

科学经管文库

Dynamically Optimal Strategies for Managing  
Resistance to Genetically Modified (GM) Crops  
in China

# 中国转基因作物抗性的 动态优化政策和管理研究

乔方彬 著



科学出版社

科学经管文库

# 中国转基因作物抗性的动态 优化政策和管理研究

乔方彬 著

国家自然科学基金资助（项目批准号：70873137）



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

为了应对害虫对转基因毒素抗性的产生,大部分种植转基因棉花的国家实行了非常类似的专门避难所政策。由于所有的实证研究都是在发达国家进行的,所以我们不知道这样的避难所政策是否也适合我国。为了回答这个问题,我们首先建立了一个理论模型。该模型的分析结果表明种植专门避难所在短期来看是不经济的。接下来,我们把这一理论模型发展成符合我国棉花生产以及棉铃虫发生与危害实际的实证模型。动态和静态的实证模型的分析结果表明我国目前实行的零专门避难所政策是经济合理的。

本书适合的读者对象包括关注转基因技术效益(尤其是经济效益)的研究人员、决策者和一切对转基因技术感兴趣的人士。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国转基因作物抗性的动态优化政策和管理研究/乔方彬著. —北京:科学出版社, 2012

(科学经管文库)

ISBN 978-7-03-034697-1

I. ①中… II. ①乔… III. ①抗虫性-棉花-栽培模式-农业管理-研究-中国 IV. ①S562

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 121886 号

责任编辑:赵静荣 唐 薇/ 责任校对:朱光兰

责任印制:阎 磊/ 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年6月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2012年6月第一次印刷 印张:9 1/4

字数:186 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

在我们即将迈入 2010 年门槛的时候，农业部批准了转基因水稻的安全性证书。这个消息不仅在农业领域顿时成了最受关注的新闻，而且也成了全社会议论的热点。专家和热心网民在各种媒体上大发议论，有叫好的，也有叫骂的。转基因技术是魔鬼还是救星？在全世界范围内，这一直是讨论的热点问题。我国也不例外。自 1997 年我国开始商业化种植转基因抗虫棉以来，国内对转基因作物的讨论就一直没有停止过。

那么，转基因作物安全吗？这是个非常复杂的问题。到目前为止，科学家还没有发现转基因作物对人体健康造成的危害。非常有意思的是，这一事实成了转基因作物赞成派和反对派的共同依据。赞成派认为既然全世界的科学家在长达 20 年的时间内都没有发现转基因作物对人体健康产生任何的危害，那么转基因作物是安全的。而反对派则认为目前没有发现不等于将来不会发现，转基因作物对人类健康的危害可能需要更长的时间或者更先进的科学技术来发现，食用转基因作物人类终将得不偿失。

对转基因作物安全性的研究需要专业的医学知识，笔者没有能力也无意对转基因作物的安全性进行科学的评判。在本书中，笔者以在我国种植已十多年的转基因棉花为例，提供了一个关于转基因作物的案例研究。本书中所有的数据、结论及论断来自于笔者本人及合作者，以及其他研究人员的经验研究，具有客观性，而非主观臆造。

为方便读者，首先说明本书的篇章结构安排。第 1 章介绍转基因作物（重点是转基因棉花）在全球和中国的扩展。第 2 章介绍转基因棉花的经济效益。在讲经济效益的时候，我们着重介绍转基因棉花给种植户带来的直接经济效益。而在介绍转基因棉花的溢出效益（对消费者）和生态效益时，则主要总结了已有的主要经验研究。当然，这里所说的效益可能是正的（即好处）也有可能是负的（即危害）。第 3 章到第 5 章是研究重点，着重分析对转基因作物的最优控制方案。这一部分的分析既包括理论分析，也包括经验分析。在经验分析中，我们不仅求解了静态最优策略，而且还求解了动态最优策略。如果读者对转基因技术比较熟悉，可以直接从第 3 章读起。第 6 章介绍了本书未来的研究方向及相关的内容。另外，由于部分章节已以文章的形式发表，所以我们也保留了文章发表的格式（即图表和参考文献附在各个章节后）。

转基因技术仅仅是一项科学技术，它不是救世主也不是恶魔。如何科学合理地使用这项现代技术为人类服务，才是问题的关键，而这正是科学家的使命。作

为一个研究人员，笔者在这里所能提供的仅仅是建立在一定假设和一些方案下的分析结论。希望这些结论能够为政策制定者提供帮助。

本书包含了大量合作者及其他研究人员的研究内容，对此笔者深表感谢！本研究得到国家自然科学基金的资助（项目批准号 70873137），特此感谢！书中疏漏之处在所难免，请读者批评指正。

