

# 生物技术在提高棉花可持续发展性上的作用

Roy G. Cantrell – 美国棉花公司农业研究部副总裁  
美国

## 摘要

人口增长促使了对纺织纤维需求的增加，这个需求的增长可以通过天然纤维如棉，或化学纤维来实现。通过增加全球的棉花种植面积看来不是可满足这一需求的可持续性方案，因此需要采用现代技术以尽可能持续性的方式提高亩产率。现代生物技术在全球正以非常快的步伐被应用于棉花的生产中。棉花种植者已经认识到生物技术可以为棉花生产在减少投入和提高产量上带来益处。在许多情况下，在棉花生产上投入的减少随之带来的就是有利于棉花可持续性发展的积极影响。生物技术在棉花生产上对环境带来的显著好处是有据可查的。田里工人暴露于杀虫剂环境的时间越短，相应的他们的生活品质越高，而每包棉花所需的劳动力也相应减小。全球种植棉花区域里的许多地方都因采用了现代生物技术而提高了产量，减少了杀虫剂的用量，显著增加了棉花的收益性。因为棉花的生物技术具有提高可持续性发展的巨大潜力，因此这些技术的影响以及它们的被采用程度可能会加速发展中国家和耕地稀少国家的发展。可持续性生产体系会继续得到支持，如农作物轮作，病虫害的综合治理(IPM)，以及技术的替代或综合利用。在已经采纳的IPM体系和良好的农业文化行为中谨慎地采纳棉花生物技术将可能是提高可持续性发展的最佳途径。可持续性发展很基本的一点就是用生物技术种植的棉花被认为是综合种植系统中很重要的一个部分。

## 介绍

持续增长的全球人口数量和消费模式变化的趋势已经凸现出它们的影响—纺织纤维人均消费量在以每年3-4%的速度递增。这一不断增长的需求正在由化学合成纤维来实现。人们可以建造更多的工厂来加速生产化学纤维，就象在过去十年人们所做的一样。棉花的种植面积从1974年以来一直限制在3.0-3.5千万公顷，不可能为了满足这些需求而大幅增加。在全世界的许多地方过度种植和对土壤的过度利用一直是现有棉花种植地区的一大危害。鉴于此，对环境的关注不但是合理的，而且更应该从可持续性发展的角度来关注。与其他农产品的生产相比，棉花可持续性生产面临的挑战更加独特，因为棉花有很明显的竞争产品，即通过化学方法生产的合成纤维，这些纤维往往是来源于石油产品。如果不能提供一个价格合理的全球棉花供应，那么它就会被合成纤维所取代。这种挑战其他主要的农产品则没有！

许多人错误地理解并错误地使用了可持续性这个概念。仅仅着眼于棉花生产的某一方面不可能提高棉花的可持续性。它包含了涉及农作物和动物的整个农业生产体系。全世界的农村和农民千差万别。棉花在各地生长的环境和面临的生物竞争都大不相同。棉花的可持续性生产希望达到三个目的：

- 以积极的方式影响环境；
- 可以产生经济效益；
- 提高生活品质。

这三个目标共同实现的那种状态就是最接近实现可持续性发展目标的状态(Cantrell, 2006)。可持续性的这种概念在对比不同农业体系时非常有用。不同农业

体系之间的差别是相对的，不是绝对的。

棉花的可持续性生产应当：

- 能够满足今天和未来对纤维和食物持续增长的需求；
- 在农业经济学要求的基础上保持环境和自然资源；
- 维持农业生产的经济生存能力

零售贸易与品牌业最近对可持续性发展显示了很大的关注，主要关于对有机棉的讨论。然而，许多讨论都忽视或回避了现代技术对环境的好处，比如生物技术。当今生物技术的发展为提高棉花生产的可持续性提供了大量的机会。如果棉花生产者没有利用现代技术的途径或机会，棉花生产的可持续性是不可能实现的。如果把生物技术视为万能的，可以替代现有的主要农业系统，如病虫害综合治理，或嫁接育种等，可持续性也同样不可能实现。应该把生物技术看作是相互依赖又趋同的技术体系中的一部分。

