

Implications of Gene Flow in the Scale-up and Commercial Use of Biochnology-derived Crops: Economic and Policy Considerations

Issue Paper No. 37

December 2007

Translation into Mandarin

November 2015



The Science Source for Food,
Agricultural, and Environmental Issues

基因流动对生物技术衍生作物的扩充和商业应用的影响： 经济和政策考量



玉米、油菜和大豆是三种主要的生物技术衍生作物，在世界范围内种植。（照片由美国农业部（USDA）在线图片中心和美国农业部农业研究服务图片库提供。）

摘要

本论文综述了基因流动的概念——不同个体、种群和世代（向子孙）之间、跨越空间维度的遗传信息的成功转移。本论文也讨论了一些相对有限的情况：基因流动有可能在商业化生物技术作物的生产中引起经济问题。提出基因流动的背景是一种相关现象——偶然混杂，即不想要的物质不可避免地成功进入谷物和作物产品的生产、渠道和营销体系中。

因为不同作物物种间的生殖生物学有明显不同，所以异交和随后的基因流动的可能性也有明显不同。经济方面或环境方面具有重大影响的基因流动进入这些作物的野生近缘种（weedy relatives）通常是有限的，因为作物和野生区域的有限的地理重叠，或是因为野生亲属作物不是特别具有竞争性或侵略性。

生物技术或非生物技术作物被赋予大量有用的性状。大多数这些性状可能对基因流动动力学有很小的影响，尤其是在农田外。商业化之前的规程考虑到引入的特定性状，这将有助于确保基因流动的影响保持在低水平。在性状特征允许的情况下，可使用各种各样的生产实践来减

轻基因流动，而且，正在发展新的遗传/分子控制技术来实现相似目标。

本材料是基于美国农业部赞助的工作（补助金编号 2005-38902-02319、补助金编号 2006-38902-03539、补助金编号 2007-31100-06019/ISU 和项目编号 413-40-02）。本文中所述的任何观点、发现、结论或建议都来自作者，并不必然反映美国农业部或爱荷华州立大学的观点。

保持或变更现存的安全和调控机制的潜在风险和好处，在公共政策考量的背景中有讲述。这些考量包括为在任何商品中使用未经批准的生物技术物质和在标签标注为非生物技术的商品中使用经过批准的生物技术物质建立阈值（threshold）的潜在好处。现存的监管代价高，并且阻碍有益商品的发展。更全面考虑利益和代价的监管方法可能为促进这些技术的发展提供便利。

直到今天，仍没有因为来自生物技术作物的基因流动而引起的主要健康或环境问题；实际上，这些作物已经引起显著的、有文件可证明的改善，并且在一些情况下，减小了环境的危害。讲述生物技术作物（还有非生物技术作物）的持续发展和商业化的切实可行的优势和挑战的教育，将成为公众理解和探讨与生物技术作物未来政策的关键。

农业科学和技术委员会发表论文第 37 期 特别小组成员		
<p>作者</p> <p>David R. Gealy (Chair), 阿肯色州, 斯图加特, 戴尔帮佩国家水稻研究中心, 美国农业部农业研究服务处。</p> <p>Kent J. Bradford, 加州大学戴维斯分校, 植物科学系, 种子生物技术中心。</p> <p>Linda Hal, 加拿大, 埃德蒙顿, 亚伯达大学/亚伯达农业、食品和农村发展中心。</p> <p>Alberta Agriculture, Food and Rural Development/University of Alberta, Edmonton, Canada</p> <p>Richard Hellmich, 艾姆斯, 爱荷华州立大</p>	<p>学, 昆虫学系, 玉米昆虫和作物遗传学研究分部, 美国农业部农业研究服务处。</p> <p>Alan Raybould, 英国, 波克夏, 先正达公司, 产品安全部。</p> <p>Jeffrey Wolt, Ames, 爱荷华州立大学, 基因修饰农业产品生物安全研究所。</p> <p>David Zilberman, 伯克利, 加州大学, 农业和资源经济学系。</p> <p style="text-align: center;">审稿人</p> <p>Chet Boruff, 伊利诺伊州, 莫林, 官方种子认证协会。</p>	<p>Luiz Antonio Barreto de Castro, 巴西农业研究公司 (EMBRAPA)。</p> <p>L. Val Giddings, PrometheusAB 公司——马里兰, 银泉, 美国及全球生物技术高级专业技术专家。</p> <p>Tom Nickson, 密苏里, 圣路易斯, 孟山都公司, 生态技术中心。</p> <p>Barbara Schaal, 密苏里, 圣路易斯, 华盛顿大学, 生物学系。</p> <p>农业科学和技术委员会联络人</p> <p>Kassim Al-Khatib, 曼哈顿, 堪萨斯州立大学, 农业系</p>

简介和背景

在过去的四分之一世纪，分子生物学家已经研究出了生物、化学和物理的方法来从一个物种中分离和扩增基因并将其引入到其它物种中。这些方法共同被称为转化。本质上而言，所有物种都相互关联，因为它们的细胞能够阅读共同的遗传密码。通过转化，基因被引入生物体内，这被称为转基因，而转基因的受体被称为转基因生物。概略来讲，其它的同义术语包括重组的、基因改造的或基因工程生物。本论文中，使用“生物技术”和“非生物技术”这些术语替代“生物技术衍生”和“非生物技术衍生”，来命名所讨论的转基因生物。

美国是生物技术作物的最大生产商；世界范围内，种植生物技术作物的区域在快速扩张，自从 1996 年 (James 2006) 首次商业化以来，增长超过 50 倍。2006 年，生物技术作物扩张至 1.02 亿公顷¹¹ (ha)，与 2005 年使用量相比增加了 13%，在六大洲的 22 个国家中生产。近期的扩张在发展中国家 (21%) 比在发达国家 (9%) 大。发展中国家 (主要是中国、印度、阿根廷、巴西和南非)，现在的种植面积超过了全球生物技术作物种植区的 40% (James 2006)。想要了解更多通常与农业生物技术相关的益处，读者可以直接登录美国农业部 (USDA) 农业技术网站 (USDA 2007)。

本文件的总体目的是 (1) 识别基因流动在与生物技术作物的关系中的性质以及基因流动潜在地可以导致经济问题的有限条件和 (2) 将基因流动置于农业商品的产品、渠道和市场体系的偶然混杂 (AP) 的更广阔的实际问题背景下。具体目标是

- 描述被赋予给生物技术作物的生物学性状的类型及其基因流动的后果；
- 审查来自 AP 相关的主要商业性生物技术作物的基因流动的可能性和出现；
- 在生物技术作物被批准商业化之前，总结其现存的健康和环境风险评估和现行监管机制；
- 讨论在市场中由基因流动派生的生物技术材料的潜在经济影响；和
- 探索政策和研究的潜在后果，包括促进农产品更高效、有活力、安全的贸易所必需的生物技术物质的阈值。

基因流动：定义和其在自然界中的出现

在自然界，遗传信息在不同个体、种群和世代 (向子孙) 之间、跨越空间维度地转移。这种现象，被称为基因流动，基因流动作为保持生物多样性的一种机制，有助于确保种群和物种在多变的环境下长期生存。在动物中，这种转移通常由亲密联系的个体动物间的杂种繁殖引起。在植物中，通常发生这种遗传信息的交换是通过花粉的传播。这些是自然的并且平常的现象，在传统作物 (非生物技术) 也在生物技术作物中发生，但是随着生物技术作物的发展，人们对理解和管理基因流动的兴趣在增长。人类出于多种目的，已经从多种多样的物种中挑选、修改并改良了作物。

基因流动不是一种固有的不利现象。基因流动几乎是在生物世界中普遍存在的，并且在植物物种发展过程中扮演了重要角色，正如它们今天存在的样子 (Raven 1980)。性亲和实际上，性亲和的植物物种间的基因流动被认为是广泛存在的，所以基于缺乏基因流动的物种的概念在应用于更高级植物方面被认为是无用的 (Raven 1980) (Raven 1980)。根据现代基因组学，一半的核心基因组被认为是由来源与其它品系的外源 DNA 组成。因此，基因在自然中流动，这种现象一直存在。在本论文的上下文中，基因流动指的是在性亲和植物物种间发生的花粉介导的基因流动。

植物物种在通过花粉引起的基因流动的各自倾向有所不同。很多物种具有促进花粉传播的特征，例如花吸引授粉媒介或花粉粒能够通过风力长距离移动。然而，其它物种在它们花朵开放前通过自授花粉而限制了基因流动。花粉从其生成位置移开，要引起真正的基因流动，只是满足以下条件才行：(1) 花粉首先影响受精而形成种子，并且 (2) 种子发芽，生产表达基因的植物 (即，没有被沉默)，并且能够生殖。

来源于转基因作物的基因流动的最可能后果取决于个体含有目标基因 (transgenes of interest) 的比率、未来从土壤源中获得其种子的多少以及某些植物的相对生殖成功。当植物携

¹¹词汇表中定义了斜体词 (除了属和种的名字)。

些基因的□率□低□，如果它□从土壤□源□中获得种子的较少，并且如果它□相□其它植物没有□□性□□（例如，一种抗除草□植物没有□洒特定的除草□）或者生殖□□，□些基因就会从□种群中消失。在基因□率的随机波□期□，基因从□种群中消失被称□□□漂□

（genetic drift）。如果□从土壤种子□源□中中获得种子量□高并且具有□□性或生殖性□□，那么□些基因更可能被保留和传播，而且有可能并入受体种群的基因□中。□一□程被称□基因渗入。如果携□引入基因的植物种群在数代（一个瓶□）中都持□在一个□低□率，且随后具有更有利于它□生殖和□争的条件，那么基因渗入也是有可能的。

在本□□的上下文中，通□种子运□和/或因机械方法（例如，脱粒）、□、水或□□或□物的散布而□生的□□性状□移，被□□是一种□独的机制，而非基因流动。然而，□体上，种子促□散布的特性——从母体植物中脱粒，一些□构可帮助种子保持空气□播或抓住□物皮肤或能在□物消化中幸存的□硬的外壳——□些□构在大多数已□化的作物中不存在。某些□□□草的种子模仿作物种子通过人□帮助其散布。种子也能通□在土壤中□芽前延□休眠期来□予散播基因的能力。

表1.使用所有可用的方法□例□予□植物的特性，以及一些□□的由花粉介□的基因流动□致的可能□果¹

	潜在的种植者/□□□□	潜在的非□□/人□安全□□	
		向野生/并存的□□植物	
		的基因流动引起的使□	迁地基因流动（off-site
	将作物改□□□管理的“□草”	存□□□化或造成新的	gene flow）可能□人□
□予□作物植物的新	或“自生长株”的自然□□□程	□事□□的自然□□□	健康/□养造成重大不
特性 ¹	的潜在可能性 ²	程的潜在可能性	利影响的可能性 ²
除草□耐受性	中 ³	低——中 ³	可忽略 ³
昆虫耐受性	低——中	中	可忽略
疾病耐受性	低——中	中	可忽略
（真菌、□菌、病毒）			
□虫耐受性	低——中	低——中	可忽略
□耐受性	低——中	低——中	可忽略
干旱耐受性	低——中	中	可忽略
冷/□寒耐受性	低——中	低——中	可忽略
□□力耐受性提高	低	低	可忽略
水使用效率增加	低	低——中	可忽略
□□反□改□	可忽略	可忽略	可忽略
氮使用效率提高	低	低——中	可忽略
早期季□活力	低	低——中	可忽略
□交活力（针□□胞□	低	低	可忽略
雄性不育培育体系）			
生□率增加	低	低——中	可忽略
植株高度减少	低	低	可忽略
耐倒伏性	可忽略	可忽略	可忽略
抗落粒性	可忽略	可忽略	可忽略
繁殖力改□	低	低	可忽略
开花□□改□	低	低	可忽略

雄性不育	可忽略	可忽略	可忽略
□量构成	可忽略	可忽略	可忽略
□量构成	可忽略	可忽略	低——中
改□成熟□□	低	低	可忽略
提高果□成熟	可忽略	可忽略	可忽略
提高□藏□□	可忽略	可忽略	可忽略
果□形状/味道改□	可忽略	可忽略	可忽略
种子蛋白或油含量	可忽略	可忽略	低——中
种子蛋白或油□量	可忽略	可忽略	低——中
糖或淀粉含量增加	可忽略	可忽略	低
改□□表达	可忽略	可忽略	可忽略
□养提高	可忽略	可忽略	低——中
植物制□的医□品	可忽略	可忽略	中——高
(PMP) (多种性状)			
工□用化合物	可忽略	可忽略	中——高

¹方法包括生物技□也包括□□植物育种方法——使用长期确立的方法在作物中引入并□□想要的性状。所有性状在商□化之前都通□□典培育方法最□得到控制。□取更多信息，参□USDA-APHIS(2007a)。□些性状包括□入性状，即通□降低其生□成本，一些人将其□□主要是有益于生□者，□包括□出性状，□是最近更多的，其通常被□□向消□者提供更多直接利益。欧洲委□会（2007）的一份□告总结了大量生物技□□品的使用和□□影响。需要更多的信息，□参考Barton等人（1997）；Bradford等人（2005）；Information Systems（2007）。

²□些估□旨在表达□与基因流动相关的最可能或最合理的□期□果的比□，而不是描述最坏的情况下非常不可能□生的情形。表格中列出的性状的基因流动的最可能□果可能在一种生物技□作物和另一种中有所不同，□是因□一些作物/□草物种□合相比其它一些更可能□生大量异交或者基因流动，而且一些□草物种本身相比其他一些物种就更具侵略性和更成□□（表2，表3）。

³ □□□□的程度的关键（作者估□）。可忽略的，“可忽略可忽略”；低，“低”；中等，“中”；高，“高”。□□程度□一个□出的特点或性状可能有□化，□取决于□物种的生殖生物学、性状本身及其使用的耕作制。

自然界中作物种子的散布□向于比其野生祖先要低，因□作物被培育□在收割前保留种子以便使□量最大化。收割作物□取谷物，然而，在□易期□作物具有□距离种子运□的可能，包括在运□期□谷物溢出的可能性。一些芸苔属植物（*Brassica spp.*），尤其是油菜，能在高速路沿□的沟渠内存活。□体上□，溢出的种子和谷物□没有在□田之外建立起持久的、引起麻□的种群（Beckie 等人，2006；Crawley 等人，1993；Kareiva 1993）。然而，在一些情况下，生物技□芸苔属种子已□引□甘□型油菜（*Brassica napus*）在□田外建立起□基因野生种群（Aono 等人，2007；Saji 等人，2005；Yoshimura、Beckie 和Matsuo，2006）。

