提高产量、改善品质、抗性增强等性状而改良的多种植物新品种。

①抗除草剂转基因植物。杂草是农作物生产的大害，将抗除草剂基因转入栽培作物，能有效地防治田间杂草，保护作物免除药害。目前从植物和微生物中已克隆出多种不同类型抗除草剂的基因。抗除草剂转基因植物是最先进入田间生产的转基因植物，2009年转基因耐除草剂大豆仍然是主要的转基因作物。

②抗病毒、抗细菌、抗真菌转基因植物。通过导入植物病毒的外壳蛋白基因、病毒复制酶基因、核糖体失活蛋白基因、干扰素基因等来提高植物抗病毒能力，目前转基因番木瓜已经商业化生产，具有显著的抗病效果。非植物起源的杀菌肽基因在植物上表达可使植物获得对病原细菌的抗性；植物也拥有抗细菌基因，如拟南芥 Rps2 基因和番茄 Pto 基因，这些基因的转基因植物也可使植物表达对病原细菌的抗性。与抗虫和抗病毒基因工程相比，抗真菌基因工程难度较大，近年来，对植物与真菌病原相互作用的分子机理有初步了解，并完成了抗真菌基因的克隆，抗真菌转基因作物面世也为期不远。

③抗虫转基因植物。昆虫对农作物的危害极大，目前对付昆虫的主要方法仍然是化学杀虫剂。采用转基因技术可以将抗虫基因转入作物中，由作物本身合成杀虫剂，使其获得抗虫特性，减少杀虫剂的使用。抗虫基因主要有毒蛋白基因、蛋白酶抑制剂基因、植物凝集素基因、淀粉酶抑制剂基因等。自从将苏云金杆菌 (*Bacillus thuringiensis*, 简称 Bt) 的 Bt 毒蛋白基因导入烟草并成功表达出抗虫特性以来，抗虫转基因作物发展迅速，转基因抗虫棉、抗虫玉米等均已进入商业化生产。

④抗逆境转基因植物。植物对逆境的抵抗一直是人们关心的问题。为提高植物对干旱、低温、盐碱等逆境的抗性，研究人员试图将一些抗逆境基因克隆后转入植物。例如科学家目前已成功地将北冰洋比目鱼的抗冻基因导入草莓中，并在美国上市销售。

⑤改良品质的转基因植物。通过转基因技术手段，可以提高植物的营养价值(提高蛋白质品质、提高能量品质、提高维生素含量、提高微量元素含量)，改进食用和非食用油料作物的脂肪酸成分，改善水果及蔬菜的口味等。例如，利用转基因技术在植物中表达编码半乳糖内脂脱氢酶的基因，可以提高维生素 C 的水平；将由玉米种子克隆的富含必需氨基酸的基因导入马铃薯后，转基因马铃薯块茎中的必需氨基酸提高 10% 以上。

⑥控制果实成熟的转基因植物。乙烯是植物果实成熟时重要的内源激素，通过控制乙烯合成的关键酶可延长某些水果和蔬菜瓜果的保鲜期；也可通过控制与细胞壁成分降解有关的酶的反义基因，来控制果实变软，延长保鲜期。

⑦复合性状转基因植物。复合性状是转基因作物一个非常重要的特点，也是未来的发展趋势，2009年总共有 2870 公顷的复合性状转基因作物，美国种植的复合性状作物占到全部 6400 万公顷转基因作物的 41%。2010 年，美国将会投放 Smartstax™ 玉米，此种转基因玉米具有八种不同的新型编码基因，呈现三种性状，两种为抗虫性(一种抗地上害虫，一种抗地下害虫)，第三种为除草剂耐性。未来的复合性状将包括抗虫、抗除草剂和耐干旱性，加上营养改善性状，如高 Ω-3 油用大豆或增强型维生素原 A 的金米。虽然转基因动物品种尚未真正得到应用，但针对动物抗病、促进生长、提高产量和质量的转基因育种正在快速发展之中。此外，转基因技术也可应用于动植物病害的防治，如利用转基因技术可以研制新型转基因蛋白农药和疫苗。

(3) 医学中转基因技术的应用范围越来越大。动物转基因技术可以创造诊断和治疗人类疾病的动物模型，可克服单纯依靠自然突变体的局限。转基因技术还可以应用于药用蛋白的生产，如利用转基因微生物发酵培养或利用转基因动植物作为生物反应器可生产胰岛素、干扰素等珍稀药物，还可利用动植物生产疫苗。美国 FDA2009 年就批准了 19 个新分子实体和 6 个治疗性生物制剂，包括 ATryn(一种从转基因山羊中得到的抗凝血酶重组蛋白)和 Cervarix(一种用于预防人乳头瘤病毒第 16、18 型病毒引起的子宫颈癌与癌前病变的疫苗)等人用新药。此外，现代医学正在积极探索直接使用转基因来治疗一些人类的疾病。

(4) 转基因技术可应用于工业生产。如利用转基因技术改良曲

霉、酵母等微生物菌种，通过发酵可生产食品添加剂和加工助剂，或者直接用于酱油和奶制品等的生产，达到提高产量或改善风味等目的。现已获准商业化使用了转基因面包酵母和啤酒酵母。在生物质能源生产中，转基因技术不仅用于培育生物质能源植物新品种，还将应用于发酵过程中的微生物改造和复合酶的生产。工业重金属污染的治理也正在探索使用可进行生物修复的转基因植物。

