



第一部分

农业生物技术：
是否在满足贫困人口的需要？

第一部分





A节：确定讨论框架

1. 生物技术能否满足贫困人口的需要？

引言与概述

粮食及农业生产中的生物技术，尤其是遗传工程技术，已经成了“全球口水战”的焦点（Stone, 2002）。支持者将遗传工程奉为解决粮食不安全和发展中国家营养不良状况的根本办法，并指责反对者是犯了“危害人类罪”，因为他们延误了从法规管理的角度对具有拯救生命潜力的发明的认可（Potrykus, 2003）。反对者则认为，遗传工程技术将引发巨大的环境灾难，使贫困和饥饿问题进一步恶化，并导致传统农业和全球粮食供给被公司接管。他们指责生物技术的支持者在“欺骗世界”（《五年封冻》，2002）。关于农业生物技术、尤其是遗传工程技术在满足贫困人口需要方面的潜力，本期《粮食及农业状况》考察了有关的科学和经济学证据的最新情况。

二十一世纪，农业面临着前所未有的挑战。在未来的30年中，将要在自然资源日益脆弱的基础上，养活20亿新增人口。现在仍有8.42亿人口长期忍受饥饿，他们大多生活在贫穷国家的农村地区；还有上亿人口饱受微量营养元素缺乏之苦，这是一种因日常饮食质量低下、品种单一而引

起的隐性营养不良。绿色革命使我们懂得，技术创新——高产良种及其生长所必需的投入——可以提高效率、增加收入并降低食品价格，从而给贫困人口带来巨大的利益。提高生产率、改善生活水平、实现经济的可持续发展，这种良性循环使得成百万人摆脱了贫困（Evenson和Gollin, 2003）。但是很多人仍挣扎于仅能维持生存的农业生产之中。基因革命能惠及那些落在后面的人吗？

同时，处于迅速城市化之中的世界人民，对农业提出了范畴更广的质量要求，质量不再仅仅是指产品本身的质量，而且还包括生产中使用的的质量。对此，农业部门需要以超越传统的方法来应对，不能象过去那样只注重增产。要解决保护共同环境利益的问题，解决消费者对食品安全和质量的担心问题，还要使南北两半球农村人口的生活都得到改善。辞藻浮华的口水战是不是遮挡了我们的耳目，使我们对更加合理的、关于生物技术带来危害与机遇的讨论不闻不问呢？

可以确信，生物技术（插文1）有助于战胜上述困难。生物技术能够解决生产中的种种难题，而这些难题对常规育种方法来说更为困难。生物技术能够加快常规育种工作的速度，并为农民提供无病种植材

插文 1 本报告涵盖的范围

农业生物技术包括一系列研究工具，科学家运用这些工具理解和操控生物基因构成来为农业（种植业、畜牧业、林业和渔业）服务。生物技术的范畴要比基因工程大得多，其中还包括基因组学和生物信息学、标记辅助选择、微繁殖、组织培养、克隆、人工授精、胚胎移植及其它技术。然而，基因工程（尤其是应用在作物上）是生物技术中最直接影响发展中国家农业的一个领域，也是引起公众最强烈关注并引起政策问题的一个领域。也正是在这一领域，一系列关于生物技术对贫困

人口影响的经济学证据开始显现。因此，虽然本报告，尤其是第2章，涉及到了所有农业生物技术手段及其应用，但是其重点还是放在了转基因作物及其对贫穷国家中贫困人口的影响上。在确保转基因作物造福于贫困人口的过程中遇到的许多困难，其难度将相当于或者大于畜牧业、渔业和林业中其他生物技术运用的难度。欲更多地了解粮农组织在农业生物技术方面的工作计划，可在以下粮农组织生物技术万维网站查询：<http://www.fao.org/biotech/index.asp?lang=en>

料，能创造出抗病虫害的作物，以取代损害环境和人类健康的有毒农药，还能够提供诊断工具和疫苗，帮助防治毁灭性的动物疫病。生物技术能提高主要食粮如水稻和木薯的营养品质，并能创造出具有保健和工业用途的新产品。

但是生物技术也不是包治百病的灵丹妙药。它无法克服基础设施、市场、育种能力、投入物流通和推广服务方面的缺陷，可正是这些缺陷阻碍着贫困边远地区为推动农业发展而做出的一切努力。这些困难中，有些对生物技术来说难度可能大于对其他农业技术来说的难度，但是，其它困难的难度可能要小一些。同需要其它投入或需要复杂管理的更为复杂的作物种植技术相比，一颗种子中所蕴含的技术如转基因抗虫技术，对于资源匮乏的小农来说使用起来可能更加容易一些。另一方面，某些生物技术，尤其是在畜牧和渔业领域采用的生物技术，要求具备一定的机构和管理支持才能正常发挥作用，因此对

于资源贫乏的小农来说可能没有效果。

转基因作物的安全和规范管理问题，是发展中国家遇到的一个主要障碍。因为，许多发展中国家缺乏规范管理框架和技术能力，而这些是评价这些作物以及各种涉及它们的冲突观点所需要的。虽然国际科学界已经认定目前市场上用转基因作物生产的食品可以放心食用，但是同时也承认，涉及到多基因转化的某些新产品可能还需要做进一步的食物安全风险分析。虽然大家普遍认为，应当针对常规农业存在的危害来评价转基因作物产品，但是对于转基因作物的环境危害尚缺少科学共识。同时，大家还达成了这样一个广泛的共识，即转基因作物应当象药品一样，按照个案处理的办法来进行评价，要考虑具体的作物、性状和农业生态系统。由于基本没有对转基因作物在热带地区的生态影响做过评价，所以这一领域的科研工作还需要下大力气。

全世界公共和私营部门正在进行的转

基因作物研发工作涉及到40多种作物，正在研究的创新有数十种；但是有明显的证据表明，贫困人口的问题被忽视了。除了几项零星的计划外，还没有什么大的公共部门或私营部门项目是针对贫困人口的关键问题的，或以他们赖以生存的作物或牲畜作为研究对象的。国际社会需要统筹协调，以确保满足贫困人口的技术需求，清除他们获取技术途中遇到的障碍。

本报告得出的主要教训

如果开发出了适用的创新技术，而且贫穷国家的贫困农民能够在赢利的基础上获取这些创新技术，那么生物技术（包括遗传工程在内）是能够造福于贫困人口的。迄今为止，只有少数几个发展中国家满足了这些条件。

生物技术应当在优先考虑贫困人口问题的、统一完整的农业研发计划中占有一席之地。对于其他领域研究，如植物育种、病虫害和营养综合管理以及畜牧育种、饲养和疾病管理系统的研究工作，生物技术能够发挥补充而不是替代的作用。

公共部门—发达和发展中国家、捐助者和国际科研机构—应当将更多的资源用于包括生物技术在内的农业研究。公共部门的研究对于解决公共利益自然会被私营部门忽视的问题以及在技术市场上创造竞争，是十分必要的。

各国政府应当为公共和私营部门的农业生物技术研究、开发和推广提供激励，建立机构和创造有利的环境。应当鼓励采取公私合作及其它创新方法，使科研和技术为贫困人口服务。

应当加强规范管理措施并使其合理化，以确保环境和公众健康得到保护，确保进程透明、可预测并建立在科学基础之

上。适宜的规范管理对取信于消费者和生产者均是十分重要的；但是，重复或起阻碍作用的规范会造成高成本，因而应当加以避免。

农业研究的能力建设以及生物技术的规范管理，应当成为国际社会优先考虑的问题。粮农组织提出了一项新的重要计划，以确保发展中国家拥有必要的知识和技术使其能对生物技术的使用自行做出决定。

本报告概要

第2章探讨了农业生物技术的新领域，并将其置于科研人员力争实现的各种生产、保护、管理目标这样一个更广阔的背景之下。围绕着生物技术产生的争议，大都集中在转基因作物上，但是这方面的创新，只是生物技术在种植业、畜牧业、林业和渔业上所可能提供的技术中的一小部分。遗传工程既是对采用了几十年的育种手段更为精准的延伸，也是同传统方法的分道扬镳。正是由于遗传工程能够使基因越过物种屏障，才使其有了巨大的力量，而且也引起了如此之大的争议。

第3章回顾了国家和国际一级公共部门的科研工作是如何发挥作用，创造出了孕育绿色革命的技术。相反，大部分的转基因作物研究工作现在是由私人跨国机构进行。这对于正在进行的研究工作的种类和正在研发之中的产品具有重大的影响。研究的趋势和商业化的数据证实，贫困人所关心的作物和性状现在被忽略了。2003年，六个国家（阿根廷、巴西、加拿大、中国、南非、美国），四种作物（玉米、大豆、双低油菜/油菜籽、棉花）以及两种性状（抗病、耐除草剂）在全世界转基因作物播种面积中占99%。不论是在发展中国家还是发达国家，不论是在公共部

门还是在私营部门，大部分正在进行的转基因研究工作都是以这些同样的作物和性状为内容。发展中国家在采用和改进其他地方创造的新的生物技术时，面临的关键制约因素之一就是它们缺乏自己的农业科研能力。

第4章回顾了一些实际情况，涉及到迄今为止生产转基因作物所产生的社会经济影响，特别是在发展中国家的影响。除中国之外，目前所有商业化的转基因作物都是由私人公司研究出来并加以推销的。然而，其中有些作物，特别是抗虫棉，正在给小农带来极大的经济效益，而且，通过改变使用农药的做法，正在产生重大的社会和环境效益。目前的实际情况表明，小农象大农场主一样，很可能会从生产转基因作物中受益。实际情况还表明，尽管人们担心这一产业被公司控制，但是农民和消费者目前从转基因作物中得到的经济收益仍比开发和推销这些转基因作物的公司要多。但是，必须考虑到，这种情况只是以少数国家中少数农民两三年的数据为基础。这样的短期效益在更多的农民采用这种技术的情况下，也许就不会持久下去了。要想确定转基因作物将来的效益会有多大、如何分配，就需要时间和经过更加认真设计的研究工作。

第5章从科学的角度讨论了对转基因作物的关注和有关的实据，并对国际科学界已取得一致的意见进行了概括。尽管科学家们建议对目前市场上的转基因产品继续进行监测，但他们已认定这些产品可以放心食用，另外他们认为对更新的、更加复杂的产品可能需要采取进一步的食品安全措施。转基因作物对环境的潜在影响，引起了科学家们更大的争议。一般来说，他们对现有的潜在危害没有异议，但对这些危害是否会真的出现以及严重程度有不同意见。到目前为止，转基因作物可能造成

的大的环境危害尚未在实地中出现。科学家们一致认为，转基因作物必须按个案处理的方法逐个评价，要考虑到作物、性状以及准备释放于其中的农业生态系统。科学家们还认为，管理应以科学为基础，但是，在任何管理体系中，判断和对话都是关键的因素。通过诸如食品法典委员会（CAC）或《国际植物保护公约》（IPPC）等机制开展的国际协调工作，可以缓解在这方面存在的国际紧张状况。发展中国家必须培养起本国管理这些作物及遵守其国家和国际义务的能力。

第6章回顾了有关粮农领域利用生物技术的全球民意调查研究情况。无论出现什么样的科学和管理共识，粮农领域的遗传工程如果不能使公众确信其安全性和实用性，就不能获得成功。在这些问题上，国内和国际上有着多种多样的意见，然而，仔细地研究一下可用于国际比较的调查数据就可以看出，各国对生物技术的看法的差别是细微的，它们根据自己感受到的实用性和可接受程度而区别对待各种技术和应用。很少会有人采取教条主义的态度，支持或反对所有的生物技术。为了弥合在是否接受转基因食品问题上的不同意见之间的差异，人们提出了标识制度，让消费者个人去选择。另一些人认为，只有在产品（不仅仅是生产方法）不同于相应的常规产品时，才适合使用标识。食品法典委员会的成员政府正在讨论转基因食品标识的作用。

第7章讲述的是针对贫困人口、特别是贫穷国家中贫困农民需要的那些农业生物技术科研工作。其中包括在其粮食供应和生计中占到绝大部分的那些作物：首先是稻米和小麦，但也包括在很大程度上被常规研究或生物技术研究忽略的所谓的“孤儿作物”，诸如高粱、珍珠粟、木豆、鹰嘴豆和花生等。与贫困人民息息相关的性

状有营养增强性和抗逆性，诸如抗旱、抗盐碱、抗病虫害等。本章还探讨了采取什么样的体制措施和激励措施才有助于推动公共和私营部门针对穷人的问题开展科学研究。

第8章阐述了发展中国家和经济转型国家在能力建设方面的需求。所有国家都需具备技术、机构和管理方面的强大而有活力的能力，这样才能成功、持久地在粮

农领域应用生物技术。本章讨论了国际上为能力建设而采取的一些举措；但是，要使所有国家都能为本国人民的利益自行做出有关这些技术的决定，还需要做很多事情。

第9章从报告中总结出了一些重要的结论，并提出了具体的措施建议，以确保生物技术有助于满足贫困人民的需要。

2. 什么是农业生物技术？

从广义上讲，生物技术是指为了某种特定目的利用活的生物体或从中提取的物质生产或改进一种产品的任何技术（插文2）。生物技术可适用于所有种类的生物体——从病毒、细菌到动植物——并日益成为现代医药业、农业和工业的主要特征。现代农业生物技术包括科学家们用来了解和修改生物遗传结构的一系列工具，以便在农业生产或加工过程中加以利用。

