

# 中国 Bt 抗虫棉的收益、成本和影响

范存会\*

**摘要** 本文利用 1999 年以来关于抗虫棉采用情况的持续调查数据, 检验了 Bt 抗虫棉的生产效果。分析表明, 采用 Bt 抗虫棉能够提高棉花的产量; 更重要的是, 种植 Bt 抗虫棉的农户由于减少了农药和劳动力投入而增加了收入, 同时, 对改善环境和保护农民健康也有正面影响。中国的经验可以被其他发展中国家所借鉴。

**关键词** 生物技术, 棉花, 经济影响

## 一、引言

尽管越来越多的迹象表明, 美国采用的 Bt 抗虫棉可以减少杀虫剂的使用, 降低农民的生产成本并增加产量 (Perlak 等, 2001), 对生物技术持批评态度的主要国家仍然怀疑该技术是否真的会给发展中国家的小农户带来效益。这些发展中国家包括中国 (Pray, Huang, Ma 和 Qiao, 2001; Huang, Hu, Rozelle, Qiao 和 Pray, 2002)、南非 (Ismael 等, 2001) 和墨西哥 (Traxler, Godoy-Avila, Falck-Zepeda 和 Espinoza-Arellano, 2001) 等。最近在国际遗传资源行动杂志发表的一篇文章 (GRAIN, 2001) 认为 Bt 抗虫棉对棉花产量没有任何正面影响, 并且这意味着棉铃虫正在成为中国需要重新面对的一个问题, 因为它们开始对 Bt 基因产生抗性。

本研究利用三年的农户水平调查数据, 考察了 Bt 抗虫棉对中国棉花生产的影响。之前的研究曾经采用 1999 年对河北和山东两省 283 个农户的调查数据, 分析了 Bt 抗虫棉对中国的影响。本研究就是以该研究为基础 (Pray 等, 2001; Huang, Hu, *et al.*, 2002; Huang *et al.*, in press; Huang, Rozelle, *et al.*, 2002)。这些最近发表的文章表明采用 Bt 抗虫棉给贫穷的小农户带来了明显的、正面的经济利益和健康利益。

中国的农村经济发展很快。农村环境近年来发生了很大的变化, 以至于影响到农民种植 Bt 抗虫棉的收益和成本。虽然 20 世纪 90 年代后期以来我国棉花市场已经开始了商品化改革, 但 1999 年大部分棉花还是由国营棉麻公司

\* 北京市财政局。通讯地址: 北京市财政局农业处, 100037; 电话: (010)68416403, 13671294573; E-mail: fancunhui@yahoo.com.cn。本研究得到了英国 Sussex 大学发展研究所、国家农业研究国际服务组织 (IS-NAR)、美国 Rockefeller 基金和国家自然科学基金(70024001, 中国)的资助; 本文得到了黄季 胡瑞法、Carl E. Pray 和 Scott Rozelle 的指点, 在此表示感谢。当然作者文责自负。

按照政府定价收购的。从2000年开始,政府允许棉花价格可以根据市场情况波动。允许棉纺厂直接向棉农收购棉花。棉花投入方面,2000年通过的新种子法赋予私有种子公司合法权益,并允许它们在许多省份营业。这些措施导致棉花价格急剧变化,增加了Bt抗虫棉种子价格的可获得性,并且改变了Bt抗虫棉种子的定价策略。

在中国农村经济变化的背景下,本研究的目标是重新考察我们早期的发现,即分析1999年、2000年与2001年的连续调查中,农户采用Bt抗虫棉的效果。来自官方的报告表明Bt抗虫棉的采用在棉花主产区迅速扩展。我们的调查数据和计量经济分析表明,农户2000年和2001年采用Bt抗虫棉,可以继续提高单位面积的棉花产量,并且这种增产收益扩展到了所有样本省份。更重要的是种植Bt抗虫棉的农户通过减少农药使用和劳动力投入,也在一定程度上增加了其收入。但是Bt抗虫棉的有效性也削弱了其收益。随着棉花产量的提高和种植面积的扩大,棉花价格由于棉花供给增加而下降。棉花消费者也获得了原本仅属于生产者的利润。最后,调查数据显示Bt抗虫棉通过减少农药投入,对环境也有正面影响。我们的证据表明农民由于减少了农药投入,遭受的健康问题也有所减少。结论是我国的情况不是惟一的,对于采用类似技术的其他发展中国家同样具有借鉴意义。

## 二、中国Bt抗虫棉的发展和采用

我国对生物技术研究进行了大力投资(Huang, Rozelle等,2002)。生物技术研究的投入经费来源和国际上其他大部分国家不同,私人投资不是主要部分,主要是公共投资。

害虫,对于棉花来讲尤其是棉铃虫(*Helicoverpa armigera*),是北方棉区棉花生产面临的主要问题。各地农民曾经利用农药防治这些虫害。但由于棉花害虫对农药不断产生抗性,农民不得不每隔几年就更换农药。最后采用了有机磷、聚酯和其他农药(包括DDT,虽然采用氯烃化合农药是非法的)的混合农药防治虫害,但治害效果依然不佳。

随着虫害种群的增加和农药防治效果的持续降低,棉农投入的农药量剧增。农民每公顷棉花的农药投入量比其他大田作物多(Huang, Hu等,2002)。虫害问题迫使科学家们寻求各种解决办法,包括开发新的杀虫剂,培养新的抗虫棉品种以及研究用于控制虫害的害虫综合防治(IPM)项目。在棉花植株内植入抗虫基因完全可行的情况下,我国的科学家们积极的参与了转基因研究。在政府部门科技资金的扶持下,中国农业科学院生物技术研究所(原生物技术研究中心)利用改造后的Bt融合基因(Cry 1ab和Cry 1Ac),研究出了Bt抗虫棉品种。利用中国自主的方法(花粉导管路径法),把抗虫基因转入主要棉花品种。研究者们检验了这些品种对环境的影响后,于1997年,

将其投入商品化生产 (Pray 等, 2001)。

Monsanto 和另外两个棉花种子公司 Delta 与 Pineland 合作, 开发出了 Bt 抗虫棉品种, 于 20 世纪 90 年代中期开始和中国棉花研究所 (隶属中国农业科学院, 位于河南省安阳市) 合作。1997 年开始测试了几个品种, 并且被中国生物安全委员会批准进行商品化生产。棉花研究所的科学家们同时也在研究自主品种, 并于 20 世纪 90 年代后期开始发布。