乔方彬

2012 年春

# 目 录

## 前言

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 第 1 章 转基因抗虫棉在全世界和我国的扩展                         | 1   |
| 1.1 抗虫棉在全世界的扩展                                 | 2   |
| 1.2 抗虫棉在中国的扩展                                  | 4   |
| 参考文献                                           | 9   |
| 第 2 章 转基因抗虫棉的经济效益                              | 10  |
| 2.1 概述                                         | 10  |
| 2.2 转基因作物对生产者(棉农)的经营收益的影响                      | 18  |
| 2.3 农户种植抗虫棉的直接经济效益——已有研究的总结                    | 21  |
| 2.4 种植抗虫棉对生产者经营收益的影响——建立在《全国农产品成本收益资料汇编》数据上的分析 | 28  |
| 参考文献                                           | 41  |
| 第 3 章 基因抗虫棉抗药性的动态优化控制——定性分析                    | 47  |
| 3.1 引言                                         | 47  |
| 3.2 生态经济模型                                     | 50  |
| 3.3 模型的数值模拟                                    | 54  |
| 3.4 结论                                         | 60  |
| F3-1 动态方程求解                                    | 61  |
| F3-2 Hamiltonian 方程的 Hessian 矩阵的凸性             | 62  |
| F3-3 最优控制路径                                    | 63  |
| 参考文献                                           | 75  |
| 第 4 章 中国转基因抗虫棉抗药性的优化控制——静态模型分析                 | 77  |
| 4.1 引言                                         | 77  |
| 4.2 棉铃虫的特性及其抗药性                                | 78  |
| 4.3 转基因抗虫棉和避难所                                 | 81  |
| 4.4 黄河流域的耕作制度及棉铃虫的天然避难所                        | 85  |
| 4.5 生物经济学模型的仿真分析                               | 88  |
| 4.6 结论                                         | 94  |
| F4-1 生态经济学模型                                   | 94  |
| 参考文献                                           | 99  |
| 第 5 章 中国转基因抗虫棉棉铃虫抗性的动态优化控制                     | 102 |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 5.1 引言 .....                         | 102        |
| 5.2 模型 .....                         | 104        |
| 5.3 数据与参数 .....                      | 110        |
| 5.4 结果 .....                         | 114        |
| 5.5 结论 .....                         | 120        |
| F5-1 害虫种群、对转基因毒素和普通农药易感性的动态变化 .....  | 121        |
| F5-2 敏感性分析 .....                     | 126        |
| 参考文献 .....                           | 133        |
| <b>第6章 转基因作物管理的几个相关问题 .....</b>      | <b>136</b> |
| 6.1 转基因抗虫棉经济效益的持续性 .....             | 136        |
| 6.2 转基因棉田的次要害虫问题 .....               | 137        |
| 6.3 转基因抗虫玉米的商业化对管理棉铃虫抗性最优政策的影响 ..... | 138        |
| 6.4 转基因抗虫水稻的害虫抗性管理问题 .....           | 139        |
| 参考文献 .....                           | 141        |

## 第 1 章 转基因抗虫棉在全世界和我国的扩展

人类的每一项农业技术的进步都是为了更好地利用现有的资源和提高资源的利用效率。最近几十年来取得很多成绩的生物技术当然也不例外。尽管人类的农业技术突飞猛进，粮食单产和总产都大幅度提高，然而饥饿从来也没有完全离开过人类。从最初单纯依靠开垦荒地到近代历史上人类开始更多地依靠增加单位面积的产量来提高农业的总产量，人类的历史也一直是同饥饿作斗争的历史。在过去的 200 年里，全世界人口的增长不断加速。从 1800 年的 10 亿人到 1900 年的 16 亿人，再到 2000 年的 61 亿人，单纯依靠不断扩大土地规模来增加产量已经不能够满足人类的需求。因此，绿色革命出现了，转基因生物技术也有了突飞猛进的发展（James, 2010）。