有些生物技术的应用，诸如发酵和酿造，已有几千年的历史。另外一些相对而言则为新技术，但也已得到广泛应用。例如，微生物几十年来一直被作为活工厂，用来生产挽救人类生命的抗生素，包括从青霉菌中提取的青霉素和从链霉菌中提取的链霉素。现代洗涤用品离不开通过生物技术生产出来的酶，硬质乳酪的生产也主要依赖靠生物技术酵母所制造的凝乳酶，而糖尿病患者使用的人类胰岛素目前也用

插文 2 农业生物技术的定义

《生物多样性公约》（CBD）中对生物技术的定义是“使用生物系统、生物体或其衍生物的任何技术应用，以制作或改进特定用途的产品”（《生物多样性公约》秘书处，1992年）。该定义包括在医药业及工业中的应用，以及许多粮农生产中常见的工具和技术。

《卡塔赫纳生物安全议定书》中对“现代生物技术”下的定义更为狭义，认为它是指下列技术的应用：

- (a) 试管核酸技术，包括重新组合的脱氧核糖核酸（DNA）和把核酸直接注入细胞或细胞器，或
- (b) 超出生物分类学科的细胞融合，此类技术可克服自然生理繁殖或重新组合障碍，且并非传统育种和选种中所使用的技术。

（《生物多样性公约》秘书处，2000年）

粮农组织生物技术术语中对生物技术的广义定义与《生物多样性公约》中

的相同，而对其狭义定义则为“各种不同分子技术，如动植物基因改进和基因转移、脱氧核糖核酸分类和克隆技术”（粮农组织，2001a）。

重组脱氧核糖核酸技术，又称遗传工程或（人们常说但不太准确的）遗传修饰，是指使用基因转移技术、在不通过有性繁殖的情况下将某一生物体或细胞中的脱氧核糖核酸（转基因）转移到另一生物体或细胞中，从而改变生物体的遗传结构。转基因生物（GMOs）是通过转基因技术或重组脱氧核糖核酸技术、将某一转基因纳入受体基因组或将受体中的某一基因加以修饰使其改变表达水平而产生的。虽然在技术上存在差异，但“经遗传修饰的生物”、“转基因生物”和“改性生物体”等词汇常常是可以相互替换使用的。在本报告中这些词汇被作为同义词使用。

生物技术生产。

生物技术正被用来解决农业生产、加工各方面的问题，包括利用生物技术进行植物育种，以提高和稳定产量，改善抗虫抗病性及抗旱抗寒等非生物性灾害的能力，并提高食物的营养含量。生物技术也被用来开发低成本、无病害的木薯、香蕉和马铃薯等作物的栽培材料，并为动植物疾病的诊断和治疗以及遗传资源的评估和保护创造了新的工具。生物技术还被用来加速植物、家畜和鱼类的育种计划，拓宽育种范围。生物技术也改变了动物饲料和饲养方法，改善了动物营养，减少了环境污染。生物技术也被用在疾病诊断和动物疫苗的生产中。

显然，生物技术不仅包含遗传工程。实际上，农业生物技术中一些争议性最小的方面就可能是对穷人最有用、最有利的。比如，基因组学正在使我们原本对基因、细胞、生物体和生态系统是如何起作用的理解发生了革命性的变化，它为分子标记辅助育种和遗传资源管理开辟了全新的天地。同时，遗传工程也是一个非常强有力的工具，其作用应得到认真评估。重要的一点就是要搞清楚，一旦生物技术——特别是遗传工程——得到明智的利用时，它是如何对其他技术起到补充作用，同时又是如何扩大其他技术的应用的。

本章简要介绍了现有和新兴生物技术在作物、畜牧、渔业和林业中的利用，目的在于了解生物技术本身及其对其他技术的补充和扩大作用。我们想要强调的是，生物技术工具本身只是工具，并不是目的。和其他任何工具一样，对它们进行评估时必须考虑到其使用背景。

对遗传资源的了解、特征描述和管理

早在一万多年前农业伊始之时，农牧民们就已经开始改变动植物的遗传结构。几千年来，农民在驯化过程中对最具适应性的个体进行了无数轮的筛选。这种对生物体自然差异的利用为我们培育了今天的作物、人工种植树种、家畜和养殖鱼类，它们与其早年的祖先往往有着极大的差别（见表1）。

现代育种人员的目标和早年的农民是一样的——要培育出超群的作物或家畜。常规育种方法以相关生物体的表型或物理特征为基础，采用古典遗传原则，非常成功地将驯化种或野生亲缘种或诱变种里的好性状引入到作物或畜牧品种中去（插文3）。在常规杂交过程中，每份亲本为其后代提供一半的遗传构成，不好的性状就有可能和好的性状一起传递了下来，随后人们就可能要靠接下来的好几代育种才能将这些不好的性状去掉。在每一代育种过程中，都要测试后代的生长特点和营养、加工性状。也许要经过许多代才能最终找到最佳性状组合，期间所需要的时间可能很长，特别是就树木等多年生作物和一些畜牧品种而言。这种以表型为基础的选育因此是个缓慢、费力的过程，在时间和金钱方面是昂贵的。生物技术可以使常规育种方法变得更加有效率。

基因组学

农业生物技术中最为重要的突破来自于对基因组结构的研究和对具有经济意义性状的遗传机制研究（插文4）。飞速发展的基因组学正为我们提供信息，让我们了解影响这些性状的基因的名称、位置、作用和功能，这些知识将不断推动生物技术

表 1
农业技术时间表

技术	时代	遗传干预
传统技术	约公元前一万年	人类文明从自然生物多样性中得到收获，驯化动植物，开始筛选动植物材料进行育种和繁育
	约公元前三千年	酿啤酒，做乳酪，发酵葡萄酒
常规技术	19世纪晚期	Gregor Mendel于1865年确定遗传原则，为古典育种方法奠定了基础
	20世纪三十年代	开发出商业化杂交作物
	20世纪四十至六十年代	使用诱变技术、组织培养技术和植株再生技术。发现细胞转化和转移技术。Watson和Crick于1953年发现脱氧核糖核酸结构。找到能分离和移动的基因（转位子）
现代技术	20世纪七十年代	出现利用重组脱氧核糖核酸技术的基因转移技术。在植物育种中使用胚胎挽救和原生质体融合，在动物繁育中使用人工授精
	20世纪八十年代	胰岛素成为基因转移技术最早的商业化产品。组织培养在植物繁育中大规模使用，胚胎移植在畜牧生产中使用
	20世纪九十年代	对很多生物体进行了遗传指纹确定。1990年首次对转基因植物品种进行实地实验，1992年首次进行商业化推出。出现转基因疫苗和激素及动物克隆技术
	21世纪	生物信息学，基因组学，蛋白质组学，代谢组学

资料来源：根据van der Walt（2000）和粮农组织（2002a）改编。

插文 3 人工诱变辅助育种

自发突变是进化过程的“自然”引擎，也是为育种人员驯化作物和“创造”良种提供灵感的源泉。没有突变，就不会有水稻、玉米或其它作物。

从20世纪七十年代开始，国际原子能机构（IAEA）和粮农组织便组织有关人工诱变的研究，以促进粮食和经济作物的遗传改良，开发新良种。人工诱变时，要使用化学或物理诱变剂对植株的各部分进行处理，然后筛选出所期望的变化。实际上就是要模拟自发突变，从而人为地扩大遗传多样性。人工诱变结果的真正本质通常不是人们关注的内容，有时诱变品系被直接利用，而有时则只是为杂交项目提供一个新的变异而已。

利用人工诱变辅助育种为许多作物如水稻、小麦、大麦、苹果、柑橘、甘蔗和香蕉等引入了新品种（粮农组织/国际原子能机构诱变品种数据库中就列出了2300多份正式推出的品种¹）。人工诱变技术在作物育种中的使用已经对粮农生产产生了巨大的经济效益，相当于几十亿美元和几百万公顷耕地。最近，诱变技术已经完成了复兴过程，其应用范围从直接用于育种扩大到进入基因发现和反向遗传学等更新领域。

¹ 见网站<http://www-infocris.iaea.org/MVD/>

插文 4 从头认识脱氧核糖核酸

所有的生物都由细胞组成，而细胞则由名叫脱氧核糖核酸（DNA）的遗传材料编程。脱氧核糖核酸链中只有一小部分才真正产生基因；基因又为蛋白质编码，而剩余的脱氧核糖核酸则是非编码序列，其作用目前尚不清楚。遗传材料排成成对的染色体。例如，科学家们做过许多研究的鼠耳芥（*Arabidopsis thaliana*）就有五对染色体。一个生物体的一整套染色体就叫基因组。人类基因

组排序计划不仅为农业科研界提供了许多可以跨界应用在所有生物体上的派生技术，而且为通过国际合作进行鼠耳芥和水稻等样本植物的大型基因组排序项目树立了榜样。

欲进一步了解有关脱氧核糖核酸和遗传学知识，可查询由美国冷泉港实验室设立的互动万维网站www.dnafromtheginning.org。该实验室在遗传学和遗传工程领域已做了大量开拓性的工作。

在所有农业领域的应用。基因组学为后基因组学研究奠定了基础，包括一些新学科诸如蛋白质组学和代谢组学，以便更多地了解基因和蛋白质结构以及它们的功能和相互关系方面的知识。这些学科的目标是系统地了解生物体的分子生物学原理，将其用于实践之中。

为了了解和处理有关生物系统结构和功能的信息，人们还开发了大量不断发展的新技术和新设备。此类信息的使用和管理被称为生物信息学。生物信息学的进步可能使我们能从基因序列数据中预测基因的功能：即凭借某一生物体的基因排列，建立起其生理学的理论框架。通过对不同生物体生理、遗传图谱和DNA序列的比较，人们可以大大减少确定和筛选潜在有用基因所需的时间。

遗传图谱能提供基因的准确位置和序列，通过它可以看出即使是亲缘关系很远的基因组之间也存在着共同点（插文5）。比较基因组学能帮助人们凭借对少数基因组的深入研究而了解许多其它基因组。比如，水稻基因组序列对研究其它谷物的基

因组十分有用，因为它们根据亲缘关系的远近程度存在共同点，而老鼠和疟疾基因组为畜牧和一些兽病问题提供了样本。现在大多数作物、家畜和疾病都有了样本种，对这些样本种基因组的了解正在不断迅速积累之中。

分子标记

要想有效地进行筛选、育种和保护计划，前提是要有可靠的遗传变异分布信息。一种物种或种群的遗传变异既可以在实地进行评估，也可以通过分子和其它标记在实验室里进行。要想得到可靠的结果，就必须将二者结合起来。分子标记是位于基因组特定位置的可辨认的DNA序列，与某个性状或相关基因的遗传有关系。分子标记可用于：（a）分子标记辅助育种；（b）了解和保护遗传资源；（c）基因型鉴定。这些活动对作物、森林树种、家畜和鱼类的遗传改良都是至关重要的。

分子标记辅助育种

遗传连锁图可用来寻找和筛选影响动

植物中具有经济意义的性状的基因。分子标记辅助选育（MAS）最大的优点就是它适合用来研究由多种基因控制的性状，诸如水果产量、木材质量、抗病性、牛奶和肉产量或脂肪率，还适合于难度大、耗时耗资的研究对象。分子标记还可以提高将一些新基因从一个种群引入另一个种群的速度或效率，比如，将野生亲缘种的基因引入到现代植物品种中去。如果在同一物种（诸如两个粟品种——插文6）中发现所期望的性状，就可以采用传统育种方法转移这一性状，而分子标记则用来寻找所期望的基因。

衡量和保护遗传多样性

使用分子标记衡量同一种群中和不同种群间的遗传变异程度对于遗传资源保护很有指导意义，也有助于作物、畜牧、林业和渔业育种种群的发展。使用这种方法对鱼类和森林树种进行的研究表明，同一种群中和不同种群间均存在高度的遗传变异性。家畜品种在同一种群中存在高度遗传变异性，而作物则在不同物种间存在更高的变异性。从田间观察等其它方法中获得的数据往往无法提供此类信息，或者很难收集。

分子标记正在越来越多地用于研究遗传多样性的分布和格局。例如，全球调查

插文 5 同线性就是生命!