随着 Bt 抗虫棉的推广, 中国省级和地方政府的研究机构利用 Monsanto 和中国农业科学院的 Bt 抗虫棉品种, 和当地品种进行回交杂交, 生产新的 Bt 抗虫棉品种。这些品种目前被黄河流域棉区的农民采用。

目前中国农业科学院 (CAAS) 获得生物安全委员会的许可, 在全国各省销售 22 个 Bt 抗虫棉品种。生物安全委员会曾经批准了在四个省份销售 5 个 Delta 以及 Pineland 的 Bt 抗虫棉品种。来自国家研究机构如安阳棉花研究所和一些省级研究机构的 Bt 抗虫棉品种都开始被农民种植, 但有些当地品种没有获得中国生物安全委员会的正式批准。随着这些被批准的和没有被批准的棉花品种的商品化生产, Bt 抗虫棉的推广非常迅速, 根据中国科学院农业政策研究中心的估计, 我国棉花 2001 年的播种面积中有 45% 是 Bt 抗虫棉。

### 三、数据和调查

为了估计生物技术对中国的影响, 中国科学院农业政策研究中心在 1999—2001 年间做了一系列调查。每次的连续调查都扩大了样本规模和调查省份, 因为 Bt 抗虫棉的推广在逐年扩大。

调查始于 1999 年, 选择的样本农户位于黄河流域棉区河北省的两个县和山东省的三个县。采用在这些县选择的样本可以比较 Monsanto 和中国农业科学院的 Bt 抗虫棉品种以及普通棉花品种的差别。选择河北省是因为当时 Monsanto 的品种只被允许在该省进行商品化生产。河北省的另一个样本县是辛集, 因为中国农业科学院 (CAAS) 的最新基因工程品种只被批准在该县种植。选择山东省的县为样本是因为当地的棉农种植了中国农业科学院的 Bt 抗虫棉品种 GK-12 和一些非 Bt 抗虫棉品种。确定了样本县以后, 分别在各县随机选择 2 个样本村, 根据各村提供的农户户籍名单, 分别随机选择了约 25—30 个农户 (数量随着村子规模而调整)。样本县的农户基本上都是在同一年开始种植抗虫棉, 这是由于抗虫棉技术的推广工作都是由当地农业技术推广部门 (如农技站等) 完成的。经过中国农业政策研究中心培训的调查员对每位农民调查 2—3 个小时, 1999 年的调查得到了 283 个样本农户的数据。

2000 年的调查中, 增加了河南省两个县的样本, 目的是估计当地种植的 Bt 抗虫棉和普通棉花品种的差别。2000 年对 1999 年调查过的河北和山东两省的样本村作了连续调查。样本农户总数增加到 407 户。

2001年的调查增加了安徽和江苏两省的样本县,因为Bt抗虫棉的推广已经扩展到了南方省份。样本县、村和样本农户的抽样方法采取了和1999年及2000年同样的调查方法。样本农户总数为366户。

#### 四、Bt抗虫棉在大田的表现

中国研发Bt抗虫棉的目的是为防治虫害提供更有效的手段。科学家们希望采用Bt抗虫棉的农户可以充分减少农药使用量,并能更好地控制棉铃虫。这可相应地降低生产成本并提高棉花单产。

##### 1. 对棉花产量的影响

表1的数据表明Bt抗虫棉品种的产量要比非Bt抗虫棉品种的产量高。2001年所有被调查农户种植的Bt抗虫棉品种产量要比非Bt抗虫棉品种高10%。这与以前研究中的计量经济分析结果一致,当时的结论是:1999年采用Bt抗虫棉能增加棉花单产8%—15%(Huang, Hu等,2002)。

种植过Bt抗虫棉数年的省份,其增产效果可以持续,Bt抗虫棉品种的效力没有随着时间的推移而明显退化。这回应了认为棉铃虫正在对Bt抗虫棉产生抗性的观点。相反,样本的趋势表明农民可能正在学会更好地管理Bt抗虫棉品种的种植,从而获得较高的产量。

表1 样本省份Bt抗虫棉和非Bt抗虫棉的产量,1999—2001

变量	样本个数			单产(公斤/公顷)		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001
			河北			
Bt抗虫棉	124	120	91	3197	3244	3510
非Bt抗虫棉	0	0	0	na	na	na
			山东			
Bt抗虫棉	213	238	114	3472	3191	3842
非Bt抗虫棉	45	0	0	3186	na	na
			河南			
Bt抗虫棉	—	136	116	—	2237	2811
非Bt抗虫棉	—	122	42	—	1901	2634
			安徽			
Bt抗虫棉	—	—	130	—	—	3380
非Bt抗虫棉	—	—	105	—	—	3151
			江苏			
Bt抗虫棉	—	—	91	—	—	4051
非Bt抗虫棉	—	—	29	—	—	3820
			样本总体			
Bt抗虫棉	337	494	542	3371	2941	3481
非Bt抗虫棉	45	122	176	3186	1901	3138

注:河南省2000年的棉花生产遭受了严重的洪灾,降低了产量。调查的样本县包括河北省的辛集(1999—2001)和深州(1999—2000),山东省的梁山(1999—2001)、夏津(1999—2000)和陵县(1999—2000),河南省的太康和扶沟(2000—2001),安徽省的东至、望江和宿松(2001)以及江苏省的射阳和如东(2001)。

## 2. 生产成本

比较表 2 中 Bt 抗虫棉和非 Bt 抗虫棉的农药使用情况, 表明种植 Bt 抗虫棉品种可以减少农药使用量。最早采用 Bt 抗虫棉的省份(河北和山东省)农药投入量仍然很低(表 2)。河南和安徽两省 Bt 抗虫棉的商业化生产要晚些, 农药投入量和非 Bt 抗虫棉品种相比, 显著减少。江苏省是例外, 由于红蜘蛛和棉铃虫相比更严重, 两种棉花品种的农药投入量差别很小, 每公顷仅差 7 公斤。这说明 Bt 抗虫棉的推广扩大到棉铃虫不是主要虫害的地区时, 幅度可以减小。在这些地区生产 Bt 抗虫棉的经济利益不高, 如果 Bt 抗虫棉种子的价格很高, 则经济利益更低。

河南省棉铃虫的危害和河北省同样严重, 但农民只能买到低质的 Bt 抗虫棉种子。省种子公司主要提供由当地研究机构开发的品种, 处于种子生产实质性的垄断地位。另外, 国家生物安全委员会不允许在该省种植 33B 和 90B 品种, 农民不得不非法种植由私人种子商提供的 33B 和中国农业科学院品种, 或者种植当地培育的, 但没有被生物安全委员会批准的 Bt 抗虫棉品种。河南棉花种子的另一个问题种植夏棉, 降低了 Bt 抗虫棉的表现(Wu, 2002)。