五、 转基因技术发展历程

5. 转基因技术是如何产生并发展的？

1974年，科恩(Cohen)将金黄色葡萄球菌质粒上的抗青霉素基因转到大肠杆菌体内，揭开了转基因技术应用的序幕。

1978年，诺贝尔医学奖颁给发现DNA限制酶的纳森斯(Daniel Nathans)、亚伯(Werner Arber)与史密斯(Hamilton Smith)时，斯吉巴斯基在《基因》期刊中写道：限制酶将带领我们进入合成生物学的新时代。

1982年，美国Lilly公司首先实现利用大肠杆菌生产重组胰岛素，标志着世界第一个基因工程药物的诞生。

1992年荷兰培育出植入了人促红细胞生成素基因的转基因牛，人促红细胞生成素能刺激红细胞生成，是治疗贫血的良药。转基因技术标志着不同种类生物的基因都能通过基因工程技术进行重组，人类可以根据自己的意愿定向地改造生物的遗传特性，创造新的生命类型。同时转基因技术在药物生产中有着重要的利用价值。转基因技术，包括外源基因的克隆、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发展，导致了21世纪的转基因技术将走向转基因系统生物技术。2000年国际上重新提出合成生物学概念，并定义为基于系统生物学原理的基因工程与转基因技术。

6. 全球转基因技术的研究有哪些动向？

随着生命科学的发展，转基因技术研究日新月异，研究手段、装备水平不断提高，基因克隆技术突飞猛进，一些新基因、新性状和新产品不断涌现。

转基因技术正在向集成应用，安全高效、多基因聚合、规模化方向发展。安全高效、多基因聚合、规模化已成为转基因作物育种技术的主要发展方向。新型载体、受体、时控表达调控元件（启动子、终止子等），叶绿体遗传转化等新型转化方法，无选择标记基因的安全转基因植物技术等也在开发过程中，并得到初步应用。规模化转基因技术：标准化、工厂化和流水线式基因转化是提高转基因育种效率的重要发展方向。完善的农杆菌介导法、花粉管通道法和基因枪轰击法等转基因技术，并通过系统集成，建立了规模化、工厂化高效转化体系。有效降低了转基因运行成本，拓宽了受体的基因型范围，显著提高了转基因效率。

多基因聚合转化技术：由于作物中绝大多数性状是由多基因控制的，将多个基因按照育种目标进行组装后同时导入一个受体中，使其多个性状同时得到改良，将提高目标基因的表达，降低或去除连锁累赘，有效地聚合多个有利基因。

高效转化技术：转化效率低是阻碍转基因作物研发进程的重要原因。在作物上，载体改良、定点整合、基因时空表达调控等技术创新，将突破基因型限制，提高转化效率。

品种分子设计技术：“品种设计”是系统生物学的思想和方法在作物品种培育领域中的实际应用。近年来出现的品种分子设计把转基因技术、分子标记辅助选择技术、DNAshuffling技术和常规育种技术进行集成创新，已成为国际上提高育种效率的主要途径之一。

外源基因清除技术：综合利用了两套位点特异重组酶的元件，即来源于细菌噬菌体的Cre/LoxP系统和来自于酵母的FLP/FRT系统，这两套系统均通过重组酶识别特定的重组位点将插入该位点间的所有外源基因删除。外源基因清除技术具有几个显著优点：

(1) 能够将转基因植物花粉和种子中的外源基因全部清除。

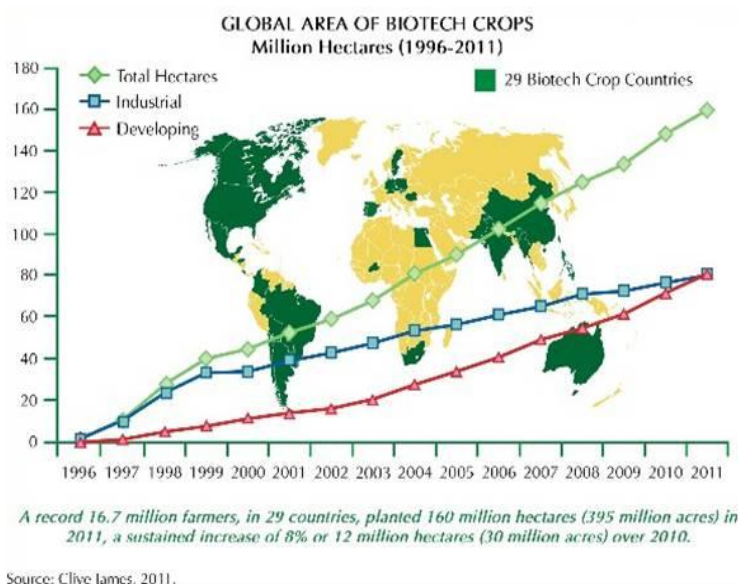
(2) 大幅度地提高了转基因植物中外源基因的删除效率。(3) 外源基因清除技术更适合于生产上应用，尤其是在第二代和第三代转基因产品生产上更有应用价值。

