

转 Bt 基因抗虫棉 环境影响研究的综合报告

薛达元

国家环保总局南京环境科学研究所

绿色和平 编印

2002 年 6 月

缩 略 词 表

Bt	苏云金芽孢杆菌
CK	(试验) 对照
CpTI	豇豆胰蛋白酶抑制剂
FAO	联合国粮农组织
IPM	害虫综合防治
GK	国抗 (国产转 Bt 基因抗虫棉品种)

表 目 录

- 表 1 Bt 棉在中国的种植面积 (1996-2001)
- 表 2 美国孟山都公司转基因棉在中国的商业化生产 (1996-2001)
- 表 3 Bt 抗虫棉对其寄生性天敌生长发育的影响
- 表 4 田间试验中 Bt 抗虫棉对寄生天敌的影响
- 表 5 盲春蠊类害虫的田间调查结果
- 表 6 Bt 抗虫棉对田间物种多样性的影响
- 表 7 Bt 抗虫棉田的昆虫优势集中性
- 表 8 转 Bt 基因棉对田间节肢动物物种多样性的影响
- 表 9 棉铃虫的田间表现

图 目 录

- 图 1 不同棉田捕食性天敌昆虫的种群动态
- 图 2 寄生性天敌昆虫和种群动态
- 图 3 甜菜夜蛾的种群动态
- 图 4 盲春蠊类害虫的种群动态
- 图 5 烟灰虱成虫种群动态
- 图 6 棉蚜的种群动态
- 图 7 棉红蜘蛛的种群动态
- 图 8 棉蓟马的种属动态
- 图 9 Bt 棉在不同种植制度下对主要次重要害虫的影响
- 图 10 棉蚜的种群动态
- 图 11 朱砂叶螨的种群动态
- 图 12 棉白粉虱的种群动态
- 图 13 斜纹夜蛾的种群动态
- 图 14 黑盲蝽的种群动态
- 图 15 昆虫群落、害虫亚群落和天敌亚群落的集中优势性和多样性指数变化
- 图 16 不同棉田的棉铃虫种群动态

摘 要

目前中国已批准大面积商业化生产的转基因作物主要是转 Bt (*Bacillus thuringiensis* Berliner) 基因抗虫棉。由于美国转基因抗虫棉的输入和推广,转基因棉花的种植面积发展尤其迅速,2000 年中国种植转基因抗虫棉的面积已达 100 万公顷,占当年全国棉花种植总面积的 30%。而根据估计,2001 年的转基因棉种植面积进一步扩大,可达 150 万公顷以上,占当年全国棉花总面积的 35%左右。其中,美国孟山都公司的转 Bt 基因抗虫棉在过去几年中一直占转基因棉总面积的三分之二左右。另有约三分之一面积种植的是国内研究开发的转 Bt 基因抗虫棉品种。

根据全国四家权威研究机构有关专家的多年研究结果,转 Bt 基因抗虫棉对棉花生长的最主要害虫——棉铃虫 (*Helicoverpa armigera* Hü bner) 有一定的控制作用,尤其是对棉花苗期的害虫防治比较有效。但是,根据几年来对转 Bt 基因抗虫棉的室内试验和田间监测,已发现其明显的环境影响,归纳如下几点:

1、转 Bt 基因抗虫棉对棉铃虫的捕食性天敌影响不大,但对棉铃虫的寄生性天敌质量有显著影响,表现为寄生蜂的寄生率和蜂的羽化率明显下降,茧重和蜂重显著减轻,故田间寄生性天敌的种群数量大大减少。

2、转 Bt 基因抗虫棉对棉铃虫以外的主要害虫效果很差,尤其是对刺吸式害虫基本上没有效应。田间试验表明,在转基因棉田,当靶标害虫棉铃虫受到控制后,非靶标的次要害虫如棉蚜、红蜘蛛、棉蓟马、盲蝽蟥、白粉虱、烟灰虱、棉叶蝉、甜菜夜蛾等的发生比常规棉对照严重,有些次要害虫已上升为最主要害虫,对棉花生长产生危害。

3、转基因棉田的昆虫群落、害虫亚群落和天敌亚群落的多样性指数和均匀度指数均低于常规棉田,然而,转基因棉田害虫的优势集中性高于常规棉田,所以转基因棉田昆虫群落、害虫和天敌亚群落的稳定性不如常规棉田,某些害虫大发生的可能机率较大。

4、室内观察和田间监测都已证明,棉铃虫对转 Bt 基因棉可产生抗性。试验室汰选抗性棉铃虫的试验表明,连续饲喂转 Bt 基因棉至 17 代,转基因棉对棉铃虫的抗性下降至 30%,当饲喂至 40 代以上,棉铃虫的抗性指数增加 1000 倍。专家由此推断,在大田连续种植 8-10 年后,转 Bt 基因棉可能丧失对棉铃虫的抗性,从而失去利用价值。

5、根据大田种植的表现,转 Bt 基因棉对第二代棉铃虫有较好的抗性,棉花苗期基本不需施药,但是转基因棉对第三代和第四代棉铃虫的抗性明显下降,事实上,自 7 月中旬至 8 月底,农民对转基因棉田普遍用药 2-3 次专门防治棉铃虫。

6、棉铃虫对转基因棉产生抗性已是不争的事实,然而,尚没有十分有效的措施以消除或延缓这种抗性,高剂量毒素表达和棉铃虫避难所的机制和设想措施都被认为是难以达到或难以实施的,而且在理论上也有疑点。

引言

1、转基因(Bt)抗虫棉在中国的扩展

过去几年来，转 Bt 基因抗虫棉在中国的种植面积迅速扩大，占国内棉花总种植面积的比例逐年上升。2000 年 Bt 棉种植面积达 100 万公顷，占棉花总面积的 30%。据初步估计，2001 年 Bt 棉的种植面积还将有大面积的增加，可能会达到棉花总面积的 35%以上(表 1)。

表 1 Bt 棉在中国的种植面积 (1996-2001)

年度	Bt 抗虫棉面积 (万亩)	全国棉花总面积 (万亩)	Bt 抗虫棉占棉花面积 (%)
1996	25	7080	0.35
1997	51	6735	0.76
1998	342	5803	5.89
1999	867	4754	18.24
2000	1614	5400	29.89
2001	<i>Est.2100-2700</i>	<i>Est.7100</i>	<i>Est.29.6-38.0</i>

资料来源：崔金杰，中国农科院棉花研究所。

2、美国孟山都 (Monsanto) Bt 抗虫棉在中国占有很大市场份额

孟山都 Bt 抗虫棉于 1997 年在中国获得商业化生产的准许。由于孟山都公司善于经营和精于推广，该公司的 Bt 棉市场份额在过去两年中一直占总种植面积的三分之二(表 2)。值得注意的是中国自己研制的转基因(Bt)抗虫棉也占有三分之一的市场份额，其品种有中国农科院生物技术中心开发的“国抗”系列(如 GK-2, GK12)和双价基因 (Bt+CpTI, 如石远 321) (CpTI - Cowpea trypsin inhibitor, 豇豆胰蛋白酶抑制剂),中国农科院棉花研究所开发的“中棉”系列(如中-29 和中-30), 以及其他研究机构开发研究的品种系列。

表 2 美国孟山都公司转基因棉在中国的商业化生产 (1996-2001)

年份	美国抗虫棉 (万亩)	国产抗虫棉 (万亩)	Bt 抗虫棉总面积 (万亩)	美国抗虫棉 占比例(%)
1996	0	25	25	0
1997	19	32	51	37.25
1998	274	68	342	80.12
1999	590	277	867	68.05
2000	1064	550	1614	65.92
2001	<i>1500-2000 (估计)</i>	<i>600-700 (估计)</i>	<i>Est.2100-2700</i>	<i>71.43-74.07</i>

资料来源：崔金杰，中国农科院棉花研究所。

3、Bt 抗虫棉的分布

Bt 抗虫棉已在中国 10 多个省(市区)推广种植。目前 Bt 棉主要种植在黄河流域省区，如山东、河南、山西、河北等省。但是近年来 Bt 棉在长江流域省区得到迅速扩展，已在湖北、湖南、安徽、江苏等省大面积种植。据统计，2000 年在 Bt 棉的总种植面积中，黄河流域棉区占 75%，长江流域棉区占 24%，新疆棉区占 1%（朴永范，2001，FAO 棉花 IPM 会议报告）。但 2001 年在长江流域的面积比例有大幅度提高。

4、对 Bt 抗虫棉影响的研究

自 1996 年 Bt 抗虫棉在中国种植以来，国内的一些专家就已开始关注其对非目标害虫以及对环境和生物多样性的影响。这些研究机构 and 研究人员主要有：

- 1、中国农业科学院植物保护研究所吴孔明研究员等，他的研究主要是实验室内和在河南新乡和河北廊坊的田间试验。
- 2、中国农业科学院棉花研究所夏敬源所长、崔金杰博士等。他们的研究主要是实验室内和在河南安阳的田间试验。
- 3、中国农业大学植物保护学院张青文教授和他的学生们，他们的研究主要是在湖北和新疆的田间试验。
- 4、南京农业大学植物保护学院沈晋良教授，包括试验室研究和田间试验，田间试验主要在江苏以及河北等地。