样本地区 Bt 抗虫棉单位面积的农药投入量随时间的推移有增加的趋势(表 2)。在三年连续调查的省份, 每公顷农药投入量的变化趋势则是混合的, 没有明显的规律。精确评估 Bt 抗虫棉对农药投入的影响需要更具有方法论导向性的估计, 本文后面将对此进行分析。

表 2 Bt 和非 Bt 抗虫棉的农药施用(公斤/公顷)(1999—2001)

年份	样本点	Bt 抗虫棉	非 Bt 抗虫棉
1999	所有样本	11.8	60.7
	河北	5.7	—
	山东	15.3	60.7
2000	所有样本	20.5	48.5
	河北	15.5	—
	山东	24.5	—
	河南	18.0	4—8.5
	2001	所有样本	32.9
2001	河北	19.6	—
	山东	21.2	—
	河南	15.2	35.9
	安徽	62.6	119.0
	江苏	41.0	47.9

注: 红蜘蛛是安徽和江苏两省 2001 年最严重的虫害, 而棉铃虫危害不很严重。

## 3. 对农户收入的影响

表 3 是每公顷 Bt 抗虫棉生产的平均成本和收入数据, 从而可以得出净收益(或者净收入)。投入方面, Bt 抗虫棉的种子成本总是高于非 Bt 抗虫棉的种子成本。但是高出的这一部分成本被更多地减少的农药和劳动支出抵消,

因为种植 Bt 抗虫棉的农户不需要花费太多时间喷洒农药。其中计算劳动力成本采用样本农户提供的单位面积劳动力投入天数乘以劳动力日工资额。

Bt 抗虫棉的生产收入要高于非 Bt 抗虫棉的生产收入, 因为前者产量较高(见表 1), 假定 Bt 和非 Bt 抗虫棉的价格相同, 总收益减去总生产成本, 表 3 的数据(最后一行)表明生产 Bt 抗虫棉的净收入要高一些。

表 3 所有被调查农户平均每公顷的成本和收入(US\$), 1999—2001

	2001		2000		1999	
	Bt 抗虫棉	非 Bt 抗虫棉	Bt 抗虫棉	非 Bt 抗虫棉	Bt 抗虫棉	非 Bt 抗虫棉
产出收益	1277	1154	1578	1013	1362	1265
	非劳动成本					
种子	78	18	59	21	62	63 <sup>a</sup>
农药	78	186	52	118	31	177
化肥	162	211	132	128	154	154
有机肥	44	53	41	18	28	34
其他成本	82	65	86	70	120	88
劳动力	557	846	840	841	616	756
总成本	1000	1379	1211	1196	1011	1271
净收益	277	-225	367	-183	351	-6

注: 1999 年普通棉花种子的价格较高, 因为调查样本中有 9 个农户种植了新品种“不修棉”, 该类棉花品种可以减少管理所需的劳动投入; 种子成本是每公顷 155 美元。

需要指出的是, 虽然本文的样本数据表明, 农民种植 Bt 抗虫棉的确可以比种植非 Bt 抗虫棉获得更多的净收益, 但农户收入的增加也可能是暂时的, 因为种植 Bt 抗虫棉可以带来更高的棉花产量, 在棉花需求和其他条件不变的情况下, 棉花价格必然会下降。至于种植 Bt 抗虫棉对农民净收入的长期影响, 还需要估计棉花的需求曲线, 并得出需求价格弹性, 这里暂不探讨。

#### 4. 生产和价格影响

(1) 生产区域和趋势。Bt 抗虫棉在中国黄河流域恢复了棉花生产(中国北方)。1991 年棉花生产达到过顶峰, 全国棉花产量为 300 余万吨。1993 年黄河流域棉区的产量跌到了 140 万吨。导致产量下降的原因是严重的棉铃虫危害, 当地的劳动力投入成本增加和作物比较收益的变化(Hsu 和 Gale, 2001, p. 19)。1999 年当 Bt 抗虫棉开始在该地区被广泛推广后, 棉花产量开始反弹。河北和山东两省, 棉花播种面积从 1998 年的 729 700 公顷, 增加到 2000 年的 876 100 公顷(国家统计局, 1999—2001)。农民们反应具有抗虫害特点的 Bt 抗虫棉使他们能够抵御棉铃虫危害, 成功地种植棉花, 同时可以降低其生产成本。

通常长江流域的棉花产量(中国南方)稳定, 而西北地区的棉花产量逐渐增长。西北棉区基本上是沙漠绿洲, 虫害问题较少, 产量较高, 棉纤维的质量也比其他地区高。西北棉区的主要问题是远离棉花市场, 因为棉花市场

主要分布在长江和黄河流域棉区。为了降低运输成本并鼓励该地区增加生产,中国政府为该地区农民的主要投入(如灌溉和耕耘机械、种植和收获过程)提供了补贴。

(2) 价格波动。其他情况不变,由于控制了虫害损失带来的产出增长,使得原棉价格降低,Bt 抗虫棉产生的部分收益被传递给消费者。然而,1999年和2000年间棉花价格攀升,到2001年才有所下降。1999年的调查样本表明,农民种植的Bt 抗虫棉价格为3.4元/公斤,常规棉花为3.32元/公斤。2000年Bt 抗虫棉和非Bt 抗虫棉的价格分别增加到4.45和4.42元/公斤,提高了30%。2001年的Bt 抗虫棉和非Bt 抗虫棉的价格分别急剧下降为3.02和3.07元/公斤,这比1999年的价格水平大约下降了10%。

价格的波动主要由于国内供给和需求因素的变化以及全球棉花市场的改变。后者主要是棉花价格由于受到棉花出口国(例如美国)对棉农的补贴而被严重扭曲。范存会近年的研究(2002)表明,1997—2001年间由于Bt 抗虫棉的采用,棉花价格大约下降了3%。棉花消费者尤其是棉纺工业获得了农民采用Bt 抗虫棉产生的部分利益。

价格的这些变化趋势意味着采用Bt 抗虫棉带来的利益开始部分地被传递给了棉花消费者。获益的第一批消费者是生产棉纱和布料的大型轧花厂。尽管2001年价格下降,简单的预算描述性分析也表明,农民能够通过种植Bt 抗虫棉替代非Bt 抗虫棉,每公顷净收入增加\$500(表3)。

为了验证我们对Bt 抗虫棉的调查结果——Bt 抗虫棉可以减少农药使用量从而提高产量,本文下面将首先引入一个实证模型,测度抗虫转基因农作物对农药使用和产量的影响。然后利用我们的调查数据,估计该模型,最后给出计量经济学的估计结果。