绿色革命开始于 20 世纪中期，它是农业科学家通过杂交等育种方式获得谷物高产新品种，并在栽培过程中通过大量使用现代投入品，如农药和化肥等，促使粮食等农作物增产的一项技术改革活动。这些新品种，如“墨西哥小麦”和“菲律宾水稻”等，在一些国家推广后，曾使其粮食总产量显著增长。据研究，绿色革命在 20 世纪 60 年代帮助 10 亿人口脱离了饥饿的威胁（James, 2010）。因此绿色革命是人类对抗饥饿的一个有力的武器。绿色革命的出现使人类可以通过提高单位面积的农业产量来获得更高的农业总产出。这一增产思路一直沿用到现在，使得人类在可开垦荒地面积越来越少、生态环境越来越脆弱的情况下发现了新的发展道路。

尽管绿色革命也因为高产的杂交品种对水、化学肥料、化学农药的过度依赖，以及品质等问题受到过一些人的质疑，但是这样的质疑显然无法同它的巨大成功相比。因此绿色革命一经出现就在全世界，特别是在发展中国家迅速普及。由于绿色革命的巨大成功，其倡导者 Norman Borlaug 于 1970 年获得了诺贝尔和平奖。

继绿色革命之后，人类在对抗饥饿的过程中取得的另外一个重要的成果就是现代转基因技术在农业上的应用。转基因作物是通过杂交的方式使另外一种物种的基因与某一种物种的基因产生杂合子，然后将杂合基因注入载体（一般是细菌、病毒、噬菌体、大肠杆菌等，最常用的是质粒），最后通过一系列的技术使载体进入该植物的 DNA 而产生的转基因作物。目前的转基因作物主要用来对付

农田杂草及病虫害（比如转基因大豆、玉米和棉花），也有一部分用于改善农产品品质（比如黄金水稻）。

然而与绿色革命不同，转基因作物的普及和推广过程复杂得多。与绿色革命的杂交作物不同，转基因作物从一开始就面临方方面面的质疑和挑战。质疑的问题很多，如基因漂移对其他作物的污染、目标害虫的变化及由此产生的对生态群落的影响等，而其中最大的质疑是对转基因作物安全性的怀疑。尽管生物科学家告诉我们转基因作物的靶标害虫是高度专一性的，因此转基因作物不会对非靶标害虫特别是人类产生任何危害，然而这些能够杀死生物的基因还是引起很多人的怀疑，特别是转基因作物中的 Bt 作物。

Bt 是英文 *Bacillus Thuringiensis*（苏云金杆菌）的缩写。苏云金杆菌是一种能够产生杀虫晶体蛋白的常见土壤细菌。杀虫晶体蛋白被靶标昆虫（鳞翅目昆虫）取食后引起细胞膜穿孔，最终导致细胞肿胀破裂、昆虫瘫痪或死亡，其对敏感害虫具有专一性强、效果好等优点，且对人畜安全（张永军等，2002）。事实上，Bt 作为防治鳞翅目害虫的一种生物农药早已应用在农业生产上。为了更好地利用这种天然的杀虫资源，科学家从 Bt 中分离出编码杀虫蛋白合成的基因，经修饰改造后导入植物细胞，使其自身产生杀虫蛋白而具有抗虫特性（张天真和唐灿明，2000）。比利时的植物遗传公司（PGS）在 1987 年首次报道了转 Bt 基因的烟草植株的出现。随后，美国的孟山都（Monsanto）、爱格瑞赛提斯（Agricetus）等其他公司的科技人员先后把 Bt 基因植入棉花、番茄、烟草等多种植物中（周兆澜和朱祯，1994）。孟山都联合美国农业部对孟山都培育的转 Bt 基因抗虫棉进行了田间试验，发现转基因抗虫棉对棉铃虫和红铃虫（美国棉田的主要害虫）都有显著杀虫效果。另外，转基因抗虫棉对有益昆虫没有不利的影响，相反由于减少了化学农药的喷洒次数，有利于害虫天敌的滋生与繁殖。研究还表明，通过农杆菌介导遗传转化培育的转基因抗虫棉，外源基因整合对产量、纤维品质也没有负面影响（张天真和唐灿明，2000）。转 Bt 基因植物是基因工程研究中十分活跃的研究领域，自 20 世纪 90 年代以来各国科研人员先后获得了棉花、玉米、烟草、水稻、番茄等 40 多种能够高剂量表达 Bt 毒蛋白的转基因植物（张永军等，2002）。