目前，国家科技部非常重视转基因棉花的影响研究，不仅在原有的 863 计划中列有转基因作物安全评价研究，在现在的 973 计划中也列入转基因研究项目。此外，还对转基因棉花的安全评估建立了研究专项。因此，现在越来越多的研究机构和研究人员将参与转基因作物安全评估的研究。

笔者对上述 4 个单位的主要研究人员进行了当面咨询和座谈，并获取他们的研究报告。本文主要是对这些研究成果作一总结，并作简要分析。

Bt 抗虫棉对非靶标生物的影响

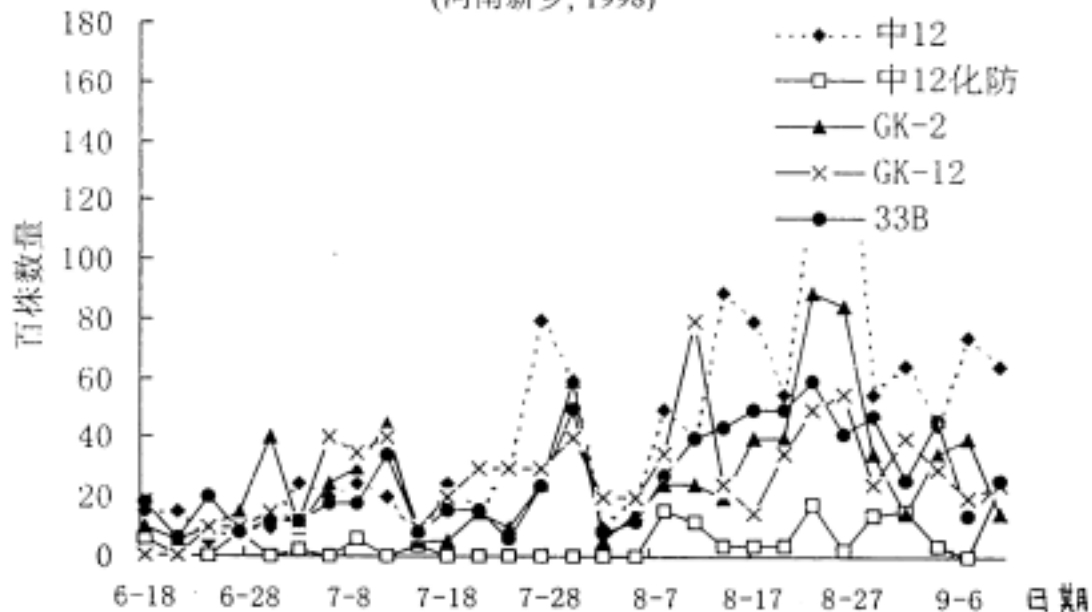
Bt 抗虫棉的抗虫原理主要是利用转入棉花体内的苏云金芽孢杆菌的杀虫蛋白基因所正常表达的毒素来杀死目标害虫，该目标害虫即当前棉花田间的最主要害虫——棉铃虫 (*Helicoverpa armigera* Hübner)。但是，杀虫蛋白在杀死棉铃虫的同时，亦可能对其他昆虫产生影响，包括天敌和次要害虫。

1、对棉铃虫天敌的影响

(1) 中国农科院植保所吴孔明的研究结果

1998 年在河南新乡的田间试验表明，在转 Bt 基因棉田 (孟山都 33B, GK-2, GK-12) 中，捕食性天敌如瓢虫、草蛉和蜘蛛的种群数量高于施农药的非转基因棉对照 (中 12 化防)，但明显低于未施农药的非转基因棉对照 (中 12)。说明转 Bt 基因棉对棉铃虫的自然捕食性天敌的种群消长有一定的负面影响 (图 1)。

图 1 不同棉田捕食性天敌昆虫的种群动态
(河南新乡, 1998)

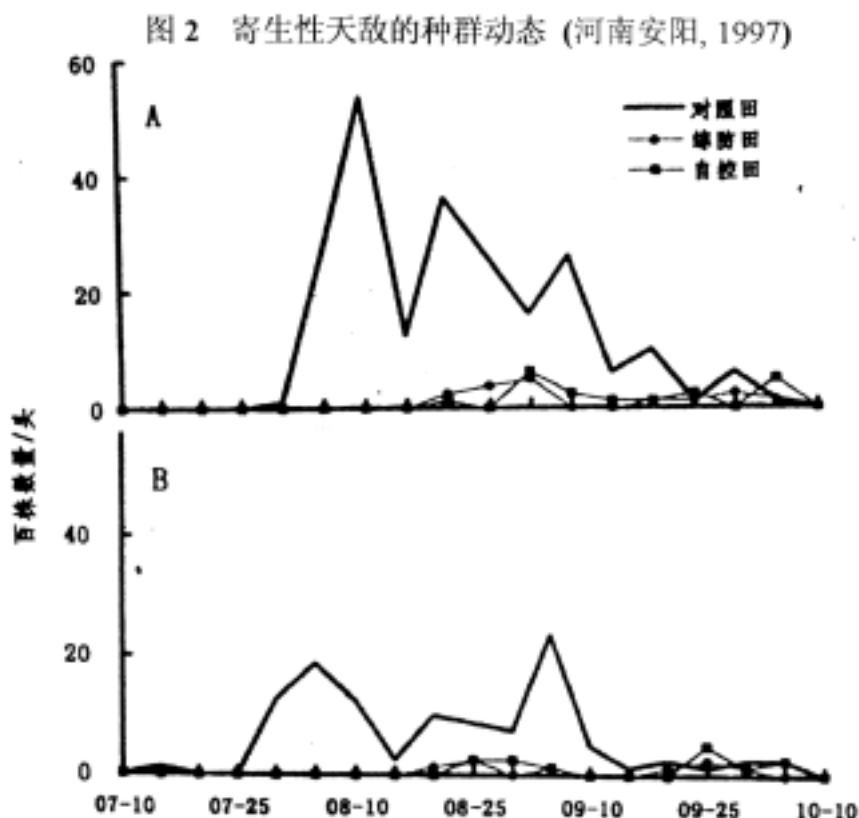


(2) 中国农科院棉花研究所夏敬源、崔金杰等的研究结果

1997 年，崔金杰等在转基因抗虫棉对棉铃虫天敌种群的影响方面做了研究。实验室和田间试验的结果都表明，转基因棉对棉铃虫捕食性天敌种群的影响不甚明显，相对于非转基因棉对照，转基因棉田的捕食性天敌如七星瓢虫 (*Coccinella septempunctata*)、龟纹瓢虫 (*Propylaea japonica*)、草间小黑蛛 (*Erigonidium graminicolum*)、草蛉 (*Chrysopa sp.*)、小花蝽

(*Orius minutus*)和大眼蝉长蝽(*Geocoris pallidipennis*)等在种群数量上没有明显差异(崔金杰、夏敬源, 1997, 1999)。

但是, 研究结果显示, 转 Bt 基因棉对棉铃虫的寄生性天敌有显著影响。例如, 侧沟绿茧蜂(*Microplitis sp.*)和齿唇姬蜂(*Campoletis chloridae* Uchida)是棉铃虫的主要寄生性天敌, 研究表明, 这两种寄生蜂在转基因棉田(R93-4 自控田, R93-4 综防田)的寄生率和蜂羽化率明显下降, 茧重和蜂重明显减轻, 田间寄生天敌种群数量明显减少。田间调查结果显示, 在转基因棉田, 侧沟绿茧蜂(A)和齿唇姬蜂(B)生育期平均种群数分别比非转基因棉(对照田)减少 88.9%和 79.2%: 在高峰期, 这两个寄生蜂在非转基因对照棉田的种群数量比转基因棉田高 7-11 倍(崔金杰、夏敬源, 1999a)(图 2)。



(3) 中国农业大学植保系张青文等的研究结果

1999-2000 年在湖北的研究表明, 转 Bt 抗虫棉田的大多数捕食性天敌昆虫其种群数量与非转基因棉田无显著区别, 唯龟纹瓢虫(*Propylaea japonica*)的高峰期种群量明显高于非转基因棉田。2000 年在新疆的研究结果也表明, 转基因棉田与非转基因棉田的捕食性天敌种群无明显差异(魏国树、张青文等, 2001)。

(4) 南京农业大学沈晋良等的研究结果

A. 实验室方法

沈晋良教授等 2001 年用实验室手段,研究了转 Bt 基因棉对棉铃虫寄生天敌——中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* (Haliday) 的影响,该茧蜂是棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 低龄幼虫寄生蜂的优势种。研究方法是,使用经筛选的高抗 Bt 毒蛋白的棉铃虫品系取食不同的转 Bt 基因抗虫棉品种及非转基因棉(对照),然后将其棉铃虫转移至存有中红侧沟茧蜂的容器中,观察茧蜂的生长发育变化。对照(CK)采用的是对 Bt 敏感的棉铃虫。研究结果表明,相对于对照,转 Bt 抗虫棉对棉铃虫寄生性天敌中红侧沟茧蜂的寄生率、结茧率、羽化率、茧重有明显影响。但是,对接抗性棉铃虫的非 Bt 抗虫棉具有同样的影响趋势(表 3),可能是 Bt 毒蛋白和棉铃虫抗性双重因素影响的结果,有待于进一步研究。