## 五、模型和估计结果

### (一) 测度 Bt 抗虫棉对产量的影响

由于Bt 抗虫棉和非Bt 抗虫棉的农药使用以及产量表现都共同受一些因素影响(例如地理和天气条件,虫害的严重程度,农民特征和生产投入),我们在实证分析中首先估计一个农药使用方程,然后采用生产函数方法估计Bt 抗虫棉对作物生产率的影响。生产函数方法中,我们试图测算两种不同类型的变量对棉花生产的影响:(a) 损失控制投入,如农药使用和/或主要抗虫作物品种;(b) 正常投入,如化肥和劳动力。

其他变量相同时,损失控制要素的投入不会必然地增加产量。相反,其主要作用是控制损失,保证产出不下降。相反,正常投入品包括化肥和劳动力,可以直接提高产量。当试图采用模型实证地考察农药和Bt 抗虫棉品种对

棉花产量的影响时,应该考虑这些投入品的特殊性质。生产函数分析中,考察损失控制投入品的影响,也就是测算由于采用了这类损失控制投入品所“挽回”的产量。参考 Headley (1968) 和 Lichtenberg 与 Zliberman (1986) 采用过的方法,可以将一个损失控制函数引入到传统的农业生产模型中(范存会等, 2002)。然而,和以往的一些研究有所区别(包括我们自己以前对大米的研究——Widawsky, Rozelle, Jin 和 Huang, 1998),本研究将具有抗虫特性的棉花植株受体变量引入到模型中,体现在损失控制函数里。

本研究考虑了两种损失控制投入:农药和 Bt 抗虫棉品种。从概念上, Bt 抗虫棉品种和化学农药的区别只是控制虫害的方式不同, Bt 抗虫棉作为一种基因工程作物,在棉株内产生了一种天然的农药——*Bacillus thuringiensis* (Bt) 毒素,所以这是一种和农药有替代关系的投入品。实际上,采用 Bt 抗虫棉品种的农户和那些没有采用的农户在产出方面的主要区别,就是用于控制虫害所投入的农药量不同。

另外,由于其他原因, Bt 抗虫棉品种也可能会提高产量。考虑到那些对虫害抗性很低,但产量较高的常规品种,由于害虫损害而难以被农户采用,这些高产品种可能既不会被批准用于商品化生产,也不会被农民大面积种植。如果在这些高产植株内转入 Bt 基因,推广后的 Bt 抗虫棉品种与非 Bt 常规棉花品种相比,可以带来较高的产量。考察采用 Bt 抗虫棉的农户种植的品种,即使控制了非品种因素的影响,不同品种之间产量的差别还是很大的<sup>1</sup>。

高产和高抗性之间的平衡,可能是产量差异的主要原因。Bt 抗虫棉和非 Bt 抗虫棉相比,其较高的产量也可能是管理方式所致, Bt 抗虫棉要比非 Bt 抗虫棉更容易管理。Bt 抗虫棉对产量的影响主要是由于能够更及时控制害虫造成的损失,这是损失控制投入要素 Bt 基因的特殊作用。根据以上讨论,我们可以给出以下三个假设以备检验:

假设 1 Bt 抗虫棉通过将作物生产曲线向生产边界移动,对产量有正的影响;

假设 2 Bt 抗虫棉通过控制损害减少产量损失;

假设 3 农药仅仅通过控制损害,影响非 Bt 抗虫棉的产量。

## (二) 产量模型

以上讨论的损害控制特性表明,观测到的作物产量  $Y$  可以被表示成正常投入  $X$  和损失控制投入  $Z$  的函数:

$$Y = f(X)G(Z), \quad (1)$$

<sup>1</sup> 我们利用传统品种(不包括 Bt 抗虫棉品种),检验了棉花生产的生产函数。结果表明种植面积尚小的新品种虚变量估计系数显著为正。



其中, 向量  $X$  包括正常投入 (劳动力, 化肥和其他投入), 有关农业特征的因素 (如农户特征), 地点和时间因素以及其他因素 (例如气候和自然灾害)。  $G(Z)$  项是损失控制函数, 它是损失控制要素  $Z$  的函数 (本研究中,  $Z$  包括虫害爆发期间, 农户为了控制虫害而采用的农药和 Bt 抗虫棉品种)。损失控制函数满足累积概率分布的特征。其定义域为  $[0, 1]$ 。如果  $G(\cdot) = 1$ , 表示损失控制要素完全控制了作物损失; 如果  $G(\cdot) = 0$ , 表示作物产量完全被虫害破坏。  $G(\cdot)$  是  $Z$  的非减函数。损失控制要素增加时, 取值接近于 1。

如果假定  $f(X)$  是一个 Cobb-Douglas 生产函数, 损失控制函数  $G(Z)$  是一个指数函数<sup>2</sup>, 则方程 (1) 可以写为:

$$Y = a \prod_i X_i^{k_i} [1 - \exp(-cZ)]. \quad (2)$$

其中  $a$ ,  $k_i$ ,  $c$  都是待估参数, 限制  $c$  为正。  $i$  表示第  $i$  种投入要素, 包括劳动, 化肥和其他物质投入 (除了化肥和农药以外的其他物质投入总和)。变量  $Z$  表示农药使用量。可以分别估计 Bt 抗虫棉和非 Bt 抗虫棉由等式 (2) 表示的模型。

为了检验我们的假设, 估计中把 Bt 和非 Bt 抗虫棉的数据合并, 得到一个更一般的损失控制生产函数, 其中假设 Bt 抗虫棉特性和农药的效果之间存在如下关系:

$$a = a_0 + a_1 \text{Bt}, \quad (3)$$

$$c = c_0 + c_1 \text{Bt}, \quad (4)$$

其中 Bt 是一个虚变量, 1 代表 Bt 抗虫棉品种, 0 代表其他品种。

### (三) 农药使用模型

上述模型没有考虑到可能存在的统计问题: 生产函数中农药使用的内生性。因为需要根据虫害压力 (虫害压力不是本研究所控制的因素) 对农药使用做出反应, 较严重的虫害会导致较低的产量。因此, 变量  $Z$  的协方差和生产函数的残差项可能不等于零, 从而得出农药对产出影响的估计系数有偏。也有可能农民的农药使用量对产量而言存在内生性, 在虫害、农药使用量和棉花产量之间有可能存在系统相关性<sup>3</sup>。

<sup>2</sup> 由于 Fox 和 Weersink (1995) 曾经指出过估计结果对函数形式很敏感, 我们也曾经采用过 Weibull 和其他不同的函数形式进行分析。然而, 即使我们采用了很高的收敛标准, 这些模型仍没有一个收敛。