### 1.1 抗虫棉在全世界的扩展

无论褒贬，转基因生物技术在全球范围内得到了快速推广。自从 1996 年世

世界第一例转基因作物在美国进行商业化生产以来, 仅仅 10 余年, 全球转基因作物的种植面积就达到了 1.34 亿公顷, 这也使之成为采用速度最快的农业技术。虽然 2007 年开始的最新一轮的经济萧条带来严重影响, 但四大转基因作物种植面积在 2009 年又创新高: 全球大豆种植面积 9000 万公顷的 77% 为转基因品种; 3300 万公顷棉花的 49% 为转基因品种; 转基因玉米占玉米总面积 1.58 亿公顷的 26%; 转基因油菜占油菜种植面积 3100 万公顷的 21% (James, 2010)。

与一些人最初预期的情况有所不同, 转基因技术的成果并没有局限于该技术的发明国家, 而是像绿色革命一样被全世界所有的国家分享。从转基因作物商业化的第一年 (1996 年) 开始, 种植转基因作物的国家数量从初始的 6 个稳步增加到 2009 年的 25 个。在这 25 个种植转基因作物的国家中, 有 15 个为发展中国家。这 25 个国家包括北美洲的美国、加拿大和墨西哥; 中南美洲的洪都拉斯、哥伦比亚、哥斯达黎加、玻利维亚、智利、阿根廷、乌拉圭、巴拉圭、巴西; 非洲的南非、布基纳法索、埃及; 大洋洲的澳大利亚; 亚洲的菲律宾、印度、中国; 以及欧洲的罗马尼亚、波兰、斯洛文尼亚、捷克、西班牙、葡萄牙 (图 1-1)。

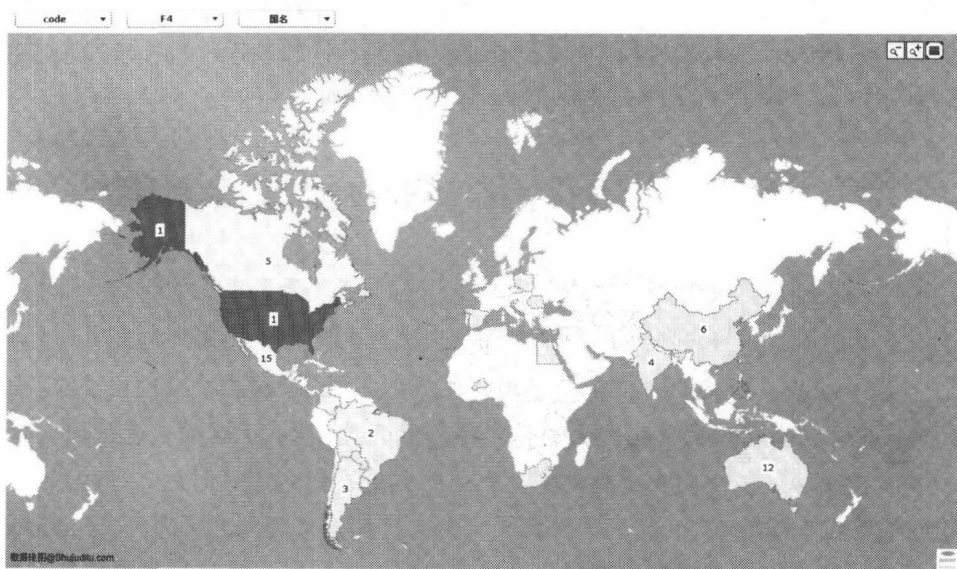


图 1-1 2009 年全球转基因作物的播种面积示意图 (单位: 100 万公顷)

资料来源: 根据 James (2010) 数据绘制。

注: 图中数字代表国家 (地区) 排名顺序。

与绿色革命一样,转基因技术的成果也被大多数人分享。转基因技术在全世界的迅速扩展,特别是在发展中国家的扩展,使得分享到这一技术成果带来的利益的人口大量增加。2009 年全球种植转基因作物的农户达到 1400 万户,且其中 90% (1300 万户) 是发展中国家资源匮乏的小农户 (James, 2010)。这 1300 万户小型农户主要是中国的 700 万户农户及印度的 560 万户农户。这样的结果使得先前认为转基因技术的得益者主要是大的农业公司,而对生产者特别是小的生产者有危害的怀疑不复存在。