2005年是生物改良农作物商业化的十周年。1992年联合国环境与发展大会上指出生物技术“能够为促进如更好的健康关怀，通过可持续性的农业行为加强食品安全，提高可饮用水的供应，开发更有效转化原材料的工业加工方法，支持有可持续性的植树造林，以及消除有毒废弃物等方面的发展上做出巨大贡献。”到2005年全球批准种植生物技术改良农作物（棉花、玉米、大豆和双低油菜）的国家增加到了21个。其中14个国家种植生物技术改良农作物的面积超过了50000公顷。耕种这些农作物的农民有大约90%的人是发展中国家资源贫乏的人（Clive James, 2005年“全球商业化转基因农作物的状况：2005”ISAAA简报No. 34（纽约州Ithaca市）。棉花种植者采用生物技术的步伐比其他农作物种植者都快。拥有全球棉花种植面积60%的下面十个国家目前都允许种植生物改良棉花：阿根廷、澳大利亚、巴西、中国（大陆）、哥伦比亚、印度、印度尼西亚、墨西哥、南非和美国。在2005/2006农业年度，全球棉花种植面积28%的土地上种植着有生物技术特性的各种品种的棉花，如抗虫棉，抗除草剂的棉等。这些棉花占全球棉花总产量的37%，占有出口棉花的大约38%（ICAC, 2006）。Fernandez-Cornejo（2006）估计美国2006年83%的棉花种植面积上种植着生物技术改良的棉花品种。

目前应用在棉花上的生物技术主要集中于给棉花引入一些特性，目的是减少种植者的投入。抗虫棉（IR）含有可抗鳞翅类昆虫的基因，而抗除草剂棉（HR）含有可保护棉花不受广谱除草剂影响的基因。现在具有多种特性（IR和HR）的棉花品种也已问世。现在在进行的生物技术研究目的是提高棉花的产出特性，如农作物表现、纤维品质、对非生物性压力的耐久性，和减少棉籽中的棉多酚等。本论文的目的是讨论生物技术改良的特性目前以及未来在提高棉花可持续性方面的作用。讨论的重点将在对可持续性的每一方面的影响：环境、生活质量和经济效益。

### 棉花生物技术与环境

这个问题围绕着两个关键的争论：生物技术改良棉花对环境的好处与环境的安全风险或不存在危害。在采用生物技术改良棉的国家，这种改良棉与传统种植棉相比在杀虫剂的使用上有明显的减少。减少施加杀虫剂和减少因虫害导致的减产是种植IR棉和HR棉的主要目的。杀虫剂减少的量及相应的产量增长因环境不同和害虫种类不同而差异显著。与传统种植棉相比生物技术改良棉的影响已经在试验田做过研究，

并逐渐在棉田里做一些规模较大的系统分析。Carpenter等人已经就在生物技术改良棉上杀虫剂使用模式的变化做了详尽的分析。“Comparative Environmental Impacts of Biotechnology-Derived and Traditional Soybean, Corn, and Cotton Crops (生物技术改良的和传统种植的大豆、玉米、棉花的环境影响比较)”，农业科技委员会，2002年6月。

在美国采用IR棉的主要影响是减少了杀虫剂的使用。在美国的六个州，从1995年种植IR棉之前到1999年，用在IR棉上的杀虫剂减少了120万公斤 (Carpenter和Gianessi, 2001)。这个量相当于在采用生物技术的头几年杀虫剂用量减少了14%。至今在这六个州少用了几乎1500万公斤杀虫剂。据观察在IR棉棉田里增加了对其他种类昆虫的处理。随着广谱杀虫剂用量的减少，次级的害虫在IR棉田里又出现了。然而，对IR棉所针对的害虫处理的减少比处理次级害虫增加的工作量更大。杀虫剂用量的减少也显著降低了它们对水质的影响。这些水经过渗透又会进入地表水或地下水。在美国农业部一项持续四年的研究过程中，从美国IR棉田流出的水已经不含杀虫剂 (ISAAA, 2004)。在亚里桑那州81个商业棉田里做了一项为时2年的大规模研究，结果表明，相比于传统种植棉，IR棉的杀虫剂用量减少了40% (Cattaneo等, 2006)。除了这项好处外，IR棉还可增产8.6%。IR棉替代广谱杀虫剂对保持生物多样性也有积极作用，包括一些益虫。