转基因产品的应用领域不断拓宽，如医药、工业等产业中的转基因生物研发与应用加快。以目前应用规模最大的转基因农作物为例，全球转基因植物新品种已从抗虫和抗除草剂等第一代产品，向培育抗旱、抗寒、耐盐碱、改善营养品质、提高产品质量、开发来源于农作物自身的“绿色基因”的第二代产品，以及采用转基因植物生产药品、工业化产品用蛋白、塑料、香料、润滑剂、生物质能源等第三代产品转变。

当前，尽管转基因生物的应用饱受生物安全性的质疑，全球并未放松对转基因生物的研发步伐，而是纷纷投巨资加快研究，试图在这场激烈国际高技术竞争中占据先机。除了对转基因应用持积极态度的美国等国在大力支持加强转基因作物研究外，欧盟、日本以及许多第三世界国家也在积极开展转基因研究与开发。

7. 全球转基因生物产业化是什么情况？

全球转基因农作物的应用在迅猛发展。根据国际农业生物技术应用服务组织 (ISAAA) 报告 (图 1), 1996 年转基因植物首次实现商业化, 截至 2010 年底, 全球有 29 个国家的 1540 万农民种植转基因作物 1.48 亿公顷, 种植面积比 2009 年增加 10%。自 1996 年至 2010 年, 全球转基因作物种植面积增加了 86 倍, 累计已经超过 10 亿公顷。



2011 年, 来自 29 个不同国家的 1670 万农民, 种植了 1600 万公顷的转基因作物, 相对 2010 年的种植面积, 有 8% 的稳定增长, 增长面积为 1200 万公顷。

转基因动物尚未得到大规模应用。2009 年美国批准了首个转基因动物用于生产 ATryn 药物, 也是世界第一个转基因动物生产的药物用于临床治疗。该药品是从转基因山羊的羊奶中提取纯化出来的, 用于治疗一种被称为遗传性抗凝血酶缺乏症的疾病。在医药生产中, 已使用了多个转基因生物。自 1982 年基因重组人胰岛素在美国开发成功后, 迄今已有红细胞生成素 (EPO)、粒细胞集落刺激因子、干扰素等 50 种重组 DNA 药物上市, 仅 α 干扰素目前已有 49 个国家批准销售, 年销售额达 3 亿美元。2006 年, 美国农业部批准了第一个用转基因植物生产的兽用疫苗—鸡新城疫病毒疫苗; 古巴哈瓦那遗传工程和生物技术研究中心成功研制了乙型肝炎表面抗原抗体, 这是第一个被批准规模化生产的植物源抗体。用玉米表达抗生物素和牛胰蛋白酶、水稻表达人溶菌酶和乳铁蛋白由美国 Sigma 公司 (St. Louis) 于 2008 年进行大面积田间试验。迄今为止, 已经有 20 多种基因工程疫苗进入临床应用。

目前, 全球很多企业已成功地应用转基因微生物生产食品酶制剂, 如丹麦的诺维信公司 (Novozymes) 及荷兰的 Gist—Brocades 公司等。利用基因工程技术改良菌种而生产的第一种食品酶制剂是凝乳酶, 美国于 1990 年批准它可应用于干酪生产。目前, 已有 17 个国家使用转基因微生物的凝乳酶生产干酪, 美国 70% (英国市场达 90%) 的干酪都是由转基因微生物的凝乳酶生产的。除了凝乳酶之外, 还有许多来源于转基因微生物的食品酶制剂, 如 α -淀粉酶、木聚糖酶、葡萄糖氧化酶、纤维素酶、三酰基甘油脂肪酶、磷脂酶 A、B、D 等, 近 70 余种。其中应用于食品行业的转基因微生物生产的酶就有 48 种。

8. 我国转基因技术发展现状？

我国政府目前已实施了“转基因生物标识管理办法”要求从今年 3 月 20 日起, 凡是在中国境内销售的大豆、玉米及其制品若属转基因生物, 必须进行标识。但据在北京等地的市场调查, 没有发现任何具有转基因标识的食品。可实际上, 现在许多中国人的餐桌上都有含转基因成分的食品。2012 年 4 月初, 北京检疫部门对进口的炸鸡粉进行检测, 确定 10 多个样品中, 有 3 个样品含有转基因玉米成分。几年来, 在深圳、连云港等地的港口多次检验出大量进口的转基因食品。另外, 经北京出入境检验检疫局技术中心对北京某两家大型超市的大豆色拉油抽检结果显示, 所检测的 5 种大豆色拉油均为转基因食品, 而这几种色拉油大多是目前国内食用油的著名品牌, 占有很大的市场份额。农业部授权各地农业主管部门进行转基因标识管理, 但据北京市农业局负责转基因生物管理的人士证实, 至今北京市农业局尚未接到一份转基因产品标识的申请。相反, 在上海市场上却打出了许多“非转基因食品”的大为何会出现以上现象呢? 主要是因为转基因食品对许多消费者来说是一个新生事物, 很多人对此还没有一个科学的认识, 对其安全性有一种恐惧感。

技术安全监管篇：

六、 转基因技术及其产品安全

6. 转基因技术及其产品安全涉及哪些方面

转基因技术通过生物技术手段人为的打破了物种生殖隔离屏障，将来自另一种或另一类生物的某一基因片段在载体的介导下引入到其它生物基因组中以改变其遗传性状，使动物、植物、微生物三界的遗传物质实现交流。因此转基因产品对人类、动植物、微生物和生态环境构成的危险或者潜在风险引起人们的关注。人们普遍关心的转基因技术及其产品的安全性主要包括食用安全性和环境安全性。