表 3 Bt 抗虫棉对其寄生性天敌生长发育的影响(2001)

处 理	棉铃虫 品系	寄生率比 对照减少 (%)	结茧率比 对照减少 (%)	羽化率比 对照减少 (%)	茧重比对 照减轻 (%)
石远 321 (Bt + CpTI)	高抗 Bt	15.3	14.0	9.3	5.7
中双抗 (Bt + CpTI)	高抗 Bt	55.6	59.1	69.5	20.9
新棉 (孟山都 33B)	高抗 Bt	49.8	51.9	68.2	17.2
苏棉 12	高抗 Bt	41.5	47.3	14.6	5.7
CK (苏棉 12)	Bt 敏感				

此外,沈晋良等使用上述相同的实验室方法,对捕食性天敌异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 的研究实验表明,转 Bt 基因抗虫棉对 2-4 龄幼虫及成虫的异色瓢虫没有显著的影响,而对 1 龄幼虫的存活率有显著影响。尤其是双抗转基因棉对 1 龄异色瓢虫的影响甚为明显,幼虫平均死亡率达 24%。

B. 田间方法

2001 年沈晋良教授等在江苏省阜宁县的棉花大田试验结果表明,Bt 抗虫棉对棉铃虫幼虫寄生蜂——唇齿姬蜂(*Campoletis chloridae* Uchida)的寄生率有明显影响,对其卵寄生蜂的寄生率有轻微影响(表 4)。

表 4 田间试验中 Bt 抗虫棉对寄生天敌的影响(江苏阜宁 2001)

处 理	对第 3 代棉铃虫的寄生率 (%)		对第 4 代棉铃虫的寄生率 (%)	
	棉铃虫幼虫	棉铃虫卵	棉铃虫幼虫	棉铃虫卵
Bt 抗虫棉(孟山都 33B)	0	2.63	0	1.22
非 Bt 抗虫棉对照(苏棉系列)	4.17	3.0	6.11	1.38

2、对次重要害虫的影响

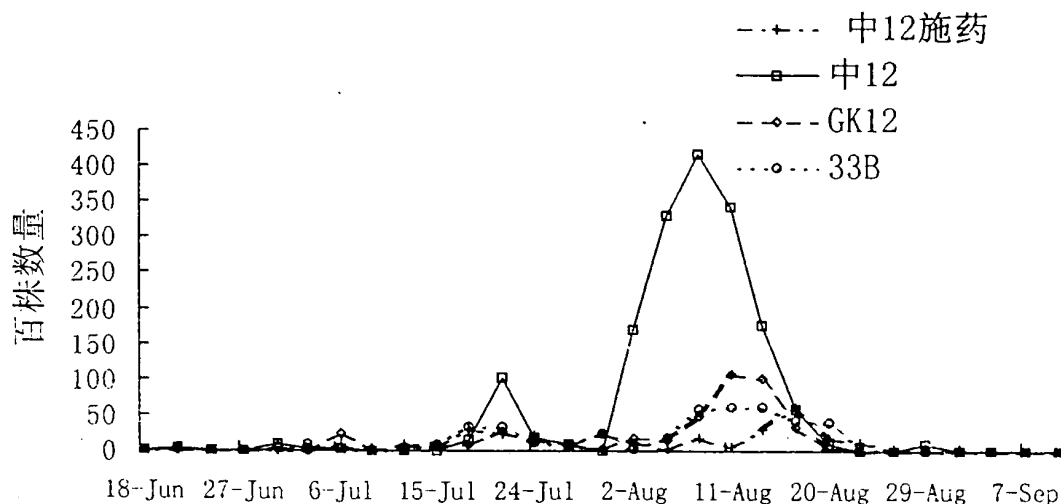
(1) 中国农科院植保研究所吴孔明的研究结果

1997-2000 年在河南新乡和河北廊坊的田间研究,使用的品种处理是:美国孟山都公司的转 Bt 基因棉 33B 和 35B,中国农科院生物技术中心开发的转 Bt 基因国抗系列 GK2 和 GK12 以及双价(Bt+CpTI)转基因棉石远 321,并以中棉-12 作为非转 Bt 基因棉对照。结果如下:

A . 对甜菜夜蛾的影响(*beet armyworm , Spodoptera exajua*)

过去几年来,甜菜夜蛾的发生越来越严重,已上升为一个重要害虫,并且较难防治。然而, Bt 棉对其防治效果尚不到 70%(图 3), 因而需采用化学防治。

图 3 甜菜夜蛾的种群动态(河南新乡, 1999)



B . 对盲蝽蟊类害虫的影响(*Lygus bugs , Adelphocoris saturalis , A. fasciaticolls, Lygus lucorum , etc .*)

因为盲蝽蟊类害虫的天敌控制较弱,当 Bt 棉田施用农药减少时,这类害虫则大量发生,尤其是在气候潮湿的条件下更是如此。例如, 1998 年中国华北地区雨量较大,造成盲蝽蟊类害虫在整个棉花生育期内大量发生。1999 年, Bt 棉田 (GK12、33B) 的盲蝽蟊类害虫因气候干燥,在 7 月之前发生较轻,但是在 8 月中旬以后严重发生,造成大量秋季棉铃损失(图 4 , 表 5)(吴孔明 2000 年研究报告, 贾世荣等 2001)。

图 4 盲蝽蟊类害虫的种群动态(河北廊坊, 1999)

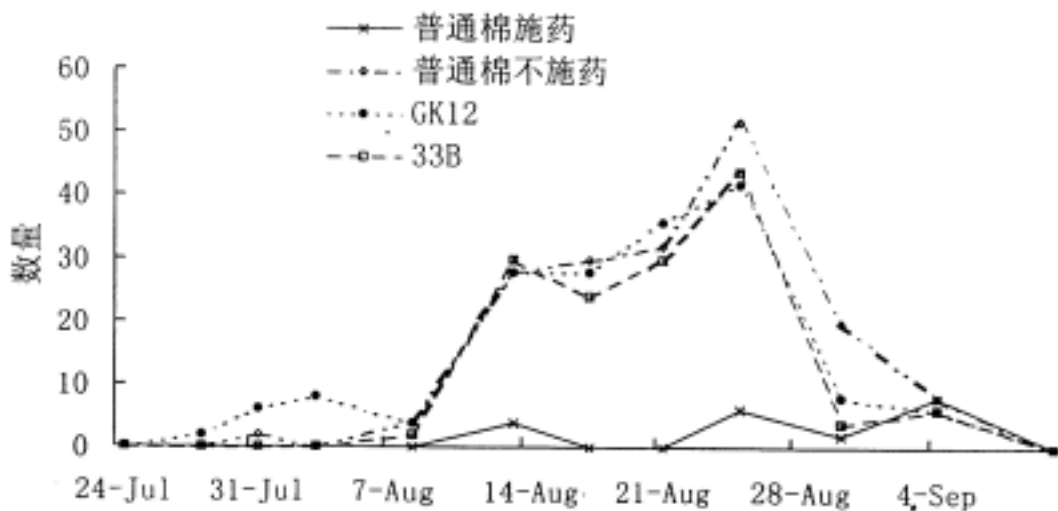


表 5 盲蝽蟥类害虫的田间调查结果 (河北廊坊, 2000)

单位: 百株害虫数

害虫 \ 品种	国抗 (GK12) (Bt)	石远 321 (Bt + CpTI)	非 Bt 棉对照 (不施药)	非 Bt 棉对照 (施药)
盲蝽蟥类害虫	320	326	364	很低

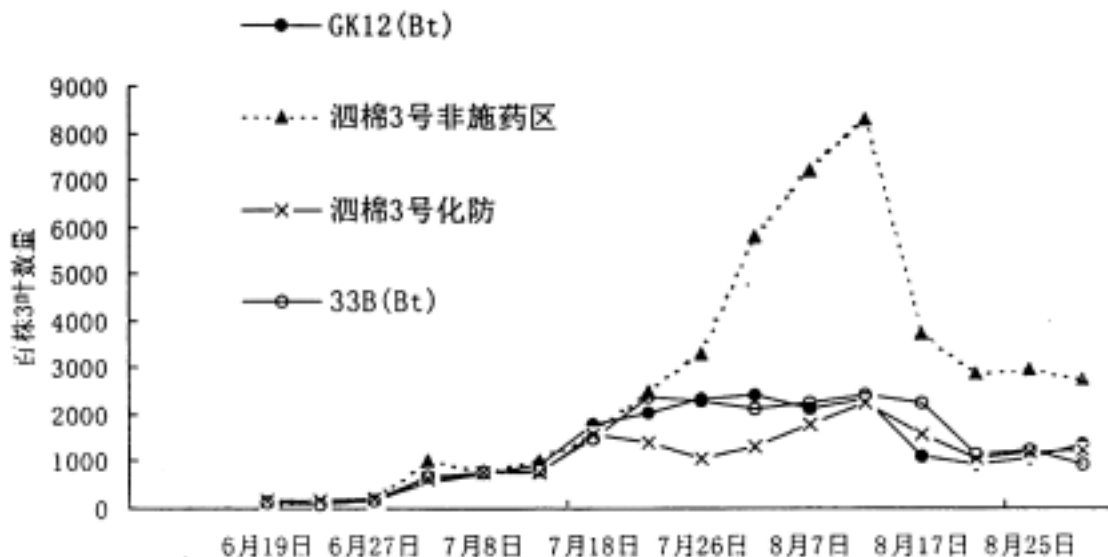
C. 对棉红蜘蛛的影响(Cotton spider mites)