作物中的□基因像任何其它基因一□，具有在种群内或种群□移□的可能性。在非生物技□作物中，来源于一种生物技□作物的花粉能□、并且确□□其它生物技□或非生物技□同□作物的品种受精；生物技□花粉能□并且确□□性亲和野生植物受精；来源于一种生物技□作物的种子能□并且确□□得与不同品种的种子混□，或者甚至与一个不同的作物物种种子混□。在具有□高自然水平的交叉受精或异交的作物物种中，基因流动可能□其□AP的□献比例更高。

在美国和世界的其它一些地方，已□建立了大量□□改良□目，□些□目□予作物各种各

□有用的性状。已□良好确立的*传统育种方法*，包括□□*基因突□*或*广泛□交*，□有通□□化的直接基因□移，□些方法已□被用于作物改良。所有□些方法被用于一个非常多□化的性状□，包括□昆虫、除草□、疾病和病毒的抗性；雄性不育；延□成熟；改善□养；□有耐□力（表1）。

基因流动和偶然混杂的区别

基因流动是一种先于人类几百万年的生物学特征，而 AP 在很大程度上，是人类对生物学原料的处理加工品。人们在很早之前就知道偶然混杂；偶然混杂其涉及到传统作物，最近更成为生物技术作物的一个问题。没有采取代价可能很大的额外措施，一些低水平的 AP 被认为在大规模商品农业中不可避免。

Kershner和McHughen已□□要概括了AP在来源于已□定的种子的□□商品作物生□中的概念：“……作物开始□[种子]的□度最高，□在商□上是可以完成的，而后□得越来越不□，因□各种各□的物□在每一步都会渗入—从□□到粮□，再到加工者，再到零售商，再到消□者……在□基因作物的背景下，□□描述了在□□和有机作物中□基因种子或其他原料的非故意的混□。至于□批准的□基因商品作物，□□不是□事表□、食品安全、□境保□或□物或人□健康……而是，□偶然混□的关心是□□上的关心：市□准入、合同□□和消□者喜好……因此偶然混□是有□史渊源的，也是普遍存在的。事□上，在□□的、有机的和□基因商品□□之□的低水平混□既不□人惊奇，也不罕□”（CAST 2005）。

基因流动可能被□□□□植物、种子或□品与其它种子或□品非故意的微量混合的几种机制之一，人□并不是有意使它□□成□□，□□致了□些物□的偶然混□。目的□□很重要，因□AP通常适用于第二关心的物□的混□。因为一些物质的危害性而主动排除它，比起为了修饰或审美的原因而对其排除的被动偏好，两者是不同的。本□□的上下文中，基因流动□□的基□是（1）□□信息在种群□□移，（2）通□配子□移两性□合，□有（3）将可□□的等位基因从一个外来种群并入一个受体种群。基因流动可能促成或□起一个AP□□，但是也有其它造成AP的因素，包括种子通□机械方法散布，非故意的种子或谷物混合，□量管控失□、一个批次的□□辨□（其它来源的□□信息，但不涉及配子□移）和□□的人□□□。作物到作物的基因流动对造成AP的因素之一，因□收□的谷物通常□入市□体系。然而，作物到野生□属的基因流动通常不是造成AP的因素。

世界作物的野生/□草化近□种的基因流动可能性

只要种群之间出现配子转移，那么杂草化就是一个基因流动问题。如果一种生物技术作物与一种非生物技术作物或野生或杂草物种发生杂交，基因流动就是个问题。如果生物技术作物由于种子转移而逃到野外并变成一个杂草野生种群，这不是真正的基因流动（像本论文定义的那样），因为在种群间没有遗传信息的交换，即使这类种子转移带来的经济的或环境的结果可能在一些情况下很重要。

当试图了解来源于生物技术作物的基因流动的后果时，以涉及到世界食品和饲料产品的主要作物为背景来考虑这个问题是很有帮助的。世界范围内，将近 200 种植物物种参与了几乎所有重要的人类经济和烹饪活动，并且这其中将近 10%的植物提供了人类 70%到 90%的热量消耗（表 2）。因此，使用生物技术作物关键要考虑的是，从非生物技术食品和饲料作物流向相同的作物或野生和杂草化近缘种的基因流动的历史和影响，以及流向杂草化近缘种（weedy relatives）的基因流动将导致具有侵略性的杂草-作物杂交体的杂草化种群的可能性。

一篇最近的审查报告表明，全世界除了 4 个以外的所有 25 个最重要的粮食作物中存在性亲和和杂草化近缘种 (Warwick 和 Stewart, 2005)。然而，在全世界 180 种最具破坏性的杂草中，只有 5 组 (水稻、高粱、油菜、甘蔗和燕麦相关的杂草) 与最重要的作物是性亲和的，这些最具破坏性的杂草共同造成所有作物损失的 90% (表 2)。显而易见的是，世界最具破坏性的杂草和世界最重要的作物之间的基因流动结合的可能数量很小 (Warwick 和 Stewart, 2005)。

潜在的基因流动通常不会或不能转化为真实的基因流动，其中有各种原因，包括因为栖息地或地理分布不同而造成的物种分离。在很多情况下，作物的主要产品区域及其相容的杂草化近缘种的地理分布明显地不重合。与野生杂交和非同步开花期的遗传障碍可能进一步限制基因流动。这些事实强调：可能导致极其麻烦或不能管控的问题的杂草-作物杂交体的数量很小。

然而，值得注意的是，尽管一种特定的野草可能全球排名不高，但其可能造成一个当地的或地区性范围内的重大损失——例如，亚洲栽培稻 (*Oryza sativa*) 和山羊草 (*Aegilops cylindrica*) 的大肆生长，它们是水稻和冬小麦的主要杂草化近缘种，分别生长在美国和遍布全球，它们能够引起重大的经济损失，并且有时迫使农民暂时不轮种或放弃这些作物。关于作物与野生亲属间的基因流动的潜在后果的额外细节，Ellstrand (2003) 进行过讨论。

生物技术性状的性质——使用生物技术方法引入特定的性状——对评估流向杂草和野生亲属的基因流动的可能后果是首要的。杂草与除草剂耐受的生物技术作物杂交很可能受惠于一些农业田地中除草剂的使用。在很少使用或不使用这类除草剂的区域，将不会有助于杂草和生物技术作物的杂交。通过在抗除草剂作物 (不存在基因流动) 中重复使用除草剂这种选择压力来发展杂草抗性，相比通过基因流动流向相关的杂草物种的方法，通常会造成更大的风险 (Beckie, Hall, Warwick, 2001; Warwick 等人, 2004)。

赋予压力耐受性 (例如，对缺水、病害、昆虫、盐胁迫或营养缺失) 的生物技术作物可能需要更多的详细审查，因为它们与杂草化近缘种的杂交可能会向农业和非农业区域传递选择性优势 (Andow 和 Zwahlen 2006)。因此，从生物技术作物中得到的一些性状，理论上讲可以为有问题的杂草或野生物种的发展提供便利。但是高度驯化的作物，例如玉米或小麦 (无论是作为自发生长株还是作为与野生亲属的杂交体)，相比驯化程度更低的作物如油菜籽、栽培的燕麦、甘蔗和水稻，入侵性依然将会相对较小 (Warwick 和 Stewart, 2005)。

更关心的是来源于外缘土地上的杂草或其它植物的威胁 (Warwick和Stewart, 2005)。杂草上所有作物植物的种子或谷物已在过去两个世纪中呈全球化分布，并且杂草上在所有情况下，相关的生物来自种子批次中出口的杂草，或来自出于食用或观赏的目的而被故意引入的野生植物。充分驯化的杂草或蔬菜作物不得妨害环境——这样的例子很少，尽管一些作物已被培育来显示病害和昆虫的抵抗力和其它一些性状，一些性状与目前正在通过基因工程开发的性状相似。一种有环境暴露史的已驯化作物中的一种或几种性状进行修饰，将会使其成为一种侵略性的杂草——这种可能性非常低，尽管一些作物是导致野生杂草种群形成的因素之一 (Gressel, 2005)。即便如此，来源于大多数生物技术作物的基因流动在农田田地之外可能会产生造成微小的或不可察觉的不利影响。

许多新型的、引入的杂草物种已经非常具有侵略性和成功。所有引入物种的约 10% 通常发展为引起麻烦的害虫；这类事情可能代价很高。在美国，公共的和私人的土地主花费相当多的资源来对付大量入侵性杂草带来的威胁，这些杂草例如多叶大戟 (*Euphorbia esula*)、野葛 (*Pueraria lobata*)、柽柳 (*Tamarix spp.*)、假高粱 (*Sorghum hal-pense*)、和狐尾草物种 (*Setaria spp.*) (CAST 2000)。

表 2. 世界 25 种最重要的粮食作物及其性亲和杂草物种¹

排名	作物	科学名	全球种	全球	相关的杂草：与作	在全球	地理分布
----	----	-----	-----	----	----------	-----	------

			植面积 ² (百万公顷)	产量 ² (百万吨)	物性亲和 ³	危害最大杂草中的排名 ⁴	
1	小麦	<i>Triticum aestivum</i> <i>T.turgidum durum</i>	208	557	<i>T. aestivum</i> <i>Aegilops cylindrica</i> <i>A. tauschii</i> <i>A. triumcialis</i> <i>A. ventricosa</i>	>180 >180 >180 >180 >180	尼泊尔 土耳其和美国 地中海: 伊朗 地中海: 摩洛哥和土耳其 地中海: 摩洛哥
2	水稻	<i>Oryza sativa</i> <i>O.glaberrima</i>	151	585	<i>O.sativa</i> <i>O.glaberrima*</i> <i>O. barthii</i> <i>O.ongistaminata</i> <i>O. rufipogon</i> <i>O. punctata</i>	77-180 >180 77-180 >180 77-180 77-180	世界范围: >50个国家 非洲西部 撒哈拉沙漠以南的非洲: 尼日利亚 撒哈拉沙漠以南的非洲 亚洲大陆和海岛到新几内亚和澳大利亚北部、拉丁美洲, 孟加拉共和国 尼日利亚和斯威士兰
3	玉米	<i>Zea mays</i>	141	636	<i>Z. mays</i> 属 <i>Mexicana*</i>	>180	墨西哥
4	大豆	<i>Glycine max</i>	84	190	<i>G.soya</i>	>180	亚洲东北部: 韩国、台湾、日本; 中国东北; 俄罗斯(西伯利亚); 阿根廷
5	大麦	<i>Hordeum vulgare</i>	55	139	<i>H.spontaneum</i>	>180	地中海以东到伊朗和亚洲中西部: 伊朗和约旦
6	高粱	<i>Sorghum bicolor</i>	44	59	<i>S. bicolor</i> <i>S. almun</i> <i>S. halepense</i> <i>S. propinquum</i>	>180 >180 前 18 >180	非洲和美国 阿根廷、澳大利亚、南非和美国 世界范围: 51个国家, 原亚洲西南部和邻近非洲 亚洲东南部: 菲律宾
7	小米	<i>Eleusine coracana</i> <i>Pennisetum</i>	35	29	<i>E.coracana</i> 属 <i>Africana*</i>	>180	非洲西部

		<i>glaucum</i>			P.sieberanum	>180	非洲西部和纳米比亚北部
8	棉籽	<i>Gossypium hirsutum</i> <i>G.barbadense</i>	32	57	G.hirsutum*, 野生1 G.tomentosum: 相容?	>180 >180	中美洲和加勒比海 美国
9	豆类, 干, 绿和 snap	<i>Phaseolus vulgaris</i>	28	26	P. vulgaris: 杂草-作物-野生复合体	>180	秘鲁和哥伦比亚
10	落花生 (花生)	<i>Arachis hypogaea</i>	26	37	A. hypogaea	>180	台湾
11	油菜籽 (油菜)	<i>Brassica napus</i> , <i>B.rapa</i>	24	36	B. napus B. juncea B.rapa (B campestris) Hirschfeldia incana (B.adpressa) Raphanus raphanistrum Sinapis arvensis (B. kaber)	>180 >180 77-180 >180 77-180 77-180	欧洲、阿根廷、澳大利亚、加拿大、美国, 7个国家 澳大利亚、阿根廷、加拿大、斐济、墨西哥和美国 世界范围(温带气候): >50个国家 欧洲、澳大利亚、非洲南部、阿根廷和美国 世界范围(温带气候): 65个国家 世界范围(温带气候): 52个国家
12	葵花籽	<i>Helianthus annuus</i>	21	26	H. annuus H. petiolaris	>180 >180	墨西哥、南美、美国, 11个国家 美国
13	甘蔗	<i>Saccharum officinarum</i>	20	1350	S. officinarum S. spontaneum	>180 77-180	台湾 亚洲、非洲、中东、中美洲, 33个国家
14	土豆	<i>Solanum tuberosum</i>	19	311	无		
15	木薯	<i>Manihot esculenta</i>	17	188	<i>M.esculenta</i> <i>Manihot</i> 属 *:全部 <i>M.reptans</i> *	>180	美州西南部向南至阿根廷

16	燕麦	<i>Avena sativa</i>	13	26	<i>A. Fatu</i> <i>A. sterilis</i>	前 18 前 18	世界范围：56 个国家，原产于欧洲、北美 欧洲、北美、中东和中亚，18 个国家
17	油棕榈果	<i>Elaeis guineensis</i>	11	139	无		
18	咖啡	<i>Coffea Arabica</i> <i>C. canephora</i>	11	7	无		
19	椰子	<i>Cocos nucifera</i>	11	50	<i>C. nucifera</i> ; 野生种群	>180	
20	鹰嘴豆	<i>Cicer arietium</i>	10	7	无	>180	
21	甘薯	<i>Ipomoea batatas</i>	10	137	<i>I. trifida</i>	>180	中美和南美：洪都拉斯和墨西哥
22	豇豆	<i>Vigna unguiculata</i>	9	4	<i>V. unguiculata</i>	>180	尼日尔和尼日利亚（路边杂草）
23	橄榄	<i>Olea europaea</i>	9	17	<i>O. europea</i>	>180	地中海盆地
24	黑麦	<i>Secale cereal</i>	8	16	<i>S. cereale</i> <i>S. montanum</i> *	>180 >180	阿根廷，芬兰，伊朗，土耳其和美国 地中海盆地以东从土耳其到伊拉克，伊朗
25	葡萄	<i>Vitis vinifera</i>	7	62	<i>Vitis</i> 属* <i>V. aestivalis</i> <i>V. candicans</i> <i>V. hastata</i> <i>V. rotundifolia</i> 、 <i>V. rupestris</i> <i>V. tiliacifolia</i> <i>V. trifolia</i> <i>V. vulpina</i>	>180 >180 >180 >180 >180 >180 >180 >180 >180	美国 美国 马来西亚 美国 美国 洪都拉斯 印度 美国