Mike Gale¹

同线性是指不同植物基因组中染色体的基因内容和基因次序的统一性或一致性。20世纪八十年代之前，我们一直凭想象认为每种作物都有自己的遗传图谱。直到有一天，我们用一种叫做“限制性片段长度多态性”（RFLP）的技术绘出了第一批分子图谱，才猛然发现有亲源关系的物种有着非常相近的基因图谱。早期的试验表明，在几百万年的进化过程中，阔叶植物中的马铃薯与番茄之间以及禾本科中的三种制面包用小麦基因组之间一直存在着同线性关系。后来，我们证明同样的相似性也存在于水稻、小麦和玉米基因组之间，而它们是经过约六千万年的进化过程才被相互分开的。下图集中表现了这一研究成果，我们看到世界上70%以上的食物可以通过同一张图相互联系起来。水稻的12个染色体与玉米的10个染色体及小麦与大麦的

7个基本染色体有着如此密切的联系，无论我们从圆圈任何一个地方画一条半径都会经过同一组基因的不同等位基因。

同线性的发现使得我们对植物遗传学的理解产生了巨大的变化。它对进化研究有明显的应用价值；例如，小麦和玉米圆圈上的白色箭头就表示进化中染色体易位，用它可以描述禾本科中的早熟禾亚科和黍亚科。今后我们很可能可以凭借我们对一种物种的了解来预测另一种物种中存在某个基因及其位置。既然我们目前已经掌握了水稻的全部DNA序列，我们就能预测同样的基因会以与水稻中同样的次序存在于小麦、大麦等难对付的大型基因组物种中，从而找到和分离出关键基因。最近就是利用这一方法从大麦和黑麦中分离出了抗病和耐酸性土的关键基因。在植物育种实践中，同线性知识使得育种人员能研究所有谷物植物中的等位基因，而不是只限于他们所研究的几种物种。一个很好的早期例子就是将小麦矮化基因转入

¹ Gale教授是英国诺里齐约翰·伊恩斯中心副主任。

表明，地球上40%的现有家畜品种面临灭绝的危险。这些品种中的多数只存活在发展中国家，对它们本身以及它们的改良潜力的了解都非常有限。它们可能带有十分有价值的基因，这些基因使得它们有很好的逆境适应性或恢复能力，如抗热或抗病，这可能对我们的子孙后代十分有用。现代生物技术可以帮助我们扭转粮农领域的遗传侵蚀趋势。

已经在先进的树木育种计划中被采用，因为准确地找到克隆对于大规模繁育计划是十分关键的。分子标记已被用来确定濒危海洋物种，它们有的是由于疏忽而被错误捕捞，有的则是被故意非法捕捞的。基因型鉴定被广泛用于对家畜进行亲本鉴定和追踪食物链中的家畜产品来自哪个农场和哪些动物。

基因型鉴定

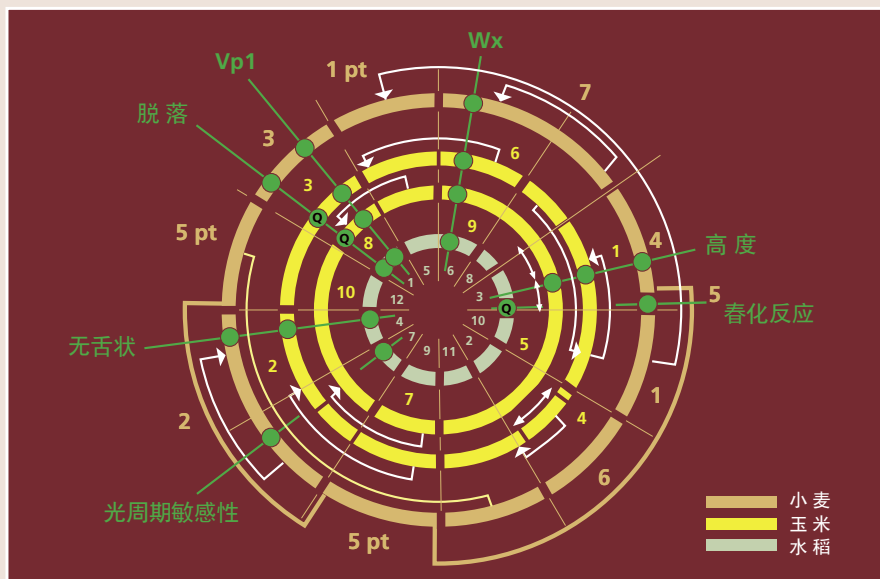
分子标记被广泛用于生物体的基因型鉴定和“遗传指纹鉴定”中。遗传指纹法

作物和树木的育种和繁育

除了上文所述的分子标记辅助选育之

水稻，为绿色革命提供了可能性。在这些试验中，通过同线性从水稻中找到基因，将其分离出来后，按照小麦基因特有的DNA序列进行人工修改，再将修改过的基因植回到水稻中去。这种方法可以用于任何谷物基因中，包括没有象小

麦、水稻和玉米这三大谷物那样在过去一个世纪中吸引了大量研究经费的所谓“孤儿作物”。但最主要的意义在于，我们现在能够将我们的生物化学、生理学和遗传学知识汇集在一起，通过同线性在作物之间进行研究。



插文 6 分子标记和印度的珍珠粟分子标记辅助育种

Tom Hash¹

珍珠粟是一种提供口粮和秸秆的谷物作物，通过雨育农业和旱地农业在非洲和亚洲的最热最干旱的地区种植。其繁育行为与玉米相似。传统的农家品种是开放传粉和远交，因此品种不断变化。人们已经培育出遗传均一的杂交品种，它虽然产量高，但更易感染一种叫做霜霉病的植物疾病。在印度，珍珠粟种植面积有约9百万公顷，70%以上都选用此类杂交种。自从珍珠粟杂交品种在20世纪六十年代晚期最初被农民在田间栽种以来，每个推广的品种最后都以大面积感染霜霉病而告终。遗憾的是，等到某一地区的最贫困的农民决定采用某个品种时，这个品种的日子往往已经不长了。

国际半干旱地区热带作物研究所（ICRISAT）决定减少高产珍珠粟杂交种的风险并延长这些品种的有用经济寿命，这样做的目的是为了特别帮助那些最贫困的生产者。生物技术帮助我们实现了这个目标。由约翰·伊恩斯中心提供技术工具、英国国际开发署（DFID）植物科学研究计划出资，我们为珍珠粟开发并应用了分子遗传工具。我们对控制珍珠粟的抗霜霉病性、秸秆产量和干旱条件下粮食和秸秆产量的基因组区域进行了绘图。然后，育种人员使用常规育种和分子标记辅助选育（MAS）法，将

几种具有较强抗霜霉病性能的基因组区域转移到常用杂交种HHB 67的两个优良近交亲本系中。接下来，我们使用分子标记辅助选育法培育出两个抗霜霉病基因区不同的新品种——ICMR 01004和ICMR 01007。

相比之下，这些品种的粮食和秸秆产量相当于或超过它们的亲代，而且抗霜霉病性能有明显提高。它们还具有其它几种优良性状，包括千粒重、粒长度、植株高度和抗锈病性能。最近ICMR 01004和ICMR 01007的杂交品种已经通过全印度珍珠粟改良协调项目在印度的古吉拉特邦、拉贾斯坦邦和哈里亚纳邦开始试种。此前，这些品种在2002年成功通过评估，表现出边际粮食产量高的优越性，比HHB 67具有更好的抗霜霉病性能，同时仍保留了原来使之大受欢迎的早熟性。

这些杂交品种中至少有两个可以推广，以便在HHB 67最终（注定）被霜霉病打垮之前取而代之。因为HHB 67在印度贫困农民中被广泛栽种，因此如能及时更新品种就可以避免霜霉病的流行，哪怕只是一年，挽回的损失将会超过英国国际开发署在珍珠粟分子遗传工具开发和应用上投入的研究资金总额（迄今为310万英镑）。这项由国际半干旱地区热带作物研究所、英国国际开发署资助的英国合作伙伴以及印度国家合作伙伴共同完成的研究项目在今后带来的经济利益，就可看作是对社会的回报了。

¹ Tom Hash是印度安得拉邦帕坦切卢的国际半干旱地区热带作物研究所的首席科学家（分子遗传）。

外，还有一些生物技术也用于进行作物和树木育种和繁育。这些技术往往相互结合使用，并经常和常规育种方法结合使用。

细胞和组织培养及微繁殖

微繁殖技术是指取植物组织的细小部分或完整结构如芽，在人工条件下加以培养使其生长成完整的植株。微繁殖技术特别适合用来保存有价值的植物，选育育种难度大的物种（如树木），加快植物育种速度，为科研提供充足的植物材料。对作物和园艺物种而言，微繁殖技术目前正支持着一个巨大的商业化行业，它在全球拥有几百个实验室。除了繁殖速度快的优点之外，微繁殖技术还用于生产无病栽培材料（插图7），特别是和疾病探测诊断试剂盒结合起来使用。有人还尝试过将微繁殖技术更多地用于林业中。与通过扦插法的无性繁殖方法相比，微繁殖技术具有更高的繁殖速度，使栽培材料的分发速度加快，尽管它在林业中的更加广泛应用还受到有限获得可用克隆的限制。

体外选育

体外选育指在实验室条件下对组织培养物施加一定的选择压力选出种质。最近的许多出版物都报道，体外试验结果与作物植株有用的实地性状表达存在关联，最常见的就是抗病性。对除草剂、金属、盐分和低温的耐受性也有不错的结果。但在森林树种的重要选育标准方面（特别是生命力、枝杆形状和木材质量）的试验结果与实地结果关联性不佳，因此限制了体外试验的采用。然而，该方法对于有关抗病性和耐盐耐霜及耐旱性能的林业选育项目可能有用。

遗传工程

如果在某一生物体中发现所期望的性状，而该生物体与受体不具备性亲和力，那么就可以通过遗传工程来实现转移。对植物而言，最常用的遗传工程法就是将土壤杆菌——根癌农杆菌（*Agrobacterium tumefaciens*）作为一个载体。科研人员将所需的单个或多个基因插入杆菌，然后让

插图 7

肯尼亚无病香蕉的微繁殖

香蕉通常在发展中国家种植，它为人们提供就业、收入和食物。香蕉生产在许多区域都在减少，原因是病虫害问题无法通过农药得到有效控制，因为农药成本高，而且对环境不利。使得问题变得更为严重的是，香蕉是无性繁殖的，因此使用染病的母株会产生染病的后代。

微繁殖技术使人们能够用健康组织繁育出无病的香蕉苗。肯尼亚已经成功

地对香蕉芽尖进行组织培养。芽尖经过热处理消灭传染性病毒后，通过多次再生过程生产出子代植株。通过10轮再生，香蕉组织的一个部分就可以用来生产多达1500份新植株。

香蕉的微繁殖技术对肯尼亚和其他许多国家产生了巨大的影响，提高了粮食安全和创收。它的优点是成本低，技术容易应用，对环境十分有利。

受体植株感染杆菌。所需基因就随感染传给了受体。这个方法主要用于双子叶植物物种，诸如番茄和马铃薯。有些作物，特别是单子叶植物物种诸如小麦和黑麦，是天生不适合通过根癌农杆菌来感染的，但这种方法最近也被成功地用于改变小麦和其他谷物。对这些作物来说，最常用的改进方法一般是将所需基因包在金或钨粒子外，然后用一种“基因枪”将基因高速射入受体。

目前转基因作物主要有三类：（a）“远缘转移”，将基因在不同界的生物体

间进行转移（如将细菌转移到植物中）；

（b）“近缘转移”，将基因从同界的一个物种转移到另一个物种中（如从一种植物转入另一种植物）；（c）“基因修改”，将生物体基因组中原有的基因加以修改，改变其表达水平或方式。基因转移完成后，必须对作物进行试验，确保基因的表达是正确的，并能在几代中保持稳定。这种选育方法通常比常规杂交法更加有效率，因为基因的本质是已知的，分子方法可以确定基因在基因组中的位置，因此不需要进

插文 8

酸性土壤上的农业：提高谷物的耐铝性

Miftahudim^{1, 2}, M.A. Rodriguez Milla², K. Ross³和 J.P. Gustafson³

在所有可耕地中，30%以上由于酸性土壤中含铝而影响植物的生长，这主要集中在发展中国家。提高酸性土壤的作物产量有两种方法。可以在土壤中添加石灰提高其pH值，但这个方法成本高，而且只能暂时奏效。另一种方法就是培育耐铝的遗传改良品种。现有的小麦品种并不包含能提高耐铝性的遗传变异。因此只能从有亲缘关系的耐铝性强的物种的基因库中将耐铝基因引入小麦。科学家们利用现有的耐铝基因分子标记绘出了一张小麦遗传连锁图。

黑麦比小麦的耐铝性高四倍。因此，控制耐铝性的黑麦基因被描绘了出

来。科学家利用小麦、大麦和水稻分子标记在黑麦基因侧面建立了一个紧密的连锁，并绘出了一幅高分辨率遗传图谱。然后采用可能性大的候选基因进行根部基因表达的时间过程研究，结果显示只在受铝胁迫时才出现黑麦根部表达。

将耐铝性基因作为研究目标是针对某一问题将分子工具与育种工具结合起来开展小麦增产研究的一个范例。利用谷物作物间的遗传关系（同线性），提供分子标记，用来寻找和描绘增值性状，使人们又新添了一个小麦增产的补充方法。育种人员可以将分子标记辅助育种项目中黑麦基因侧面的分子标记用到不能种植转基因作物的地区，或只有常规育种工具的地区。另外，这些标记可以用来进行图谱克隆，分离出想要研究的基因，以便为小麦增产进行转基因研究。最后，同线性关系的利用给我们提供了技术，为其它物种的改良添加很多增值性状。

¹ 美国哥伦比亚市密苏里大学农学系。

² 印度尼西亚茂物市茂物农业大学生物系。

³ 美国农业部农业研究局植物遗传研究处和美国哥伦比亚市密苏里大学农学系。

行太多的遗传修改。

目前栽培的多数转基因作物只包含数量非常有限的几种抗虫基因和/或耐除草剂基因（见第3章关于目前正处于研究和商业化种植之中的转基因作物的详细介绍）。然而，已经开发出一些对发展中国家有更大潜在好处的转基因作物和性状，目前尚未得到商业化推广。插文8介绍的一个研究项目就是要提高小麦的耐铝性能，因为拉丁美洲和非洲的酸性土壤都有含铝的问题。人们也在进行类似的研究以改善植物的其它抗逆性能，诸如耐干旱、盐碱土和极端温度等。