与盲蝽蟥类害虫相似, 棉红蜘蛛的天敌控制亦较弱, 当气候干燥时, 该害虫将在 Bt 棉田上升为一个严重害虫。

D. 对烟粉虱的影响(tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*)

2000 年在河北廊坊的田间试验表明, Bt 棉对烟粉虱的控制效果较差。在 Bt 棉田(GK12、33B) 中该害虫的种群数量介于非 Bt 棉(泗棉 3 号) 施药和非 Bt 棉不施药两个对照之间, 并且在 7 月 18 日之前, 烟粉虱种群数量在各处理间无明显差异(图 5)(吴孔明 2001 年研究报告)。

图 5 烟灰虱成虫种群动态 (河北廊坊, 2000)



(2) 中国农科院棉花研究所崔金杰、夏敬源等的研究成果

1997 年在河北安阳棉花实验基地的研究表明, Bt 抗虫棉对防治棉铃虫以外的多数主要非靶标害虫没有效果, 因此一些非靶标次要害虫发生严重, 并上升为主要害虫(崔金杰、夏敬源, 1998)。该研究采用的处理是: 自控田 (Bt 棉), 综防田 (Bt 棉+综防措施) 及对照田

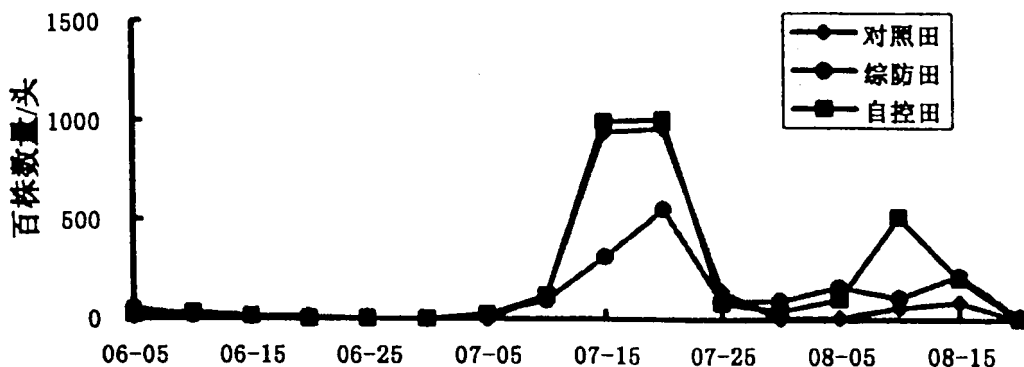
(非 Bt 常规棉)

采用的综防措施可分为 3 种类型：(1)化学防治，施用农药如辛硫磷、丙溴磷、克草净、久效磷、硫丹等；(2)生物防治，施用生物农药（如对第四代棉铃虫施用“棉铃虫核多角体病毒”）或采用保护害虫天敌的措施（如施用对天敌药效低、对害虫药效高的农药）；(3)农业措施，如间作、套作，以及在棉田中或周围种植玉米并且不施药，作为避难所以保护和增殖天敌。

A. 对棉蚜的影响(Cotton aphids, *Aphis gossypii*)

研究表明，非 Bt 棉（对照田）每百株第倒 3 叶的生育期平均棉蚜种群数量为 148.5，而 Bt 棉田（自控田、综防田）的棉蚜种群数量为 197.6，增加 33.1%，但在 7 月中旬和 8 月上旬出现的两个高峰期间，Bt 棉田的棉种群数是对照田的 1 倍以上（图 6）。

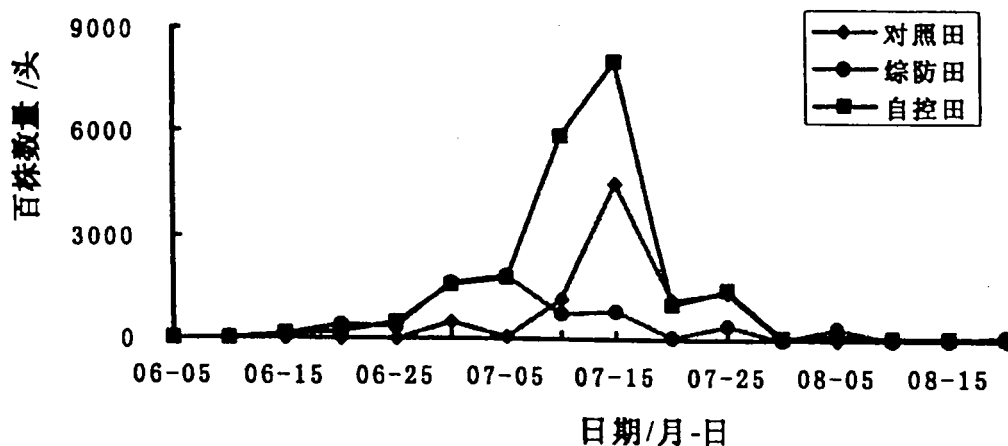
图 6 棉蚜的种群动态（河南安阳，1997）



B. 对红蜘蛛的影响 (Cotton spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*)

研究表明，高峰期间（6月底至7月底）在 Bt 棉上（自控田）的红蜘蛛达每百株 1312.4 头，而在非 Bt 棉上（对照田）仅 549.3 头，增加 138.9%，并在 7 月中旬出现爆发，Bt 棉田的红蜘蛛种群量达 8000 左右（图 7）。

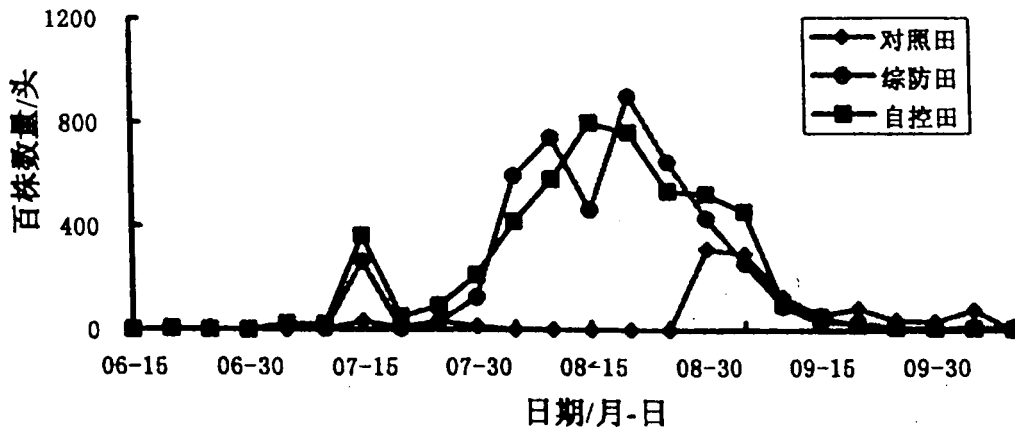
图 7 棉红蜘蛛种群动态（河南安阳，1997）



C. 对棉蓟马的影响(Lindemon onion trips , *Thrips tabaci*)

研究表明,在 Bt 棉上(自控田)发生的生育期棉蓟马平均种群数为每百株 210.5 头,而在非 Bt 棉上(对照田)发生 47.2 头,增加 346.0%。高峰期间(7 月底至 9 月上旬)Bt 棉自控田的棉蓟马种群数达每百株 800 头左右。Bt 棉综防田与 Bt 棉自控田趋势一致(图 8)。

图 8 棉蓟马的种群动态(河南安阳,1997)



D. 对白粉虱的影响(Cotton whitefly , *Trialeurodes vaporariorum*)

研究表明,在 Bt 棉上的白粉虱其生育期平均种群数量达每百株 37.2 头,而在非 Bt 对照棉上的数量为 22.1 头,增加 68.3%(崔金杰、夏敬源,1998)