Qaim和Zilberman (2003) 报道了在印度IR棉杂交品种比传统种植棉减少使用杀虫剂70%，同时增产80%。印度近几年快速地采用了IR技术。2006年，880万公顷棉花种植面积上的130万公顷土地种植了IR棉。生物技术改良棉花的种植面积计划将于2007年达到约320万公顷或大约印度棉花种植总面积的三分之一。生物技术改良棉花在中国首次商业化是在1997年。2005年IR棉的种植总面积为330万公顷，约棉花种植总面积的60%。这意味着仅在中国就有超过750万的棉农种植生物改良棉花。这项技术已经减少杀虫剂用量15000吨或60-80% (Pray等人, 2002)。

对环境的影响通常是以使用的杀虫剂用量的变化或使用杀虫剂种类的多少来衡量。Kovach等人 (1992) 提出了更有效的衡量指标，称为环境影响商 (EIQ)。EIQ基于与杀虫剂有关的毒理性和环境暴露数据而建立，可用于衡量对棉田工人、消费者和生态学的影响。这样，用EIQ乘以每公顷土地使用的杀虫剂有效成分的量 (ai) 即可得到一个单一的土地值。由于几乎不可能把所有可能的环境影响因素都考虑到，所以这个值比一个绝对值在对比不同生产体系时更实用。Brookes和Barfoot (2005) 用EIQ估计了从1996-2004年全球种植生物改良棉花对除草剂和杀虫剂使用上的影响 (表1)。在每公顷上种植不同的农作物，IR棉的收获是最多的。从1996年起棉农在IR棉上少用了770万公斤杀虫剂，总体减少了15%。这个显著的降低引起环境商也降低了17%。生物改良棉花对环境影响的降低在美国、澳大利亚和中国表现得最显著 (表2)。这个结果并不意外，因为这些国家是首先采用生物技术的国家。

表1 从1996-2004年全球因采用生物改良棉花杀虫剂用量的变化 (Brookes和Barfoot, 2005)

特性	杀虫剂用量 (百万公斤)	杀虫剂变化(ai) %	EIQ变化 %
HT棉	-24.7	-14.5	-21.7

IR棉	-77.3	-14.7	-17.4
-----	-------	-------	-------

表2 从1996-2004年所选国家因采用生物改良棉花引起的EIQ变化（Brookes和Barfoot, 2005）

国家	HT棉 (EIQ减小%)	IR棉 (EIQ减小%)
美国	23	20
阿根廷	-	6.4
南非	5	-
中国	-	28
印度	-	2.1
澳大利亚	3	21.2

采用HR棉花显著地增加了亩产量，起到了保护耕地的作用。保护耕地对环境的影响也有据可查。保护耕地能够减少土壤的水土流失，增强土壤的保水能力，降低土壤退化，减少水份和化学成分的流失，保留在陆地生物圈CO<sub>2</sub>的含量。在美国已有60%的棉花种植面积上种植了HR棉，扩大了保护耕地的面积（USDA-NASS, 2004）。保护耕地的行动因地区和气候条件的不同而各异。保护耕地信息中心估计从1996-2004年美国未耕种的棉花种植区域增加了近400%。美国2004年因种HR棉花而节省的燃油和劳动力接近4800万美元（Sankula等, 2005）。Doane市场推广研究集团公司调查的棉花种植者中79%认为采用HR棉杂交品种是棉花未耕种面积增加的主要原因。