<sup>3</sup> 理论上, 农户采用 Bt 抗虫棉也应该被看作是另一个内生变量。但是, 我们的样本中采用 Bt 抗虫棉的地块和转基因改造作物的商品化政策以及在批准 Bt 抗虫棉商品化地区的公共种子销售系统高度相关。虽然试图估计过 Bt 抗虫棉的采用情况, 但是没有得出稳健的结果, 并且所有将 Bt 抗虫棉作为内生变量的损失控制模型都不能在合理的收敛标准下达到收敛。

为了解决这些计量经济问题,我们在实证分析中采用了工具变量(IV)法。为此需要确定一个有关农药施用的工具变量,该变量要和实际农药施用量有关系,但不会直接影响产量,只是通过影响农药施用量,间接地影响产量。模型首先估计一个农药使用模型。然后将农药使用量的估计值带入模型(2)。如果农药使用方程中存在一些能够解释农药施用量,但对产量没有独立解释能力的变量,那么这些工具变量应该能够允许我们很好地解释 Bt 基因和农药对棉花产量的影响,以及两种虫害控制技术之间的相互作用。

为了采用工具变量法,我们先假定有些控制变量,如农户特征(年龄、是否村干部、是否接受过种植 Bt 抗虫棉的培训和受教育程度)、棉花品种虚变量(Bt 和非 Bt,包衣和非包衣种子,以及杂交和非杂交种子)和四个省份虚变量,可以同时被带入产量和农药施用方程,认为农药施用取决于使用农药的概率<sup>4</sup>。这里引入了三个方法来考虑这一影响:(a)农户个人认为农田上虫害问题的严重程度(估计的产量损失——如果不喷洒农药,农民认为作物产量可能会损失的比例);(b)农药价格,单位是元/公斤;(c)总的耕地面积(农户生产规模而不单是棉花播种面积)。价格采用农户购买农药的单位价值。计算方法是利用农户购买的农药总量,除以总的农药支出<sup>5</sup>。从逻辑上分析,三个变量满足工具变量的标准(影响内生变量(农药施用量),但除了通过影响农药施用量,间接地影响产量外,不直接影响产量)。这些工具变量通过了 Hausman-Wu 排除约束统计检验。

概括上述讨论,农户农药施用模型(农药施用量)可以用以下方程解释:

农药施用量 =  $f$ (产量损失估计,农户规模,年龄,受教育程度,村干部虚变量,接受培训虚变量,包衣种子虚变量,杂交种子虚变量,Bt 抗虫棉虚变量,洪涝灾害虚变量,省份虚变量,年份虚变量), (5)

其中方程(5)右边前三个变量是工具变量,其他变量都是控制变量。方程特别引入了 Bt 抗虫棉虚变量,等于 1 时表示种植了 Bt 抗虫棉,等于 0 时表示种植了其他品种。还引入了其他相关的种子虚变量——包衣种子和杂交棉虚变量、年龄、受教育程度、村干部虚变量、洪涝灾害和省份虚变量,以控制其他因素的影响。方程的因变量是农药施用量,定义为每公顷施用农药的公斤数。可选择的另一个设定是采用农药投入成本(元/公顷)作为因变量,

<sup>4</sup> Beach 和 Carlson(1993)的研究表明,农民采用 Bt 品种的动机是希望改善水质和自身健康。虽然对我们的样本农户研究表明,这可能是真的(也就是说我们应该包括反映这些问题的变量),但我们的调查并没有搜集这方面的信息来创造能够控制这些因素的变量。虽然令人有些遗憾,我们估计农药施用方程主要是为了确定农药投入对产量方程的影响。因此,只要我们引入的工具变量是成功的,对农药施用的一个不完全的说明还是无需关注的。

<sup>5</sup> 调查中我们试图采用杀虫率剂量给农药投入量加权。但不幸的是,并非所有农户都知道所购买农药的杀虫强度,只有少部分农户为我们提供了这方面的信息。因此我们采用的农药投入量是农户购买量的直接加总,并没有被赋予权重。但由于没有加权的农药投入量和那些提供了完全信息的农户的农药投入量之间相关系数大于 0.50(并且显著不为 0),所以我们相信采用没有加权的农药投入量不会有问题的。

得到类似的结果。因此,本文只列出了前一设定的结果。在两个方程组系统中,模型(2)和方程(5)采用两阶段最小二乘非线性估计方法。为了和采用传统生产函数方法的估计结果相比较,我们还利用最小二乘法(OLS)估计了CD生产函数,该模型把农药施用量和Bt抗虫棉虚变量作为与劳动以及化肥相同的正常投入要素处理。

考虑到随时间的推移,棉铃虫可能会对Bt基因产生抗性,我们进一步设定方程(5)中的Bt抗虫棉虚变量由以下三部分组成:

$$b_0Bt + b_{2000}Btt_{2000} + b_{2001}Btt_{2001}, \quad (6)$$

其中 $b$ 是待估参数,2000和2001是两个年份代码, $t_{2000}$ 和 $t_{2001}$ 是2000年和2001年的年份虚变量。

以下是我们待检验的假设:

**假设4** Bt抗虫棉可以减少农药施用。如果 $b_0$ 显著小于零,这一假设将接受。

**假设5** 随着时间的推移,棉铃虫会对Bt基因产生抗性。当且仅当 $b_{2000} > 0$ 而且 $b_{2001} > b_{2000}$ 时,这一假设才不会被拒绝。

## 六、结 果

### (一) 对棉花产量的影响

我们对Bt抗虫棉和其他虫害控制措施的分析表明了其产量效果。生产函数的分析结果和中国农业部门典型的农户研究得出的结果一致(Ye和Rozelle, 1994; Li, 1999)。劳动力和化肥变量的系数表明其产出弹性都很低;我们估计出的劳动投入量的弹性接近零,化肥使用量的弹性大约是0.11—0.13(表4)。样本地块上每公顷投入了400多公斤化肥,是全世界最高的。劳动力投入平均每公顷有500多个工日。因此,化肥和劳动力对棉花产量的边际影响不显著就不足为怪了。