E. 对棉盲蝽的影响(*Lygus luconum*)

研究揭示了在 Bt 棉上的棉盲蝽其生育期平均种群数量达每百株 163 头,而在非 Bt 对照棉上的棉盲蝽仅 42 头,比对照增加 288%。

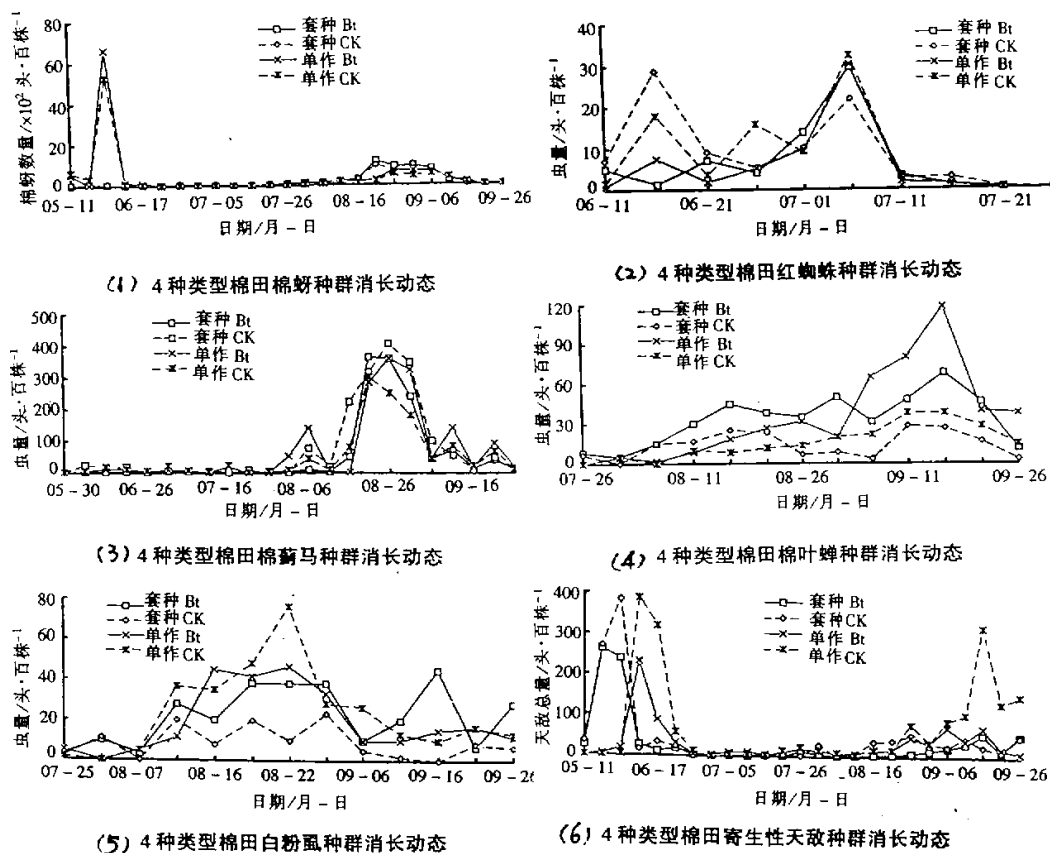
F. 对棉叶蝉的影响(Cotton leaf hopper , *Empoasca biguttula*)

在 Bt 棉上的棉叶蝉其生育期平均种群数量为每百株 55 头,而在非 Bt 棉对照为 35 头,比对照增加 57%。

G. Bt 棉在不同种植制度下的对次要害虫的影响

崔金杰等在 1995-1996 年进行的另一项研究揭示了 Bt 棉在不同种植制度下对棉铃虫外主要害虫的影响。在 Bt 棉单作条件下,棉苗蚜、棉伏蚜和棉叶蝉的平均种群数量分别比非 Bt 棉增加 20.30%、21.38%和 67.62%;而在麦套条件下,Bt 棉田的棉伏蚜、红蜘蛛、白粉虱和棉叶蝉比非 Bt 棉对照分别增加 14.62%、75.48%、48.22%和 58.54%(崔金杰、夏敬源,1997)。

图9 Bt棉在不同种植制度下对主要次要害虫的影响
(河南安阳, 1995-1996)



(3) 中国农业大学张青文等的研究结果

1999-2000 年在湖北省进行田间试验, 其处理为转 Bt 自控棉田 (GK19)、转 Bt 药防棉田 (GK19) 和非转基因常规综防棉田 (荆州 5179)。研究表明, Bt 棉田中除棉铃虫外的其他主要害虫其危害比非 Bt 棉田普遍更为严重 (张青文 2000 年研究报告)。

A. 对棉蚜的影响(Cotton Aphids, *Aphis gossypii*)

在湖北的试验揭示了 Bt 棉百株顶部第三叶棉蚜的高峰发生量达 1840 只, 而在非 Bt 棉田仅 1140 只, 转基因棉田的蚜虫发生量远大于普通棉田的发生量, 而且棉蚜发生高峰期是在棉花苗期和生长中期, 危害较大(图 10)。

张青文等在新疆的研究表明, 常规棉田百株棉蚜的峰值在 2000 以下, 尚未达到防治标准, 而 Bt 棉 (MD-80) 自控田棉蚜峰值达 68800, 是常规棉田的 35 倍。有意义的是 Bt 棉+综防亦与 Bt 自控田相似, 峰值达 54300。这说明蚜虫的发生与棉花品种更密切相关 (张青文 2000 年报告)。

B. 对朱砂叶螨的影响(Carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*)

Bt 棉田的朱砂叶螨发生数量远高于常规棉田, 特别是在棉花苗期出现发生高峰, 对棉

花生长产生严重威胁。在 5 月 22 日的调查显示，Bt 棉田朱砂叶螨的发生率达 85%，高峰期达每百株 1580 头，大大高于常规综防棉田。8 月 25 日又出现一个发生高峰(图 11)。

图 10 棉蚜的种群动态 (湖北, 2000)

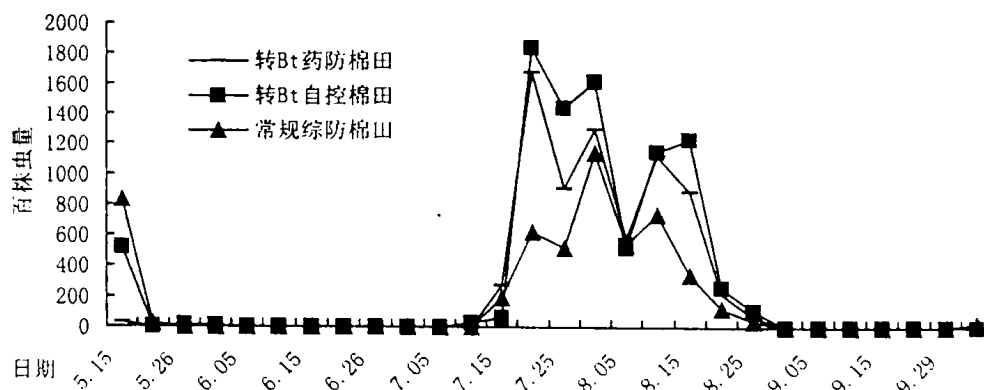
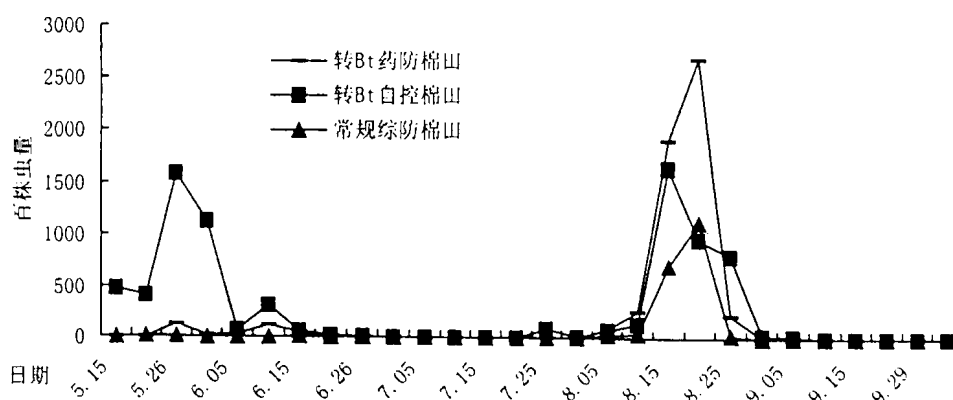


图 11 朱砂叶螨的种群动态 (湖北, 2000)



C. 对棉白粉虱的影响(*Cottonwhitefly, Trialeurodes vaporariorum*)

Bt 棉田的棉白粉虱发生量显著高于常规棉田，而未施药的 Bt 棉田又高于施药的 Bt 棉田(图 12)。

D. 对斜纹夜蛾的影响(*Cotton Leafworm, Prodenia litura* Fabricius)

此害虫在常规棉田几乎没有发生，但在转 Bt 基因棉田却有发生，并在 8 月中旬有一发生高峰(图 13)。调查发现，斜纹夜蛾的最高百株虫量 (14 头/百株) 超过了棉铃虫，在 8 月中、下旬对棉株造成明显危害。