食用安全性方面主要涉及五个问题：一是由转基因生物加工的食品（即转基因食品）是否与同种类非转基因生物加工的食品（即传统食品）一样，可以提供人类生长繁衍必须的营养物质。二是转基因食品是否含有比传统食品更多的抗营养因子和天然毒性物质，如植酸和胰蛋白酶抑制剂等。三是转基因食品是否具有毒性。四是转基因食品是否比传统食品含有更多的过敏原。五是转基因食品中的抗生素抗性标记基因是否会因为人类食用后，发生基因水平转移，而对治疗性抗生素产生耐受效应。

涉及生态环境安全方面的问题主要是指转基因生物释放到环境中后，是否会将基因转移到野生生物中，是否会破坏自然生态环境，打破原有生物种群的动态平衡。包括转基因生物对农业和生态环境的影响；是否会产生“超级杂草”；种植抗虫转基因植物后，是否会使害虫产生耐受性并稳定遗传，从而产生更加难以消灭的“害虫”；其他生物吃了转基因生物后是否会产生畸变或灭绝；转基因生物是否会破坏环境中的生物多样性，进而对生态多样性产生影响。

7. 目前转基因技术及其产品的安全性有何争论？

对转基因技术和产品安全性的争论最早可以上溯到上世纪七十年代人们对 DNA 重组技术的安全性争论。当时，动、植物转基因技术尚未出现，科学家只把体外重组的 DNA 通过微生物进行克隆和表达。但人们开始担忧重组 DNA 实验会创造出新的病原体，引发致命流行病，会创造出难以控制的怪物，甚至会被用于改变人类的基因组。但科学界通过大量的证据终于让人们相信，在严格管理下，重组 DNA 技术是安全的。随之利用该技术生产的一些具有医疗作用的蛋白质也实现了商品化生产。随着转基因动、植物技术的发明，尤其是转基因植物的大面积种植，人们对转基因生物安全性的担忧逐渐集中到了转基因农作物是否安全的焦点。国际上一些组织机构对此开展了大量工作，一些相关权威部门也就转基因农作物及其产品的安全性发表了意见和结论。

联合国粮农组织在 2004 年的《粮食及农业状况 2003-2004》：

《农业生物技术》报告中就指出“迄今为止，在世界各地尚未发现可验证的、因食用由转基因作物加工的食品而导致的有毒或有损营养的情况。数以百万计的人食用了由转基因作物加工得来的食品—主要是玉米、大豆和油菜籽，但未发现任何不利影响。”同时指出，“在已种植转基因作物的国家中，尚未有转基因作物造成重大健康或环境危害的可证实报道。”2005 年，世界卫生组织（WHO）在发布的一份关于转基因食品的报告中也指出“迄今为止，转基因食品的消费尚未产生任何已知的负面健康影响”，但是同时也认为应该“必须继续进行安全评估”。此外，美国科学院、美国农业部、美国食品药品监督管理局、美国总审计局在发布有关转基因作物或食品的报告，也都明确指出现在进行商品化生产的转基因农作物尚未发现生物安全性问题。欧盟食品安全局（EFSA）分别在 2004 年及 2007 年发布的几篇报告中指出，未发现转基因玉米（MON863）及其杂交种对人类及动物健康和环境存在负面影响。2010 年 2 月，法国食品安全局也发布报告，再次肯定了转基因玉米 NK603、MON810 和 MON863 的安全性。从事农作物转基因及其安全性研究的大多数主流科学家也认为尚不能证实目前商品化生产的转基因农作物存在生物安全性问题，如至今已在国际公认的学术期刊上发表的有关转基因生物安全性的文献中，绝大多数研究得出的结论支持转基因农作物的安全性。然而，多年来仍有少数公开报道认为转基因农作物存在食用或环境安全性问题。如 1998 年苏格兰科研人员 Pusztai 认为转雪花莲凝集素（GNA）基因的马铃薯饲喂大鼠引起食用安全性问题；1999 年美国科学人员在《Nature》上发表文章，声称转基因抗虫玉米花粉对大斑蝶有毒杀作用；2001 年墨西哥发生转基因玉米污染事件；加拿大因种植转基因油菜产生的超级杂草问题；2008 年意大利科学家在《农业与食品化学》发表论文认为转基因玉米 MON810 饲喂小白鼠影响免疫系统的报道；2009 年法国科学家在《国际生物科学学报》上声称的转基因玉米饲喂引起老鼠肝脏、肾脏和心脏损伤的安全性问题等。但是，这些报道大多在后期被科学界或相关权威机构从方法或结果验证上予以否定，目前依然存在一些其他的有关转基因农作物存在生物安全性的报道，对这些报道，国际权威机构或主流科学界尚未认同。