通过保持农作物残留物中的碳和减少向大气释放的CO<sub>2</sub>，减少耕种面积或增加未耕种面积在减轻全球变暖效应上起到了很重要的作用。被土壤保留的碳的量随土壤类型、耕种方式和地区的不同而有差异。在北美，国际气候变化专家小组估计未耕种土地体系每公顷能保存300公斤碳，减少耕种的土地体系每公顷保存100公斤碳，而传统耕种的土地体系每公顷损失100公斤碳（Brookes和Barfoot, 2005）。估计从1996-2004年间全球因种植生物改良棉花而保留的CO<sub>2</sub>增加了6100万公斤，这个量相当于在公路上汽车数量减少27111辆。

显然，生物改良棉花对可持续性生产的贡献应该对环境的危害最低。应当有一个透明严格公正的规范制度来检测对除了食品安全外的生态学风险，比如：

- 相关品种的基因流动或逃离；
- 对目标害虫的抵抗管理项目；
- 对非目标生物的影响；
- 生物改良棉是否更耐环境变化，比普通棉花寿命更长，或入侵了其他生物的生存环境

这些都要由全球的生物技术开发人员、政府监管部门和科学家们根据环境学专家建议的原则定期进行评估（OECD, 1992, *Safety Considerations for Biotechnology*（生物技术的安全性考虑），巴黎，50pp）。这些风险在不同地区都明显不同，应当针对当地具体情况评估。对新的生物技术改良特性的相关规范制度、审批和监督程序应当严格、透明、一致。很多国家都制订并实施了生态安全

风险评估的制度框架。现代棉花生物技术的产品可能是在各项技术中被评估得最严格的（Fitt等，2004）。

### 棉花生物技术和生活质量

可持续性中关于“生活质量”的含义往往被人们忽视了。这部分由于棉花种植中的文化差异和地区差异所致。两个最显著的影响是通过减少杀虫剂的使用和在杀虫剂中的暴露时间提高了人类健康的安全性，以及对劳动力需求的减少。中国和南非在采用了IR棉花后有力地证实了其对人们健康的好处。最近来自中国的证据表明了采用生物改良棉花对棉农健康的直接益处。与种植传统棉花的棉农相比，种植生物改良棉花的棉农中，因杀虫剂危害性导致的症状范围明显减小（Huang等，2001）。据估计，为控制棉铃虫而喷洒的农药减少了80%。在资源匮乏，农民不能使用足够杀虫剂的其他国家，生物改良棉花同样表现除了类似或更显著的优势（Fitt等，2004）。

用生活质量来衡量的可持续性，当然也受到是否有可稳定供应的食品来源的影响。相关的生物技术也在借助一些工具快速地发展来降低棉多酚在棉籽中的含量，同时保持其他植物组织的生长水平。目前这种存在于细胞腺体的心脏毒素和肝毒素的萜类化合物使棉籽对于人类和单胃动物来说还是不安全的。生物技术可以把棉籽转化为能为人类所接受的食物来源。每年有4400万吨棉籽（940万吨可用蛋白质）被生产出来，如果棉籽对人类是安全的，那么这些棉籽可为5亿人提供一年所需的蛋白质（50g/天）。因此，不含棉多酚的棉籽将为人类的营养和健康做出很大贡献，并且为下一个50年全球人口增长50%提供所需的食物。

采用了生物改良棉花也减少了对劳动力的需求。如果在社区教育、经济发展或就业方面有机会，在控制虫害上减少的劳动力也可以用于提高社会的可持续性。如果社会还有其他剩余劳动力，而却还使用童工的话，将是不可接受的。把生物技术看作是用来替代农场工人的看法也是不公平的。如果社会经济学条件需要农场劳动力，而社区间的利益分配不畅，那么这种情况可暂时称为“少有余粮的农场经营”。可持续性能够实现，但它需要社会经济学上的重大改变，而这个改变早已超出了农业生物科技的范畴。很难想象一个有可持续性的生产体系其目标是维持原有生产一包棉花所需的劳动力，或甚至还要增加劳动力。这与经济增长的趋势是相反的。对农业在用工就业上的过度依赖最终将把人们带入“少有余粮的农场经营”的圈子。生物技术改良棉花也采用了其他技术，如机械采摘和种植技术，来加速减少对生产每包棉花劳动力的需求。生物技术在提高生产率和降低劳动力成本两方面同时作用，使得美国目前生产一包棉花需要大约3小时的劳动，而在引进生物改进棉花前这个时间大约为25小时（USDANASS，2004）。严格的最低工资法律和移民改革影响了农业劳动力供给。劳动力需求的下降率也随当地条件而不同。