经过营养强化的作物会大大促进发展中国家减轻微量元素营养不良问题。将几种生物技术结合起来就可以实现生物强化技术开发营养强化食品。为此，需要采用基因组分析和遗传连锁图的绘制找出常见食物中决定其营养水平自然差异的基因（表2）。接下来这些基因就可以通过常规育种法和分子标记辅助育种法转移到大家熟悉的品

种中去，或者，如果该物种内部没有出现足够的自然差异，则可以通过遗传工程来实现。比如，目前人们就正在采用非转基因方法来强化玉米的蛋白质含量、水稻的铁含量以及红薯和木薯的胡萝卜素含量。

当所需营养素在某个物种内部自然差异不足，就可以借助遗传工程。插文9介绍了围绕一个对遗传工程强化马铃薯的蛋白质含量项目的争论。著名的转基因“金水稻”包含三个产生维生素原A的外源基因——两个来自黄水仙，一个来自的细菌（见第42页插文13）。科学家们正在培育带有产生维生素原A、铁和更多蛋白质的“营养优化”转基因水稻（Potrykus, 2003）。其它营养强化食物也正在开发中，诸如对人体不利的脂肪酸含量更低的油。另外，常见的过敏性食品（虾、花生、大豆、稻米等）也正在被科学家们进行遗传修改，降低其过敏复合物的含量。

阻碍森林树种遗传修饰技术应用的一个主要技术因素就是目前对最重要性

表 2
五种主食作物种质中铁、锌、β胡萝卜素和抗坏血酸含量的遗传差异，按干重计

	(毫克/公斤)			
	铁	锌	β胡萝卜素 ¹	抗坏血酸
水稻				
糙米	6-25	14-59	0-1	-
精加工米	1-14	14-38	0	-
木薯				
块根	4-76	3-38	1-24 ²	0-380 ²
叶子	39-236	15-109	180-960 ²	17-4200 ²
豆	34-111 ¹	21-54	0	-
玉米	10-63	12-58	0-10	-
小麦	10-99 ³	8-177 ²	0-20	-

¹类胡萝卜素的总量则要高得多。

²以鲜重计。

³包括野生亲缘种。

资料来源：国际热带农业中心（CIAT），2002年。

插文 9

“超级马铃薯”：是穷人的福音还是特洛伊木马？

印度的贾·尼赫鲁大学已培育出一种转基因马铃薯，其蛋白质含量比普通马铃薯高三分之一到一半，还包含大量人体必需的氨基酸诸如赖氨酸和蛋氨酸。蛋白质缺乏症在印度十分普遍，而马铃薯是最贫困人口的主食。

“超级马铃薯”是印度的慈善界、科学界、政府机构和企业界联手的结果，它是一项历时15年的消灭儿童早夭现象项目的一部分。该项目旨在通过为儿童提供清洁水、更好的食物和疫苗来消灭儿童早夭现象。

“超级马铃薯”含有一种来自苜蓿植物的基因，苜蓿是最早生在南美洲的一种高蛋白粮食，在西方健康食品商店里都有销售。“超级马铃薯”已经通过了初步田间试验以及过敏物质和毒素测试。要得到印度政府的最终批准可能至少需要五年时间。

“超级马铃薯”的支持派，如印度科学院的生物化学家Govindarajan Padmanaban认为，“超级马铃薯”可以为儿童提供重要的营养来源，而且没有

过敏的危险，因为马铃薯和苜蓿植物都是人们普遍食用的东西。因为马铃薯和苜蓿植物在印度都没有野生亲缘种，而且“超级马铃薯”的栽培方法和普通马铃薯没有任何不同，所以不会对环境带来威胁。另外，由于“超级马铃薯”是由印度的公共部门科学家培育出来的，因此不用担心外国公司控制技术的问题。鉴于上述益处，Padmanaban评述道：“我认为，反对它从道义上讲是站不住脚的”（Coghlan, 2003）。

而反对派，如绿色和平组织的Charlie Kronick则认为，马铃薯生来含蛋白质较低（约2%），因此即使是使其含量翻倍，对解决印度的营养不良问题也只是杯水车薪。他认为，培育“超级马铃薯”的目的实际上是为了争取公众对转基因技术的接受，而不是为了解决营养不良问题。他说：“造成饥饿的原因不是缺乏食物，而是缺少现金和获得食物的手段。培育这些转基因作物表面上看起来很吸引人，但实际食用后的效果却非常非常有限。很难相信单单靠它就能改变贫困面貌”（Charles, 2003）。

状的分子控制还了解甚少。最早报道的树种转基因试验之一于1988年始于比利时，对象是杨树。从那时起，媒体报道了100多项此类试验，涉及起码24种树种，主要是用材树种。试验中考虑进行遗传修饰的性状包括抗虫抗病毒性、耐除草剂性和木质素含量。而对于造纸业制造纸浆来说，降低木质素含量很有价值，因为这样就可以在生产过程中减少化学品的使用。

家畜和鱼类的育种和繁育

生物技术长期以来一直是畜牧业和渔业生产和加工业中创新的源泉，对这两个行业产生了深远的影响。分子生物学领域的飞速发展和生殖生物学的进一步发展，为这两个行业的继续创新提供了强大的新工具。前文提到的基因组学和分子标记技术对于人们了解、研究和管理畜牧、渔业、作物、林业资源都十分有用（插文10）。

插文 10

世界动物遗传资源状况

应成员国要求，粮农组织一直致力于制订和执行《全球家畜遗传资源管理战略》。作为这项由各成员国推动的家畜遗传资源管理战略的一部分内容，粮农组织邀请了188个国家参与编写《世界动物遗传资源状况首次报告》，该报告将于2006年前完成。迄今为止，已有145个国家同意提交国家报告，并已经收到30份国家报告进行了分析（Cardellino, Hoffmann和Templeman, 2003）。这些报告清楚地表明，人工授精是发展中国家畜牧业中最常用的生物技术。许多国家要求对人工授精的推广使用进行培训，但同时又担心该技术的应用缺乏规划，

可能对当地品种保护造成潜在威胁。虽然各国的报告提到了超数排卵胚胎移植技术并表示愿意采用或推广该技术，却没有提出明确的目标。各国都表示愿意采用和开发分子技术，往往是把它作为对表型品种特征研究的补充。各国都将冷冻保存技术确定为优先领域，并推荐使用基因库，但资金仍然是一个大问题。提到转基因动物时，各国主要是表示缺乏适当法规指导其生产、利用和交换。一些国家担心，畜牧业中的生物技术应该纳入到一个遗传改良整体战略中去，但经常做不到这一点。

遗传工程在畜牧业和渔业中也在使用，但具体技术手段有所不同，而且这些领域中还有其它一些繁育技术。本节将描述畜牧业、渔业特有的繁育生物技术。

家畜繁育生物技术的主要目的是提高繁育效率和动物遗传改良率。当地品种的遗传改良对于在发展中国家多种多样的生产环境中实现可持续生产系统是十分重要的，而且最好是通过将非遗传干预和遗传干预战略结合起来的方式加以实现。渔业繁育生物技术为人们提供机会，提高增长率，改进养殖品种的管理，限制转基因品种的繁殖潜能。

人工授精和超数排卵/胚胎移植技术

人工授精（AI）和超数排卵/胚胎移植（MOET）技术的进步已经对发达国家和许多发展中国家的家畜改良计划产生了巨大影响，原因是这些技术加快了遗传改

良的速度，减少了疾病传播的风险，并且增加了从优良亲本中繁育出的家畜数量，就父本而言是通过人工授精，就母本而言是通过超数排卵/胚胎移植技术。这些技术还提高了私营研究部门参与动物育种的积极性，并大大拓宽了优良种畜的市场。

1998年，全球的人工授精次数对牛为1亿多次（主要是奶牛，包括水牛），对猪4000万次，对绵羊330万次，对山羊50万次。这些数字表明，奶牛人工授精的经济效益最高，牛精液比其它动物的精液更易深冷冻保存。南亚和东南亚的牛人工授精次数超过6000万，但非洲的数字还不到100万。

只有当养殖户能得到除直接用来配种公畜之外的其它很多技术、机构和组织支持时，人工授精才会发挥作用。但好在采用人工授精技术的农户无须承担公畜的饲

养成本或风险，他们可以利用来自世界任何一个地方的精液。

尽管人工授精在发达国家和许多发展中国家中被广泛采用，甚至包括在一些先进的小农系统中采用，但它只是被用在饲养高价值家畜的集约化管理农场中。其原因并不在于精液生产和储存等技术问题，因为大多数程序现在都是完全标准化的，而且被证明在热带发展中国家中也不成问题。真正的原因是组织、物流和农户培训等方面因素的限制，影响了该技术的质量和效率。

超数排卵/胚胎移植技术在遗传效果和技术、组织水平方面使人工授精技术向前发展了一步。超数排卵/胚胎移植技术是应用更先进的繁育生物技术诸如克隆和转基因的基础技术之一。2001年全球的胚胎移植数是45万，主要针对奶牛，北美洲和欧洲占了62%，随后是南美洲（16%）和亚洲（11%）。人工授精用的公牛约有80%是采用超数排卵/胚胎移植技术培育的。该技术对发展中国家而言主要优势在于有可能用进口冷冻胚胎取代进口活畜，比如为当地遗传资源建立核心种畜，从而也降低了相关的检疫风险。

鱼类的染色体组操作和性逆转

控制鱼类的性别和繁殖能力具有重要的商业和环保意义。某种性别的鱼经常比另一种性别用处更大；比如，只有雌性鲑鱼能产鱼子酱，而雄性罗非鱼比雌性罗非鱼长得快。如果繁殖会影响产品的口味（如牡蛎）或者养殖品种（无论是否为转基因品种）可能会与野生种群交配，那么不育性就很有用。染色体组操作和性逆转技术是控制这些因素的可靠技术。在染色体组操作中，人们对鱼卵利用温度、化学物和压力进行胁迫，培育出具有三组而不是通常的两组染色体的个体。这些三倍

体生物一般不会有繁殖能力，因此是功能性不育的。性逆转有几种方法，包括使用合适的激素。例如，从遗传学上看，雄性罗非鱼通过雌激素处理后可以变成雌性。这些变性雄鱼和正常雄鱼交配后，所产的罗非鱼全部为雄性。

家畜和鱼类的遗传工程

动物遗传工程可以将外源基因引入动物基因组中，或“淘汰”某些基因。目前最常用的方法是直接将DNA微注射到受精卵的原核中去，但一些新方法也正在取得进展，比如细胞核转移和将慢病毒作为DNA载体。

在最早对家畜进行的遗传工程试验中，人们将控制生长的基因引入猪中，以提高生长速度，改进胴体质量。目前正在进行的研究包括培育动物抗病性，诸如家禽马立克病，绵羊的痒病，牛的乳腺炎，以及会影响人类健康的动物疾病诸如家禽的沙门氏菌病。其它例子还有提高牛奶的酪蛋白含量，使牛奶或动物精液中生产出药用或工业用化学物等。虽然从概念上讲很简单，但动物遗传工程方法需要特殊仪器和对仪器的熟练操作，而且至今为止仍没有在农业生产中获得商业性成功。因此，看来其在不远将来的应用可能只限于培育那些用来生产工业用或药用产品的转基因动物。

遗传工程在水产业中是一个很活跃的研究开发领域。许多种鱼类的卵都有数量大、耐性强的特点，很容易操作，适合通过外源基因直接注射法或借助电场的电穿孔法进行基因转移。鱼类的基因转移通常涉及产生生长激素的基因，并已证明能大大增强鲤鱼、大麻哈鱼、罗非鱼等的生长速度。另外，有人曾将美洲拟鲈身上产生抗冻蛋白质的基因引入大麻哈鱼中，希望借此扩大大麻哈鱼的养殖范围。虽然该基

因未能产生足够蛋白质使大麻哈鱼能在更冷的水域中生长，但它的确使大麻哈鱼能在很冷的几个月中继续生长，而非转基因大麻哈鱼就无法做到这点。这些技术目前仍在研究开发之中，消费者目前还无法买到任何转基因水产品。

其它生物技术

诊断学和流行病学

由于在造成严重损伤前症状不易判断或没有症状，动植物疾病很难诊断。基于生物技术的先进诊断试验使人们能够确定致病源并监测防疫计划的效果，其准确程度是前所未有的。分子流行病学通过核苷酸排序追踪病源，确定病原体（病毒、细菌、寄生虫和真菌）的特征。这对于流行病学尤为重要，因为它可以确定传染源头，大大加强疾病控制。例如，通过对牛瘟病毒的分子分析，科学家已经确定了在世界上流传的各个牛瘟病毒系，这对《全球消灭牛瘟计划》（GREP）也起到十分关键的辅助作用（插文11）。酶联免疫吸附测定（ELISA）已成为全球许多畜牧、水产疾病诊断和监测的标准方法，而聚合酶链反应（PCR）技术对诊断植物疾病尤为有用，同时也被证明对诊断畜牧、水产疾病的用处越来越大。遗传探针可以确定和检测到组织、动物体甚至水样和土样中的具体病原体，因此大大增加了动植物健康计划的有效性。

疫苗的开发

转基因疫苗正在开发之中，目的是保护家畜和鱼类不受病原体和寄生虫的侵袭。虽然使用传统方法开发出来的疫苗对控制口蹄疫、蜚传疾病、牛瘟等家畜疾病已经产生了巨大效果，但重组疫苗比起常