E. 对黑盲蝽的影响(*Black-striped plant bug, Adelphocoris saturalis* Jakovlev)

田间调查结果表明，转 Bt 基因棉田的黑盲蝽害虫种群数量显著高于常规综防棉田(图 14)。

图 12 棉白粉虱的种群动态 (湖北, 2000)

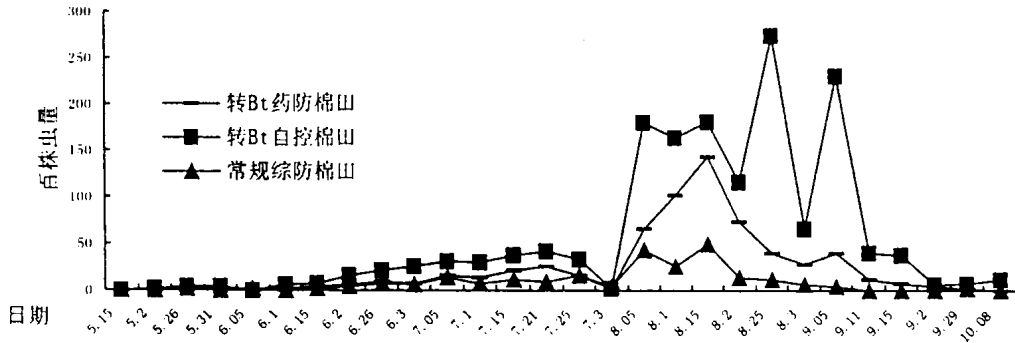


图 13 斜纹夜蛾的种群动态 (湖北, 2000)

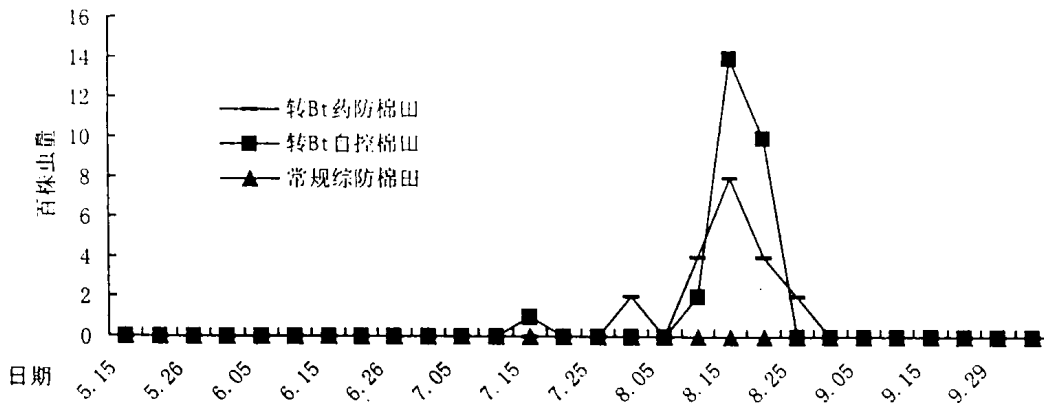
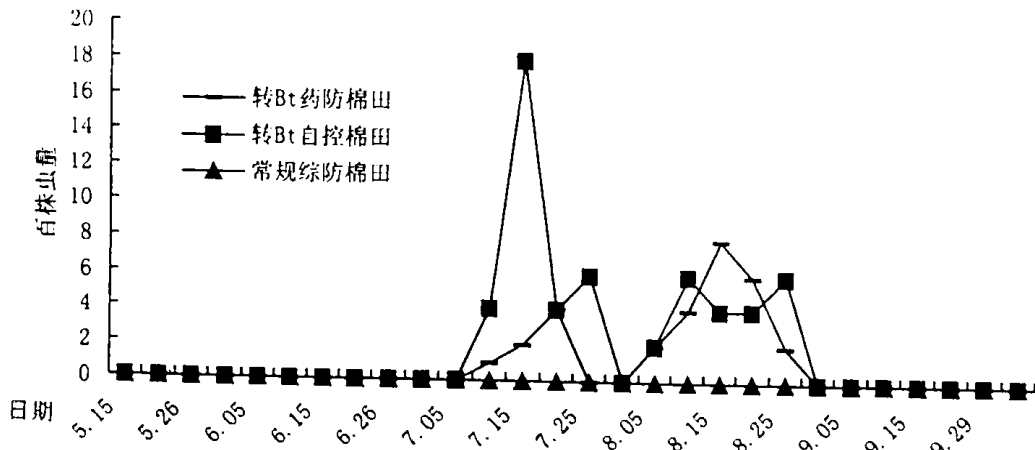


图 14 黑盲蝽的种群动态 (湖北, 2000)



F. 对棉蓟马及其他害虫的影响

但烟蓟马(*Trips tabaci* Lindem)和花蓟马(*Frankiniella intomsa* Trybom)在两种棉田的发生量没有显著差别。然而,他们在新疆做的试验却表明转基因棉自控田和常规棉对照田的棉蓟马峰值有差异,Bt 棉田的峰值为每百株 2393 头,比对照田增加了 28.4%。其他害虫发生量都非常小,故没有比较。

(4) 南京农业大学沈晋良的研究结果

2001 年在江苏常熟、阜宁等地的大田试验结果表明,转 Bt 基因品种新棉 33B (孟山都公司)对刺吸式口器害虫棉蚜、棉红蜘蛛、盲蝽象类等非靶次要害虫非但没有明显的控制效果,而且其害虫发生数量和危害有加重趋势。例如,常熟试验区新棉 33B 棉田的 2 代盲蝽象百株危害率达 60%,必须用药防治;而对照非转 Bt 基因棉(苏棉)的平均百株危害率仅 35% (沈晋良 2001,田间试验报告)。

3. 对昆虫群落多样性的影响

(1) 中国农科院棉花所崔金杰等的研究结果

该研究于 1996-1997 年在河南安阳进行,研究设立 3 个处理: Bt 棉(综合防治); Bt 棉(不施药); 非 Bt 棉对照(不施药)。结果表明,转基因棉田昆虫群落、害虫亚群落和天敌亚群落的多样性指数均低于常规棉。研究表明, Bt 棉田的昆虫群落、害虫亚群落和天敌亚群落的多样性指数及均匀度均低于常规棉田,而优势集中性则高于常规棉田。所以转基因棉田昆虫群落、害虫亚群落和天敌亚群落的稳定性不如常规棉田,某种害虫大发生的可能性较大(崔金杰、夏敬源,2000a,2000b) (图 15)。

图 15 昆虫群落、害虫亚群落和天敌亚群落的集中优势性和多样性指数的变化

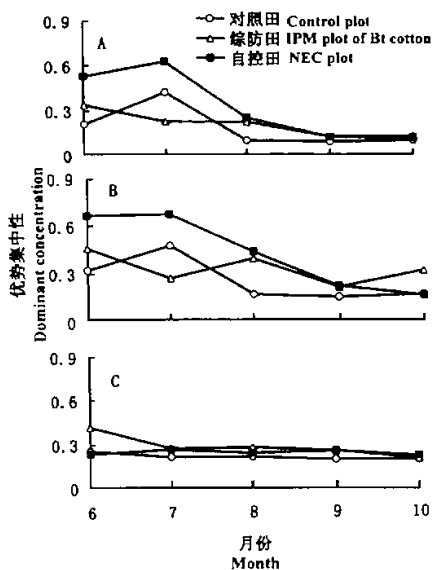


图 1 三种处理棉田昆虫群落 (A)、害虫亚群落 (B) 和天敌亚群落 (C) 优势集中性的变化

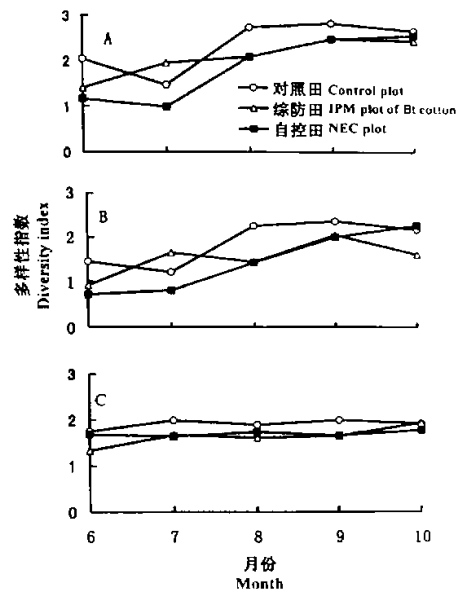


图 2 三种处理棉田昆虫群落 (A)、害虫亚群落 (B) 和天敌亚群落 (C) 多样性的变化

这里，

$$\text{生物多样性指数(Diversity Index) } H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$\text{均匀度指数(Evenness Index) } J = H/\ln S$$

$$\text{优势集中性指数(Dominant Concentration Index) } C = \sum_{i=1}^s p_i^2$$

$$P_i = n_i/N,$$

n_i 代表某物种的个体数； N 代表所有物种的总个体数； S 代表物种种数。

(2) 中国农业大学张青文等的研究结果

在新疆的试验表明，转 Bt 基因自控棉田(MD-80)物种多样性低于非转基因棉田。调查显示，转基因自控棉田的害虫、天敌和蜘蛛总种数为 56 种，而非转基因棉田达 67 种(表 6)，这说明转基因棉对物种多样性产生影响，而 Bt 棉加上综防措施效果更好。然而，转基因棉田昆虫的总个体丰富度较高，每百株达 95695 头，而常规棉田的总个体数仅 25259 头，可能是转基因棉田有大量棉蚜发生。