采用CD生产函数方法得出的结果表明,虽然Bt抗虫棉品种可以提高棉花产量,但农药的施用不能有效增加产量(表4,第2列)。表3中的描述性统计表明,无限制的Bt抗虫棉产量要比非Bt抗虫棉的产量大约高5%到10%。如果考虑人力资本变量、时间和区位情况变量以及其他因素,CD生产函数的结果表明,种植Bt抗虫棉能够提高产量8.3%(见表4第2列Bt抗虫棉虚变量的系数),损失控制生产函数的估计结果则表明可以提高产量9.6%(表4第3列)。至于第1个假设,这些结果表明,采用Bt抗虫棉能够比不采用Bt抗虫棉,更有效地维持产量水平。或者说,Bt抗虫棉通过将生产曲线向外移动约10%,提高了棉花的生产效率。

CD生产函数的估计结果中, 农药投入量的系数不显著, 原因可能是: (a) 如果将农药作为传统生产要素引入生产函数, 农药施用量对棉花生产的边际影响为0; 或者 (b) 农药是通过减少损失, 间接对产量产生影响, 那么我们的假设被接受。

如果损失控制函数的设定反映了真实的技术关系, 以上研究结果表明: (a) Bt 抗虫棉可以通过减轻损害, 有效减少产量损失 ( $c_2$  为正且显著不等于零, 表4第3列), 因此我们的第2个假设被接受; (b) 农药施用可以通过减轻损害, 有效减少产量损失。这一结果和CD生产函数估计结果中农药施用量的系数不显著, 有力地支持了假设2。

表4 农药施用和棉花单产的两阶段最小二乘法估计结果

变量	农药施用量 (公斤/公顷)	棉花产量函数 LnYield (公斤/公顷)	
		Cobb-Douglas 函数	损失控制函数
估计的产量损失(%):	0.135 (0.03)***		
平均农药价格(元/公斤)	-0.133 (0.03)***		
农场规模(公顷)	-13.259 (3.38)***		
家庭特征变量:			
年龄	0.016 (0.07)	-0.033 (0.05)	-0.030 (0.06)
受教育年限	-1.302 (0.28)***	-0.005 (0.01)	-0.001 (0.01)
村干部虚变量	1.336 (2.25)	0.074 (0.04)*	0.073 (0.04)*
Bt 抗虫棉培训虚变量	-2.717 (1.49)*	0.032 (0.03)	0.029 (0.03)
传统投入品:			
劳动力(工/公顷)		0.02 (0.04)	0.033 (0.04)
化肥(公斤/公顷)		0.107 (0.02)***	0.126 (0.02)***
其他投入(元/公顷)		0.159 (0.01)***	0.160 (0.01)***
包衣种子虚变量	-4.699 (1.71)***	0.061 (0.03)*	0.072 (0.03)**
杂交种子虚变量	14.429 (2.17)***	0.058 (0.04)	0.047 (0.04)
Bt 抗虫棉品种虚变量(Bt)	-43.246 (4.03)***	0.083 (0.04)**	0.096 (0.03)***
Bt $\times T_{2000}$	12.60 (4.93)***		

(续表)

变量	农药施用量 (公斤/公顷)	棉花产量函数 LnYield (公斤/公顷)	
		Cobb-Douglas 函数	损失控制函数
Bt × T <sub>2001</sub>	10.33 (4.66)**		
估计的农药施用量(公斤/公顷)		-0.021 (0.02)	
损失控制估计系数 c(农药施用量系数)			0.593 (0.29)**
c <sub>1</sub> (Bt 抗虫棉虚变量系数)			3.540 (0.70)***

注: 括号中的数字是估计值的标准差。\*\*\*, \*\*, \* 分别表示显著水平是 1%, 5% 和 10%。模型包括 7 个虚变量, 控制样本所在地(四个省份虚变量), 年份(2000 年和 2001 年), 以及灾害(洪涝灾害和正常年份)对产量的特定影响。为了简约叙述, 这些虚变量的估计系数和常数项都没有列出。

利用表 4 的估计系数, 可以分别计算出 Bt 和非 Bt 抗虫棉损失控制函数  $G(Z) = 1 - \exp(-cZ)$  的数值。通过对  $Z$  (农药施用量) 取不同值, 可以模拟损失控制的程度。模拟结果见图 1。对 Bt 和非 Bt 棉花品种都有一些值得注意的结果。最初投入农药时, 损失控制程度明显增加, 随后逐渐减小, 最后渐进于  $G(Z) = 1$ , 这表明农药控制损失的边际效用递减。Bt 抗虫棉的数值逼近 1 的速度要明显比非 Bt 抗虫棉快, 表明前者是一个更好的虫害控制措施。

所有情况下农户投入的农药施用量都要远远超过最优水平。利用损失控制函数的估计结果, 种植 Bt 抗虫棉每公顷的  $Z$  值接近 1 公斤,  $G(Z)$  的取值将接近 1; 如果种植非 Bt 抗虫棉,  $Z$  值接近 10 公斤/公顷时,  $G(Z)$  的取值才接近 1 (图 1)。Bt 抗虫棉实际农药投入量介于每公顷 11.8 (1999 年数据) — 32.9 (2002 年数据) 公斤之间, 非 Bt 抗虫棉的这一数值则介于 60.7 (1999 数据) — 87.5 公斤 (2002 数据) 之间。这些结果说明, 农药被棉农过量施用。

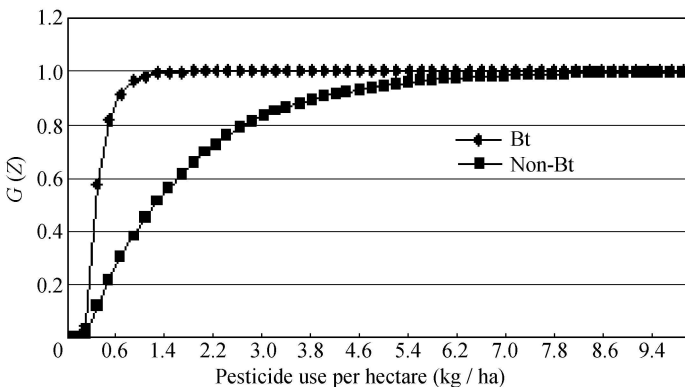


图 1 指数损失控制函数  $G(Z)$  (Bt 和非 Bt 抗虫棉)

## (二) 农药施用

农药施用方程的估计结果表明,模型对农药施用有很好的解释(表4,第一列)。采用最小二乘法(OLS)的同一模型(没有列出)表明,模型有较高的解释能力,调整后的 $R^2$ 值为0.57,对截面数据而言这是合理的。其他函数形式的估计(没有列出)表明,结果较稳健。这些模型对因变量相应地做出了不同的设定。大部分控制变量的估计系数符号与期望一致。