美国是世界上第一个商业化种植转基因作物的国家,也一直是世界上种植转基因作物面积最大的国家。2009 年美国种植的转基因作物的总面积达到 6400 万公顷。巴西和阿根廷分别以 2140 万公顷和 2130 万公顷列在第二位和第三位。尽管推广转基因作物的时间很短,印度却以 840 万公顷的面积列在全球种植转基因作物国家的第四位。我国以 370 万公顷的总面积名列第六位,排在加拿大之后。

在转基因作物的作物分布上,2009 年转基因耐除草剂大豆仍然是主要的转基因作物,种植面积达 6920 万公顷,占全世界转基因作物播种总面积的 52%。排在第二至第四位的转基因作物分别是转基因玉米 (4170 万公顷,占转基因作物播种总面积的 31%)、转基因棉花 (1610 万公顷,占转基因作物播种总面积的 12%) 和转基因油菜 (640 万公顷,占转基因作物播种总面积的 5%)。

## 1.2 抗虫棉在中国的扩展

棉花是我国最重要的经济作物,也是受病虫害威胁最严重的作物之一。根据我国农业部的统计,在种植抗虫棉以前棉铃虫造成的棉花产量损失远在其他作物之上 (Huang et al., 2003)。特别是 20 世纪 90 年代以来,棉铃虫对化学农药的抗药性不断增强,如棉铃虫对菊酯类农药的抗药性比 1980 年增强了近百倍 (Wu and Guo, 2005)。虽然棉农喷洒的化学农药的数量不断增加,但是 20 世纪 90 年代初期棉铃虫仍然在黄河流域大面积暴发成灾,并造成巨大的损失 (Huang et al., 2003)。就在抗虫棉在美国成功大面积种植的第二年,我国政府就批准了其在黄河流域的商业化种植。

同时,我国也是转基因技术的强国之一。我国是世界上拥有转 Bt 基因棉花产权的国家之一。我国从 20 世纪 80 年代末期开始独立自主地开展转 Bt 基因的研究工作。这一方面是因为我国适合国外的基因作物的种植区域很有限 (主要适

合于在黄河流域棉区种植,而其他的地方不适合种植),另一方面是因为引进知识产权不但要付出高昂的专利费,而且还在种子资源上受制于人。随着我国的综合国力不断增强,我们不但有经济能力,也有足够的知识储备来进行相关的研究与开发,在此基础上我国的科研工作者独立自主地进行了相关的研究。1992年,中国农业科学院生物技术研究所的郭三堆博士等人在国内首先合成了 Cry1A 杀虫晶体蛋白结构基因,使我国成为继美国之后,成功人工合成杀虫基因并成功将其导入棉花的第二个国家(张天真和唐灿明,2000)。

政府财政投入的不断增加,以及转基因作物良好的经济效益和广大的市场前景,使得我国转基因科研体系的建设得到不断加强和完善。早在1999年,我国专门从事农业生物技术研究的科研人员就已经达到1988人,成为世界上从事农业生物技术人数最多的国家之一,也是除北美之外发展中国家中现代转基因技术研究能力最强的国家(Huang et al., 2002)。目前,我国涉及农业生物技术的各类研究机构已超过200家,初步形成了从基础研究、应用技术研究到产品开发相互衔接、相互促进的创新体系。

在抗虫棉种植的初期,美国孟山都的棉花品种大行其道。后来,随着国产抗虫棉育种和推广的大力发展,国产抗虫棉种子逐渐以低廉的价格和良好的表现在市场占主导地位。在目前的市场上,我国种植的 Bt 抗虫棉所含的基因按研制机构分类有3个来源渠道:第一个来源渠道是美国的孟山都公司;第二个来源渠道是中国农业科学院(农科院)生物技术研究所;第三个来源渠道是中国科学院(中科院)微生物研究所。其中实际大田种植的 Bt 抗虫棉基因大多数来自孟山都和中国农科院生物技术研究所,而含中科院微生物研究所基因的抗虫棉种植面积只占很小比例(王子军,2008)。

随着 Bt 棉花品种在全国范围内快速推广及人民对转基因抗虫棉认识的不断深入,转基因 Bt 棉花品种的批准也不断加快。转基因 Bt 棉花品种商业化刚开始的几年里,我国对其生物安全管理的批准显得非常谨慎。比如1997年,也就是转基因 Bt 抗虫棉商业化的第一年,我国政府仅仅批准了5个转基因品种的申请。直至2003年,我国累计批准了49例转基因 Bt 棉花品种,每年获得批准的申请数量一直维持在20例以下。但是从2004年开始,获得生物安全批准的转基因 Bt 棉花品种数量大幅增加。仅2004年一年的批准数量就是前面6年批准数量总和的近3倍,达130例之多。这个势头在之后的年份里愈演愈烈,2005~2007年每年的获批申请数量都在200例以上,2006年甚至达到了335例。