¹ 改编自 Warwick 和 Stewart (2005)。尽管此处展示的信息明确专注于供人类消费使用的作物，但是其中许多相同的主要作物也被大量用于动物饲料原料。一些传统上被认为是动物饲料（例如，苜蓿）的作物在一些情况下也被作为食品消费。

² 2003 年生产面积（百万公顷）和世界产量（百万公吨），来自 FAOSTAT 网站，<http://faostat.fao.org/default.jsp>。

³ 除了带星号（*）的所有物种被 Holm 等人（1979）列为杂草，或者被“全球杂草摘要”网站列为杂草，网址 <http://www.hear.org/gcw/index.html>。

⁴ Holm 分类：“前 18”：在 Holm 等人（1977）列出的危害最大杂草中排名 1 到 18 位；“19-76”：Holm 等人（1977）列为排名 19-76 位；“77-180”：Holm 等人（1977）列为排名 77-180 位；“>180”表明不在 180 种危害最大杂草

中或没有被列为一种杂草。

主要生物技作物生物学和基因流动潜力

作物的生殖生物学决定着异交的率。作物生殖生物学的范围能从无性的和几乎自授花粉到雄性不育的、100%的异交。种子散布是信息运作的另一个机制，其可被作物的生物学、收割方法和种子或谷物操作程序影响。大多数作物的种子生命期很短，如果在凉爽、干燥的条件下保存，可以保持可育性很多年，但是其一般休眠期有限并且在正常条件下在土壤中不会持续几年。

玉米、大豆、油菜和棉花代表了世界范围内 99% 的已商业化的全部生物技作物 (James, 2006)。作物物种间的基因流动的潜在量级和路径存在一些重要差别 (表 3)。所有这些作物的种子散布在一个极低的水平发生。大豆、小米和水稻的花粉散布是有限的。油菜是表 3 所示的 6 种作物中最近被驯化的作物。未收割或溢出的油菜种子相比其它 5 种作物有更大的机会在土壤中存活，导致杂草化自发生长植物或种群。即使这样，在超过十年的时间里，没有这种油菜种群的意外存活或建群 (Crawley 等人, 1993)。野生谷类黑麦也有在自发生长植物中存活的可能。获取更多关于大豆、玉米和油菜的生物学和基因流动潜力的信息，请参见文本框 1。

其它生物技术作物

除了主要的生物技术作物 (大豆、玉米、油菜和棉花)，美国也商业化种植了生物技术木瓜、西葫芦和苜蓿 (Lemaux 2005)。生物技术抗病毒品种使夏威夷木瓜产业恢复活力，这一点使其深受赞誉，并且现在超过一半的木瓜农田中种植。出于研究目的，许多转基因作物/物种被创造，但是很少能继续通过商业化监管程序。这些作物包括谷类作物、蔬菜、果实、装饰性植物、饲料作物、草坪用草和树木。另外被批准解除管制状态或处于撤销监管或批准流程中的物种包括康乃馨、爬行糠穗草、烟草、西红柿、李子、马铃薯、甜菜 (beet) 和糖用甜菜 (sugar beet) (信息系统, 2007; USDA-APHIS 2007a)。

国际上有限的生物技术水稻评估正在进行：伊朗开发了 Bt 生物技术水稻的商业产品 (James, 2006)；还有中国已经开发并对生物技术水稻进行田间试验，该水稻被认为将广泛种植，但是尚未正式批准用于国内消费。俄勒冈州有除草剂抗性的生物技术爬行糠穗草的花粉显示出在给相同物种和杂草化近缘种植物受精前可以移动几公里 (Watrud 等人, 2004)。

一种新兴出现的新型生物技术作物种类——医药品、营养品和工业用品——被设计用来为医药和工业产品生成特定蛋白质。对这些作物的广泛讨论不在本论文范围内，但是读者可阅读一些研究获取更进一步信：Berville 等人 (2005)；ISAAA(2006)；USDA-APHIS(2005,2007b)。

有机作物：与生物技术作物相关的问题

有机食品是美国农业很小的一部分，但是在增长中，目前占美国小于 3% 的食品市场。在欧盟 (EU)，在不久的将来，作为有机作物种植并且目前具有生物技术性状的作物比例不大可能明显地扩张 (Brookes 和 Barfoot, 2004a)。在美国，有机认证标准历史上被有机社团自己定义并自己实施，但是该标准在 2002 年被编进法律并创立了 USDA 国家有机项目 (NOP, 2002)。有机认证标准是基于程序而非产品本身。在最终的有机产品中没有设立对生物技术原料的检测要求和阈值或标准 (NOP, 2002)。

在传统的食品生产系统中，为在食品中出现但消费者不希望或不想要的许多物质设立容限度 (tolerance) 已经成为惯例。对于在有机认证食品中因基因流动而非故意出现的生物技术元

素，有机社团在认证标准中有能力贯彻其实际容限度。（用一种相似的方法，有机社团已经建立了关于意外出现的未经批准的农药的实际容限度。）应该鼓励这个惯例，预防因生物技术作物低水平 AP 引起的市场干扰。

在美国和欧洲，与生物技术作物和有机食品相关的其它问题是适时且重要的，但是它们超过了本论文的长度限制。获取更进一步的信息，读者可阅读下述额外的研究：Bradford（2006）；Messean 等人（2006）；OFRF（2003）。

表 3.美国 and 加拿大主要生物技术作物的生产和出口
和可能影响商业化后转基因散布和留存的生物因素

	大豆	玉米	油菜	棉花	水稻 ²	小麦 ²
美国，2005 年收获面积（百万公顷）	28.9 ^a	30.4 ^a	0.45 ^b	5.6 ^a	1.4 ^a	20.3 ^a
加拿大，2005 年收获面积（百万公顷）	1.17 ^c	1.13 ^c	5.51 ^c	0.0 ^c	0.0 ^c	10.1 ^c
美国，2005 年生物技术百分比	87 ^d	52 ^d	82 ^b	79 ^d	0 ^b	0 ^b
加拿大，2005 年生物技术百分比	60 ^b	60 ^b	82 ^b	n/a	n/a	0 ^b
美国 ³ ，2005 年出口产量百分比	31 ^a	19 ^a	20 ^a	75 ^a	52 ^a	48 ^a
加拿大 ³ ，2005 年出口产量百分比	36 ^f	2 ^e	48 ^c	n/a	n/a	60 ^a
异交的程度	非常低	中高(长 距离时 非常有限)	中等(长 距离时 有限)	低	非常低	非常低
美国 ^{4,5,6} 出现性亲和野生或杂草化近缘种	-	-	++	-	++	+
农田内在轮作作物中发现的自生长株程度 ⁶	+	++	++	-	++	++
农田外自生长株或自然化的种群的程度 ⁶	-	-	++	-	-	-

¹ 表格中数字数据的参考文献

^aUSDA-ERS 2007a; USDA-NASS 2006。

^bJames 2005。

^cStatistics Canada 2007a。

^dUSDA-ERS 2007b。

^eIndex Mundi 2007。

^fCSEA 2006。

² 生物技术水稻和小麦在美国没有商业化生产。使用传统突变培育方法开发的咪唑啉酮农药抗性品种从 2002 年开始就在美国种植。到 2005 年，这些品种分别占据了将近 20% 的水稻和小于 10% 的冬小麦生产区域，并且它们的种植率有望继续增长。

³ 出口百分比：在特别说明整粒种子对比 研磨种子、面粉、油被的地方，使用整粒种子的出口数据。这能与结果表格中呈现的数据有显著性差异。例如，USDA 表格显示，31% 的大豆产量作为大豆出口，而 9% 作为豆粕出口。论文中的表 3 使用了 31% 的数据。

⁴ 野生棉花出现在夏威夷和佛罗里达。油菜、水稻和小麦的野生亲属分别包括芸苔属白菜 (*Brassica rapa*)，杂草化水稻 (*Oryza sativa*) 和多节型山羊草 (*Aegilops cylindrica*)。

⁵ 相关信息可在 Ellstrand (2003,2006) 和 Warwick 和 Stewart (2005) 中找到。

⁶ 符号意思：(-) 表示不存在，(+) 表示存在，还有 (++) 表示常见。

削弱基因流动的遏制方法

制药用、营养用和工业用的生物技术作物通常生产非食品类蛋白质或其它物质，支持预防其进入食物链并最小化其环境和人类暴露的额外措施。正在发展新型分子方法来预防不想要的转基因在生物技术作物与它们的亲属间转移（转基因遏制），或为了减小这类转基因在它们的亲属种群中影响和扩散（转基因削弱），作为遏制方法的替代或补充。

Gressel 和 Al-Ahmad（2005）最近审查了很多这类分子方法，尤其是在以预防或最小化自生长株作物或野生/杂草化近缘种中的转基因建立（transgene establishment）这一背景下进行了研究。一种被广泛讨论的遏制方法是把转基因的目标定位到细胞质中细胞器（例如，叶绿体）的基因组。尽管它能发生，但是通过花粉传播细胞质的细胞器极其罕见，而且会极大减小由花粉造成的基因流动的可能性。它的一个局限会是其不能阻止转基因杂种的形成，转基因杂种的形成是由于花粉从野生/杂草化物种流入到生物技术作物植物中。

极大减少这种花粉流出可能性的新型方法是将有细胞质遗传性状的转基因与雄性不育联结，这样接收转基因花粉的野生的/杂草化和非生物技术的亲属不能生成种子。通过在相同的生物技术作物中结合额外的遏制机制，基因流动的可能性会更进一步地减小。

其他遏制方法，例如所谓的“基因使用限制技术”（GURT），专注于在第二代种子中造成不育。这种绝育效果可以被限制到品种水平（即，不能被种植者再次种植的品种，除非购买新的种子）或者到性状水平（除非对作物使用一种有专利的催化剂化合物，否则不会发生绝育）。这种方法的优势是不管是因为花粉的流入还是流出而造成的转基因自发生长株或杂种，都不能生成可育的种子。

一些转基因削弱方法很有希望，并且在烟草和含油种子油菜中证明了其效率（Gressel 和 Al-Ahmad, 2005）。这些制度旨在预防转基因在野生/杂草化或自生长株种群中显著积累，但是不会预防初始基因转移。想要的主要的转基因与另一种携带特定性状的基因紧密连接，以便两种基因经常串联遗传。第二性状会对杂种的生殖健康和自发生长株的后代产生有害影响，并倾向于在农业生态系统和被野生或杂草化近缘种占据的自然区域内使其种群频率降低到最小。

其它方法包括允许只在收割后生产医药品蛋白，或要求收割后处理来激活该蛋白（ISAAA, 2006）。无论使用何种技术，这些方法中没有一种可能在所有可能场景中都是万无一失的。但是它们确实代表了一套新兴的替代技术，可以提供重要的生物学屏障来阻挡花粉介导的转基因逃离。在那些危害程度可以印证其使用的情况下，这些方法将适用于医药用、营养用和工业用性状，同样适用于传统的生物技术作物性状。

文本框 1. 大豆、玉米和油菜的生物学和基因流动可能性

	生产	花粉	种子和谷物	自发生长株
大豆 (<i>Glycine max</i>) 双子叶物种	世界主要植物蛋白和油的来源 (Boerma 和 Specht , 2004) • 在美国: (1)作为高蛋白动物饲料和油、工业化学品和健康食品使用 (2) 每年 185 亿美元	• 主要是自授粉 •在北美没有性亲和野生亲属 •邻近植株间的异交率为 2%或更少 • 在大于 15 米处异交有效量为 0 (Abud 等人, 2003; Ahrent and Caviness , 1994 ;	• 转基因的散布主要通过耕种、收割和销售期的种子散布 • 非生物技术大豆的种植者必须建立制度来获得想要的种子质量标准 (1)清晰定义产品预期 (2)为生产设置质量管理规程	• 来源于未收割的谷物的自生长株会使杂草控制选项复杂化（尤其是如果转基因携带抗除草剂性状）并发挥潜在的流向非生物技术作物的基因流

	<p>(3) 3000 万公顷</p> <p>(4) 将近一半作为谷物、膳食或油出口</p> <p>(5) 商业生物技术大豆在 1996 年引入, 为草甘膦抗性品种 (Parrott 和 Clemente, 2004)</p> <p>(6) 约 90% 对除草剂有生物技术抗性</p>	<p>Caviness, 1996; Ray 等人, 2003)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 蜜蜂可能促进交叉授粉增加 • 在生物技术和非生物技术作物品种间的基因流动的可能性有限 	<p>(3) 找到没有偶然混杂生物技术种子的种子来源</p> <p>(4) 考虑使用专用的务农设备、单独的储存设施、特定清洁程序或标准化的监控过程</p> <p>(5) 采用专业检测来证明谷类运输满足期望的质量标准</p>	<p>动桥梁的作用 (Owen, 2005)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 在美国从未收割的种子中会有自发生长株发生, 但是不大可能散布花粉或持续超过一个生长季节
<p>玉米 (<i>Zea mays</i> L., 也作 maize) 单子叶物种</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 美国是最大的生产国, 将 41% 的世界产量: 2005 年有 3040 万公顷, 230 亿美元 • 美国产量将 54% 用于牲畜饲料, 27% 用于精炼产品, 19% 出口 (美国谷物委员会, 2007) • 驯化已经产生高产量植株, 完全依靠人类, 用于繁殖 (Matsuoka 等人, 2002) • 大多数商品玉米来源于杂种 • 杂种种子产业提供大多数世界玉米种子 • 美国 1996 年引入的商业生物技术玉米带有来自土壤细菌 <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt) 的表达杀虫蛋白的杂种 • Bt (基于 Cry-1) 玉米吸引种植者是因为它保护产量、简化害虫管理和通过降低自然发生毒枝菌素 (<i>mycotoxin</i>) 的水平能产生更好质量的谷物 (Munkvold, Hellmich, 和 Showers, 1997) • 联合性状的产品给种 	<ul style="list-style-type: none"> • 异交作物带有单独的雄性 (雄穗, tassel) 和雌性 (穗, ear) 开花结构 • 每株植株的雄穗生产 1400-5000 万花粉粒 (Miller, 1985), 通常经历一段 5-8 天的时间段 • 大的花粉粒在气流中移动的能力有限 • 花粉很少能存活超过 1 或 2 小时 (Aylor, 2004; Raynor, Ogden 和 Hayes, 1972) • 大多数 Bt 玉米花粉落在接近来源处 (Ma, 2005) • 在大于 500 米的距离时很少发生交叉授粉 (Halsey 等人, 2005; Jarosz 等人, 2003); 大于 1 千米时微量的玉米发生异交 (Aylor, Shultes, and Shields, 2003) • 在美国或加拿大没有性亲和野生亲属 • 在墨西哥现代种类能与杂草化和野生墨西哥类蜀黍植株杂交, 墨 	<ul style="list-style-type: none"> • 当保留种子时, 杂交种子在下一代不会真正繁殖或保持产量优势, 所以农民每年购买新的种子 • 没有公司能保证一袋种子里没有生物技术种子, 反之亦然 • 没有玉米种子公司会保证它的种子是单一杂交原料 • 决定和验证玉米种子 AP 的可接受阈值是复杂的, 尤其是在要求非生物技术玉米种子和产品的市场中 	<ul style="list-style-type: none"> • 来自未收割的谷物的自生长株很常见, 并且能够使杂草控制选项复杂化 (尤其是如果转基因携带抗除草剂性状) (Owen, 2005), 但是通常不会持续超过一个生长季节 • 自生长株能够散布花粉到相邻的非生物技术作物田 • 当需要限制来源于生物技术品种的基因流动时, 就要考虑管理了