表 6 Bt 抗虫棉对田间物种多样性的影响 (新疆 1999)

处 理	害虫种数	天敌种数	蜘蛛种数	总 数
Bt 抗虫棉自控田	28	20	8	56
非转基因棉田	30	18	19	67

昆虫群落多样性是评估棉田昆虫群落稳定性的一个指标。该研究表明，转基因棉田的昆虫群落稳定性远低于非转基因棉田，这暗示了在转基因棉田某些害虫爆发的可能性大于常规棉田。

该研究还揭示了转基因棉田的昆虫集中性高于非转基因棉田(表 7)，这与崔金杰等在安阳的研究结果相一致。较高的昆虫优势集中性意味着某种害虫爆发的可能性较大。

表 7 Bt 抗虫棉田的昆虫优势集中性 (新疆 1999)

处 理	昆虫群落的 优势集中性	自然天敌亚群落的 优势集中性	害虫亚群落的 优势集中性
Bt 抗虫棉田	0.9264	0.2082	0.9453
非转基因棉田	0.6881	0.1593	0.7537

另一项由魏国树与张青文合作、并得到孟山都公司资助的研究于 1998 年在河北省巨鹿县进行。该研究比较了转基因棉“33B”(Monsanto)、转基因棉“中棉 30”、非转基因棉(常规防治)和非转基因棉(不防治)这四种类型棉田的节肢动物群落构成与结构。结果表明，转基因的 33B 和中棉-30 两类型棉田的物种丰富度有一定降低(2.4%~16.3%)，个体总量显著减少(71.0%~78.3%)(魏国树、张青文等，2001)(表 8)。

表 8 转 Bt 基因棉对田间节肢动物物种多样性的影响 (河北 1998)

物种多样性	转 Bt 基因棉 (33B)	转 Bt 基因棉 (中棉 30)	非转基因棉 (常规防治)	非转基因棉 (不防治)
节肢动物目数	14	14	14	15
节肢动物科数	26	29	31	36
节肢动物种数	41	41	42	49
节肢动物个体数	18939	14218	65407	15287

棉铃虫对转 Bt 基因棉的抗性

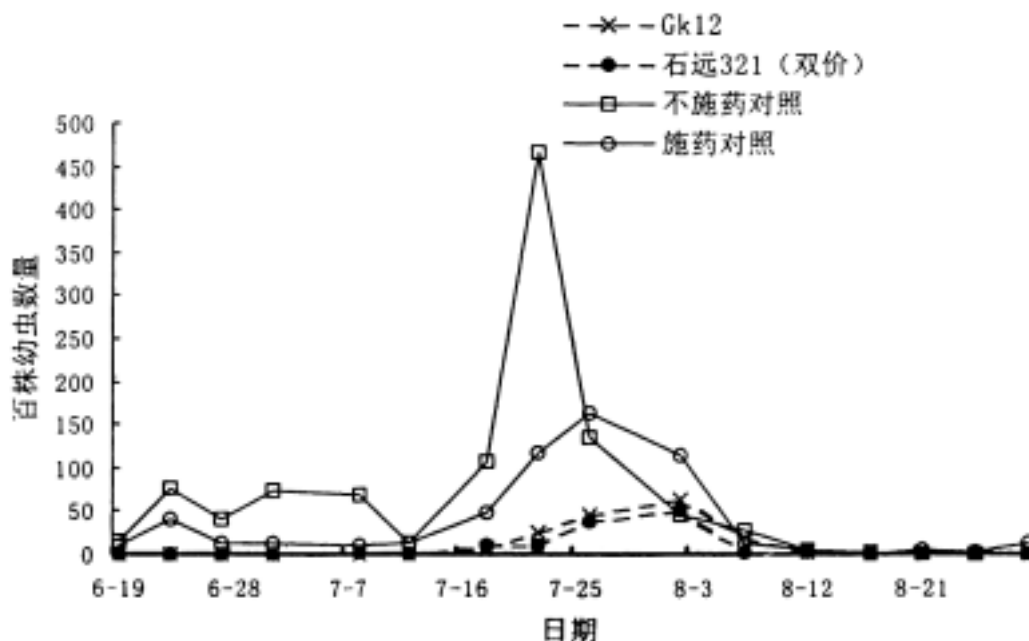
1、棉铃虫抗性的产生

对于棉铃虫产生抗性的问题目前国内已基本形成共识，即转 Bt 基因棉对棉花苗期发生的第 2 代棉铃虫 (*Helicoverpa armigera*) 具有较强的抗性(第 1 代棉铃虫发生在小麦或其他作物上)，而对 7 月中旬后发生的第 3 代和第 4 代棉铃虫的抗性呈降低趋势。目前在中国，不论华北黄河流域地区还是南方长江流域地区，几乎所有种植转 Bt 基因棉的农民在棉花生长中后期都不同程度地施用化学农药，但用药次数降低。华北地区用药次数可从全生长周期平均 13 次降到 7 次；长江流域地区棉花用药次数亦由 5-7 次降低到 3-5 次。即使如此，农民仍然喜欢种植转基因棉，因为转基因棉的棉铃虫发生较轻，用药次数减少，尤其在棉花苗期基本上不需施药。这样可省工省力，提高经济效益。

(1) 中国农科院植保所的研究结果

许多田间试验和实验室研究都已证明上述事实。吴孔明在河北廊坊的田间试验表明，转 Bt 基因棉，无论是转单基因棉 (GK12)，还是转双基因棉 (石远 321)，都在 7 月中旬至 8 月中旬形成一个棉铃虫发生小峰(图 16)，棉铃虫种群最高时百株虫量超过 50 头，必须用药防治(吴孔明，2000 年研究报告)。

图 16 不同棉田的棉铃虫种群动态(河北廊坊，2000)



梁革梅等利用室内筛选获得的棉铃虫抗性种群进行抗性遗传方式的研究。试验结果表明：经 16 代筛选，棉铃虫对转 Bt 基因棉的抗性倍数上升到 43.3 倍。还通过对敏感与抗性棉铃虫杂交、正交、反交的显性度研究，初步认为棉铃虫对转 Bt 基因棉的抗性是常染色体

单基因控制的不完全隐性遗传(梁革梅等 2000a)。

梁革梅等的另一项研究是利用室内筛选的对 Bt 杀虫剂、Bt 毒蛋白和转 Bt 基因棉的棉铃虫抗性种群,测定了与其它 Bt、化学杀虫剂、新鲜转 Bt 基因棉的交互抗性。结果表明,经 16 代筛选,棉铃虫对 3 种 Bt 都可以产生抗性,抗性上升的快慢顺序是: Bt 杀虫剂>Bt 毒蛋白>转 Bt 基因棉。棉铃虫对 Bt 产生抗性后,与含有相同基因的其他 Bt 产品存在正交互抗性,与含有不同基因型的 Bt 有较低的交互抗性或负交互抗性。用田间新鲜棉叶测定也得到相同的结果。棉铃虫抗性种群的 7 日龄幼虫对溴氰菊酯、氰戊菊酯、辛硫磷、硫丹的敏感性明显提高,但不同种群的 3 龄幼虫的反应差异较大。已经对转 Bt 基因棉花有抗性的棉铃虫,取食新鲜的转 Bt 基因棉棉叶死亡率明显降低(梁革梅等 2000b)。

赵建周先生的实验室研究结果表明,在室内逐代汰选棉铃虫初孵幼虫,当汰选 11 和 17 代后,幼虫对 Bt 杀虫蛋白 C1y1Ac 的抗性指数分别达到 4.0 和 7.1 倍。Bt 棉对汰选种群的抗虫等级由“高抗”分别降低为“抗”和“中抗”级。他根据上述结果推断,在不考虑其他环境因素和不采取抗性治理的条件下,转 Bt 基因棉大面积推广 6 年后有可能对棉铃虫的防治效果显著降低,大面积推广 9 年后有可能基本丧失防治效果,这与澳大利亚利用计算机模型预测的结果基本一致,即 Bt 棉的使用寿命约为 8-10 年(赵建周,1998)。

吴孔明等于 1998-2000 年进行了田间研究,对棉铃田间种群对 Bt 毒蛋白的敏感性进行了监测。连续三年从 Bt 棉花种植区采集 41 份棉铃虫种群样本,经测试,其 IC_{50} (抑制 50%3 龄幼虫发育的浓度)值范围分别为 0.020 $\mu\text{g/ml}$ - 0.105 $\mu\text{g/ml}$, 0.016 $\mu\text{g/ml}$ - 0.099 $\mu\text{g/ml}$ 和 0.016 $\mu\text{g/ml}$ - 0.080 $\mu\text{g/ml}$ 。差别剂量(IC_{99})研究结果表明,达到 3 龄的个体种群的范围为 0% - 4.35%,表明棉铃虫田间种群仍然对 Cry1Ac 毒蛋白敏感,但敏感度已有差异(Wu et al, 2002)。