除了转基因棉花以外,我国还研发了其他的转基因作物和动物。截至2008年5月,农业部生物安全管理委员会已经批准了10多种生物1144例的商业化申请(表1-1)。这些申请包括转基因植物及其他基因工程疫苗、干扰素、工程菌及酶类等,其中植物1041例,基因工程疫苗类103例。而在植物大类中,仅转基因Bt棉花的获批申请数量就达1029例,占有所有转基因生物申请批准数量的90%。这使得我国成为利用现代生物技术提高农业生产力最成功的发展中国家(James, 2004)。我国农业生物技术的整体水平在发展中国家处于领先地位,一些领域已经进入国际先进行列。我国是世界上第二个拥有自主研制转基因抗虫棉技术的国家,而且转基因水稻的研制也处于世界先进水平。

表 1-1 各类转基因生物获得生物安全批准的情况(截至2008年5月)

| 转基因生物类型                | 批准数量/例 | 占总批准数量的比重/% |
|------------------------|--------|-------------|
| 转基因植物类                 | 1041   | 91.00       |
| 棉花                     | 1029   | 89.95       |
| 番茄                     | 5      | 0.44        |
| 甜椒                     | 4      | 0.35        |
| 线辣椒                    | 1      | 0.09        |
| 木瓜                     | 1      | 0.09        |
| 牵牛花                    | 1      | 0.09        |
| 基因工程疫苗、干扰素、<br>工程菌、酶类等 | 103    | 9.00        |

资料来源:陈瑞剑(2009)。

### 1.2.1 抗虫棉在中国的扩展

Bt抗虫棉是中国商业化应用最成功的转基因作物,1997年是Bt棉花在中国商业化种植的第一年,当年种植面积3.4万公顷,占全国棉花总播种面积的比例不足1%。但是由于在节约农药及产量上的优势,抗虫棉在全国主要棉区的扩展速度很快。到2003年,我国抗虫棉的播种面积已经占到棉花总播种面积的2/3。在此之后,抗虫棉的播种面积一直很稳定。根据国际农业生物技术应用服务组织的估计,2009年我国抗虫棉的总播种面积达到370万公顷,占全国棉花总播种面积的68%。在一些棉花产区,如黄河流域及长江流域的主要省份已经是100%的抗虫棉了。1997~2009年,我国累计种植抗虫棉的总面积达到3136万公顷。

这相当于在这 12 年间,我国有 6 年的时间全部种植抗虫棉。

### 1.2.2 抗虫棉在中国的分布

黄河流域是我国第一大棉区也是棉铃虫危害最严重的地区,所以黄河流域成为我国批准抗虫棉种植的第一个区域,其后逐步推广到长江流域。西北棉区(主要是新疆)与长江流域及黄河流域的气候环境很不同,那里气候炎热干燥,不适合棉铃虫生长,其产生的危害(特别是北疆)较小。再加上一开始在新疆棉区推广的抗虫棉的种子不适应当地的环境,所以抗虫棉在西北棉区一直扩展缓慢。而在长江流域棉区和黄河流域棉区,抗虫棉的比例已经长期稳定在 90% 以上。

黄河流域棉区最重要的三个省份是河北、山东和河南。从表 1-2 可以看出,1997 年河北的抗虫棉占全省棉花播种总面积的比例仅仅为 3.4%。然而,一年以后,这一比例超过 50%。到 1999 年,抗虫棉的比例上升到 85%。而到了 2000 年,非抗虫棉的比例已经下降到不足 5% 的水平了。黄河流域另外一个重要的省份山东的情况也基本类似,2001 年山东省非抗虫棉的比例也已经下降到不足 5%。河南省的情况也是这样。

与黄河流域类似,抗虫棉在长江流域的扩展也非常快。长江流域气候炎热,适合棉铃虫的生长。但是与黄河流域不同的是长江区域的多雨天气是不适合棉铃虫繁衍的因素。因此棉铃虫在这一地区的危害虽然不如黄河流域那么严重,但是也不可小觑。抗虫棉在这一地区的扩展速度也很快。2002 年,安徽的抗虫棉比例首先突破了 50%。一年以后,江苏的抗虫棉比例也突破了 50%。2005 年,湖北的抗虫棉比例达到了 70%。