	<p>植者更多的选择来管理害虫和优化产量</p> <ul style="list-style-type: none"> · 只知道害虫种群在有机条件种植时可进化出 Bt 抗性 	<p>西哥没有允许种植生物技术玉米,但是允许进口作为食品和饲料</p> <ul style="list-style-type: none"> · 基因组由大约 50%的外源性来源的转座子组成 		
<p>油菜 (<i>Brassica napus</i>) 双子叶物种</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 育种为获取油品质量、为动物饲料提供高蛋白膳食,并且几种有害的自然产物含量低 · 种子世界范围内是第三重要的蔬菜油来源,大约 11% (USDA-FAS 2007) · 美国: 种植面积 40 万公顷 (James, 2005), 2005 年价值为 1.48 亿, 净进口 · 加拿大: 种植面积 550 万公顷 (加拿大统计, 2007a) 2005 年价值为 18.5 亿美元 (加拿大统计, 2007b), 产量的 48% 出口, 常作为散装粮食 (Index Mundi, 2007) · 种子生产使用开放授粉和杂交品种结合的体系 · 种植者很少再用来源于杂交品种的种子种植, 因为作物特性和活力下降 · 三种除草剂抗性性状在 1996 年得到商业化 · 在美国和加拿大使用生物技术油菜没有封锁通向大多数主要国际市场的道路 	<ul style="list-style-type: none"> · 主要自授粉, 但是与近植株异交的自生率 12%—55% (Légère, 2005) · 昆虫散布占主导地位, 偶尔通过风散布 · 与邻近作物的异交在正常的边界时平均为 1%, 并随距离变小 · 在适中的距离 (几百米) (Hall 等人, 2000) 和长距离 (几千米) (Rieger 等人, 2002) 下从生物技术花粉源中检测到花粉介导的除草剂抗性生物技术田间和非抗性农田间的异交 · 检测大多数开放授粉和杂交种子批次含有 AP 转基因, 量在微量到 2% 之间 (Légère, 2005)。 · 当一株油菜作物或自生长株异交时, 后代可能含有 2 个或更多除草剂抗性基因 (Hall 等人, 2000) 	<ul style="list-style-type: none"> · 收割后, 谷物进入处理系统并, 可能在出口或运输前混合 · 种子很小并可能在收割前丢失, 由于脱粒损失或非高效的收割 · 收割时的损失量很大, 可能超过最初的种植比率 · 谷物在处理系统中的运动和损失难以预测, 并提供熟知的更远距离的种子运输通道 · 在加拿大成功使用的管理实践, 已被大家普遍接受 (Beckie, 2006; Beckie 等人, 2004) 	<ul style="list-style-type: none"> · 谷物处理时的丢失的种子能沿着道路和在其他受扰区域发芽 · 存在于土壤表面上或附近的种子通常在第二年发芽并迅速耗尽 · 埋藏的种子能保持可育性很多年 · 目前, 在加拿大, 油菜自发生长株是作物农田和农田边缘的一种重要的杂草。相比基因流动, 这些自发生长株是造成 AP 的更重要的因素, 它们可能需要额外的清除管理规程 · 在除草剂抗性作物中, 不受控制的除草剂抗性自发生长株能够降低产量, 所以生产者通常结合除草剂和轮作抗除草剂作物来减少其丰度 (Beckie, 2006)

生物技术作物的监管和风险评估概要

生物技术作物的监管

在美国，所有开发中的生物技术作物可能的商业化被批准之前，都要经过广泛评估。在美国对生物技术的监管起源于“生物技术产品监管的协调框架”（1986）。“经济合作与发展组织”发布了报告（1986）表明，同时一个由伦敦皇家学会（皇家学会，2000）协调的工作组也指出，生物技术衍生作物的风险与传统上获得的产品的风险并没有根本不同，监管应该以逐项受理为基础，并基于一项产品的特点和终端使用，还有现有的法律为这些产品的监管提供充分权利。因此，在美国，生物技术作物只有在经过许可、上市前咨询、监督或经过一个或几个相关联邦机构的监管后方可上市，相关联邦机构包括：美国环保署（EPA）、美国农业部（USDA）——动植物卫生检查服务处（APHIS）和美国食品与药品管理局（FDA）。

总体而言，在美国 EPA（依据《联邦杀虫剂、杀菌剂和杀鼠剂法》[FIFRA]和《联邦食品药品化妆品法》[FFDCA]和 USDA-APHIS（依据《联邦植物害虫法》[FPPA]和《国家环境保护法》[NEPA]）监督商业发行的生物技术植物的环境安全。《濒危物种法》（ESA）也适用于生物技术植物。FDA 的服务方式是食品为和饲料安全相关的问题提供咨询，尽管还未决定监管将必须进行咨询程序。

2006 年，FDA 发布了新的指南，鼓励早期食品安全评估，一部分是为了在 FDA 咨询完成前最小化这种可能性——潜在的源于生物技术作物的引起过敏反应或毒性反应的蛋白进入食品供应。FDA 的部分原因陈述为：“随着生物工程植物田间试验的数量和多样性增加……由于花粉从试验田到商业田间的漂移造成的交叉授粉的可能性和试验田生产的种子和商业种子或谷物的混合可能也会增加。这可能导致蛋白质在食品供应的非故意的、间歇的、低水平的出现，该蛋白质还未经过 FDA 对从新植物品种中获得的食品的自愿咨询过程的评估……FDA 正在发布这个指南文件来描述这种可能性”（USFDA,2006）。

因此，经过 USDA、EPA、FDA 的联合行动，在一种生物技术作物总体发行和可能商业使用之前，已经充分评估了其对人类健康和环境的潜在风险（文本框 2）。要了解更多关于农业生物技术的安全考虑和实践的信息，读者可登录 USDA 农业生物技术网站（USDA，2007）。

生物技术作物只有在确认没有不可接受的风险后才能被生产和销售，尽管 EPA 或 USDA 可能要施加额外的条件。生物技术作物的总体发行被解除监管（经过检验）后，政府监管和监督机制允许产品从市场上被召回——如果与安全相关的新数据支持这种行为。（植物生产医药品将总是需要批文许可，也永远不会解除对其总体发行的监管。）USDA 目前没有条件性的解除监管的机制，但是它可以基于新的信息将产品从市场撤下，FDA 也可以这样做。

目前，没有正式机制对生物技术作物出于这些目的的系统的商业后监管。一些人建议应该考虑这种监管体系（de Castro，2004）。因为批准前的田间试验相对来说规模小，而且持续时间短，所以没有检测到转基因，但是可能在规模生产的农业中检测到转基因——这种情况十分罕见。如果这类罕见的事件对环境造成真正的风险或危害，那么纠正、修改或废止现行惯例可能更合理。

文本框 2.通过美国监管体系概述生物技术生物体的移动。（改编自 AGBIOS, 2006）

研究和发展 (包含的)	<ul style="list-style-type: none">• 生物技术生物作业的指南——国家健康研究所（NIH）。• 被许多组织自愿采纳，接受 NIH 津贴的组织必须采纳。
田间实验	<ul style="list-style-type: none">• 推荐发行必须经过 APHIS 批准，无论是以通知书（通过直接经验对作物和性状极为熟悉；对非常低的风险有信心）或许可证（更严格；对较不熟悉的风险可能提高的作物和

	<p>性状——例如，表达医药用或工业用蛋白的植物)。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 试验可能被 APHIS 或国家农业官方部门检查 • 试验的总结报告必须提交并且 APHIS 迅速通知试验中是否有任何异常发生。 • 基因流动和由非故意环境排放必须最小化。(试验必须受到限制。) • APHIS 监督来往于试验场地的种子的储藏和运输。 • 对于表达杀虫蛋白的植物，如果试验在一个公历年中超过 10 英亩 (4 公顷)，则要求来自 EPA 的“实验使用许可证 (EUP)”。 • 一份 EUP 要求公众通知书和评论，但是一般不针对农药田间实验
总体环境排放	<ul style="list-style-type: none"> • 申请者向 APHIS 提交数据，以允许确定可能的环境影响和生物技术生物体变为一种植物害虫的可能性。 • APHIS 审查数据并征集公众评论。 • APHIS 决定是否授予非监管状态或强加其他条件。 • 总体发行所要求的非监管状态，尽管监管的东西可以根据许可证被商业种植 (但不是总体发行)，伴随与田间试验相似的限制。 • 对于表达农药蛋白的植物，EPA 必须准许其产品 (启动子、标记基因等) 所要求的蛋白和材料按照 FIFRA 第三部分进行注册。
作物食品使用	<ul style="list-style-type: none"> • 正如所有非生物技术食品那样，FDA 通过与生物技术作物的开发者开展自愿咨询工作来确保在开发过程中食品安全问题得到处理。应用于生物技术作物来源食品的咨询范围一般超过任何传统食品。 • 基于一项对摘要数据的有利的审查和向 FDA 科学家做的一个报告，FDA 发表了一封函件，表明没有更进一步的问题。
商业化后	<ul style="list-style-type: none"> • 如果有新的和确凿的数据开始质疑产品对人类健康或环境的安全，USDA、EPA 和 FDA 具有有限的合法权利来要求立刻从市场撤回。[USDA/APHIS/FSIS 在这些范围的能力很有限。这是 2007 年许多委员会详细审查的焦点，因为三聚氰胺对宠物食品的污染。]APHIS 签发非监管状态视必要条件的进行情况而定，必要条件是 不寻常的或不利事件必须报告给 APHIS，即使是在决定发布后。如果 APHIS 授权，这类新的信息可作为修改或撤回该决定的基础。因此，一项产品的最初赞成的决定不会保证其全权发行而不受进一步监督。

生物技术作物的风险评估

风险评估是在生物技术作物开发和批准中重要的早期步骤。风险是危害发生的可能性。风险评估是一个明确危害、集成评估危害发生可能性的过程。就这点而论，对于一个将要认识到的风险，肯定有一种危害 (不利或有害的事) 和一种发生的可能性 (暴露于危害)。在没有显著的暴露时，一些危害的事情不会构成风险，或者，长时间的暴露于某物也不会构成风险 (即使该暴露构成低危害)。风险评估可以是定性的——专家判断能够描述危害——或定量的，基于计算出的毒性和暴露可能性的比率。

在生物技术作物和监管的背景下，定量的和定性的方法都成功应用于商业发行前的评估。生物技术作物的风险评估依赖几项原则：它们是基于科学的 (总体上使用可接受的科学方法和分析)、逐案审查、重复的或递归的 (根据新的信息检查风险结论)、可比性 (非生物技术作物是描述风险特征的基础) 和将所有可获得的信息包括在内。

更重要的是，基因流动的现象是风险等式的暴露部分。但是，基因流动在植物中几乎是普

遍存在的，并且它们大多数不具有可想到的负面结果或危害的可能。因此，在那些情况下提到基因流动的“风险”、而不是其“可能性”是一个严重的错误。“风险”一词与基因流动连同使用，应该只在这些情况下才能被使用——一种确实的危害能够被确定和潜在暴露可能因此产生一些实质性的风险。

在实践中，风险评估是一个随着时间收集信息的过程，以小规模、受控制的实验为开端，然后基于经验进展到更大的规模。生物技术发行规模的决定是基于对以下内容的了解——被引入性状的生物学活力、它在作物中的行为、对该性状（例如，在别的作物物种中）和作物（例如，带有其它生物技术性状）先前的认识程度以及推荐的管理惯例。最初转化株的分子和表型特征在实验室、温室和生长室内测定。这些数据，连同开发者对引入性状认识的评估，被用于申请允许开展田间试验。使用来自田间试验和实验室的数据来评估该作物总体发行的风险。监管者必须有这种信息以确定是否已经发生与传统作物相关的任何重大变化，可能会增加对环境的不利影响。

直到今天，美国已批准商业应用的所有生物技术作物已经显示其对环境和人类和动物健康造成极小的或可忽略的风险。然而，有人建议，对商业化前和/或商业化后的环境评估使用更严格、可能更准确的方法可能更合理。这些方法尤其在评估一些性状（例如对干旱和高盐度的耐受性）时使用，可以增强作物或其杂交的杂草化近缘种在自然或非农业区域中的存活力/侵袭力。关于这些和相关主题的详细讨论在其它出版物中介绍（Andow 和 Zwahlen, 2006; de Castro, 2004; Pilson 和 Prendeville, 2004; Raybould, 2005; Snow 等人, 2005; Wolfenbarger 和 Phifer, 2000）。