### 棉花生物技术和经济效益

棉花种植者总是在无休止地追求降低投入的成本同时使生产率最大化。棉花生物技术在经济效益方面起到的作用将决定其在可持续性方面的贡献程度。最近的研究报告表明高的变量和积极的经济回报有助于人们更多地采用生物技术改良棉花。经济效益水平及其分布就象生物技术本身一样由国家的研究能力、知识产权和农业

投入市场等因素决定。

在生物改良棉最先被采用的美国，好几个调查的结果都表明种植者正在从IR棉花得到更高的产量并获得更多收益。在7个州的5项研究表明，与传统棉花相比，算上采用生物技术的成本，种植IR棉的平均净回报增长了\$8.42/公顷。加上这些产量和收入，在美国种植IR棉仅1999年一年就收益9900万美元（Carpenter和Gianessi, 2001）。有层叠基因的新一代IR棉花将带来更大的经济收益。2004年，在美国因为种植新型有层叠基因的IR棉棉农得到的净收益估计为1370万美元。与传统棉花和有单一基因的棉花相比，采用层叠基因的IR棉在经济收益上要分别高28.70美元/公顷和4.23美元/公顷（Sankula等, 2005； Mullins等, 2005）。

Raney (2006)从发展中国家IR棉对农业影响的全面研究中总结了很多结果(表3)。尽管在时间和空间上有些差异，但可以得到一个正面的大致结果。种植生物改良棉（IR）的棉农由于受到主要害虫引起的损失小，所以他获得的产量较高，收入增加了，用于杀虫剂的成本降低了。购买IR棉种的较高的成本被这些因素都弥补了。

表3 以对传统棉的百分率表示的IR棉比传统棉的优势（Raney, 2006）

	阿根廷	中国	印度	墨西哥	南非
产量	33	19	34	11	65
收入	34	23	33	9	65
杀虫剂成本	-47	-67	-41	-77	-58
种子成本	530	95	17	165	89
收益	31	340	69	12	299

2005年印度种植IR棉的年增长率全球最高，增加了160%。大约超过一百万棉农种植了130万公顷的IR杂交棉（ISAAA, 2006）。印度大规模种植IR棉的行为已经称为详细审查和争论的焦点。ICAR已经在多个地区的棉田进行了IR棉成本/效益分析的试验。相比于当地和国家的统计，产量增加了62-92%（表4）。扣除种子的成本后种植IR棉平均毛收入增加了67%，净经济收益增加了105.2美元/公顷-231.9美元/公顷（ISAAA, 2002, 表4）。因为IR棉在印度的种植面积增加，所以出现了更多棉田的试验数据而非试验田的数据（APCoAB, 2006, 表5）。产量的极大增长完全抵消了较高的种子成本，杀虫剂的使用也比传统杂交棉减少了70%。

表4 印度农业研究委员会（ICAR）棉田试验IR棉杂交品种的特性表现（ISAAA, 2002和APCoAB, 2006）

品种/杂交	产量	毛收入	杀虫剂成本	额外的种子成本	净收入
	q/公顷	美元/公顷	美元/公顷	美元/公顷	美元/公顷
MECH-12 Bt	11.67	477.4	39.3	55.1	383.0
MECH-162 Bt	13.67	559.2	32.1	55.1	472.0

MECH-184 Bt	14.00	572.7	32.1	55.1	485.5
当地统计	8.37	342.4	64.7	-	277.8
国家统计	7.31	299.1	45.5	-	253.6