在我国另外一个重要的棉花产区新疆,抗虫棉的扩展却很慢。尽管从 2001 年开始,新疆就开始推广种植抗虫棉。但是目前,新疆抗虫棉的比例也不超过 20%。这可能是由两个方面的因素造成的。第一,新疆地区的棉铃虫危害相对较低。新疆地区气候炎热、干燥,不适合棉铃虫的繁衍。因此,相比黄河流域和长江流域,棉铃虫在新疆棉区造成的危害是比较轻的。第二,在抗虫棉刚刚推广到新疆的时候,由于抗虫棉的种子品种不适合当地的生产条件,所以导致抗虫棉的产量显著低于当地品种。

表 1-2 中国主要产棉省 (区) Bt 棉花种植面积与 Bt 棉花占棉花面积份额变化 (1997~2007 年)

| 年份   | 国家数据               |                      | 棉花主要生产省份 Bt 抗虫棉占棉花播种面积份额/% |        |       |      |      |      |      |      |        |      |      | 新疆<br>棉区 | 其他<br>省份 |  |
|------|--------------------|----------------------|----------------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|----------|----------|--|
|      | 棉花播种面<br>积/1000 公顷 | Bt 抗虫棉面<br>积/1000 公顷 | Bt 抗虫棉<br>份额/%             | 黄河流域棉区 |       |      |      |      |      |      | 长江流域棉区 |      |      |          |          |  |
|      |                    |                      |                            | 河北     | 山东    | 河南   | 山西   | 陕西   | 安徽   | 江苏   | 江西     | 湖北   |      |          |          |  |
|      |                    |                      |                            |        |       |      |      |      |      |      |        |      |      |          |          |  |
| 1997 | 4491               | 34                   | 0.8                        | 3.4    | 0.0   | 1.0  | 18.5 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0    | 0.0  | 0.0  | 0.0      | 0.0      |  |
| 1998 | 4459               | 261                  | 5.8                        | 55.4   | 10.9  | 2.1  | 22.9 | 1.4  | 1.8  | 0.2  | 0.0    | 0.0  | 0.0  | 0.0      | 0.0      |  |
| 1999 | 3726               | 654                  | 17.6                       | 85.0   | 66.1  | 17.0 | 39.8 | 19.9 | 6.9  | 3.1  | 0.0    | 0.0  | 0.0  | 0.0      | 1.5      |  |
| 2000 | 4041               | 1216                 | 30.1                       | 97.0   | 87.9  | 31.4 | 66.0 | 76.4 | 20.2 | 7.1  | 1.0    | 3.8  | 0.8  | 0.8      | 5.5      |  |
| 2001 | 4810               | 2158                 | 44.9                       | 98.0   | 96.5  | 68.0 | 82.0 | 80.4 | 45.5 | 16.3 | 9.9    | 19.8 | 1.0  | 6.9      | 6.9      |  |
| 2002 | 4184               | 2156                 | 51.5                       | 99.0   | 99.0  | 76.9 | 90.0 | 84.1 | 56.0 | 25.7 | 14.5   | 23.3 | 2.0  | 10.1     | 10.1     |  |
| 2003 | 5111               | 2996                 | 58.6                       | 99.0   | 99.0  | 84.0 | 94.0 | 74.0 | 65.0 | 50.0 | 40.0   | 25.0 | 4.0  | 12.0     | 12.0     |  |
| 2004 | 5693               | 3533                 | 62.1                       | 100.0  | 100.0 | 84.1 | 96.4 | 80.0 | 80.0 | 82.0 | 85.0   | 33.0 | 8.0  | 14.0     | 14.0     |  |
| 2005 | 5062               | 3174                 | 62.7                       | 100.0  | 100.0 | 90.0 | 90.0 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | 85.0   | 70.0 | 10.0 | 15.0     | 15.0     |  |
| 2006 | 5816               | 3700                 | 63.6                       | 100.0  | 100.0 | 85.0 | 94.6 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | 90.0   | 70.0 | 10.0 | 15.0     | 15.0     |  |
| 2007 | 5926               | 3893                 | 65.7                       | 100.0  | 100.0 | 87.8 | 96.7 | 83.7 | 85.1 | 92.0 | 91.1   | 84.7 | 11.7 | 46.9     | 46.9     |  |
| 2008 | 5667               | 3831                 | 67.6                       | 100.0  | 100.0 | 90.0 |      | 85.0 |      |      |        |      |      |          |          |  |
| 2009 | 5441               | 3700                 | 68.0                       |        |       |      |      |      |      |      |        |      |      |          |          |  |