基于基因流动对监管体系的调整有何主要变化？

新型植物生物技术产品的快速创新改善了人类健康，降低了农业实践的环境影响。生物技术作物之后的风险评估和制定监管决定的逐项审查的典范必须保持灵活，以适应这类创新。USDA 已经带领开展环境影响评估，以此作为生物技术作物新型监管的先驱。此工作的核心是在阶段性批准流程下重新定义数据和要求的评估，该批准流程能识别一项既定产品的相关风险的不确定性程度。任何新的规则制定应该认识和建立在食品和饲料中出现生物技术元素的容限度。

在生物技术作物商业化之前开展风险评估，为其人类健康或环境不会产生不合常理的危害提供保障；基因流动的考虑是这些监管评估的一部分。监管批准后，仍然有主要与 AP 基因流动的经济后果相关的不确定性。为生物技术原料在非生物技术商品或种子中建立有意义的和合理的阈值，能够为稳定国际市场和方便生物技术和非生物技术作物之间的共存提供很大的帮助。

因为不确定性的存在，建立一些概率性的框架并比较预期的收益和成本会十分有用。当考虑到生物技术作物的环境和健康成本时，评估这些成本相对于它们排除的成本很重要。例如，如果引入生物技术作物使农药的需求下降，而农药对健康和环境有负面的副作用，就要考虑基因流动的成本相比于与农药使用相关的污染和破坏减少的成本。与生物技术作物相关的额外产量也要与额外的成本相平衡。

任何技术的引入都有学习的成分，并涉及到一些风险，但是随着时间推移，可能会更好的了解这些风险的程度并决定该技术是否可持续。至于基因流动，至今尚无任何主要的问题；事实上，从生产力增加和与农药使用相关的风险减少中，还取得了重要的、有据可查的收获。然而，目前的监管程序，可能在发展中国家中损害人们的发展前景并减少人们的福祉，这些国家从生物技术中获得的收益可能有重要的增加福利的作用（Anderson, 2006; Evenson, 2006）。

因此，使用更全面的方法来监管生物技术作物，通过比较所有的收益和成本，可能导致消除一些对这些作物的监管限制。

基因流动和偶然混杂的经济/商业应用

涉及到生物技术作物的基因流动的最可能的不利商业后果是未经批准的生物技术元素（例如，谷物和谷物粉尘）在商品中低水平的出现，即使基因流动是导致这些生物技术元素出现的众多程序之一。当生物技术元素经过批准并解除管制时，相似的不利后果一般不会发生；在美国，一旦生物技术作物解除监管，它们就可在联邦规章下被分销和销售，像任何传统作物一样。

来自一个生物技术作物的花粉能使非生物作物品种受精，反之亦然，因此产生的杂交种子可能具有生物技术性状。检测这类杂种可能导致损失额外的费用或导致价格降低（文本框 3）。受这类发现影响的产品量可能会很大，这取决于受影响产品的质量标准和取样程序。因为非生物技术品种种子身份的标准要更严格，所以流向相关作物的基因流动的成本增加。通过增加生物技术与非生物技术品种间的缓冲区域，可使这种潜在的基因流动问题的程度被降低，但是由此导致的生物技术品种的土地使用灵活度下降会减少盈利、减缓种植，并对较小型的经营有负面影响。

杂草性或侵袭性和脱靶效应

另一项要考虑到经济影响有一个监管重点：作物本身或流入其野生亲属的基因流动会不会创造一种经济害虫？对该问题问答的科学构架已经在之前的部分中介绍过（表 1、表 2、文本框 2）。在大多数情况下，一种已批准的生物技术作物能创造一种不同于同种非生物技术作物的环境风险，这种可能性是非常低的。然而，如果最初的科学评估和检测程序确定存在来自于脱靶基因流动的重大的环境或安全问题，那么可以阻止或限制一种生物技术产品的进一步发展。

文本框 3. StarLink 玉米案例研究

StarLink 玉米案例研究

StarLink 事件说明破坏和经济损失会起因于未能有效隔离谷物。Bt 玉米品种 StarLink 在 1997 年被美国政府批准在动物饲料中使用，但是不能在人类食品中使用（NRC，2004）。一个特殊蛋白（Cry9c）的缓慢消化初次引起对这种特性和人类过敏之间的可能联系的关注，但是随后表明 StarLink 玉米中的生物技术蛋白不是过敏反应的原因（CDC，2001；Lemaux，2005）。尽管在 2000 年，StarLink 玉米只种植了 141,600 公顷（占美国总玉米面积的 0.4%），并且大多数谷物生产用于动物饲料，但是最终在遍布全美国的消费者食物产品和出口的玉米中检测到了来自 StarLink 玉米的基因序列（Goldberg，2001）。作为对这些检测的回应，政府承担了一项综合的检测项目，检测美国食品供应的玉米来源的食品中的生物技术原料。

很明显，这次事件中检测到的来源于 StarLink 玉米的生物技术序列起因于一个谷物渠道系统不能可靠地分离用作饲料的谷物和用作食品的谷物（即，一个 AP 相关的问题，不是基因流动本身）（Lemaux，2005）。然而，花粉散布的成分（即，基因流动）不能被完全排除（Goldberg，2001）。

StarLink 最终找到了美国玉米种子供应的道路，推动 USDA 购买检测为 StarLink 阳性的玉米种子。尽管不能确定证明，但是通过花粉散布造成的基因流动被认为是最可能的导致玉米种子中出现 StarLink 的最初事件（Goldberg，2001）。经过共同合作和花费了超过 1300 万美元（USDA，2001），StarLink 玉米被从美国谷物系统中有效净化。

尽管谷物产业仍旧招致与 StarLink 生物技术物质取样和检测相关的费用，样品和检测的数量已经急剧下降（USDA-GIPSA，2006）；最后的单个阳性检测发生在 2005 年 4 月。任何对这些物质检测为阳性的玉米仍旧被规定仅用于被批准国内使用。这个例子表明，如果有需要，从市场中移除一种生物技术作物是有可能的。

谷物质量的不确定性导致玉米价格的短暂下降，有些人估计这导致非 StarLink 玉米种植者 5 亿美元的价值损失 (Carter and Smith, 2004)。然而，其它分析表明，StarLink 对美国玉米进口需求的总体影响极小 (Schmitz, Schmitz, 和 Moss, 2004)。美国玉米在欧洲市场的损失现在已经被世界其它部分的市场和替代选择如生物燃料市场大量取代。最近的出口水平接近七年的最高点 (USDA-FAS, 2006)。

通常缺乏对从生物技术作物到野生或杂草化近缘种的基因流动的定量经济评估，可能是因为截至目前重大入侵或基因渗入的情况极少 (如果有的话) 发生，并且/或它们的影响温和。田间长期存活研究的数据普遍不支持侵略性杂种入侵的说法 (Stewart, 2004)。关于在欧洲和北美主要生物技术作物和非生物技术作物共同存在的研究已经表明，截至目前缺乏生物技术基因的重大的基因渗入，并且生物技术和非生物技术作物和体系大体上与极少的经济厄运共同发生 (Brookes and Barfoot, 2003, 2004a, b)。在墨西哥的一项最近研究在瓦哈卡州附近的一个小的区域未能检测到转基因玉米，这里之前报道过，这表明没有证据显示生物技术玉米或其派生物建植并散布到原有的玉米地方品种或种质集合中 (Ortiz-Garcia 等人, 2005)。

因来源于生物技术作物的基因流动带来的经济后果主要将会影响这类作物生长的农田，但是考虑到性亲和亲属、适宜的环境和生殖/健康优势 (表 1、表 2) 正确的、罕见的结合，其可能会影响到自然区域。例如，热带国家生长的水稻可能相对更倾向于这种过程，因为有其野生/杂草化近缘种的大量种群天然生长在水稻生产区域或邻近水稻生产区域。(Lu and Snow, 2005)。

如果带有生物技术性状的生物技术作物来源的杂种损害环境，该杂种要在自然生态系统中建植并传播，理论上讲，这类基因流动的损失可以被估计为入侵物种造成的收益损失加上恢复原状的成本的总折扣费用。然而，对于大多数目前可获得的商业化的或正在开发的生物技术性状 (表 1, 表 3)，根本没有计算这类折扣费用的基础，因为新型基因在自然环境中是一个进化的标准特征。一个种群中的新基因必然有害，这种想法已经被重复表明是错误的。经济技术也能被应用于评估作物生物多样性的理论收益 (Rausser and Small, 2000; Simpson, Sedjo, and Reid, 1996)。

完成种子标准

发展和推广高质量、统一的种植用种子是种子生产者和提供者主要的经济考虑。引入生物技术作物之前很长一段时间，种子生产者为了维持遗传完整性，对种子生产实施务实的程序 (Bradford, 2006)。所有种子生产具有一定量混合的可能性，不管是通过花粉转移或机械方法。一旦公共育种者开始发行改良的作物品种，这变得很明显——没有一个系统监管和保护遗传世系和种子生产条件，品种将迅速恶化。来源于先前作物、异交和收割设备和储藏箱内的机械混合物的自生长株植物导致非标准原料出现在种子品种中的情况增多并且随之发生的是其有利特征被侵蚀。质量差的种子批次也经常含有杂草和病害，它们可通过种植受污染的种子而有效扩散。

从 20 世纪初期开始推出种子证书项目来解决这个问题，并且此方法现在在美国、大部分发达国家和许多发展中国家普遍使用。这些项目通常使用一个世系系统，在这个系统中来源于育种者的种子被用来在严格的条件下生产基础或基本种子。然后基础种子被用来生产已登记的种子，登记的种子再被用来生产已认证的种子，这些种子卖给农民用来种植商业作物 (AOSCA, 2004; OECD 2004)。

每一步中，特定要求必须满足考虑到先前的作物历史、有害杂草的出现、非典型品种的变

异植物 (off-type plants) 的发生、与同物种其它品种分离来防止花粉漂移或机械混合、清扫收割和搬运设备以及种子加工设备的规程, 来维持种子批次的特性和完整性。一旦一批种子通过了特定等级种子的标准, 其可被一个该等级的独特的标签标记, 以此表明其经过认证。这些规程确保购买认证种子的农民收到的是他们期望的遗传品种, 混有低量其它作物种子或杂草 (Sundstrom 等人, 2002)。在美国, 种子标识法规已经成为一种种植者了解他们所购买产品的质量的主要方法。

尽管有这些规程和预防措施, 种子证书方案和种子标识法规承认不可能实现零容忍阈值 (zero-tolerance threshold)。因为种子销售数量成倍增加, 消除每一个变异株或自生长株植物或每一个杂草越来越困难, 所以认证种子的标准相比基础种子没有那么严格。为每种作物和不想要的成分的种类建立了详细阈值, 但是预期在种子批次里有一定量不想要的成分 (除了被禁止的杂草以外)。变异株 (off-types) 将会影响最终产品预期用途的质量, 基于变异株比例的经验, 已经建立了阈值和标准。

然而, 即使是最严格的种子生产方案 (例如, 人工授粉的杂种蔬菜和花朵), 也不能保证 100% 的遗传纯度。因此, 一旦生物技术品种广泛种植, 即使严格的种子生产体系也难以满足欧洲产品标识标准——商品中生物技术谷物的 AP 不超过 0.9% (或未经批准的性状不超过 0.1%)。

目前, 在种植用的种子中, 没有关于其生物技术元素水平的。一些商品生产者寻找完全没有可检测到的生物技术元素的品种, 但是好像不愿意支付足够批准的花费。很明显, 为了足够批准, 要求有很高的种子质量。随着生物技术作物得更广泛种植和流行, 在种子中 AP 的小比例的偶然事件可能将会出现, 正如批准的种子可能包含小量的变异株种子——它们通常会 (Jørgensen, Hauser, and Jørgensen, 2007)。这类 AP 已经在欧洲种子中发生, 该种子种植在反季节 (即, 冬季) 苗圃中, 苗圃内种植生物技术和非生物技术性状种子 (例如, 红番椒) 两者都有。因此, 对未批准的性状的零阈值, 欧洲正变成一个闭环的、单一季节区域。这类情况的发生在预料之中而且是可预测的, 并且如果阈值和容忍度处于传统种子和作物的工业标准水平, 就不会扰乱种子的销售过程。

因为种子生产者相对商品生产者, 瞄准的是一个更高价值的市场, 而且也必须满足更高的种子质量标准, 在历史上他们通过例如田地隔离、缓冲、种植日期或收割和清洁实践的方法, 承担了满足他们自己强加的标准责任。至于生物技术作物的, 一些市场已经建立了标准, 该标准不必受终端产品要求或建立阈值的约束。

然而, 种子法规世界各异。例如, 在美国, 一旦一种性状被撤销监管, 该性状就被像任何其它变异株那样对待。阿根廷在传统作物种子中的生物技术性状的阈值为 1%。在历史上, 种子工业在一个市场建立的体系内运转, 并在一定费用下完成了各种各样的种子质量标准, 这些标准是该体系所要求的。在最近的一项研究中 (Kalaitzandonakes and Magnier, 2004), 使用在美国中西部 (一项在欧洲的重复实验) 公司记录的数据和玉米种子生产设备的程序制作的工业的/经济的模拟模型, 对各种各样的 AP 阈值水平累加造成的潜在经济影响进行定量分析。为满足 1%、0.5% 和 0.3% 的阈值, 预测平均每单元费用分别增长 9%、27% 和 35%。作者总结是, “大体上, 更严格的监管标准和纯度阈值以更高的比率增加了合规费用, 即使小的监管标准改变也可能产生大量费用增长。”

因此, 不现实的严格标准可能会扰乱种子和农业商品的生产和贸易, 而对健康或环境安全没有均衡利益。作为选择, 建立和广泛贯彻基于性状的合理的 (在传统种子批次和商品中出现的已批准的) 生物技术品种的阈值, 通常会消除这些额外的费用和市场问题, 而不需要产品和测试程序的昂贵改变。

贸易影响

美国国内的生物技术材料获得监管许可和在出口市场中的进口清关不同步，这可能导致市场驱动的关于在商品中有这些材料的偶然混杂的担忧。一些情况下，往未批准这种生物技术作物的国家运输的商品中出现这些生物技术作物，会导致整批货物的退回和重大的经济损失。

正在进行一些产品的田间实验，但是在任何国家尚未批准使用，来源于这些产品的生物技术材料相比已经批准在有限数量的国家使用的产品可能更成问题。在国际运输货物中检测这些遗传元素中的一种（即使水平极低）可能扰乱贸易，就像一种未经批准的除草剂抗性生物技术水稻品种LL601的发生那样（Weiss, 2006）。另一方面，在美国未经批准的生物技术性状的田间实验要遵照通知书或许可来开展，并使用防止或显著降低基因流动的预防措施，而且田间实验一般与商业种植的相关性很小，这增加了防止这类事件的额外的安全等级。