规疫苗在安全性、针对性和稳定性上都有优势。重要的一点是，这些疫苗和适当的诊断试验结合使用后，能将接种过疫苗的家畜与自然感染疾病的家畜区分开来。这对于防疫计划非常重要，因为它可以保证各国在考虑从控制疾病转向消灭疾病时能够坚持接种疫苗。今天，人们还开发出了新城疫、古典猪瘟和牛瘟等的高质量改良疫苗。除了技术方面的改进外，生物技术的进步还将降低疫苗的生产成本，使小农也能用上疫苗。

动物营养

生物技术已经开发出了动物营养增强品，诸如酶、益生菌、单细胞蛋白质和抗生素饲料添加剂，并已广泛用于世界各地的集约化生产系统中，以改善饲料的营养成分，提高畜牧、水产业的生产率。基因技术正在被越来越多地用于提高动物营养，有时通过改变饲料，使其更易消化，有时是通过改变动物的消化和代谢系统，使其更好地利用饲料。虽然在后一种方法上取得的进展可能较为缓慢，因为我们目前对相关的遗传、生理和生化原理还了解不够，但重组生长激素的使用已经在高投入集约化管理系统中取得了商业化成功，这种激素能提高奶牛产奶量，加快肉用家畜的生长速度和瘦肉率。

结论

生物技术是常规农业研究中许多领域的补充——而不是替代——工具。它为我们提供了一系列工具，使我们更好地了解和管理粮农遗传资源。这些工具已经在育种和保护项目中发挥了作用，并帮助我们诊断和防治各种动植物疾病。生物技术的应用为科研人员提供了新知识、新工具，

插文 11

生物技术：在全世界消灭牛瘟

牛瘟是世界上最具破坏性的家畜疾病之一，它严重威胁着成百万以牛群和畜牧为生的小规模农牧民。这一病毒性疾病可感染包括水牛、牦牛在内的各种牛以及它们的野生亲缘物种，曾在19世纪九十年代让撒哈拉以南非洲地区近90%的牛为之丧生。1979至1983年间的一场牛瘟大流行致使非洲1亿多头牛死亡，仅在尼日利亚就有50多万头，估计总损失达19亿美元。亚洲和近东也受到此病的严重影响。

今天，牛瘟几乎已在全球销声匿迹。亚洲和近东据信已无此病毒，人们正在竭力确保此病不会从全球最后的一个可能存在该病毒的聚焦地——据认为是跨越肯尼亚东北部和索马里南部的索马里草原的生态系统——爆发出来。实现彻底根除牛瘟的这一目标已近在咫尺。牛瘟可能继天花之后成为世界上第二种被彻底消灭的疾病。

迄今取得的成绩对于兽医科学而言是个巨大的胜利；它有力地证明，只要整个国际社会、各国和它们的兽医界及农业界团结起来，共同制订和贯彻务实

的政策和确保政策落实的战略，就一定能获得胜利。由非洲联盟负责的泛非消灭牛瘟运动（PARC）和由粮农组织负责的《全球消灭牛瘟计划》（GREP），在这场抗击牛瘟的战役中起到了关键作用。

生物技术是该行动的核心。首先，人们利用它开发和大规模生产出疫苗，使成百万的家畜通过国家大规模疫苗接种计划得到了保护。最初的疫苗是由肯尼亚的Walter Plowright博士和他的同事们在英国的支持下开发出来的，它以采用多次组织培养法使毒性减弱后的病毒为基础。Plowright博士因此在1999年获得世界粮食奖。虽然该疫苗十分有效安全，但遇热则会丧失一部分效力。因此人们又曾致力于开发一种适用于边远地区的、在高温条件下能保持稳定的疫苗。埃塞俄比亚的Jeffery Mariner博士在美国国际开发署（USAID）的资助下获得了成功。

其次，生物技术为病毒的检测和确定以及疫苗接种计划的有效性监测提供了技术平台（酶联免疫吸附分析、现场

提高了他们的工作效率和效果。因此，生物技术科研项目可以被看成是常规方法的一个精确度更高的延伸物（Dreher等人，2000）。同时，遗传工程可以被看成是与常规育种大相径庭的学科，因为它给了科学家一种力量，能将遗传材料在不同生物体之间移动，而这通过常规工具是无法做到的。

农业生物技术是一门跨领域、跨学科的科学。多数分子技术和其应用在粮农所

有领域都是相同的，但生物技术离不开其它学科。例如，作物的遗传工程离不开基因组学知识，而且如果没有一个有效的植物育种计划它就失去实用价值。任何一项研究都需要掌握大量各种技术因素。生物技术应该成为一个综合农业科研计划的一部分，这个计划还应利用其它领域、学科的成果以及各国国家计划的成果。对发展中国家及其开发伙伴来说，当它们制订和执行国家科研政策、设计和实施机构和

色谱测试和分子测试)。在由瑞典国际开发署(SIDA)资助、粮农组织和国际原子能机构(IAEA)开发出这些技术和必要的取样和测试战略之前,接种过疫苗的家畜和感染疾病的家畜很难区分,因此各国无法证明自己国内已经消灭了牛瘟。为此各国不得不每年都花巨资接种疫苗,同时为了避免疾病传播,在家畜运输和贸易方面也受到限制。

生物技术的经济效果已经十分明显。虽然接种疫苗、血样的提取和检测无论对发达国家还是对发展中国家而言成本都很高,但开展全国性消灭牛瘟战役和进行全球、区域性协调已被证明是十分有效的,这从全球目前只剩下一小处发病地就可以看出。而在1987年,14个非洲国家、巴基斯坦和一些近东国家都有牛瘟的发生。

虽然泛非消灭牛瘟运动和《全球消灭牛瘟计划》的成本和效益在各国各不相同,但用非洲的数字就可以说明其成本-效益之比。牛瘟大爆发通常会持续五年,30%的牛群因此死亡。非洲撒哈拉以南地区共有1.2亿头牛,这就意味着每

年要死亡800万头。按每头牛估价120美元计算,每次牛瘟大爆发带来的损失约为9.6亿美元。在泛非消灭牛瘟运动中每年约有4500万头牛接种疫苗,接种成本为3600万美元,再加上约200万美元的血清学监测管理费用。这样得出的年成本-效益之比约为22:1,整个区域的每年净经济效益至少为9.2亿美元。

泛非消灭牛瘟运动和《全球消灭牛瘟计划》还产生了其它明显效益。其中之一就是通过这些消灭牛瘟和在农户、实地和实验室工作人员、国家政府之间建立有效联系的政策、战略和机构安排,各国看到了更多机会来进一步面对其它挑战,控制或消灭影响全球家畜生产和粮食安全的其它疾病。

能力建设项目时,这些都具有重要的意义(见第8章)。

农业生物技术是国际性的。虽然分子生物学中多数基础研究是在发达国家进行的(见第3章),但这对发展中国家也很有用,因为它使人们对所有动植物的生理有了更深入的了解。人类和老鼠基因组项目的成果为家畜研究提供了直接益处,反之亦然,而玉米和水稻研究为高粱、埃塞俄比亚画眉草等其它粮食作物提供了参

考。但发展中国家需要在重要品种的研究上做一些具体工作。发展中国家拥有世界上最丰富的农业生物多样性,但对这些动植物所做的分子研究却微乎其微,而通过分子研究人们可以估计动植物的生产潜能以及抗病抗逆性能,或确保它们得到长期保护。

将新分子生物技术和新育种战略在不远的将来运用到发展中国家小农生产系统中的作物和家畜品种上,可能会有一些障

碍（见第3章和第7章）。这些障碍包括缺乏可靠的长期研究资金来源，技术和操作能力不足，作物和家畜的商业价值不高，缺乏足够的常规育种计划，不得不在相关生产环境中进行选择等。然而，发展中国家已经面临评价转基因（GM）作物的问

题（见第4-6章），总有一天它们还要面临评价转基因树木、家畜和鱼类的问题。这些创新可能会提高产量、生产率、产品质量和适应性，但同时也对发展中国家的科研和管理能力提出了挑战。

3. 从绿色革命到基因革命

绿色革命将通过常规育种方法培育出的高产半矮化小麦和水稻栽培品种，先是带给了数以百万计的居住在亚洲和拉丁美洲的小农，随后又带到了非洲。绿色革命初期的几十年所取得的成就在20世纪八十年代和九十年代又推广到其它作物和条件欠佳的地区（Evenson和Gollin，2003）。与推动绿色革命的科研比较，大部分的农业生物技术研究 and 几乎所有的商业化推广都由工业化国家的私营公司承担。

这与绿色革命完全不同，在绿色革命中公共部门在科研和技术推广中发挥了强有力的作用。这一变化对所从事的科研活动、所开发的技术类别及技术推广的方式都产生了重要影响。私营部门在农业生物技术中所处的主导地位引起人们的关注，人们担心发展中国家的农民特别是贫穷农民可能无法从中受益——原因是要么找不到适当的技术创新，要么技术太昂贵。

公共部门进行的科研培育出了小麦和水稻高产品种，从而引发了绿色革命。国际和国家公共部门的科研人员将矮化基因导入优良小麦和水稻栽培品种，使其增产、长出较短分枝并在更大量施用化肥和水的条件下作出适当反应。这些半矮化栽培品种被免费提供给发展中国家的育种人员，由他们进一步进行改良，使其适应当地的生产条件。一些国家的私营公司参与了这些品种的本地化改良工作和商业化开发，但改良种质是由公共部门提供并作为公共产品进行免费分发的（Pingali和Raney，2003）。

在利用绿色革命提供的机遇方面做得

最好的是那些原本拥有或很快增强了本国农业科研能力的国家。这些国家的科研人员对品种做了必要的本地适应性调整，保证改良品种能满足本国农民和消费者的需求。国家农业科研能力是利用和获得绿色革命农业技术的关键因素，这对今天的新生物技术也是同样。国家科研能力能帮助一个国家引进和改良其它地方研制的农业技术，开发满足当地需要的应用技术（如“孤儿作物”），并提高管理新技术的能力。

相比之下，生物技术革命主要是由私营部门推动发展的。公共部门科研为农业生物技术提供了基础科学研究，但大部分的应用研究和几乎所有的商业化开发都是由私营部门负责完成的。目前，有三种相互关联的力量正在改变将改良的农业技术提供给全世界农民的体制。第一种力量是保护植物创新知识产权的环境不断改善。第二是新发现不断地快速出现，分子生物学和遗传工程的重要性不断增强。最后，农业投入物和农产品的贸易在几乎所有的国家都变得愈来愈开放，扩大了新技术和其它相关现有技术的潜在市场。这些都为私营科研活动产生了强有力的激励，并正在改变着公共和私营农业科研的结构，特别就作物改良而言（Pingali和Traxler，2002）。

随着私营跨国公司重要性的提升，发展中国家正面临着获得和利用技术交易成本的增长。现有的公共部门国际网络使技术在各国之间实现共享，最大限度地利用溢出效益，但这些网络正日益受到威胁。

专稿 1

养活100亿人口 — 我们在21世纪面临的挑战

Norman E. Borlaug¹

在过去的35年里，谷物产量增长了一倍以上，超过了世界人口的增长。现代品种的快速采用，化肥消耗量增长了三倍，以及灌溉面积翻了一番，这些都是推进绿色革命的关键因素。由于最宜农土地上的产量增长，全球农民能够将未开垦的大片土地留作它用。

本世纪中叶，全球人口将达到100亿。在未来20年里，动物饲料和肉类消费的快速增加将使世界谷物需求增长50%。除了非洲和南美洲的酸性土壤地区以外，全球耕地面积增加的潜力很有限。今后提高粮食产量必须主要依靠现有耕地，必须保持并提高这些土地的生产力。

全球8.42亿饥饿人口大多数居住在边远地区，农业是其生计来源。在这些风险较高的农村地区，粮食不安全的农户经常面临着干旱、土地退化、市场偏远和市场机制落后等困扰。对于很多人来说，只有通过提高农业产量和增加收入才能实现粮食安全。因此，我们需要对科研、基础设施和资源保护进行投资以提高生产力，降低边远土地的风险。其

中有些环境问题过于严重，难以解决，但却是可以明显改善的。生物技术在培育非生物和生物抗逆性强、营养含量高的新种质资源方面可以发挥重要作用。需要使用传统的研究工具和生物技术不断进行粮食作物的遗传改良，以提高、稳定单产水平。

1万至1.5万年前，新石器时代的人类 — 多半是妇女，在较短的时间内几乎驯化了我们今天所有的粮食作物和牲畜品种。其后，几百代农民承担了所有主要作物和牲畜品种的大量遗传改良工作。由于在过去的150年中科学的发展，我们现在对植物遗传和育种有了深入的认识，可以有目的地去做大自然在过去偶然或者有意地做出的改变。作物的遗传改良并不是某种魔法，而是逐渐驾驭自然力量，以养活全人类。实际上，遗传工程 — 在分子水平上的植物育种 — 仅仅是人类深化科学进程、进入到活体基因组的一步。这并不是取代传统的育种，而是一个补充性的研究工具，从远亲同类群体中确定目标性状，将其更快、更准确地转移到高产优质的作物品种中。