资料来源: 黄季焜等 (2010); James (2010); 《中国统计年鉴》(1997~2009 年)。

### 参考文献

- 陈瑞剑. 2009. 农户知识、种子市场和政府管理政策对转基因抗虫棉经济效益的影响研究. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文.
- 黄季焜, 米建伟, 林海, 等. 2010. 中国 10 年抗虫棉大田生产: Bt 抗虫棉技术采用的直接效应和间接外部效应评估. 中国科学: 生命科学, 40 (3): 260-272.
- 王子军. 2008. 中国转基因作物生产可持续性研究: 以 Bt 抗虫棉为例. 中国科学院研究生院博士学位论文.
- 张天真, 唐灿明. 2000. 转 Bt 基因抗虫棉品种的推广利用与棉铃虫抗性的治理. 科学通报, 45 (2): 119-127.
- 张永军, 吴孔明, 彭于发, 等. 2002. 转抗虫基因植物生态安全性研究进展. 昆虫知识, 39 (5): 321-327.
- 周兆澜, 朱桢. 1994. 植物抗虫基因工程研究进展. 生物工程进展, 14 (4): 18-24.
- James C. 2010. 2009 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势—第一个十四年 1996-2009, 中国生物工程杂志, 30 (2): 1-22.
- Huang J, Hu R, Pray C, et al. 2003. Biotechnology as an alternative to chemical pesticides: a case study of bt cotton in China. Agricultural Economics, 29: 55-67.
- Huang J, Rozelle S, Pray C, et al. 2002. Plant biotechnology in China. Science, 295, (25): 674-677.
- James C. 2004. Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops; 2004. ISAAA Briefs No. 32. Ithaca, NY: ISAAA.
- Wu K, Guo Y. 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. Annual Review of Entomology, 50: 31-52.

## 第2章 转基因抗虫棉的经济效益

### 2.1 概 述

由于转基因作物对农业乃至整个社会经济的巨大影响，对转基因作物影响的研究也是近年来的研究热点。国际上知名的研究组织和很多农业经济研究人员都为此付出了很多努力（比如 FAO, 2005; Smale et al., 2006; Babu and Rhoe, 2003; Scatasta et al., 2006; 张德亮, 2005）。这些研究总结了转基因作物对生产者、消费者、产业及贸易的影响。据研究，2009 年转基因作物的全球市场价值为 105 亿美元，其中转基因玉米 53 亿美元，转基因大豆 39 亿美元，转基因棉花 11 亿美元和转基因油菜的 3 亿美元（James, 2010）。

事实上，同绿色革命一样，转基因技术给人类带来的最大的利益可能不是其带给生产者、消费者及种子经营部门的利润，而是为世界上尚未脱离饥饿威胁的人们提供了更多的粮食供应。尽管人类文明的发展使得人类基本可以解决全世界人口的温饱问题，但是严重的分配不均使得很多人仍在饥饿的威胁之下。绿色革命曾经拯救了 10 亿饥饿人口，转基因技术的进一步发展可能取得更大的成绩。

根据以往的研究，转基因作物的影响可以分为四个方面：① 对生产者（棉农）的经济收益的影响；② 对消费者剩余的影响；③ 对生态环境及人类健康的影响；④ 对监管政策及管理的影响。其中对转基因作物监管的影响将在第 3 至第 5 章重点研究，在此不再赘述。对生产者经济收益的影响是本章研究的重点。在抗虫棉对消费者剩余的影响，以及转基因作物生产对生态环境及人类健康的影响这两个方面，笔者将主要对以往的经验性研究进行概括和总结。

#### 2.1.1 转基因作物对消费者剩余的影响

转基因作物对消费者的影响研究很多。其研究的重点在两个方面，一是消费者对转基因生物接受程度以及转基因产品的标注（Lin et al., 2005; Gruere, 2006）；二是转基因技术的溢出效应（Anderson and Jackson, 2005）。相对于第一个方面，转基因技术的溢出效应比较容易被人接受，我们首先对此进行概括。

转基因技术不但减少了化学农药的使用数量，而且有效地控制了害虫的危