《加拿大和美国关于农业生物技术的双边协定》（CFIA-HC 2001）寻求协调这两个国家间的监管要求和批准的时间安排。类似的方法代表了一个协调标准，应该被鼓励在世界各地使用。在缺乏一个协调的批准过程时，当批准不同步时使用生物技术作物的经济负担可能相当大，因此限制了作物生物技术的全球接受度。这些经济后果可能超越私人商业企业，广泛影响美国农业活力。

种子和谷物的国际贸易受植物检疫条例的控制，这些规章影响有非故意性状出现的商品的商业运转。这种影响在标准没有很好定义或不受科学支持的地方特别令人担心。许多国家有客户保护条例，要求品种满足执行标准。那些满足的品种被描述、登记并认证合格。美国很少有这种类型的条例。

经济合作与发展组织认证程序提供国际相互认同的认证。这些种类的认证是基于程序的并且是协调种子和谷物运输的基础，方法与国际植物保护协定（IPPC）和世界贸易组织（WTO）的要求相一致，WTO是贸易和运输权利主要归属依赖的机构。

阈值的适当性与性状检测

追溯商品中生物技术材料的AP的不可避免性对国际贸易来说是一个严重的担忧，主要是因为缺乏国际公认的检测阈值和测试标准。考虑到贸易稳定的可能性，为生物技术材料建立阈值水平貌似是合适的，并且当应用于已批准的生物技术事件时会相对简单。

对于已经建立阈值的其它物质，这些材料将可能总是低水平出现，因为它们通常是意外事故和偶然混合的结果。通过科学验证的取样和检测方法，它们的精确水平将会为人所知，会并将会被应用到世界各地，不像之前的检测方法那样经常会不一致并有较高的错误率。建立阈值会保护监管体系，具有一个稳定、持续、非任意的检测标准或行动水平。

然而，阈值将被设置的实际水平可能是有相当大争议的问题。在商业化后的设置中，对于已批准事件对健康和环境的危害不在讨论之中。但是与人类健康和环境安全目的无关的阈值水平过分低的设置可能会导致合规成本非常高，并且不能履行遵照现行国际协定（例如IPPC和WTO）的责任。召回和拒绝货物的成本可能被用在整个渠道（进口和出口），因此系统的每一个部分都分散承担了成本。

为生物技术材料创建并执行一个可变的阈值检测程序的复杂性和成本需要在现存惯例的背景下被考虑，现存惯例中，极少水平的这些材料就可能使国际贸易装运停止。为商业中的AP的建立平衡的标准和阈值水平能够帮助解决重要的经济问题。然而，正如现在的分析，协调的标准将不会说明国家标识条例和预期的变动以及成本情况。

其它费用考虑

为顺应生物技术和非生物技术作物的生产而实施的条例可能导致代价昂贵的旨在分离和特性保持（IP）的活动，这可能会影响非生物技术和生物技术商品的价格。有时政策干预相比其意欲处理的问题来说可能成本更高。最有用的是，按照各种政策对AP（或其基因流动成分）成本的评估，应该区别社会总体成本和个体间的成本和利益的分配，还要区别政策的短期和长期影响。

规章和责任条例可能对生产者和社会造成过分成本，却没有对健康或环境安全产生相称的改进。IP政策意欲达到玉米和大豆种子99%没有生物技术产品的特性标准，该政策造成的额外成本可能会包括额外清除和照料种植和收割设备和谷物运输的所有方式、生物技术与非生物技术植物间的缓冲区域、分离生物技术和非生物技术谷物的路径的工作、还有对生物技术残留物的持续检测和取样。两种作物的这些IP成本将会随着所要求的种子特性/质量的程度而显著增加（Bullock, Desquilbet, and Nitsi, 2000）。

IP的其它成本研究也强调了机会成本和其它经济和商业成本。Maltzbarger和Kalaitzandondakes（2000）的谷物起降机操作员IP研究区别观察到的成本—协调和分离成本—和隐藏成本—例如机会成本包括未充分使用的仓库、研磨剩余损失和传播机会损失。这项工作包括Missouri和Illinois的三项案例研究，表明机会成本至少是观察到的成本的两倍高。Baumel和McVey（2005）也强调加工、运输和销售非生物技术品种的隐藏IP成本很高，包括机会成本和额外风险两个因素。

作为对各种经济现实的回应，预计的情况是，并且已经观察到，某些地区将专门生产非生物技术品种，而其他地区将主要生产生物技术品种。当不同品种通过物理方法分开，IP成本大大地下降。技术改变和更便宜的检测、交流和产品加标签方法的发展，将会使在同一邻近区域内种植几种品种的IP成本降低。IP成本随着种子质量标准的增加而增加，如果标准高于99%，许多生产商可能不能够在经济上存活。未来监管的不确定性也是低效率的来源，因为农民和运输者在不知道其将允许他们达到目标市场时，不大可能投资升级他们的经营。

强制标识要求相比IP成本，可能对生物技术作物在经济上造成更严重的影响，但是那些要求不在本论文的范围之内。如果部分人群愿意向比目前种植数量大得多的非生物技术产品支付一个明确的额外费用，这种增长能够在未来刺激对非生物技术原料的自愿标识。在这种情况下，生物技术和非生物技术产品的生产和分配能够在美国、加拿大和其它国家能够被满足（Carter and Gruere, 2003）。在欧洲，生物技术产品的强制标识限制了它们的可得性，因为零售链不愿与那些产品有关联。结果是总体经济福利损失，因为产品效率损失和消费者的花费增加，这些消费者不能选择没那么贵的生物技术产品（Moschini and Lapan, 2005）。

尽管AP有一些直接成本，但大部分成本与旨在控制AP的监管有关。这些监管增加了经营生物技术和非生物技术产品的成本，正如IP监管所发生的那样。它们也降低了生物技术产品的需求，正如生物技术产品强制标识所发生的那样。因为这些监管而导致的生物技术产品的成本增加和需求减少的结果之一是生物技术产品变得利润更小。

盈利减少引起的一个主要影响是，投资于主要商品作物之外的新型生物技术产品的倾向在下降，这可能导致技术在全球采纳和引进的低水平。也导致第二代产品被发现的可能性下降和其引进的延期。Aderson和Jackson（2005）记录了目前这代生物技术作物在全球的巨大潜力，并指出这种潜力距离在目前的采纳水平上得到充分利用还相距甚远。也许，保护防止基因流动的监管的主要代价是延迟农业中生物技术和采纳。直到今天尚未确定有减少风险的益处可

以证明遵从法规的成本是合理的。

出现的政策问题

欧洲 (Brookes and Barfoot, 2004a) 和美国 (Fernandez and Polansky, 2006) 最近开始评估生物技术、非生物技术和有机作物的生产共存的问题。至于本论文, 这些问题尤其相关于以下几点 (1) 在非生物技术作物中偶然混杂生物技术原料的经济后果和 (2) 一旦作物因为对消费者环境安全而已经被适度地批准, 种植者能够种植他们所选择的 (例如, 生物技术、非生物技术或有机的) 作物的原则 (Brookes and Barfoot, 2004a)。

对非生物技术作物的潜在偏爱的例子在欧洲可以找到, 欧洲市场对非生物技术大豆和玉米的需求估计分别占这些商品总用量的27%和36% (Brookes and Barfoot, 2004a)。对生物技术或非生物技术作物的有效分离或IP的需求或感知需求必然与这一事实一致——在任何实际的农业生产体系中, 完全避免不想要的原料的偶然混杂是十分罕见的。

外在性问题

经济常识中, AP问题会被认为是生产外在性, 换句话说, 一些可能损害第三方的活动导致的不想要的结果。政府监管或自愿安排可能会出现, 以控制外在性问题。作为对这些政策的反应, 生产商的行为和市场结果可能会被改变。政府或集体行动可能会建立生物技术或非生物技术产品的质量。一揽子政策可能规定生产规程和建立适当的注意标准、责任分配和报告要求。

阈值

几乎已经对所有的农业商品设置了一种品种中不想要的原料偶然混杂的阈值 (例如, 在欧洲, 大多数谷类有不想要原料的最大允许值水平, 例如植物原料、杂草、灰尘和种子含有2%的其它作物物种, 但是目前为生物技术原料建立的法定标记阈值是0.9%) (Brookes和Barfoot, 2004a)。最近调查了在非生物技术商业种子供应品中出现不想要的生物技术性状的频率, 表明出现的频率少于1% (Mellon和Rissler, 2004)。分析种子和谷物中生物技术性状存在的指南的检测限度是少于1%。像任何分析方法学一样, 达到或接近检测限度时, 假阳性的发生率较高 (Kahlert, 2006)。

生物技术和非生物技术体系的并行使用

在欧洲, 改变农业规程以便于并行使用生物技术和非生物技术玉米生产体系, 其潜在需要和可行性最近被Messeean及其同事 (2006) 评估。他们考虑了三种AP的关键来源: (1) 非生物技术种子或谷物中的生物技术痕迹, (2) 附近生物技术作物田的交叉污染和 (3) 生物技术和非生物技术田地共用收割机。生物技术和非生物技术玉米田地采取极少预防措施的情况下, 其交叉污染率保持在0.9%或更低, 但是0.1%的比率根本不能达到。交叉污染被认为是用作种子生产的非生物技术玉米地中生物技术物质的唯一AP来源; 因此, 这一要求——这些田地中含0.5%生物技术玉米的阈值——在不采取重大距离隔离的情况下要想实现非常困难。

隔离

隔离种子生产田来限制花粉的流入和流出是一种行之有效的做法 (Bradford, 2006)。物理限制方法要求严格注意程序和合适的质量控制水平以及审查以确保符合程序 (Christensen等人,

2005)。尽管隔离和限制程序能够将花粉散布限制在非常低的水平，但不能确保环境中零基因流动（Wolt等人，2004）。这些信息共同指出，生物技术与非生物技术作物共存的可行性——通过实用的阈值，还有一些将清除交叉污染的能力限制在具体事件水平上实际约束。

认识标准

在美国，任何关于种子中AP的政策应该了解目前种子法的标准和分析方法的敏感性。美国联邦种子法授权种子质量标准。基础种子玉米和认证的种子玉米必须分别99.9%和99.5%地免除不想要的可视变异种出现。通过在原种生产（prefoundation production）中使用质量控制程序，目前的生物技术作物产业规程满足或超出这个标准（Mumm and Walters，2001）。

一家最近探讨生物技术、传统和有机作物系统共存的美国家研讨会指出（1）“标准化的、国际接受的市场标准、检测方法学和协议的缺乏，对国内和国际农业市场链的平稳有效运行是一个重大的挑战”和（2）“战胜挑战并充分利用培育‘和平共存’所提供的机会，将需要结合市场、研究和农民与农民的交流，还有联邦、州和当地政府的努力”（Fernandez and Polansky，2006）。

政策发展

生物技术作物在美国和国际上都已被广泛采用。从美国国内监管的角度看，如果一种生物技术作物的环境释放得到批准，那么关于生物技术原料有一个容限度；因此在食品中出现不是一个安全上的担忧问题。另外，如果USDA撤销对生物技术作物的管制，种子的商业生产将会发生。出口市场中监管批准的步子和性质不均衡，会成为生物技术作物（指在美国被批准和种植的生物技术作物）的国际贸易的经济担忧问题。

对于作物到作物的基因流动和AP更普遍的形式，处理其结果的政策应该——在可行的程度下——鼓励生物技术和非生物技术作物的共存。美国国内相当多的资源被应用于食品产品的限制和渠道，来避免由于不想要的生物技术元素的出现而引起的市场退回。这个建议绝对没有暗示USDA和其它机构应该在国内同意生物技术作物之前，先等待所有贸易国家同意。这种方法将需要广泛的和可能代价高的监管政策的改变，这在近期是不会发生的。也应该考虑通过替代条约（例如《国际植物保护协定》）的磋商来发展可行的政策和程序。

非法种植

另一个正在出现的政策问题是在其它国家非法种植生物技术作物，并且这种活动可能会对AP有影响。抗草甘膦大豆是最坏的例子，但是现在在乌克兰有大豆的报道，在其它国家有棉花的报道，还有在世界许多国家缺乏对非法使用的法律强制处理。因此，美国应该鼓励发展一个针对这种AP的可行的政策，因为其他国家来的作物可能很快来到美国，带有低水平的生物技术AP。

Brookes和Barfoot（2004a）的总结是：“截至目前的证据显示，商业种植于欧洲和北美的转基因（GM）植物已经与传统作物和有机作物共存，并没有经济上和商业上的问题——即使是在转基因作物主导大豆、玉米和油菜生产的北美，也只有发生于有机作物的转基因生物（GMO）的AP的孤立事件被报道油菜。”（注：在此上下文中，GM（转基因）和GMO（转基因生物体）与生物技术作物意思相同。）

Brookes和Barfoot（2004a）进一步表示，未来在欧洲，“即使有商业转基因作物的重大发展和有机作物种植量增加的情况发生，共存出现经济和商业问题的可能性依然非常低。因此，

如果对所有想要种植转基因作物的欧洲农民施加特别麻烦的转基因作物管理条件，即使绝大多数这类作物不会位于有机一等效的（organic-equivalent）作物或传统作物（对于这些作物非转基因状态很重要）附近，这也会是不相称和不公平的。目前在欧洲适于耕作的作物种植区域中，其中99.59%是由传统农民耕作，这样的话，这些农民将不被鼓励采用这样一种新技术——该技术可能实现农场层面的收益水平（谷物产量、节约费用）和提供更广泛的环境惠益（农药使用减少、转向更为环境友好的除草剂、温室气体排放水平减少）。”

概要

生物技术和非生物技术作物及其亲属之间的基因流动和经常在自然中发生，而且不是一种固有的不利现象。花粉介导的基因流动的可能性随着作物物种而变化，并且很大程度上由植物的生殖生物学决定。容易交叉授粉的作物物种相比那些主要是自授粉的物种，一般更易发生基因流动。另外，世界最重要的粮食作物中，只有一小部分是基因相容的、与世界最具破坏性的杂草是地理上搭配的，因此，基因流动的危害很大程度上被限制在了特定的位置。