最重要的是,回归分析说明了Bt抗虫棉在减少农药施用量方面的重要性(表4第一列)。Bt抗虫棉虚变量的估计系数极显著为负,表明自1999年开始,种植Bt抗虫棉的农户与种植非Bt抗虫棉的农户相比,大幅度减少了农药投入量。其他因素相同时,1999年种植Bt抗虫棉的农户可以每公顷减少农药投入43.3公斤。种植非Bt抗虫棉的农户每公顷平均的农药施用量是60.7公斤(表2),按此计算种植Bt抗虫棉减少了71%的农药施用量。比较1999年到2001年的平均值,发现Bt抗虫棉每公顷的农业施用量减少了35.7公斤,或者说采用Bt抗虫棉的农户农药施用量减少了55%。不同省份减少农药施用的幅度有差别(表4中没有列出),长江流域棉区要低一些,减少了20%—50%;北方棉区要高些,减少了70%—80%。因此Bt抗虫棉能够减少农药施用量的假定(假设4)被完全接受。

变量 $Bt\ t_{2000}$ 和 $Bt\ t_{2001}$ 的系数 $b_{2000}$ 与 $b_{2001}$ 都显著为正,分别是12.6和10.33(表4第1列)。但是对 $b_{2000}$ 与 $b_{2001}$ 二者之间差异的进一步检验表明,差异不显著。因此,需要有更多的信息最终确定假设5的结论,即认为随着时间的推移,棉铃虫会对抗虫Bt基因产生抗性。数据的确表明,从1999年到2000年,样本农户Bt抗虫棉生产中的农药施用量有所增加,但不能确定农药施用量增加的原因,因为2001年抗虫棉生产中的农药施用量又低于2000年。

这里有几种推测。一是较高的农药施用量是由于自然条件下虫害种群发生情况的差异;这种影响可能会随着时间变化而消失。二是由于农户开始自行留种,而不是直接购买新种子,结果导致Bt抗虫棉的抗虫效果降低,因为自己保留的种子质量较差。

Bt抗虫棉生产中农药施用量增加也可能是由于从1999年到2001年间Bt抗虫棉品种推广面积的明显增加。后来的品种有些是由当地研究机构生产的,它们要比早期由中国农科院和Monsanto公司生产的主要品种差一些。也有可能棉铃虫开始对Bt基因产生了抗性。然而,有证据表明可能并非如此。自1997年开始,植保所曾经收集棉铃虫蛾,并检验其对Bt基因的抗性,2001年的数据尚未表明棉铃虫对抗虫棉产生了任何抗性(Wu, 2002)。

表4的农药施用量方程中,农民对存在虫害攻击情况下,产量损失预期的估计系数显著并且估计系数较大。也可以说,当农民预计棉铃虫会导致棉花产量的较大损失时,会施用更多农药。

### (三) 中国给其他发展中国家的启示

许多生物技术的批评者认为, Bt 抗虫棉带来的收益不能被其他发展中国家的生产者所认识, 而不是如中国那样被四百多万小农户分享。他们争论说中国的农户是被迫种植 Bt 抗虫棉的。然而, 根据我们的调查结果和实地考察, 大多数中国农户是在考虑了作物种植和技术采用效果后才做出决策的(苏岳静等, 2004)。因此中国农民和其他发展中国家农民的决策行为相似。

然而, 中国和其他发展中国家确实存在重要区别。其他国家有必要吸收中国的教训。首先, 中国农民不再是被政府强迫种植棉花了。实际上, 近年来事情在向相反的方向发展。1999年, 当我们在河北省做问卷调查时, 明确询问农民是否被要求种植一定量的棉花。他们回答过去政府的确曾经对他们施压种植棉花, 并要求每个农户向政府销售一定量的棉花。到20世纪90年代中期, 虽然这些配额依旧存在, 但不再有强迫性。而且, 几乎所有样本农户都说1998年已经完全取消了棉花配额。从那时起, 棉花市场开始更自由, 农民在棉花生产方面面临更小的压力。实际上, 近年来政府开始试图阻挠农户扩大棉花生产的做法, 效果很小或者是不成功的。

而且我们发现农民购买 Bt 抗虫棉种子并非是被迫的。政府部门的确曾经有过反对 Bt 抗虫棉的信息。例如, 政府的商业化和私人种子公司鼓励过农民购买 Bt 抗虫棉种子, 而植保站和国有农药公司则试图阻挠农民种植 Bt 抗虫棉, 目的是能够销售更多农药。

与印度、巴基斯坦或者印度尼西亚的棉花种植者相似, 中国的生产者也以小农为主。从平均数看, 棉农种植的棉花面积比其他发展中国家更小。他们从竞争性的市场上购买种子, 并且在竞争性市场上出售原棉, 在这些方面, 他们和其他国家的农民差别很小。

我国和其他发展中国家的主要区别是, 中国公共部门在开发基因改造(GM)技术方面的作用。我国农民种植的 Bt 抗虫棉品种很大一部分是由公共研究部门的科学家们开发的, 并且这些棉花品种都是由政府所属种子公司销售的。这些科学家们政治上支持, 呼吁允许 GM 作物商品化生产, 这是中国能够和其他发展中国家相比, 较早批准 GM 作物商品化生产的原因之一(Paarlborg, 2000)。另外, 我国地方政府所属公司和其他外国公司在提供 Bt 抗虫棉种子方面的竞争, 无疑是中国 GM 棉花种子价格偏低的原因之一。

## 七、结 论

Bt 抗虫棉在中国的推广速度很快, 主要是因为该技术受到了农民需求的拉动。到2001年, 大约有500万农户采用了 Bt 抗虫棉, 棉花产量占全国的近50%。该技术减少了棉花生产施用的农药量, 降低了农民直接暴露接触农药

的机会。农户已经开始能够提高单位公顷产量,减少农药使用和成本,从而降低了发生农药中毒的人数。

计量经济学研究结果表明,Bt抗虫棉对棉花产量有正面影响,将作物的生产曲线向外推移了近10%。Bt抗虫棉还通过减轻损害(和非Bt抗虫棉每公顷投入近10公斤农药相比,生产Bt抗虫棉每公顷只需投入农药2—3公斤,就可以完全控制损害)有效减少了产量损失。因此,回归分析表明Bt抗虫棉在减少农药投入总量方面有重要作用。另一方面,我们也发现随着Bt抗虫棉推广的省份从河北、山东和河南等省扩展到江苏省,收益有所减少。政府最近决定在新疆棉区的有些地方批准Bt抗虫棉的商品化生产,对此需要重新评估,因为那里的虫害与中国北方平原地区相比,不是很严重的问题。考虑到害虫抗性,随着时间变化,需要进一步地研究检验棉铃虫会对Bt基因产生抗性的假设。