另外，有些关于转基因生物是否安全的争论则脱离了科学本身，而是与政治、国际贸易和宗教信仰等有关。

8. 转基因技术及其产品的安全性怎么评估？

为保证消费者的健康和生态环境的安全，联合国环境与发展大会签署了《生物多样性公约》(1992)和《生物安全议定书》，联合国环境规划署(UNEP)主持修订了《国际生物技术安全技术准则》。从1990年开始，国际生命科学学会(ILSI)、联合国粮食及农业组织(FAO)、世界卫生组织(WHO)、经济合作与发展组织(OECD)、食品法典委员会(CAC)等国际组织就组织各国相关专家进行转基因生物食用安全性评价的方法的讨论，并形成了初步的评价方案。在此基础上，食品法典委员会已经正式公布了转基因生物总体评价原则以及转基因植物、动物与微生物的安全性评价指导标准，即《现代生物技术食品风险分析原则》，《来源于重组DNA植物源食品安全评价指导方针》，《来源于重组DNA微生物的食品的食用安全性评价指导原则》。目前CAC制定的《转基因动物食用安全评价指南》、《以增加营养为目的的转基因植物食用安全评价指南》以及《无意混杂转基因植物食用安全评价指南》已经到标准制定的最后阶段。这些国际评价体系对于寻求转基因安全立法和建立追溯体系的国家起到指导性作用，各个国家或组织又根据自身情况分别制定转基因生物的安全评价标准，包括美国、欧盟、中国、日本、韩国、印度、澳大利亚和新西兰等国家。

国际通行的做法是首先组织相关专家确定基本评估原则、研究制定评估标准、拟定评估指南，用以指导研发人自我评估；在研发人自我评估基础上，政府组织相关专家进行评估，对关键试验进行验证；最后综合利弊分析、作出科学判断，决定该产品是否商业化生产。

检测和评价过程包括四个步骤：

- 一、了解每个转基因植株的遗传背景，选择用以比较的植物；
- 二、进行实质等同性比较；
- 三、得出比较结果及进一步处理方案；

四、通过评估后才能上市。我国对农业转基因生物实行严格的安全评价制度。由农业转基因生物安全委员会负责农业转基因生物的安全评价工作，最后由农业部审批。每一种转基因技术及其产品在应用和投放市场前，都必须对其潜在的风险进行科学的评估和安全性管理。我国依照已制定和颁布的一系列法规，参考国际食品法典委员会、世界卫生组织、世界粮农组织和经济合作组织等制定的转基因生物安全评价指南，制定了科学、规范、全面的评价指标体系，规范了转基因生物的研究、试验、生产加工、销售、进口和市场秩序。按照对人类、动植物、微生物和生态环境的危险程度，划分以下四个等级：

安全等级I：尚不存在危险；

安全等级II：具有低度危险；

安全等级III：具有中度危险；

安全等级IV：具有高度危险。

农业转基因生物安全评价和安全等级的确定按以下步骤进行：(1)确定受体生物的安全等级；(2)确定基因操作对受体生物安全等级影响的类型；(3)确定转基因生物的安全等级；(4)确定生产、加工活动对转基因生物安全性的影响；(5)确定转基因产品的安全等级。

转基因生物安全评估分为5个阶段：实验研究、中间试验、环境释放、生产性试验和申请安全证书。通过实验研究获得转基因生物体后，需要向国务院行政主管部门申请并被批准后才能转入下一试验阶段的安全性评估。

评估的几个重要环节及其评估方法如下：中间试验：指在控制系统内或者控制条件下进行的小规模试验。报告中间试验一般应当提供以下相关附件资料：

(1)目的基因的核苷酸序列和推导的氨基酸序列；(2)目的基因与载体构建的图谱。(3)试验地点的位置图和试验隔离图。(4)试验设计(包括安全评价的主要指标和研究方法等，如转基因微生物的稳定性、竞争性、生存适应能力、外源基因在靶动物体内的表达和消长关系等)；(5)实验室研究阶段的总结报告。环境释放：指在自然条件下采取相应安全措施所进行的中规模的试验。申请环境释放试验除了中间试验所涉及的相关资料外，还需要提交中间试验阶段的安全性评价试验总结报告和毒理学试验报告(如急性、亚急性、慢性实验，致突变、致畸变试验等)。

生产性试验：指在生产和应用前进行的较大规模的试验。申请生产性试验除了环境释放试验所涉及的相关资料外，还需要提交环境释放安全性评价试验的总结报告和目的基因或动物用转基因微生物向环境中的转移情况报告。

安全证书（生产应用）：在生产性试验结束后，可以向国务院行政主管部门申请转基因生物安全证书。在综合之前各阶段研究的基础上，还需补充目的基因的分子检测或鉴定技术方案、重组 DNA 分子的结构和构建方法、转基因微生物的稳定性、生存竞争性、适应能力等的综合评价报告、对非靶标生物影响的报告以及该类动物用转基因微生物在国内外生产应用的概况等。在上述评估全部结束后，才能获得转基因安全证书。

当然，发放转基因生物安全证书并不等同于允许商业化生产。按照《农业转基因生物安全管理条例》、《中华人民共和国种子法》和《主要农作物品种审定办法》等法律法规规定，转基因产品（如农作物）获得安全证书后，还要根据国家品种审定法规的规定，首先进行严格的区域试验和生产试验，达到标准的才可获得品种审定证书；需要特别指出的是，转基因粮油等主要作物的品种审定不同于普通作物品种审定，有关区域试验和生产试验必须在严格可控的条件下进行。

9. 转基因成分可以检测出来吗

转基因成分一般指外源基因的 DNA 片段及其编码的蛋白质。与非转基因生物（受体）相比，转基因生物含有特有的基因结构元件（如外源“目的基因”、控制目的基因表达的“启动子”和控制基因停止表达的“终止子”等），还往往含有特异的外源蛋白质。通过分子生物学技术可以检测出来，快速、准确、高通量的转基因产品检测方法是保证转基因生物及其产品标签制度顺利实施的基础。