在作物生产和营销中，对于更广泛的、偶然出现的不可避免的AP现象，基因流动经常是一个亚成分或促成因素。基因流动可能是导致AP的因素之一，或引发一个AP问题，但是因为技术限制、生物学现实、商品处理系统和一些时候的人类错误，AP在农业系统中的许多方面都会发生。

使用传统育种方法和生物技术，数以百计的有用性状被引进作物。大多数这些性状对人类和环境是友好的，尽管一些植物中的生物技术性状（例如，医药用或工业用蛋白）需要专门的预防措施。另外，正在开发有希望的分子控制和削弱策略，这应该对用来生产原料（例如营养品或工业化学品）的生物技术作物尤其有用，这些原料需要额外的安全或隔离程序。将这些规程结合能够帮助在种子和商品生产系统中维持适当的鉴定标准。更严格的标准可能在经济上或实际中不可行。

由于缺乏已建立的在非生物技术产品中出现生物技术物质的阈值，基因流动在经济和商业上的意义正在恶化。这类在商品或其它商业产品中的性状阈值能够成为有价值的工具，来促进生物技术作物、非生物技术作物和有机作物生产体系的并行的、经济上可行的做法。应该建立针对商品（和/或种子）中生物技术物质的实际可达到的阈值，以促进生物技术和非生物技术或特殊作物体系的长期共存。

随着种植生物技术作物的面积的增加和对来源于生物技术作物的基因流动的讨论，一些新的政策可能出现，这将影响生物技术作物、非生物技术作物和有机作物的生产——针对外在性问题、阈值、并行种植体系、隔离田地、种子法标准和非法种植的政策。全球监管批准的协调化将对优化作物生物技术极其有利。

截至目前，尚未有源于生物技术作物的基因流动造成的主要的健康或环境问题。事实上，这些作物已经引起重大的、有文件可查的改善和在一些情况下的风险降低。

我们需要努力帮助公众了解：基因流动只是生物技术商品AP的一个成分，这些商品被运往全世界并被用作加工和消费，同要努力帮助区别这种情形和种植用的生物技术种子的AP。讲解生物技术作物和非生物技术作物的继续发展和商业化的现实优势和挑战的教育，将是公众理解和探讨生物技术作物未来政策问题的关键。

词汇表

偶然混杂（AP）：非故意的、技术上不可避免的在一种农业商品中出现生物技术材料，这些农

业商品用作食品和其它的终端使用目的（在一些情况下）。

纯育：自授粉作物正常繁殖的结果，植物一代又一代地生产出具有相同性状的后代（或相同品种）。

传统育种：育种者实施的一种同种作物的不同品种或品系间的人工杂交。

双子叶植物：开花植物的一个亚纲，发芽的种子产生两个种子瓣或“子叶”（例如，阔叶植物如大豆、棉花和油菜）。

外在性：由生物体或系统之外引入或生产。

基因流动：不同个体、种群和世代（向子□）之□、跨越空□□度的□□信息的成功□移。

种质：一个生物体遗传资源的集合。对于玉米或水稻这类植物，种质通常被作为采种进行维持和储存。

公顷：相当于2.47英亩的土地面积。

杂交：培育不同品种或物种的植物。

诱导突变：通过简短的暴露于化学品或射线中，在作物种子中诱导想要的突变。

输入/输出性状：通过遗传工程诱导的性状，以便于降低农业投入（即，控制害虫/病害/杂草所需要的化学品）/这些性状直接作用于消费者或下游加工者，方法是提高他们所使用的粮食和纤维产品的质量。

单子叶植物：开花植物的一个亚纲，发芽的种子产生一个种子瓣或“子叶”（例如，小麦、水稻或玉米这类禾本科植物）。

毒枝菌素：真菌生产的一种毒性物质。

开放授粉：植物向环境中释放花粉以确保交叉传粉的一种生殖策略。

异交：植物的花不是主要自授粉，而是倾向于广泛地散布花粉的一个过程，以便于一株植物生产的花粉能够容易地给其它植物开的花受精。

输出性状：参加**输入性状**。

表型特征：一个生物体可观察到的物理或生化特征，由遗传天性和环境影响决定。

选择压力：可遗传的有利性状在一个种群的连续几代中变得更常见，而不利性状变得不常见的过程（例如，一个植物种群含有一些除草剂抗性的个体，对该种群重复使用一种除草剂，则创建了一个选择压力来帮助个体具有抗性特性）。

脱粒：一种种子散布机制，种子成熟时变得与种子穗分离，可自由落到地面。脱粒在杂草物种中通常很高，而作物则经常为脱粒减少被选育。

自发生长株：由收割操作后仍在田地土壤上或土壤内的种子产生的作物植株。

野生杂交：是一种育种技术，一种农学改造品种与一种非改造的亲属杂交，从而向改造的品种中转移一种想要的性状。

参考文献:

- Abud, S., P. I. Mello de Souza, C. T. Moreira, S. R. M. Andrade, A. V. Ulbrich, G. R. Vianna, E. L. Rech, and F. J. Lima Aragao. 2003. Pollen dispersal in transgenic soybean plants in the Cerrado region. *Pesq Agropec Bras, Brasilia* 38:1229–1235.
- AGBIOS. 2006. The U.S. Regulatory System. <http://www.agbios.com/cstudies.php?book=REG&ev=CAN-USA&chapter=USA&lang> (7 November 2007)
- Ahrent, D. K. and C. E. Caviness. 1994. Natural cross-pollination of twelve soybean cultivars in Arkansas. *Crop Sci* 34:376–378.
- Anderson, K. 2006. Interaction between trade policies and GM food regulation. Chapter 7, pp. 125–142. In R. Just, J. Alston, and D. Zilberman (eds.). *Regulating Agricultural Biotechnology: Economics and Policy*. Springer Science+Media, LLC, New York.
- Anderson, K. and L. A. Jackson. 2005. What's behind GMO disputes? *World Trade Review* 4(2):203–228. Published online by Cambridge University Press.
- Andow, D. A. and C. Zwahlen. 2006. Assessing environmental risks of transgenic plants. *Ecology Letters* 9:196–214.
- Aono, M., S. Wakiyama, M. Nagatsu, N. Nakajima, M. Tamaoki, A. Kubo, and H. Saji. 2007. Detection of feral transgenic oilseed rape with herbicide resistance in Japan. *Plant Cell Physiol* 48:S261.

- Association of Official Seed Certifying Agencies (AOSCA). 2004. *Operational Procedures and Crop Standards*, www.aosca.org (7 November 2007)
- Aylor, D. E. 2004. Survival of maize (*Zea mays*) pollen exposed in the atmosphere. *Agricult Forest Meteor* 123:125–133.
- Aylor, D. E., N. P. Schultes, and E. J. Shields. 2003. An aerobiological framework for assessing cross-pollination in maize. *Agricult Forest Meteor* 119:111–129.
- Barton, J., J. Crandon, D. Kennedy, and H. Miller. 1997. A model protocol to assess the risks of agricultural introductions. *Nature Biotechnol* 15:845–848.
- Baumel, C. P. and M. J. McVey. 2005. *The Real Cost of Identity Preservation in the Grain Production and Distribution System*. Proceedings of Grain Elevator and Processing Society (GMAPS) Exchange '01. GMAPS, Minneapolis, Minnesota.
- Beckie, H. J. 2006. Herbicide-resistant weeds: Management tactics and practices. *Weed Technol* 20:793–814.
- Beckie, H. J., L. M. Hall, and S. I. Warwick. 2001. Impact of herbicide-resistant crops as weeds in Canada. Pp. 135–142. In *Proc Brighton Crop Protection Conference—Weeds*. British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, United Kingdom.
- Beckie, H. J., G. Seguin-Swartz, H. Nair, S. I. Warwick, and E. Johnson. 2004. Multiple herbicide-resistant canola (*Brassica napus*) can be controlled by alternate herbicides. *Weed Sci* 52:152–157.
- Beckie, H. J., K. N. Harker, L. M. Hall, S. I. Warwick, A. Légère, P. H. Sikkema, G. W. Clayton, A. G. Thomas, J. Y. Leeson, G. Séguin-Swartz, and M.-J. Simard. 2006. A decade of herbicide-resistant crops in Canada. *Can J Plant Sci* 86:1243–1264.
- Bervillé, A., C. Breton, K. Cunliffe, H. Darmency, A. Good, J. Gressel, L. Hall, M. McPherson, F. Médail, C. Pinatel, D. Vaughan, and S. Warwick. 2005. Issues of fertility or potential for fertility in oats, olives, the Pigeon-pea group, ryegrass species, safflower, and sugarcane. Pp. 231–255. In J. Gressel (ed.). *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Boerma, H. R. and J. E. Specht (eds.). 2004. *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. 3d ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Bradford, K. J. 2006. Methods to Maintain Genetic Purity of Seed Stocks. Division of Agriculture and Natural Resources Publication 8189, University of California, Oakland, <http://anrcatalog.ucdavis.edu> (7 November 2007)
- Bradford, K. J., A. Van Deynze, N. Gutterson, W. Parrott, and S. H. Strauss. 2005. Regulating transgenic crops sensibly: lessons from plant breeding, biotechnology and genomics. *Nature Biotechnol* 23: 439–444.
- Brookes, G. and P. Barfoot. 2003. *Co-existence of GM and Non-GM crops: Case Study of Maize Grown in Spain*. PG Economics, Dorchester, United Kingdom.
- Brookes, G. and P. Barfoot. 2004a. *Co-existence of GM and Non-GM Arable Crops: The Non-GM and Organic Context in the EU*. PG Economics, Dorchester, United Kingdom.
- Brookes, G. and P. Barfoot. 2004b. *Co-existence in North American Agriculture: Can GM Crops Be Grown with Conventional and Organic Crops?* PG Economics, Dorchester, United Kingdom. <http://www.pgeconomics.co.uk/pdf/CoexistencereportNAmericafinalJune2004.pdf> (7 November 2007)
- Bullock, D., M. Desquilbet, and E. I. Nitsi. 2000. The economics of non-GMO segregation and identity preservation. In C. P. Baumel and M. J. McVey (eds.). *The Real Cost of Identity Preservation in the Grain Production and Distribution System*. Proceedings of Grain Elevator and Processing Society (GMAPS) Exchange '01. GMAPS, Minneapolis, Minnesota, http://www.geaps.com/proceedings/2001/Grain_identity.cfm (31 May 2006)
- Canadian Food Inspection Agency—Health Canada (CFIA–HC). 2001. Canada and United States Bilateral Agreement on Agricultural Biotechnology, <http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/bio/usda/cdausbilate.shtml> (7 November 2007)
- Canadian Soybean Exporters Association (CSEA). 2006. Canada: Soybean Supply and Disposition March 27, 2006, <http://www.canadiansoybeans.com/production.php> (7 November 2007)
- Carter, C. and A. Smith. 2004. The Market Effect of a Food Scare: The Case of Genetically Modified StarLink Corn. Working Paper, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California–Davis.
- Carter, C. A. and G. P. Gruere. 2003. International approaches to the labeling of genetically modified foods. *Choices*, 2nd Quarter, pp. 1–4.
- Caviness, C. E. 1966. Estimates of natural cross-pollination in Jackson soybeans in Arkansas. *Crop Sci* 6:211–212.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2001. Investigation of human health effects associated with potential exposure to genetically modified corn. A report to the U.S. Food and Drug Administration from the Centers for Disease Control and Prevention, <http://www.cdc.gov/nceh/ehhe/Cry9cReport/> (7 November 2007)
- Christensen, P. J., M. K. Misra, S. Rai, Y-Y Shyy, and J. D. Wolt. 2005. *Confined Production Processes for Non-Food Corn*. Biosafety Institute for Genetically Modified Agricultural Products, Iowa State University, Ames.
- Coordinated Framework for the Regulation of Biotechnology Products. 1986. *Fed Regist* 51(123):23302, June 26.
- Council for Agricultural Science and Technology (CAST). 2000. *Invasive Plant Species*. Issue Paper 13. CAST, Ames, Iowa.
- Council for Agricultural Science and Technology (CAST). 2005. *Adventitious Presence: Inadvertent Commingling and Coexistence Among Farming Methods*. CAST Commentary QTA 2005-1. CAST, Ames, Iowa.
- Crawley, M. J., R. S. Halls, M. Rees, D. Kohn, and J. Buxton. 1993. Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. *Nature* 363:620–623.