世界上的技术 — 无论是现有的或者通过研究即将问世的 — 足以可持续地养活100亿人口。但是，能否获得这些技术却无法保证。潜在的壁垒包括知识产权相关的问题、民间团体和政府对技术的接受程度以及经济和教育壁垒，都使得贫困农民被边缘化，无法采用新技术。

¹ Norman E. Borlaug 是萨萨卡瓦非洲协会的主席，德克萨斯A&M大学国际农业著名教授，1970年诺贝尔和平奖获得者。他以其在小麦育种和生产方面卓越的成就被誉为“绿色革命之父”。

目前最紧迫的需求是建立一套技术流通系统，能在为私营部门创新保持激励的同时满足发展中国家贫穷农民的需求。

本章第1小节综述在1960-90年间农业科研和技术流通的组织结构和影响。其间，绿色革命式的公共部门科研活动占主导地位。第2小节介绍农业科研与开发的不断私有化进程以及私有化对发展中国家获得技术所产生的结果，正如最近全球生物技术研发和商业化的发展趋势中所显示的那样。结论部分提出了一系列有关基因革命造福穷人的潜在前景的问题。这些问题将在本报告后面的章节有深入阐述。

绿色革命：科研、开发、利用及影响

绿色革命极大地促进了发展中国家在过去40年间粮食作物生产率的阶段性增长（Evenson和Gollin，2003）。对作物的科研、基础设施和对市场开发的高额投资，加之适当的政策支持都加速了这一进程。绿色革命战略中的这些内容促进了生产率的增长，尽管与此同时人们面临着土地面积不断地减少和高昂的土地价值（Pingali和Heisey，2001）。

公共部门的科研和国际技术转让

绿色革命对传统的想法提出了挑战，传统想法认为，农业技术很难推广，或是由于对具体农业气候条件的针对性太强，如生物技术，或是由于对相对要素价格太敏感，如机械技术（Byerlee和Traxler，2002）。绿色革命提高粮食生产率的战略是明确地基于这样的前提，即只要有适宜的机构机制，技术的溢出效益是可以不受政治和农业气候差异的影响。因此，国际农业研究磋商小组（CGIAR）就是为创造

技术溢出效益而专门设立的，特别是要帮助那些没有能力利用科研投资获得最大效益的国家。那么，在一个粮食供应系统日趋全球一体化的过程中，农业研发活动的溢出效益到底如何呢？

启动20世纪六十年代末绿色革命的产量潜力的重大突破要归功于常规植物育种方法，而常规育种方法最初的重点是提高主要谷物作物的产量潜力。自20世纪六十年代稻米和小麦最早出现产量大幅提高之后，主要谷物的产量潜力继续以稳步的速度增长。例如，灌溉小麦的产量潜力在过去三十年间一直以每年1%的速度增长，每年每公顷增长约100公斤（Pingali和Rajaram，1999）。实际上，在绿色革命最初的几十年期间，几乎没有为生活在条件较差的农业生态区内的贫穷农民所种植的作物提供过任何科研成果或优良种质（如高粱、粟、大麦，木薯和豆类）；但是自20世纪八十年代以后，已为这些作物培育出新品种，它们的产量潜力也增加了（Evenson和Gollin，2003）。除了调整谷物作物产量研究重点外，作物育种人员还继续在教育研究这一看似平常但却非常重要领域中取得许多成功。这些成功包括培育出持续抗多种病虫害的植物品种、更具抗逆性的植物品种以及生长期短、品味及营养质量高的作物品种。

1960年以前，全世界没有一个正式系统可以向植物育种人员提供国境以外的种质资源。自1960年起，国际公共部门（CGIAR系统）就成为提供改良种质资源的主渠道；这些改良的种质是通过常规育种方法培育出来的，特别是水稻和小麦等自花授粉作物和自由授粉的玉米。在用于公共部门农业科研资金增加而植物知识产权法规不健全或不存在的条件下，国际农业研究磋商小组管理的各个网络在20世纪七十年代和八十年代出现了演化。种质资

专稿 2 走向常青革命

M.S. Swaminathan¹

1968年8月，印度政府发行了一枚题为“小麦革命”的邮票，目的是使公众进一步认识印度在提高小麦产量方面走过的革命性历程。在强调小麦产量突破的同时，印度政府还开展了一个培育和推广高产水稻、玉米、高粱和珍珠蜀的宏大项目。这些项目推动了印度的“绿色革命”，因而在不增加耕地面积的条件下显著提高了产量和生产力。

由于高产品种需要肥料、灌溉水等投入物，社会学家们批评绿色革命技术没有起到保护资源的作用。环境保护主义者攻击绿色革命，因为绿色革命大量使用杀虫剂、肥料，并且单一种植，可

能损害长期生产力。尽管绿色革命成功地让数百万人摆脱贫困，但是贫困发生率、局部性饥饿、传染病、母婴死亡率、低出生体重儿童、发育迟缓和文盲率依然很高。

针对社会学家和生态学家们的担心以及紧迫的贫困和饥饿问题，我提出了“常青革命”的概念，强调需要永久地提高作物生产率，同时避免对生态或社会造成损害。要实现常青革命，我们必须重视有助于实现革命性进步的途径，在现有人均耕地和灌溉水不断减少、生物和非生物压力扩大、消费者和市场偏好迅速变化的情况下，提高生产率、农产品质量和附加值。这要求我们优化利用传统智慧和先进前沿科技。在与农业未来革命相关的前沿技术中，最重要的是生物技术。

对分子遗传学和基因工程的担忧分为以下几大类：科学本身、对科学的控

¹ 作者是M.S. Swaminathan 研究基金会主席。在过去的50年中，他一直就基础和应用植物遗传学以及农业研究与开发等一系列问题同科学家和决策者合作。他被公认为“印度绿色革命之父”。

源的交换是以非正式的渠道而且通常是公开和不收取任何费用的情况下在植物育种人员之间进行的。育种人员可以向苗圃贡献他们自己的育种材料并为其能被世界上其它地方采用而感到骄傲。同时他们也可以自由地从试种区中获取育种材料，为他们自己所用。

国际种质资源的流动对国家农业科研体系（NARS）的作物培育计划的发展速度和成本都具有很大的影响，因而产生出巨大的效益（Evenson和Gollin，2003）。Traxler和Pingali（1999）认为，能将国际

上最优良的种质材料进行自由的和无限制的交流制度，可以使各国就自己需要对植物育种能力进行投资的水平做出战略性的决定。即使是那些在国家农业科研体系中具有先进作物科研计划的国家，象巴西、中国和印度，也在很大程度上依赖于从育种苗圃中获得栽培品种，作为预育种材料和育成品种（Evenson和Gollin，2003）。一些国家则理性地选择免费利用国际体系，而不是投资建立自己的大规模作物育种基础设施（Maredia、Byerlee和Eicher，1994）。

制、获得科学、环境问题以及人和动物健康。分解研究这些问题，才能认真分析风险和好处。而将所有基因工程应用相关的问题混为一谈会得出不恰当的、笼统的结论，正如2002年在罗马召开“世界粮食首脑会议：五年之后”时，非政府组织（NGOs）对转基因产品作出的笼统声讨一样。

使用分子标记，通过重组DNA技术为特定特征进行精确育种，这些分子育种技术可以带来巨大的好处。印度开展的工作展示了培育新的转基因品种的潜力，这些品种可以抗盐、抗干旱、抗主要病虫害并且更有营养。综合孟德尔育种和分子育种的新时代已经开始了。常青革命将综合前沿技术和传统社区对生态的谨慎态度，创造以自然资源综合管理为基础的技术，以及由于有了农户的参与性试验而具有地方针对性的技术。

只有这样我们才能面对未来的挑战，

特别是在水资源不断匮乏、急需提高生产力的半干旱和干旱农业地区。加速农业发展是消除饥饿和贫困最好的安全网，因为在大多数发展中国家，70%以上的人口以农业为生。如果我们对新遗传学成果弃而不用，这对于资源匮乏的农户和建设可持续国家粮食和营养体系都是一种巨大的损害。

Evenson和Gollin（2003）的报告称，即使在20世纪九十年代，国际农业研究磋商小组就对大部分的粮食作物拥有较多的新品种；所有推出品种中的35%都是以国际农业研究磋商小组的杂交品种为基础的，另外22%的品种也有国际农业研究磋商小组的杂交品种作为父母代或其它祖代。Evenson和Gollin指出，来自各国际中心的种质资源帮助发展中国家利用其它国家对作物改良投资的溢出效益，并从而提高了生产率。如果在早期这些发展中国家只能利用自己现有的遗传资源进行作物改

良的话，其工作成本会很高，或甚至根本无法进行改良。

粮食作物改良技术的影响

大量的事实证明了现代农业科技和新作物品种在国际上的流通对生产、生产率、收入和人类福利的影响。Evenson和Gollin（2003）就所有主要粮食作物的新品种的采用范围和影响提供了详细的资料。新品种的采用率（所有作物的平均值）在绿色革命的20年期间迅速得到提高，在其后的几十年中增长更为迅速，从1970年

的9%到1980年的29%，从1990年的46%到1998年的63%。而且，对许多地区和对许多作物而言，第一代新品种已被第二、三代的新品种替代（Evenson和Gollin，2003）。

在过去40年中，农业产量的增长主要归功于每公顷单产的提高，而不是靠扩大种植面积。例如，粮农组织数据显示，在所有发展中国家中，小麦的产量从1960年到2000年增长了208%，水稻增长了109%，玉米增长了157%，马铃薯增长了78%，木薯增长了36%（粮农组织，2003）。全要素生产率的发展趋势与部分生产率措施的发展趋势是相一致的，如产量增长率（Pingali和Heisey，2001）。

在过去的几十年中，几位经济学家对高产新品种的投资回报进行了详尽的分析。最近的几份报告回顾并分析了过去30年间进行的数以百计的研究得出的数据，计算了对农业研究投资的社会回报率。这些研究审议了非洲、亚洲、拉丁美洲和经济合作与发展组织（OECD）国家和国际公共机构的投资以及由私营部门进行的投资（Alston等人，2000；Evenson和Gollin，2003）。虽然这些研究是通过不同方法进行的，但它们的结果都相当的一致。农业科研公共投资的平均社会回报率大约为40-50%。私营部门科研工作也产生了相近的社会回报率。

农业科研对作为食品净购买者的城市穷人和农村穷人的主要作用是降低食品价格。广泛采用新种子化肥技术使得食品供应作用发生了极大的改变，不但增加了产量，而且降低了食品的实际价格：

农业科研在改善穷人购买力方面的作用 — 通过提高收入和降低主要食品的价格 — 大概是农业科研所带来的主要营养效益。因为只有穷人才会挨饿。穷人的收入中有相当高的比例要用于购买食品，科

研带来的供应变化对收入产生的影响也能产生重大的营养效益，特别是当那些技术本来就是针对最贫穷的生产者时，这些效益就更为明显。

（Alston, Norton和Pardey, 1995: 85）。

经济学家所做的研究也提供了实证，证明农业部门的增长会给整体经济带来有利影响。Hayami等人（1978）说明了在乡村一级，稻米产量的迅速增长刺激了需求，推动了土地、劳动力以及非农业产品和服务的价格上涨。在部门水平上也证明了农业的确是整体经济增长的引擎，见Hazell和Haggblade（1993）；Delgado、Hopkins和Kelly（1998）；以及Fan、Hazell和Thorat（1998）。

一旦新品种被采纳使用，接下来的一系列技术将在降低生产成本方面做出极大的贡献，这些技术包括农业机械、土地管理措施（通常与除草剂使用有关）、化肥的施用、综合病虫害防治以及（新近出现的）优化的水管理措施。虽然许多绿色革命技术都是以一揽子的方式开发和推广的（如新的植物品种加上推荐的化肥、杀虫剂和除草剂用量以及水分控制措施），但是这些技术中的很多内容都是以逐项和逐步的方式推广的（Byerlee和Hesse de Polanco，1986）。技术采纳的顺序是由要素的不足和潜在的成本节约决定的。Herdt（1987）对菲律宾水稻的作物管理技术的采纳顺序进行了详尽分析。Traxler和Byerlee（1992）对墨西哥西北部索诺拉地区的小麦作物管理技术的采纳顺序进行了类似的分析。

尽管在生产力增长方面从绿色革命中获益最多的是那些生产环境良好的高潜力地区，但生产环境较差的一些地区也通过技术溢出效益和通过劳动力向生产率较高地区迁移而受益。根据David和Otsuka（1994）的看法，在条件良好和

条件较差地区之间的工资趋同是重新分配由技术变化带来收益的首要措施。Renkow (1993) 也根据巴基斯坦较好和较差地理环境中小麦的种植情况中得出了相似的结果。Byerlee和Moya (1993) 在他们就采纳小麦新品种的全球评估报告中得出结论：随着时间的推移，条件较差地区对新品种的采纳能逐步赶上条件较好地区，特别是当为那些为高潜能地区培育的种质资源经过进一步改良使之更好地适应边际地区的生产环境后，在条件较差地区采纳的速度就更快。就小麦而言，在20世纪八十年代和九十年代，干旱环境中小麦产量增长的潜力为每年大约2.5% (Lantican和Pingali, 2003)。最初，边际地区的产量增长潜力是技术溢出的结果，将为高潜力生产地区培育的品种进行改良使之适应边际地区的生产环境。但在20世纪九十年代，产量潜力的提高则应归功于特别针对边际生产环境培育出的新品种。