转基因产品的主要检测方法可分为两类：一类是基于外源蛋白质靶标的蛋白质检测方法；另一类是基于核酸靶标的核酸检测方法。由于核酸的稳定性以及核酸检测方法的高灵敏度等优点，核酸检测方法已经成为转基因产品检测的主要方法，在全球范围广泛使用。通过 PCR 等分子生物学技术，可以准确检测这些 DNA 元件的存在，从而检测出是否为转基因生物。也可以通过酶联免疫原理，检测是否存在外源蛋白来判断是否转基因。

截止 2009 年，我国已经研制出 50 多种转基因成分检测方法，并制订了行业标准和国家标准。不但可以检测是否转基因，还可以检测转的是什么基因，甚至可以识别是哪个转基因品系。检测的灵敏度可以达到千分之一以下。我国目前已发布耐除草剂玉米 T25、NK603、GA21，抗虫玉米 MON863、MON810，抗虫和耐除草剂玉米 Bt11、Bt176、TC1507，抗除草剂油菜 GT73、MS1、RF2、MS8、RF3、MS1、RF1、OXY235、TOPAS19/2、T45，抗虫水稻 TT51-1 等品种的定性 PCR 检测国家标准，为我国转基因监管提供了技术手段。

10. 转基因生物检测有哪些方法？

外源基因转化至受体后，需要翻译成蛋白质才能发挥作用。因此，通常转基因检测可以从进行 DNA（脱氧核糖核酸）、mRNA（信使核糖核酸）、与蛋白质三个层次进行检测。

（1）DNA 检测方法，DNA 的检测是对外源基因是否已整合成功的鉴定，即转基因生物基因组中是否含有外源基因，方法有定性 PCR、定量 PCR、DNA 测序、Southern 以及近来快速发展的基因芯片。实际检测工作中，以 DNA 为基础的 PCR 检测方法得到了广泛应用。

（2）mRNA 检测方法，mRNA 检测是对外源基因表达进行转录水平的检测，方法有 Northern 杂交。它是用已知序列的 DNA 或 RNA 标记探针与 mRNA 序列互补成杂交双链，形成的杂交体通过探针的标记就可以检出。

（3）蛋白质检测方法，蛋白质检测是对外源基因表达进行翻译水平的检测，方法有生化酶反应、ELISA、Western 杂交、生物学活性。

生化酶反应：是利用报告基因的表达产物引起酶促生化反应，应用于报告基因已知的情况。

Western 杂交：是利用抗原-抗体特异结合原理检测外源基因表达产物特异蛋白质的生成，是将蛋白质电泳、印迹、免疫测定融为一体的特异蛋白质检测方法。

生物学活性：直接将活体材料种植后观察其是否具备转入的性状。

ELISA：该方法是引进酶标记及免疫学抗原-抗体技术进行检测，是常用方法之一，许多公司已商品化各种类型的转基因检测试剂盒。

七、 转基因监管政策

1 全球主要国家如何监管转基因技术及其产品？

通过严格的立法和制定技术标准对转基因生物及其产品实施安全监管是世界各国的普遍做法。在国际准则层面上，联合国相应机构及其它有关国际组织，如联合国工业发展组织(UNIDO)、粮农组织(FAO)、世界卫生组织(WHO)、环境规划署(UNEP)以及经济合作与发展组织(OECD)组织等已制定和颁布了几十个有关生物安全的共识文件。在与国际公认准则接轨的基础上，各国根据本国利益和对转基因生物安全管理不同理念，采取了不同的管理模式。

目前，国际上对转基因生物及其产品的管理模式大致分为三种：美国模式、欧盟模式及中间模式。美国对转基因技术及其产品持积极支持的态度，采取“以产品为基础”的宽松管理模式。美国认为转基因生物与非转基因生物没有本质的区别，监控管理的对象是产品，而不是转基因技术本身，一般只要求转基因生物及其产品达到与传统产品一样的安全标准。美国的法律并不要求转基因产品要经过与传统产品不一样的特别评估或许可，也不要求转基因产品带有特别的标识。只有在转基因技术改变了食品构成或可能对人体产生危害时，才须做出特殊标识。美国转基因生物主要由美国食品和药品管理局（简称FDA）、美国环保局（简称EPA）和美国农业部（简称USDA）负责检测、评价和监控。

其中，FDA的食品安全与应用营养中心是管理绝大多数食品的法定权力机构，主要管理食品与饲料的安全性和健康问题；USDA的食品安全和检测部门则负责肉、禽和蛋类产品对消费者的安全与健康影响的管理；FPA负责管理食品作物杀虫剂的使用和安全。其中FDA在转基因食品安全管理的问题起了至关重要的作用。欧盟对转基因生物及其产品的管理采用“以过程为基础”的严谨模式，极力主张“预先预防的态度”。欧盟认为转基因技术本身存在潜在危险，所有转基因生物及其研发过程必须接受特别的安全性评价和监控。尽管目前所有权威机构的评估均未发现已进入市场的转基因食品对人体健康或生态环境具有危害，但欧盟仍坚持认为科学是存在局限的，科学评估转基因食品所需的完整数据要等到许多年后才能获得，无论研究方法多么严格，结论总会存在某些不确定性，规定转基因产品必须清楚标识，同时对为科研和开发的目的向环境中释放转基因生物的安全管理进行了严格规定。但欧盟各成员国有有的直接使用欧盟法规，有的依据这些法律制定本国自己的法规。