- de Castro, L. A. B. 2004. A strategy for obtaining social benefits from the gene revolution. *Brazilian J Med Biol Res* 37:1429–1440.
- Ellstrand, N. C. 2006. Genetic Engineering and Pollen Flow. *Agricultural Biotechnology in California Series*. Publication 8182. University of California Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland.
- Ellstrand, N. C. 2003. *Dangerous Liaisons?: When Cultivated Plants Mate with Their Wild Relatives*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- European Commission—Analysis Report. 2007. Contributions of modern biotechnology to European policy objectives. Bio4EU Draft Final Analysis report. <http://www.biotechnology.de/bio/generator/Redaktion/PDF/en/jrc-bio4eu-2007.property=pdf.pdf> (7 November 2007)
- Evenson, R. E. 2006. Status of agricultural biotechnology: an international perspective. Chapter 6, pp. 103–124. In R. Just, J. Alston, and D. Zilberman (eds.). *Regulating Agricultural Biotechnology: Economics and Policy*. Springer Science+Media, New York.
- Fernandez, M. and A. Polansky. 2006. Peaceful Coexistence among Growers of: Genetically Engineered, Conventional and Organic Crops. *Workshop Sponsored by the National Association of State Departments of Agriculture (NASDA) and the Pew Initiative on Food and Biotechnology*, Boulder, Colorado, March 1–2, 2006, <http://pewagbiotech.org/events/0301> (7 November 2007)
- Frutos, R., C. Rang, and M. Royer. 1999. Managing insect resistance to plants producing *Bacillus thuringiensis* toxins. *Crit Rev Biotechnol* 19:227–276.
- Goldberg, R. A. 2001. Aventis CropScience and StarLink Corn. Harvard Business School, N9-902-411, November 5, 2001. Harvard Business School Publishing, Boston.
- Gressel, J. (ed.). 2005. *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Gressel, J. and H. Al-Ahmad. 2005. Molecular containment and mitigation of genes within crops—Prevention of gene establishment in volunteer offspring and feral strains. Pp. 371–388. In J. Gressel (ed.). *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Hall, L., K. Topinka, J. Huffman, L. Davis, and A. Allen. 2000. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Sci* 48:688–694.
- Halsey, M. E., K. M. Remund, C. A. Davis, M. Qualls, P. J. Eppard, and S. A. Berberich. 2005. Isolation of maize from pollen-mediated gene flow by time and distance. *Crop Sci* 45:2172–2185.
- Holm, L. G., D. L. Plunket, J. V. Pancho, and J. P. Hershberger. 1977. *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. University Press of Hawaii, Honolulu.
- Holm, L., J. V. Pancho, J. P. Hershberger, and D. L. Plunket. 1979. *A Geographical Atlas of World Weeds*. John Wiley and Sons, New York.
- Holm, L., J. Doll, E. Holm, J. V. Pancho, and J. P. Hershberger. 1997. *World Weeds: Natural Histories and Distribution*. John Wiley and Sons, New York.
- Index Mundi. 2007. Production, Consumption, Exports, and Imports Statistics—2005, <http://indexmundi.com/en/commodities/agricultural/> (11 July 2007)
- Information Systems for Biotechnology. 2007. A National Resource in Agbiotech Information, <http://www.isb.vt.edu/> (7 November 2007)
- International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). 2006. Pocket K No. 26: *Molecular Pharming and Biopharmaceuticals*, <http://www.isaaa.org/kc/infore-sources/publications> (7 November 2007)
- James, C. 2005. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2005. ISAAA Brief No. 34. ISAAA, Ithaca, New York.
- James, C. 2006. Executive Summary of Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006. ISAAA Brief No. 35-2006. ISAAA, Ithaca, New York, <http://www.isaaa.org> (7 November 2007)
- Jarosz, N., B. Loubet, B. Durand, A. McCartney, X. Foueillassar, and L. Huber. 2003. Field measurements of airborne concentration and deposition rate of maize pollen. *Agricul Forest Meteorol* 119:37–51.
- Jørgensen, T., T. P. Hauser and R. B. Jørgensen. 2007. Adventitious presence of other varieties in oil-seed rape (*Brassica napus*) from seed banks and certified seed. *Seed Science Res* 17:115–125.
- Kahlert, B. 2006. 6th ISTA Proficiency Test on GMO Testing of *Brassica napus* L. International Seed Testing Association, http://www.seedtest.org/upload/cms/user/Pages33-35from-STI132_Oct06.pdf (7 November 2007)
- Kalaitzandonakes, N. and A. Magnier. 2004. Biotech labeling standards and compliance costs in seed production. *Choices* 19(2):1–9.
- Kareiva, P. 1993. Transgenic plants on trial. *Nature* 363:580–581.
- Légère, A. 2005. Risks and consequences of gene flow from herbicide-resistant crops: Canola (*Brassica napus* L.) as a case study. *Pest Manage Sci* 61:292–300.
- Lemaux, P. G. 2005. Some food and environmental safety issues with GE products: A scientific perspective. *Agricultural Biotechnology in California Series*, Publication 8187. University of California, ANR Communication Services, Oakland.
- Lu, B. R. and A. Snow. 2005. Gene flow from genetically modified rice and its environmental consequences. *BioScience* 55:669–678.
- Ma, B. L. 2005. Frequency of Pollen Drift in Genetically Engineered Corn, <http://www.isb.vt.edu/articles/feb0502.htm> (7 November 2007)
- Maltsbarger, R. and N. Kalaitzandonakes. 2000. Direct and hidden costs in identity preserved supply chains. *AgBioForum* 3(4):236–242.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. G. Sanchez, E. Buckler, and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc of the National Academy of Sciences USA* 99:8060–8064.

- Mellon, M. and J. Rissler. 2004. *Gone to Seed: Transgenic Contaminants in the Traditional Seed Supply*. UCS Publications, Cambridge, Massachusetts.
- Messean, A., F. Angevin, M. Gómez-Barbero, K. Menrad, and E. Rodríguez-Cerezo. 2006. New case studies on the coexistence of GM and non-GM crops in European agriculture. EC Technical Report Series EUR 22102 EN, European Commission Joint Research Centre.
- Miller, P. D. 1985. Maize pollen: Collection and enzymology. Chapter 45, pp. 279–282. In W. F. Sheridan (ed.), *Maize for Biological Research*. A special publication of the Plant Molecular Biology Association, Charlottesville, Virginia.
- Moschini, G. C. and H. E. Lapan. 2005. Labeling Regulations and Segregation of First- and Second-Generation Genetically Modified Products: Innovation Incentives and Welfare Effects. Working Paper 05-WP 391, Center for Agriculture and Rural Development, Iowa State University, Ames.
- Mumm, R. H. and D. S. Walters. 2001. Quality control in the development of transgenic crop seed products. *Crop Sci* 41:1381–1389.
- Munkvold, G. P., R. L. Hellmich, and W. B. Showers. 1997. Reduced Fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. *Phytopathology* 87:1071–1077.
- National Organic Program (NOP). 2002. NOP Regulations (Standards) and Guidelines, <http://www.ams.usda.gov/nop/> (7 November 2007)
- National Research Council (NRC). 2004. *Biological Confinement of Genetically Engineered Organisms*. National Academies Press, Washington, D.C.
- Organic Farming Research Foundation (OFRF). 2003. Preliminary results from OFRF's fourth national organic farmers' survey: Section 7—GMOs and organic, http://www.ofrf.org/press/releases/pr.051403_gmosurvey.html (31 May 2007)
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1986. "Recombinant DNA Safety Considerations" (Blue Book). Paris, France.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 2004. OECD Seed Schemes, www.oecd.org (7 November 2007)
- Ortiz-García, S., E. Ezcurra, B. Schoel, F. Acevedo, J. Soberón, and A. A. Snow. 2005. Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003–2004). *PNAS* 102:12338–12343.
- Owen, M. D. K. 2005. Maize and soybeans—Controllable volunteerism without fertility? Pp. 149–165. In J. Gressel (ed.), *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Parrott, W. A. and T. E. Clemente. 2004. Transgenic soybean. Pp. 265–302. In H. R. Boerma and J. E. Specht (eds.), *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. 3d ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Pilson, D. and H. R. Prendeville. 2004. Ecological effects of transgenic crops and the escape of transgenes into wild populations. *Ann Rev Ecology, Evolution, Systematics* 35:149–174.
- Rausser, G. C. and A. A. Small. 2000. Valuing research leads: Bioprospecting and the conservation of genetic resources. *J Political Econ* 108(1):173–206.
- Raven, P. 1980. Hybridization and the nature of species in higher plants. *Canadian Bot Assoc Bull Suppl.* to Vol. 13, pp. 3–10.
- Ray, J. D., T. C. Kilen, C. A. Able, and R. L. Paris. 2003. Soybean natural cross-pollination rates under field conditions. *Environ Biosafety Res* 2:133–138.
- Raybould, A. 2005. Assessing the environmental risks of transgenic volunteer weeds. Pp. 389–401. In J. Gressel (ed.), *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Raynor, G. S., E. C. Ogden, and J. V. Hayes. 1972. Dispersion and deposition of corn pollen from experimental sources. *Agron J* 64:420–427.
- Rieger, M. A., M. Lamond, C. Preston, S. Powles, and R. T. Roush. 2002. Pollen mediated movement of herbicide resistant between commercial canola fields. *Science* 296:2386–2388.
- Royal Society of London, U.S. National Academy of Sciences, Brazilian Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, Indian National Science Academy, Mexican Academy of Sciences, and Third World Academy of Sciences (Royal Society). 2000. *Transgenic Plants and World Agriculture*. National Academy Press, Washington, D.C., <http://books.nap.edu/html/transgenic/> (7 November 2007)
- Saji, H., N. Nakajima, M. Aono, M. Tamaoki, A. Kubo, S. Wakiyama, Y. Hatase, and M. Nagatsu. 2005. Monitoring the escape of transgenic oilseed rape around Japanese ports and roadsides. *Environ Biosafety Res* 4(4):217–222.
- Schmitz, T. G., A. Schmitz, and C. B. Moss. 2004. Did StarLink reduce import demand for corn? *J Agricul Food Industrial Org* 6(2):1–14.
- Simpson, R. D., R. A. Sedjo, and J. W. Reid. 1996. Valuing biodiversity for use in pharmaceutical research. *J Political Econ* 104:163–185.
- Snow, A., D. A. Andow, P. Gepts, E. M. Hallerman, A. Power, J. M. Tiedje, and L. L. Wolfenbarger. 2005. Genetically engineered organisms and the environment: Current status and recommendations. *Ecological Applications* 15(2):377–404.
- Statistics Canada. 2007a. CANSIM Table 001-0010, <http://www40.statcan.ca/01/cst01/prim11a.htm> (11 July 2007)
- Statistics Canada. 2007b. Farm cash receipts, <http://www40.statcan.ca/01/cst01/agri03a.htm> (12 July 2007)
- Stewart, C. N. 2004. *Genetically Modified Planet: Environmental Impacts of Genetically Engineered Plants*. Oxford University Press, New York.
- Sundstrom, F. J., J. Williams, A. Van Deynze, and K. J. Bradford. 2002. *Identity Preservation of Agricultural Commodities*. Division of Agriculture and Natural Resources Publication 8077. University of California, Oakland, <http://anrcatalog.ucdavis.edu> (7 November 2007)
- Tabashnik, B. E. 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu Rev Entomol* 39:47–79.
- U.S. Department of Agriculture (USDA). 2001. USDA purchases Cry9C affected corn seed from seed companies. Press release, June 15, 2001, <http://www.usda.gov/news/releases/2001/06/0101.htm> (31 May 2007)
- U.S. Department of Agriculture (USDA). 2007. Agricultural Biotechnology website http://www.usda.gov/wps/portal/!ut/p/_s.7_0_A/7_0_10B?contentidonly=true&navid=AGRICULTURE&contentid=BiotechnologyFAQs.xml (2 September 2007)
- U.S. Department of Agriculture–Animal and Plant Health Inspection Service (USDA–APHIS). 2005. Permitting Genetically Engineered Plants That Produce Pharmaceutical Compounds. USDA–APHIS Biotechnology Regulatory Services Factsheet, July 2005, <http://www.aphis.usda.gov/brs/index.html> (7 November 2007)
- U.S. Department of Agriculture–Animal and Plant Health Inspection Service (USDA–APHIS). 2007a. Petitions of Nonregulated Status Granted or Pending by APHIS, http://www.aphis.usda.gov/brs/not_reg.html (August 2007)
- U.S. Department of Agriculture–Animal and Plant Health Inspection Service (USDA–APHIS). 2007b. Release Permits for Pharmaceuticals, Industrials, Value Added Proteins for Human Consumption, or for Phytoremediation Granted or Pending by APHIS, http://www.aphis.usda.gov/brs/ph_permits.html (7 November 2007)
- U.S. Department of Agriculture–Economic Research Service (USDA–ERS). 2007a. USDA Agricultural Projections to 2016. Long-term Projections Report OCE-2007-1, 110 pp., <http://www.ers.usda.gov/publications/oce071/oce20071.pdf> (7 November 2007)
- U.S. Department of Agriculture–Economic Research Service (USDA–ERS). 2007b. Adoption of Genetically Engineered Crops in the U.S., <http://www.ers.usda.gov/Data/biotechcrops/> (11 July 2007)
- U.S. Department of Agriculture–Foreign Agriculture Service (USDA–FAS). 2006. Coarse Grains: World Markets and Trade, <http://www.fas.usda.gov/grain/circular/2006/03-06/CGrains%2003-06.pdf> (7 November 2007)
- U.S. Department of Agriculture–Foreign Agriculture Service (USDA–FAS). 2007. Oilseeds: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service Circular Series FOP 09-07, <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf> (7 November 2007)
- U.S. Department of Agriculture–Grain Inspection, Packers and Stockyards Administration (USDA–GIPSA). 2006. USDA StarLink test results, <http://www.namamillers.org/GIPSAS-tarLinkJuly02.html> (7 November 2007)
- U.S. Department of Agriculture–National Agricultural Statistics Service (USDA–NASS). 2006. Statistical Highlights of U.S. Agriculture 2005 & 2006, http://www.nass.usda.gov/Publications/Statistical_Highlights/2006/STATHI2006.PDF (7 November 2007)

- U.S. Food and Drug Administration (FDA). 2006. Recommendations for the Early Food Safety Evaluation of New Non-Pesticidal Proteins Produced by New Plant Varieties Intended for Food Use. <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/bioprgu2.html> (7 November 2007)
- U.S. Grains Council. 2007. Corn: *Zea mays*, family poaceae, commonly known as maize. <http://www.grains.org/page.wv?section=Barley%2C+Corn+%26+Sorghum&name=Corn> (9 August 2007)
- Warwick, S. I., H. J. Beckie, J.-J. Simard, A. Legere, H. Nair, and G. Seguin-Swartz. 2004. Environmental and agronomic consequences of herbicide-resistant (HR) canola in Canada. Pp. 323–337. In H. C. M. den Nifs, D. Bartsch, and J. Sweet (eds.). *Introgression from Genetically Modified Plants (GMP) into Wild Relatives*. CABI Publ., Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom.
- Warwick, S. I. and C. N. Stewart, Jr. 2005. Crops come from wild plants—How domestication, transgenes, and linkage together shape fertility. Pp. 9–30. In J. Gressel (ed.). *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Watrud, L. S., E. H. Lee, A. Fairbrother, C. Burdick, J. R. Reichman, M. Bollman, M. Storm, G. King, and P. K. Van de Water. 2004. Evidence for landscape-level, pollen-mediated gene flow from genetically modified creeping bentgrass with *CP4 EPSPS* as a marker. *Proc Natl Acad Sci USA* 101:14533–14538.
- Weiss, R. 2006. “Biotech Rice Saga Yields Bushel of Questions for Feds.” *Washington Post*, November 6, p. A03, <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/11/05/AR2006110501092.html> (7 November 2007)
- Wolfenbarger, L. L. and P. R. Phifer. 2000. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science* 290:2088–2093.
- Wolt, J. D., Y.-Y. Shyy, P. Christensen, K. S. Dormin, and M. Misra. 2004. Quantitative exposure assessment for confinement of maize biogenic systems. *Environ Biosafety Res* 3:1–14.
- Yoshimura, Y., H. J. Beckie, and K. Matsuo. 2006. Transgenic oilseed rape along transportation routes and port of Vancouver in western Canada. *Environ Biosafety Res* 5(2):67–76.