基因革命：改变农业研发格局

在20世纪六十年代、七十年代和八十年代，私营部门对植物改良育种科研的投资是有限的，特别在发展中国家，原因是缺少对改良产品专利的有效保护机制（插图12）。这种状况在20世纪九十年代随着异花授粉玉米等杂交品种的出现而得到改变。杂交品种的经济效益促进了发展中国家中种子行业的萌芽，起初是发达国家的跨国公司在经营，随后国家公司也开始发展起来 (Morris, 1998)。尽管发展中国家种子行业快速发展，但其活动至今仍是有限的，许多市场仍没有得到充分的服务。

当美国和其他工业化国家允许人工进行的基因改变和遗传改良植物具有专利后，对私营农业科研活动的激励进一步地提

升。1995年世界贸易组织达成《与贸易有关的知识产权问题的协议》(TRIPS)，进一步加强了上述国家保护措施。该项协议责成世界贸易组织(WTO)成员对生物技术发明(产品或工艺)提供专利保护以及通过专利或特别措施对植物品种提供保护。这些专利保护措施为私营部门进入农业生物技术研究领域提供了积极性(插图12)。

大型农用化学品跨国公司是转基因作物开发的最早投资人，尽管许多前期基础性科研是由公共部门承担的，并通过发放专属许可证向私营公司提供。农用化学品公司涉足转基因作物研究和开发的原因之一，它们预见到杀虫剂市场需求将会下降，因此转而寻找新的产品 (Conway, 2000)。

化学公司采用的方法是收购现有的种子子公司，首先在工业化国家中收购，随后在发展中国家收购，从而快速打入植物改良领域。这些国家种子子公司和跨国公司的合并具有经济意义，因为二者在种子品种开发和种子营销方面各有专长 (Pingali和Traxler, 2002)。这一过程是一个连续体，其上游活动是了解有用的基因(基因组学)并开发转基因植物，然后接下来的下游活动则是进行适应性回交，将转基因引入商业化品系中，再向农民提供种子。上游活动产生的产品对多种作物和农业生态环境来讲都具有世界范围的应用性。相反，转基因作物和品种只特别适用于特殊的高端农业生态市场。换句话说，溢出效益和规模经济越到连续体的适应性末端就降得越低。同样，研究成本和研究难度也是越到下游越低。因而，生物技术产品的研发和营销就出现了明确的责任划分，由跨国公司负责提供上游生物技术研究，地方公司负责提供具有商业化优势的作物品种 (Pingali和Traxler, 2002)。

对公共部门研究系统来讲，从国际公

插文 12

公共利益与知识产权

公共利益是能给全社会带来好处的事物，而不仅仅是由创造者个人占有收益。这些好处有时被称为溢出效益。公共利益是非竞争性的、非排除性的。非竞争性是指所有人均可平等地获得该利益，即一个人的消费不会减少另一个人可以获得的消费量。非排除性是指无法阻止不付费者进行消费。由于这些特征，私人创新者不能占有其创新带来的全部社会收益，除非可以阻止未经许可的使用行为。鉴于私营公司不能从生产公共利益的研究中充分获益，所以它们不愿对这一社会效益极高的研究领域进行投资（Ruttan, 2001）。

包括生物技术研究在内的农业研究成果，均具备公共利益两大特征中的一个或两个。例如，任何一个科学家都可以使用水稻基因组结构的知识，而不会因此减少其他科学家可使用知识的数量，而且一旦该项知识在学术期刊或互联网上发表，就很难阻止其他人使用该

项知识。另一方面，一个转基因植物品种也在某种程度上具有公共利益的特征（例如很难完全阻止未经许可的人使用），但并不是一个纯粹的公共利益，因为种子可以用光，因而至少可以部分阻止未经许可的使用行为。

阻止未经许可使用植物品种的方法有两种，即生物手段和法律手段。杂交种子可以留种、繁育和再次播种，但是产量和品质有明显下降，所以杂交法向育种者的创新成果提供了一种生物保护。遗传使用限制技术是另一种对知识产权的生物保护，已经提议用于转基因作物。用这些技术生产的种子具有不育性，或者需要使用一种特殊化学品才能激活其新性状。由于公众反对不育种子法，孟山都公司最终取消了这项开发工作。专利、商标和合同等法律保护措施也可以保护知识产权，但是这些措施通常保护不够全面。

司获取溢出效益的选择机会不是十分明显。公共部门研究计划通常是根据国家政治的需要而确立的，而国家与国家之间的直接技术转让也是有限的（Pingali和Traxler, 2002）。严格遵循政治规定极大地降低了技术创新在其它相近农业气候区的溢出效益。国际农业研究磋商小组种质资源交换体系的运行作为几种重要的作物起到了缓解问题的作用，但是，受技术专利性限制，这种体系是否能适用于生物技术产品和转基因作物就不得而知了。

生物技术科研投资

要了解今天的私营部门对农业科研的投资水平，我们只需看一看其每年用于科研的预算水平与公共部门针对发展中国家农业的科研预算水平就清楚了（Pray和Naseem, 2003a）。世界前十名跨国生物技术公司每年用于农业研发的总经费近30亿美元。相形之下，最大的国际公共部门农业技术的提供机构，国际农业研究磋商小组，每年用于植物改良研发的预算还不足3亿美元。发展中国家，象巴西、中国和印度，拥有最大的公共部门农业研究计

表 3
作物生物技术科研经费估算

	(百万美元/每年)	(百分比)
	生物技术研发	生物技术占部门研发比重
工业化国家	900-2 500	
私营部门 ¹	1 000-1 500	40
公共部门	900-1 000	16
发展中国家	65-250	
公共（自有资源）	100-150	5-10
公共（外援）	40-50	...
国际农业研究磋商小组各中心	25-50	8
私营部门
世界总额	2 065-2 730	

¹ 包括用于发展中国家的未知研发数额。

资料来源：Byerlee和Fischer，2001。

划，但它们各自每年的预算还不到5亿美元（Byerlee和Fischer，2002）。

发达国家和发展中国家在农业生物技术研究经费方面形成鲜明的对比（表3）。即使将发展中国家的所有公共资金——国家、捐赠国和国际农业研究磋商小组各中心的经费——都加在一起，发达国家用于公共部门生物技术研发的经费仍是发展中国家的4倍。几乎没有发展中国家或国际公共部门机构拥有发明创造生物技术独立源的资源（Byerlee和Fischer，2001）。

目前找不到有关发展中国家私营部门生物技术研发的综合数据，但看起来似乎科研活动多数都是由跨国公司承担的转基因品种的试种活动。地方研究机构承担了一些工作（例如在巴西和南非，地方私营甘蔗研究所就具有相当大规模的生物技术研究计划）；在印度，几家地方种子企业也拥有生物技术研究计划（如著名的马哈拉施特拉杂交种子企业[Mahyco]）。这些私营部门的总投资额至今不详，但毫无疑问要少于发展中国家公共部门用于生物技术研发的投资额（Pray和Naseem，2003a）。

从实地试验看转基因作物研究

虽然总的生物技术科研经费在公共部门与私营部门之间是比较均等分配的，但新技术的开发则几乎完全掌握在私营部门手中。¹到目前为止已在世界范围进行商业化生产的所有转基因作物都是由私营部门开发的，但中国例外（见第4章）。私营部门在开发转基因品种中所占的主导地位表明，对穷人具有重要性的作物和生产限制因素可能被忽略，因为这些种子的市场需求可能是很小的。

自第一批实地试验在1987年被批准后，目前已进行了81种不同转基因作物的11000项实地试验（图1和表4），但只有15%是由发展中国家或转型国家进行的。²这表明，这些市场缺少商业机会，政

¹ 目前还不能提供所有农业生物技术实地试验的综合数据。本小节只涉及转基因作物试验。

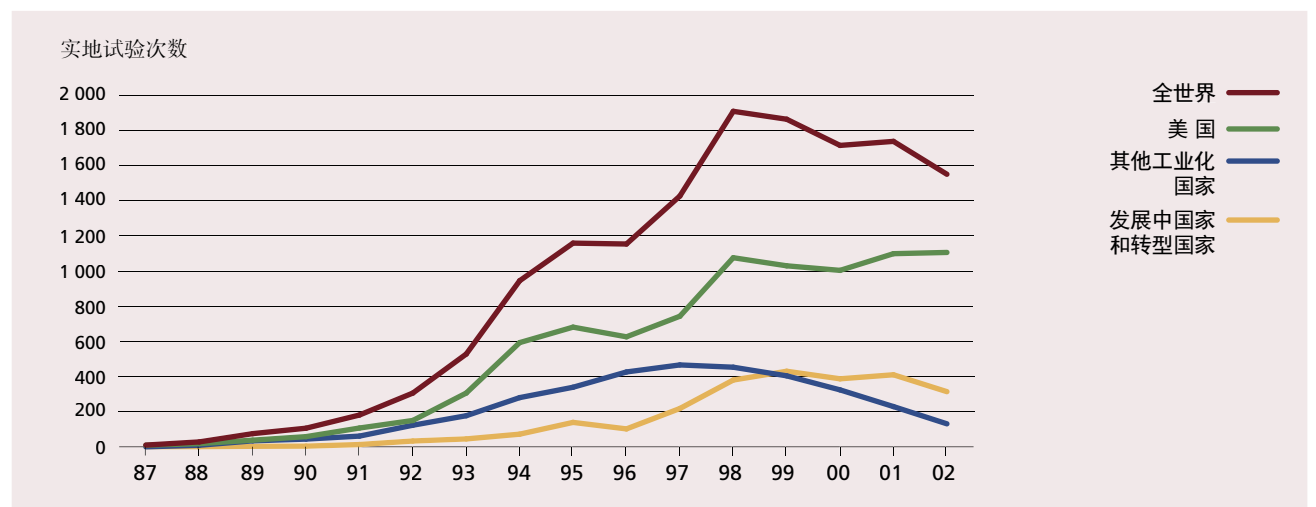
² 本数据的来源将每一块试验田作为一项单独的试验，因此，同一种转基因作物可能在一个国家内有多项试验。

表 4
按作物和区域列出的实地实验

	玉米	双低油菜	马铃薯	大豆	棉花	番茄	甜菜	烟草	小麦	水稻	其他	总计
试验总数	3 88	242	088	782	723	654	394	308	232	89	6 0	05
美国和加拿大	2 749	826	770	552	407	494	118	194	190	102	1 087	7 489
欧洲/新西兰/澳大利亚/日本	452	366	227	20	72	89	237	61	23	36	316	1 901
转型经济体	61	17	27	7	2	2	33	6	1	0	9	1 550
发展中国家	619	33	64	203	242	69	6	47	18	51	198	1 550
占有作物的百分比	35		0	7	7	6	4	3	2	2	4	00
美国和加拿大	37	11	10	7	5	7	2	3	3	1	15	100
欧洲/新西兰/澳大利亚/日本	24	19	12	1	4	5	13	3	1	2	17	100
转型经济体	37	10	16	4	1	1	20	4	1	0	6	100
发展中国家	40	2	4	13	16	5	0	3	1	3	13	100

资料来源: Pray, Courtmanche和Govindasamy, 2002。

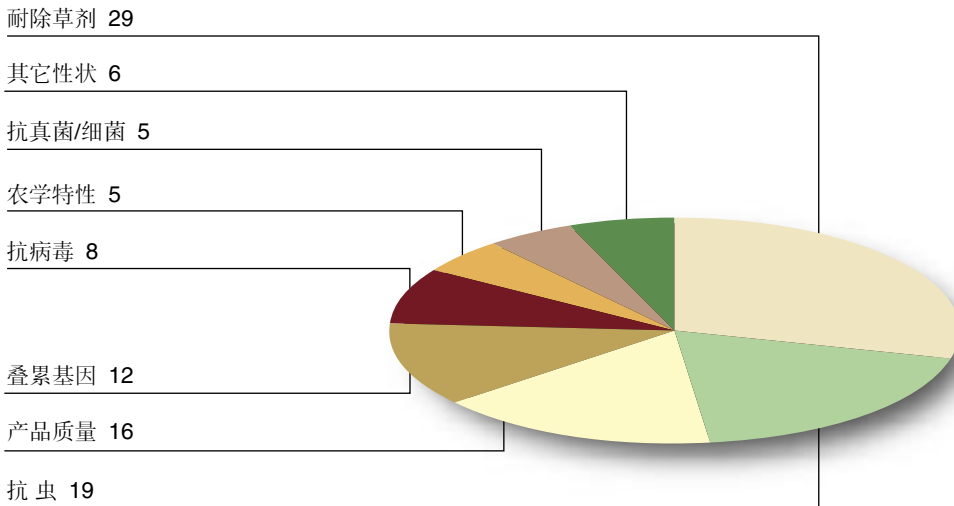
图 1
按国家类别列出的转基因作物实地试验



资料来源: Pray, Courtmanche和Govindasamy, 2002。

政府在为生物安全建立监管体制过程中存在困难。由发达国家和转型国家进行的试验数量近年来有所增加, 截止到2000年至少有58个国家已报告进行了转基因作物的实地试验 (Pray、Courtmanche和Govindasamy, 2002)。一些国家在某些年