国际上，还有一些国家采用介于美国和欧盟模式之间的管理模式，包括：阿根廷、巴西、印度、泰国、马来西亚、菲律宾、南非、埃及、尼日利亚、肯尼亚、中国等大多数发展中国家。这些国家农业转基因技术发展相对落后，安全性评价研究和管理起步晚。近年来，这些国家的立法管理进程加快，安全评价技术研究投入

增加。无论采取哪种模式，世界各国，特别是生物技术比较发达的国家，都根据转基因生物研发的进展和安全管理需要，积极开展转基因生物安全的科学研究，陆续制定和发布了转基因生物安全评价、检测与监测的技术指南及相关标准，对转基因生物及其产品进行严格管理。充分利用转基因技术造福人类，保障转基因生物安全及其产业的健康发展，维护转基因产品正常的国际贸易秩序，已逐步成为全球共识。

2. 我国如何监管转基因技术及其产品？

我国在加大转基因技术科研投入的同时，十分重视农业转基因生物安全管理，已形成了一整套适合我国国情并与国际准则接轨的法律法规、技术规程和管理体系。我国已建立了较为严密的农业转基因生物安全管理的行政监管体系。在国务院领导下，建立了由多部委组成的国家农业转基因生物安全管理的部际联席会议制度。我国还专门设立了农业转基因生物安全管理办公室，执行全国农业转基因生物安全监管工作。在各省、自治区、直辖市农业行政主管部门成立了相应管理机构，负责各行政区域的农业转基因生物和研发项目的安全监管工作。我国已建立健全了有效的农业转基因生物安全管理的技术支撑体系。

2002年，我国就已成立了国家转基因生物安全委员会。2004年，我国成立了全国农业转基因生物安全管理标准化技术委员会。我国已陆续建设了一批转基因生物安全检验检测机构，35个已通过国家计量认证和农业部审查认可，充分保障了严格依法对转基因生物进行监管的技术需求。我国已制定并颁布了严格的转基因生物及其产品的法律法规。早在1993年，我国就制定了相关的转基因生物安全法规，并根据转基因的发展不断修订和完善。

2001年国务院颁布了《农业转基因生物安全管理条例》，为目前我国关于转基因生物安全管理的最高法规。2002年，农业部又陆续颁布了一系列配套规章，从研究试验到生产、加工、经营和进出口及转基因标识各环节规范了我国农业转基因生物的安全管理。针对转基因生物及其产品研究与试验过程中的管理，《农业转基因生物安全管理条例》规定从事农业转基因生物研究与试验的单位应当成立农业转基因生物安全小组，负责本单位的农业转基因生物安全管理。同时必须具备与安全等级相适应的安全设施和措施，建立标准试验场地，进入到培养转基因研究材料的试验场地都应受到限制，以便将转基因花粉、种子或其他可散播材料（可能被人或地在实验室之间携带）的扩散降到最低；转基因种子最好存放在温室房间里上锁的档案柜中，以便减小对它进行操作的空等。建立各项规章制度，对转基因生物研究试验活动及实验室、试

验地等场所实行严格管理，确保农业转基因生物研究与试验的安全，实验进程中所有生物安全水平都必须记录，并定期地对试验场所进行检查，以确保对转基因植物的隔离措施运行正常，以及装置内的其他生物在严格的控制之中。要认真组织法规的培训以及安全评价申报的审查，做好安全评价批复后的自查。

《农业转基因生物安全管理条例》还要求试验研究单位对农业行政主管部门的监督检查，应当予以支持、配合，不得拒绝、阻碍监督检查人员依法执行职务法制化和规范化的严格监管为我国转基因技术研究的健康发展和转基因产品的安全应用提供了有效保障。

一、法律法规

- 农业**转基因**生物安全管理条例（国务院令 第 304 号）
- 进出境**转基因**产品检验检疫管理办法（总局令 第 62 号）
- 农业**转基因**生物安全评价管理办法（农业部令 第 8 号）
- 农业**转基因**生物进口安全管理办法（农业部令 第 9 号）
- 农业**转基因**生物标识管理办法（农业部令 第 10 号）
- 农业**转基因**生物加工审批办法（农业部令 第 59 号）
- 转基因**食品卫生管理办法（卫生部令 第 28 号）

国家标准：

- GB/T 19495.1-2004 **转基因**产品检测 通用要求和定义
- GB/T 19495.2-2004 **转基因**产品检测 实验室技术要求
- GB/T 19495.3-2004 **转基因**产品检测 核酸提取纯化方法
- GB/T 19495.4-2004 **转基因**产品检测 核酸定性 PCR 检测方法
- GB/T 19495.5-2004 **转基因**产品检测 核酸定量 PCR 检测方法
- GB/T 19495.6-2004 **转基因**产品检测 基因芯片检测方法
- GB/T 19495.7-2004 **转基因**产品检测 抽样和制样方法
- GB/T 19495.8-2004 **转基因**产品检测 蛋白质检测方法