表5 在马哈拉施特拉2002年和2003年9000的棉田中IR棉的表现 (Bennett等, 2004)

杂交品种	为控制棉铃虫喷洒的农药		与非杂交棉相比的产量		总收益
	2002	2003	2002	2003	2003
IR棉 (杂交)	1.44	0.71	45%	63%	US\$1156.90
非杂交棉	3.84	3.11	-	-	US\$665.40

消费者和棉农、种子供应商及新技术提供者一样可以从新技术中获益。生物技术提供者和种子公司可通过对新技术和新种子向使用者收取费用而获益。由于采用新技术棉花的供应量增加，商品价格降低，美国和其他国家的消费者可间接的从生物改良作物得益。USDA-ERS估计了从BT棉和抗除草剂棉 (HT) 获得的市场收益。总收益估计为1997年从HT棉获益2.30亿美元。这个估计值也包括了在种子投入和商品输出市场的总的福利。意外的是，HT棉的使用对消费者的收益最大，因为消费者拥有HT棉投资额的57%。

### 用棉花生物技术提高可持续性面临的挑战

采用HT或IR棉面临可持续性的一个主要挑战是目标害虫 (杂草或昆虫) 的进化。因此这种技术的可持续性使用需要有一个“具体问题具体处理”的管理系统。所幸，在IR棉种植了10多年的一些国家，还未发现棉田里IR棉的目标害虫发生明显的进化。针对种植体系的抵抗力管理系统以及目标害虫改变宿主有助于目前体系的稳定。已经构建好的防御系统可以作为虫害抵抗管理系统与层叠基因系统共同起作用，延迟害虫抵抗力的进化。中国的Wang等人研究表明一些次级害虫的出现会逐渐削弱IR棉的优势 (2006)。因此IR技术的可持续性发展需要建立适当的防御系统和实施一些教育项目，来防御次级害虫的危害。目前人们缺少对次级害虫有效控制的知识 and IPM 战略，因此在这个方面需要进行研究。应当由政府、研究部门和技术供应商共同协作，针对某一特定地区实施战略以最大程度地减轻当地棉农的负担。

在美国一些HT棉田，尤其是采用保护耕地种植系统的地区，已经遇到了一些杂草对草甘膦有抵抗力的问题。在美国东南部和中西部偏北的一些偏远地区已经有记载说至少有两种主要的杂草品种对草甘膦有抵抗力 (International Survey of Herbicide Resistant Weeds (国际抗除草剂杂草调查), <http://www.weedscience.org>)。采用HT棉和IR棉的一个风险在于把这些生物技术视为万能的。这种观点会导致对可持续性生产体系里一些支柱系统，如农作物轮作、病虫害综合治理 (IPM) 及技术的替代或综合利用的削弱。在已经采纳的IPM体系 (FAO, 2002) 和良好的农业文化行为中谨慎地采纳棉花生物技术将可能是提高可持续性发展的最佳途径。

如果采用对当地棉花细胞浆不适用的技术，生物改良棉花的可持续性也会受到危害。把生物技术特质移植到当地的杂交品种的基因渗入需要的时间和成本，加上



知识产权等这些因素也会使问题恶化。一些新技术，如DNA标记等，正被用于生物改良棉花的开发中，这些技术可以缩短基因渗入的时间，更好地为当地种植保存目标基因背景。当人们获得关于棉花基因组更多的信息时，这些用标记辅助的选择工具将通过国际棉花基因组小组（**International Cotton Genome Initiative**, <http://icgi.tamu.edu>）的工作而被广泛使用。象IPM一样，在生物改良棉花的时代，传统的细胞浆育种研究工作将面临被取代的危险。可持续性发展很基本的一点就是把生物技术改良棉花看作是综合种植系统中的一个重要部分。