图 2
在工业化国家检测的转基因作物性状，1987-2000年（百分比）



资料来源：Pray, Courtmanche和Govindasamy, 2002。

份停止了实地试验，开始重新评估它们的生物安全体系。

有关实地试验的数据证实，对发展中国家具有重要性的作物和作物性状可能没有得到应有的关注（表4、图2和图3）。主要粮食作物很少成为生物技术应用研究的对象，尽管对发展中国家最为重要的粮食作物象小麦和水稻的实地试验在近年有所增加，而且在2000年首次对一个转基因木薯品种进行了试验。其它主要粮食作物象香蕉、红薯、小扁豆和羽扇豆已得到一个或多个国家的批准进行实地试验。

发达国家约三分之二的实地试验和发展中国家四分之三的实地试验是针对两种性状的：耐除草剂和抗虫性能，或二者的结合（图2和图3）。虽然抗虫性对发展中国家是重要的性状，但抗除草剂对那些拥有富裕劳力的地区来讲并不是太重要。相反，对发展中国家和边际生产地区具有特殊重要意义的农作性状，如产量潜力和耐

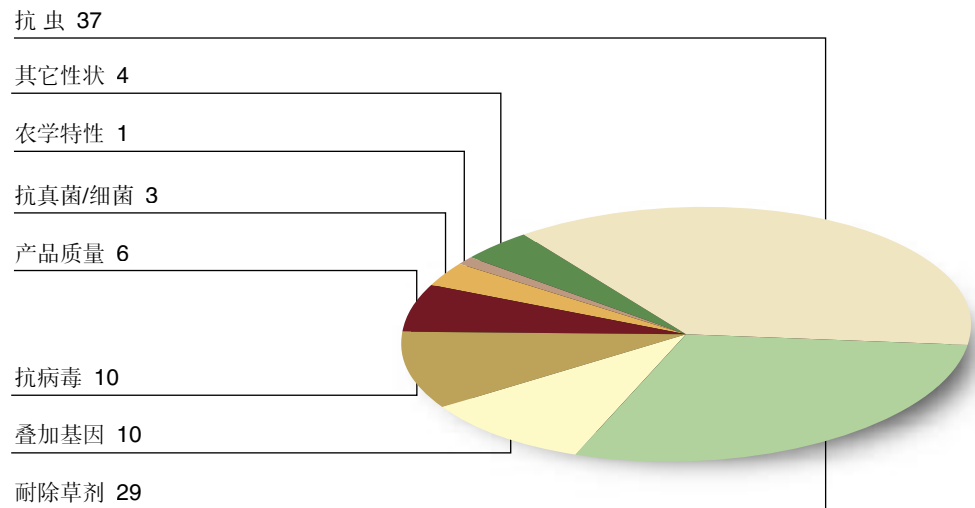
非生物压力（如干旱和盐碱）性能，却很少成为发达国家甚至发展中国家的实地试验对象。

转基因作物的商业化生产

2003年，转基因作物已在18个国家6770万公顷土地上进行商业化生产，比1996年增长280万公顷（图4）。虽然总体技术推广率是令人鼓舞的，但推广的地区分布很不均匀。仅6个国家、4种作物和2种性状就占到了全球转基因作物生产的99%（图5-7）（James, 2003）。

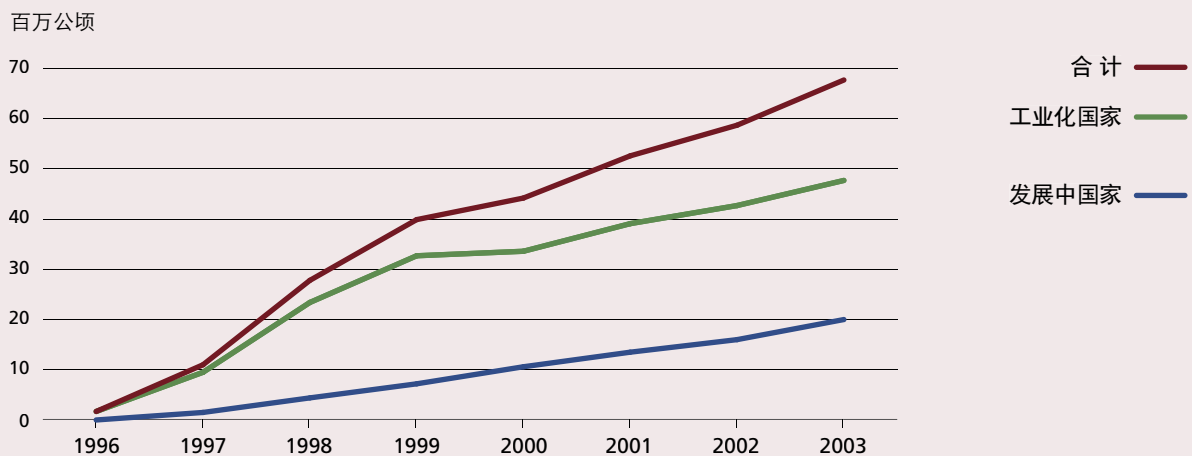
美国种植了世界上三分之二的转基因作物。虽然转基因作物面积在美国继续扩大，但其在全球转基因作物种植面积中所占的比例却在迅速下降，原因是阿根廷、巴西、加拿大、中国和南非增加了它们的种植面积。其它12个在2002年有转基因作物种植的国家的面加起来总共不超过全球总种植面积的1%。

图 3
在欠发达国家检测的转基因作物性状，1987-2000年（百分比）



资料来源：Pray, Courtmanche和Govindasamy, 2002。

图 4
全球转基因作物面积

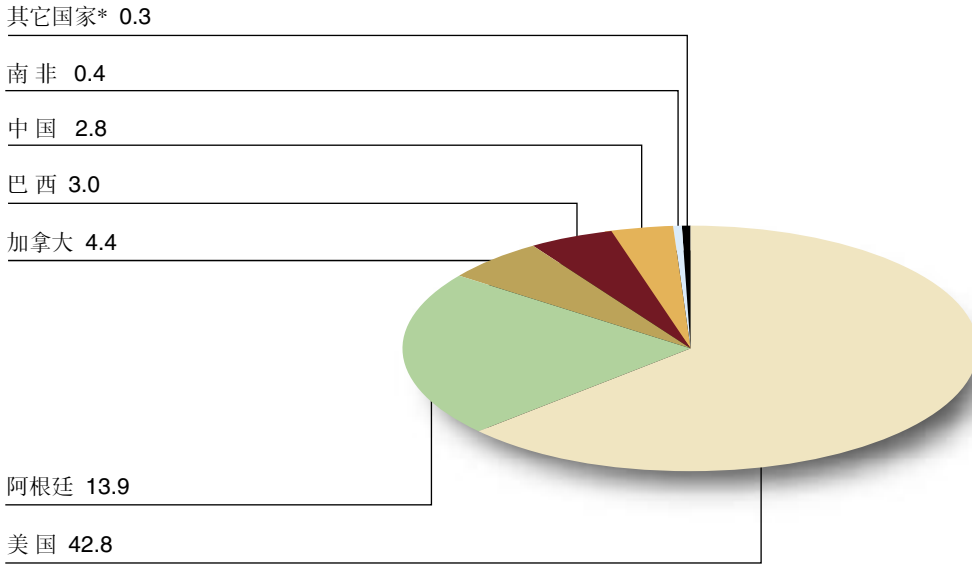


资料来源：James, 2003。

种植最广泛的转基因作物是大豆、玉米、棉花和双低油菜。耐除草剂和抗虫性是最常见的性状。耐除草剂大豆目前占全球大豆生产面积的55%，而耐除草剂双低

油菜占全球双低油菜面积的16%。目前正在商业化生产的转基因棉花和玉米品种包含抗虫、耐除草剂性能或二者兼顾，这两种作物的转基因品种分别占到总种植

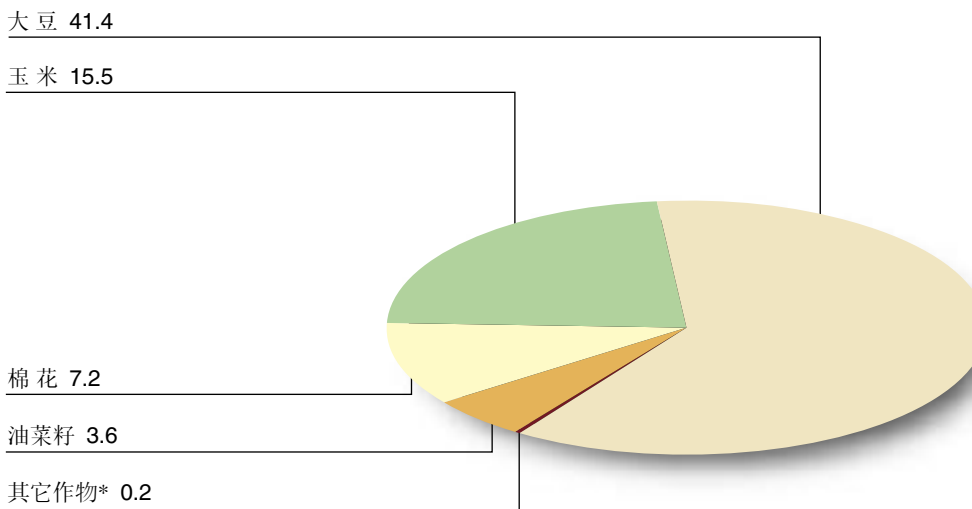
图 5
按国家列出的2003年全球转基因作物面积（百万公顷）



* 澳大利亚、保加利亚、哥伦比亚、德国、洪都拉斯、印度、印度尼西亚、墨西哥、菲律宾、罗马尼亚、西班牙和乌拉圭。

资料来源：James, 2003。

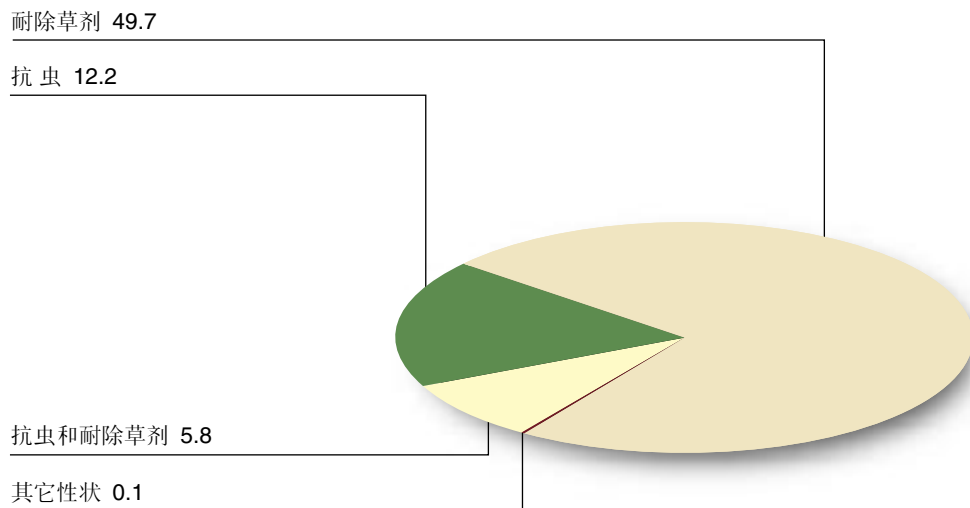
图 6
按作物列出的2003年全球转基因作物面积（百万公顷）



* 包括南瓜和番木瓜。

资料来源：James, 2003。

图 7
按性状列出的2003年全球转基因作物面积（百万公顷）



资料来源: James, 2003。

面积的21%和11% (James, 2003)。其它商业化种植的转基因作物包括极少量的抗病毒木瓜和南瓜。主要粮食作物——小麦和水稻——目前在世界上尚无转基因品种的商业化生产。

结论

农业科研的重点从公共部门转向私营跨国部门对正在培育的和商业化生产的品种类别具有重要影响。私营部门的科研很自然地将重点放在那些高收入国家的农民感兴趣的、具有商业价值的作物和性状，因为在那些国家里农业投入物市场十分活跃而且容易获利。农业公共产品，包括对居住在边际生产环境中的生计农民非常重要的作物和作物性状，对大型跨国公司来说吸引力不大。发展中国家农民能获得私营部门培育和商业化推出的转基因作物所

产生的经济溢出效益吗？哪些科研重点更能直接使穷人受益呢？

绿色革命的一条经验是农业技术可以在全球范围内传播，特别是在那些具有足够国家农业科研能力、将引进的高产栽培品种加以改良以使其适应当地生产环境的国家。发展中国家需要具备哪种科研能力，才能更好地利用绿色革命呢？鉴于公共部门获得的科研资源的减少，如何能调动更多的资源为穷人进行研究活动？如何构建公共部门与私营部门之间的合作伙伴关系以最大程度利用彼此的优势呢？

与绿色革命中高产品种的推广不同，基因革命的结果是提高公众的关注，遭遇巨大的管理和市场壁垒。这些问题会如何影响国际上新技术的转让呢？需要采取什么政策措施来促进转基因技术在全球的安全流动呢？

为我们带来绿色革命的改良品种是作为国际公共产品进行无偿推广的。而许多

基因革命的创新却受到专利或专属许可的限制。虽然知识产权保护极大地刺激了发展中国家私营部门的科研活动，但它们也限制了其他科研人员获得研究工具的机会。需要什么机构性的机制以促进公共产品研究的知识产权共享呢？

以下章节将研究这些问题，分析目前围绕转基因作物的有关经济（第4章）和科学问题（第5章）以及公众关注的转基因作物的利用问题（第6章）。最后的章节探讨使生物技术为穷人服务的未来前景。