农业行业标准：

- NY/T 672-2003 **转基因**植物及其产品检测 通用要求
- NY/T 673-2003 **转基因**植物及其产品检测 抽样
- NY/T 674-2003 **转基因**植物及其产品检测 DNA 提取和纯化
- NY/T 675-2003 **转基因**植物及其产品检测 大豆定性 PCR 方法
- NY/T 719.1-2003 **转基因**大豆环境安全检测技术规范 第 1 部分：生存竞争能力检测
- NY/T 719.2-2003 **转基因**大豆环境安全检测技术规范 第 2 部分：外源基因流散的生态风险检测
- NY/T 719.3-2003 **转基因**大豆环境安全检测技术规范 第 3 部分：对生物多样性影响的检测
- NY/T 720.1-2003 **转基因**玉米环境安全检测技术规范 第 1 部分：生存竞争能力检测
- NY/T 720.2-2003 **转基因**玉米环境安全检测技术规范 第 2 部分：外源基因流散的生态风险检测
- NY/T 720.3-2003 **转基因**玉米环境安全检测技术规范 第 3 部分：对生物多样性影响的检测
- NY/T 721.1-2003 **转基因**油菜环境安全检测技术规范 第 1 部分：生存竞争能力检测
- NY/T 721.2-2003 **转基因**油菜环境安全检测技术规范 第 2 部分：外源基因流散的生态风险检测
- NY/T 721.3-2003 **转基因**油菜环境安全检测技术规范 第 3 部分：对生物多样性影响的检测
- NY/T 1101-2006 **转基因**植物及其产品食用安全性评价导则
- NY/T 1102-2006 **转基因**植物及其产品食用安全检测 大鼠 90d 饲养试验
- NY/T 1103.1-2006 **转基因**植物及其产品食用安全检测 抗营营养素 第 1 部分：植酸、棉酚和芥酸的测定
- NY/T 1103.2-2006 **转基因**植物及其产品食用安全检测 抗营营养素 第 2 部分：胰蛋白酶抑制

出入境检验检疫行业标准：

SN/T 1194-2003 植物及其产品**转基因**成分检测抽样和制样方法

SN/T 1195-2003 大豆中**转基因**成分的定性 PCR 检测方法

SN/T 1196-2003 玉米中**转基因**成分定性 PCR 检测方法

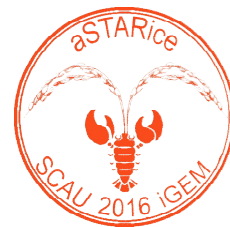
SN/T 1202-2010 食品中**转基因**植物成分定性 PCR 检测方法

农业部 869 号公告

农业部 953 号公告

农业部 1193 号公告

农业部 1485 号公告



关于华农 iGEM 的一切篇：

八、 华农 iGEM 知多少

1. 什么是 iGEM?

iGEM,英文全称为 International Genetically Engineered Machine Competition,即国际遗传工程机器竞赛,由麻省理工学院于 2003 年创办,2005 年发展成为国际性学术竞赛,是合成生物学领域的最高国际性学术竞赛。合成生物学是近年来新兴研究领域,受到了学术界和工业界的广泛关注,iGEM 队伍的相关研究成果常年发表于《Nature》、《Science》、《Scientific American》、《Economists》等顶尖学术期刊,同时受到 BBC 等传统媒体的关注和专题报道。

合成生物学试图设计、构建和完善人工生物模块、系统,实现对复杂生物系统的操纵和测量,在多个领域具有极好的应用前景。这些领域包括更有效的疫苗的生产、新药和改进的药物、以生物学为基础的制造、利用可再生能源生产可持续能源、环境污染的生物治理、可以检测有毒化学物质的生物传感器等。

国际遗传工程机器竞赛(iGEM)涉及生物学、计算机科学、数学、艺术设计等多学科,是以合成生物学为核心多学科交叉国际级科技竞赛,其理念在于鼓励大学生积极创新,用创新去改变世界。

2. 什么是华农 iGEM?

SCAU-CHINA 作为学校科技创新项目主力团队之一,得到学校的大力支持。

在 2013 年凭借“有机磷农药的生物探测器和解毒系统”项目勇夺 iGEM 亚洲赛区金奖,为华农在 iGEM “首战”取得优异成绩。

2014 年,SCAU-CHINA 再次投入竞赛,秉承了“务实、创新”的参赛理念,完成了“基于生物燃料电池的海水淡化系统”项目,并喜获 iGEM 金奖。

2016 年,经历两年的蓄势待发,今年 10 月底,我们将赴美国,参与比赛,希望继续延续我们的优异成绩!

3. 华农 iGEM2016 的项目是什么?

虾青素大米: 虾青素 (Astaxanthin), 又称变胞藻黄素或虾红素,是类胡萝卜素的一种。虾青素具有最强的抗氧化性,是唯一能通过血脑屏障的一种类胡萝卜素。可预防心血管疾病、免疫缺陷和神经系统的退化。虾青素具有多种生理功效,如在抗氧化性、抗肿瘤、预防癌症、增强免疫力、改善视力等方面都有一定的效果。

我们的项目即是在能合成类胡萝卜素的黄金大米的基础上,加入藻类中能合成虾青素的相关基因,生产一种能合成虾青素的超级纯金大米。这种大米可以用来提取大量虾青素,作为保健品、抗氧化剂和化妆品等。