## 参考文献

- APCoAB (2006) Bt cotton in India – A status report. Asia-Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology, New Delhi, India. p 34.
- Bennett, RM, Ismael, Y, Kambhampati, V, and Morse, S (2004) Prospects for Bt cotton technology in India. *AgBioForum* 7:96-100.
- Brookes, G, and Barfoot, P (2005) GM Crops: The global economic and environmental impact – The first nine years 1996-2004. *AgBioForum* 8(2&3):187-196.
- Cantrell, RG (2006) A focus on sustainability. Engineered Fiber Selection Conference, June 2006. (<http://www.cottoninc.com/Sustainability/FocusonSustainability/>).
- Carpenter, J, Felsot, A, Goode, T, Hammig, M, Onstad, D, and Sankula S (2002) Comparative environmental impacts of biotechnology-derived and traditional soybean, corn and cotton crops. Council for Agricultural Science and Technology (CAST), Ames, IA. pp 198. June, 2002.
- Carpenter, J and Gianessi, LP (2001) Agricultural biotechnology: Updated benefit estimates. National Center for Food and Agricultural Policy, Washington, DC. pp 46 (<http://www.ncfap.org>).
- Cattaneo, MG, Yafuso, C, Schmidt, C, Huang, C, Rahman, M, Olson, C, Ellers-Kirk, C, Orr, BJ, Marsh, SE, Antilla, L, Dutilleul, P, and Carriere, Y (2006) Farm-scale evaluation of the impacts of transgenic cotton on biodiversity, pesticide use, and yield. *Proc. Natl. Acad. of Science* 103(20):7571-7576.
- FAO (2002). International code of conduct on the distribution and use of pesticides. [http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/Pesticid/Code/PM\\_Code.htm](http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/Pesticid/Code/PM_Code.htm) (Adopted by the Hundred and Twenty-third Session of the FAO Council in November 2002).
- Fernandez-Cornejo, J (2006) Adoption of genetically engineered crops in the U.S. Data Product. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <http://www.ers.usda.gov/Data/BiotechCrops/>. June 2006.
- Fitt GP, Wakelyn PJ, Stewart JM, Roupakias D, Pages J, Giband M, Zafar Y, Hake K, and James C (2004) *Report of the Second Expert Panel on Biotechnology in Cotton*, International Cotton Advisory Committee (ICAC), Washington, DC, USA, Nov. 2004.
- Huang, J, Rozelle, S, Pray, C, and Wang, Q (2001) Plant biotechnology in China. *Science* 295:674-678.
- Kovachs, J, Petzoldt, C, Degni, J, and Tetti, J (1992) A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin*. Geneva, NY: NYS Agricultural Experiment Station, Cornell University, (<http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/>).
- Mullins, W, Pitts, D, and Coots, B (2005) Sister-line comparisons of Bollgard II versus Bollgard and Non-Bt cottons. 2005 Beltwide Cotton Conference. pp 1822-1824.
- Pray, C, Huang, J, Hu, R, and Rozelle, S (2002) Five years of Bt cotton in China – the benefits continue. *Plant J* 31:423-430.
- Price, GK, Lin, W, Falck-Zepeda, JB, and Fernandez-Cornejo, J (2003) The size and distribution of market benefits from adopting agricultural biotechnology. U.S. Department



of Agriculture, Economic Research Service, Technical Bulletin No. 1906. Nov. 2003.

Qaim, M, and Zilberman, D (2003) Yield effects of genetically modified crops in developing countries. *Science* 299:900-902.

Raney, T (2006) Economic impact of transgenic crops in developing countries. *Current Opinion in Biotechnology* 17:1-5.

Sankula, S, Marmon, G, and Blumenthal, E (2005) Biotechnology-derived crops planted in 2004 – Impacts on US agriculture. National Center for Food and Agricultural Policy, (<http://www.ncfap.org/whatwedo/pdf/2004biotechimpacts.pdf>), December 2005.

Wang, S, Just, DR, and Pinstrip-Anderson, P (2006) Tarnishing Silver bullets: Bt technology adoption, bounded rationality and the outbreak of secondary pest infestations in China. American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Long Beach, CA. July 22-26, 2006.