损失控制函数还表明,棉农过量施用农药。虽然为什么农户会过量投入农药不是本文的研究范围,但很清楚这种行为是系统性的,即使农户采用了Bt抗虫棉品种后该做法将依然存在。可能的原因是农户从植保站人员或其他农药市场销售人员那里得到的虫害控制信息不完备。其他假设包括农户对风险的考虑、农药价格政策和农药控制知识等。

政策方面,我们建议政府应该继续在Bt抗虫棉和其他生物技术方面进行投资。同时,一个重要的提示是,有必要加强关于生物技术规章制度的政府投资,从而保证Bt抗虫棉的广泛推广不会很快导致害虫对其产生抗性。

这些发现的其他含义是,政府可以通过信息、推广培训、农药价格以及市场政策,在减少农药施用方面发挥更大的作用。Bt抗虫棉和整合的虫害管理行为,可以使Bt抗虫棉给中国农民带来更多收益。

我国和其他发展中国家类似,农民采用Bt抗虫棉的决策行为是基于其对成本和收益的估价。农民发现种植Bt抗虫棉有利可图,所以我们希望许多发展中国家(尤其如印度这类国家)从事棉花生产的小农户能够获得类似收益,那里的农民同样需要面对棉铃虫的压力,并且棉铃虫已经对许多普通农药产生了抗性。这些农民更有可能从该技术获得更多收益。

从中国得出的其他经验是当地生物技术研究的重要性。实际上我国Bt抗虫棉的研究是由政府的研究人员完成的,与从国际性公司引入Bt抗虫棉同步进行,使得政府对其有所偏爱,确保了对该技术的强烈认同。

## 参考文献

- [1] 范存会,“我国转基因抗虫棉的经济和健康影响分析”,博士论文,中国科学院农业政策研究中心,2002年。
- [2] 国家统计局,《中国统计年鉴》(1999—2001)。北京:中国统计出版社,1999—2001年。



- [3] 苏岳静,胡瑞法,黄季焜,范存会,“农民抗虫棉技术采用的实证分析”,《棉花学报》,中国棉花研究所(5),2004年,第259—264页。
- [4] Beach, E. D., and G. A. Carlson, “A Hedonic Analysis of Herbicides: Do User Safety and Water Quality Matter?” *American Journal of Agricultural Economics*, 1993, 75, 612—623.
- [5] Fox, G., and A. Weersink, “Damage Control and Increasing Returns”, *American Journal of Agricultural Economics*, 1995, 77, 33—39.
- [6] Genetic Resources Action International, “Bt Cotton Through the Back Door”, *Seedling*, 2001, 18(4). Available on the World Wide Web: <http://www.grain.org/publications/seed-01-12-2-en.cfm>.
- [7] Headley, J. C., “Estimating the Productivity of Agricultural Pesticides”, *American Journal of Agricultural Economics*, 1968, 50, 13—23.
- [8] Huang, J., R. Hu., S. Rozelle, F. Qiao, and C. E. Pray, “Transgenic Varieties and Productivity of Smallholder Cotton Farmers in China”, *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2002, 46(3), 367—388.
- [9] Huang, J., S. Rozelle, C. E. Pray, and Q. Wang, “Plant Biotechnology in the Developing World: The Case of China”, *Science*, 2002, 295(25), 674—677.
- [10] Hsu, H., and F. Gale, “Regional Shifts in China’s Cotton Production and Use”, In United States Department of Agriculture Economic Research Service, *Cotton and Wool Situation and Outlook*. Washington DC: USDA ERS, 2001.
- [11] Ismael, Y., C. Thirtle, and L. Beyers, with R. Bennett, S. Morse, J. Kirsten, M. Gouse, L. Lin, and J. Piesse, *Smallholder Adoption and Economic Impacts of Bt Cotton in the Makhathini Flats, Republic of South Africa* (Report for DFID Project R7946). London, U. K.: Natural Resources Policy Research Programme, 2001.
- [12] Li, G., “The Economics of Land Tenure and Property Rights in China’s Agricultural Sector”, Doctoral dissertation, the Food Research Institute, Stanford University, Stanford, California, 1999.
- [13] Lichtenberg, E., and D. Zilberman, “The Econometrics of Damage Control: Why Specification Matters”, *American Journal of Agricultural Economics*, 1986, 68, 261—273.
- [14] Paarlberg, R. L., “Governing the GM Crop Revolution: Policy Choices for Developing Countries” (2020 Discussion Paper # 33), Washington D. C.: International Food and Policy Research Institute (IFPRI), 2000.
- [15] Perlak, F., M. Oppenhuizen, K. Gustafson, R. Voth, S. Sivasupramanian, D. Heering, B. Carey, R. A. Ihrig, and J. K. Roberts, “Development and Commercial Use of Bollgard Cotton in the USA—Early Promises versus Today’s Reality”, *Plant Journal*, 2001, 27, 489—502.
- [16] Pray, C. E., J. Huang, D. Ma, and F. Qiao, “Impact of Bt Cotton in China”, *World Development*, 2001, 29, 813—825.
- [17] Traxler, G., S. Godoy-Avila, J. Falck-Zepeda, and J. J. Espinoza-Arellano, “Transgenic Cotton in Mexico: Economic and Environmental Impacts” (unpublished report), Auburn, AL: Department of Agricultural Economics, Auburn University, 2001.
- [18] Widawsky, D., S. Rozelle, S. Q. Jin, and J. K. Huang, “Pesticide Productivity, Host-plant Resistance and Productivity in China”, *Agricultural Economics*, 1998, 19, 203—217.
- [19] Wu, K., “Agricultural and Biological Factors Impacting on the Long Term Effectiveness of Bt Cotton”, Paper presented at the Conference on Resistance Management for Bt Crops in China: Economic and Biological Considerations, North Carolina State University, Raleigh, NC, 2002.
- [20] Ye, Q. L., and S. Rozelle, “Fertilizer Demand in China’s Reforming Economy”, *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 1994, 42, 191—207.

## Benefit, Cost and Impacts Analysis of Bt Cotton Application in China

CUNHUI FAN

(*Beijing Municipal Bureau of Finance*)

**Abstract** This paper studies the effect of Bt cotton adoption using panel data collected since 1999. The econometric analyses indicate that the adoption of Bt cotton has increased cotton output in all sample provinces. More importantly, Bt cotton farmers also increased their incomes by reducing their use of pesticides and labor inputs. Finally, survey data show that Bt cotton has positive environmental and health impacts by reducing pesticide use. We conclude that the Chinese experience can be adopted by other developing countries.

**JEL Classification** Q10, Q27, O33