(2) 中国农科院棉花所的研究结果

1997-2000 年,崔学芬等利用含有 Bt 毒蛋白(Cry1Ac)的人工饲料饲喂棉铃虫,经过 21 代中 16 代的筛选后,其 F_{19} 代的 LC_{50} 值(4.3646 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)比筛选前 F_2 代 LC_{50} 值(0.2972 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)提高了 14.7 倍(崔学芬等,2001)。

2001 年崔学芬等对安阳品系棉铃虫和新疆品系棉铃虫进行室内 Bt 毒蛋白(Cry1Ac)的室内毒力测定。结果表明,两品系的 LC_{50} 值分别为 8.7645 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 0.2547 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,安阳品系的 LC_{50} 值比新疆品系的高 34 倍。新疆品系棉铃虫在 Bt 棉上发育的最高龄期为 4 龄,其比率为 6.7%;而安阳品系部分棉铃虫能够在 Bt 棉上完成生长发育,其 4 龄幼虫的比率为 45.5%,5 龄和 6 龄幼虫的比率分别为 12.6%和 3.8%,有 1.6%的幼虫能够正常化蛹。这说明由于多年来一直种植转 Bt 基因棉,安阳地区的棉铃虫品系已有一定的抗性,相对于新疆的敏感品系,安阳品系的棉铃虫对转 Bt 基因棉的适应性已有增强(崔学芬等,2001)。

(3) 南京农业大学沈晋良教授的研究结果

2001 年在江苏阜宁县的田间试验结果表明,转 Bt 基因的新棉 33B 对第 2 代棉铃虫幼虫控制效果较好,但对第 3、4 代棉铃虫幼虫的控制效果有明显下降(表 9)。相对于对第 2 代棉铃虫的 100%的控制效果,第 3 代棉铃虫的百株虫量指标下降至 66.7%,蕾害率指标下降至 75%;第 4 代棉铃虫的百株虫量指标下降至 57%,棉铃被害率指标下降至 78%。

沈晋良教授自 1995 年以来集中精力研究棉铃虫对 Bt 杀虫蛋白的抗性(沈晋良等,1998)。过去 5 年中,他从事的室内试验证明,在连续饲喂 Bt 棉叶的情况下,棉铃虫将对转 Bt 基因棉产生抗性。试验揭示了汰选抗性棉铃虫至 17 代时,Bt 棉苗期对棉铃虫的防治效果将由 100

%下降到 30%。目前，他的汰选试验已进行到第 40 多代，而此时的抗性指数已上升到原有指数的 500-1000 倍(沈晋良，个人通信)。根据他本人的研究结果和他多年的经验，沈晋良教授断定，棉铃虫对转 Bt 基因棉产生抗性是不可避免的，实际上这种抗性发生的速度要比目前想象的速度快的多，而且一旦抗性产生，其扩展迅速，导致转 Bt 基因抗虫棉的覆没，甚至导致 Bt 喷剂药效的丧失。

表 9 棉铃虫的田间表现 (江苏阜宁 2001)

处 理	棉铃虫第 2 代		棉铃虫第 3 代		棉铃虫第 4 代		
	百株虫量 (头)	蕾害数 (个)	百株虫量 (头)	蕾害数 (个)	百株虫量 (头)	蕾害数 (个)	
Bt 新棉 33B	0	0	2	4	4	6	
对 照	CK (苏棉 9)	8	18	5	12	10	29
	CK (苏棉 12)	8	20	6	15	7	23
	CK (苏棉 15)	4	9	7	21	11	30
	CK (平均值)	6.67	15.67	6	16	9.3	27.3

2. 关于棉铃虫对转基因棉抗性的讨论

有专家认为，如果 Bt 抗虫棉能够始终保持高剂量的杀虫蛋白，那它是可以避免棉铃虫抗性的。亦有专家认为可以在转 Bt 基因棉的大田中，种植一定数量的非转 Bt 基因棉或其他作物（如玉米），作为棉铃虫的“避难所”，以避免棉铃虫抗性（RR）品系的产生。然而，另一些专家对此提出不同的见解，实验室研究和田间试验结果也都对棉铃虫抗性的必然产生提供了证据。

(1) 转 Bt 基因棉的杀虫蛋白表达有限，保持“高剂量”难以实现

中国农科院植保所张永军等利用 ELISA 法和室内生测法研究分析了 3 个转 Bt 基因棉花株系（新棉 33B、GK12、GK2）在不同生育期、不同组织器官的杀虫蛋白表达量、校正死亡率及它们之间的关系。结果表明，杀虫蛋白表达量在棉花生育过程中有明显的时空动态变化。总的趋势是苗期和蕾期杀虫蛋白表达量较高，花期呈下降趋势，花铃期下降最为明显，到铃期和吐絮期含量略有回升。不同组织器官的杀虫蛋白表达量也有显著的差异，其顺序是叶>铃、花心、花萼、蕾>花瓣>苞叶。室内生物测定棉铃虫幼虫校正死亡率与其杀虫蛋白表达量高度一致。要求转 Bt 基因棉在其中、后期管理中须补充化学防治（张永军等 2001）。

南京农业大学沈晋良教授分析，转 Bt 基因抗虫棉在其后期是决不可能达到高剂量的，它仅能在苗期表达杀虫蛋白的高剂量，因为一些棉铃虫能够在 Bt 棉株上存活，并在其第三代和第四代时对棉株产生危害。另外，由于转 Bt 杀虫基因在棉花植株的花朵上表达较弱，也无法达到高剂量的要求。

沈晋良教授还认为，相对于 Bt 制剂(用于喷洒的苏云金芽孢杆菌生物农药)，转 Bt 基因更容易产生害虫的抗性，因为 Bt 制剂含有多种晶体杀虫蛋白，并且暴露时间很短(喷洒后几天就降解)。然而，转 Bt 基因棉仅含有一种晶体杀虫蛋白，并且在棉花整个生长期都表达毒素。所以，转 Bt 基因棉将比 Bt 制剂更快地使害虫产生抗性。

(2) “避难所”机制是值得怀疑的

“避难所”机制被认为是延长棉铃虫抗性有效方法之一。由于棉铃虫抗性基因是一个隐性基因，理论上可以通过种植一定面积的常规棉或种植玉米等其他作物，使栖息在非转 Bt 基因抗虫棉品种或其他作物上的易感棉铃虫 (S) 与在转 Bt 基因抗虫棉上已产生抗性的棉铃虫 (R) 之间的成虫交配而产生易感型 (SR)，以减少“抗抗”(RR) 基因型的形成概率，阻止抗性基因的表达。然而，在目前中国小规模农田耕作的制度下，这种机制很难操作，在华北、华中、华东等棉区，每农户仅有数亩土地，设计“避难所”有一定困难。而且由于农民追求新品种的趋同心理，在一个村、一个乡甚至一个县推广种植同一个 Bt 抗虫棉花品种，使棉田联成大片，这样也使“小面积棉田存在天然避难所的想法”难以实现。

另一方面，这种机制在理论上也有可疑之处，正如沈晋良教授所分析的，转基因棉田棉铃虫和非转基因棉田(或其他作物)锦铃虫成虫之间的交配时间可能是错开的，因为在转基因棉田的棉铃虫幼虫期可能被延长至 21 天，而常规棉田(或其他作物田)的棉铃虫正常幼虫期仅 15 天，因此而延迟了 5-6 天，这样就错过了在成虫期间与“避难所”(常规棉或其他作物)的棉铃虫交配的机会，因为正常的成虫交配期仅 2-3 天(沈晋良，个人通讯)。

崔金杰和夏敬源的研究也证明了上述的推断。他们的室内试验观察了棉铃虫饲喂 Bt 棉后的行为，结果表明，低龄幼虫在 Bt 棉上取食时间明显减少，吐丝下垂和静息时间明显延长，导致棉铃虫幼虫生育期的拉长(崔金杰、夏敬源，1998)。

(3) 转双价基因未见明显的实际效果

专家们认为棉铃虫产生抗性，主要是因为现在大田生产的转基因棉花仅仅转移了一个 Bt 杀虫蛋白基因，如果转移两个或更多的杀虫蛋白基因，则产生抗性的机会就会相当少。实际上生物技术专家们早就开始研究双价转基因作物，而且一些品种已经进入大田试验。中国农科院开发的双价转基因棉 *Bt+CpTI* (Cowpea trypsin inhibitor) 已经在河北廊坊和其他地区大面积种植。中国农科院植保所吴孔明博士也已对双价转基因棉的抗虫效果进行了田间试验，结果显示，没有迹象表明双价转基因棉(石远 321)比单基因 Bt 棉拥有更高剂量的毒素。与转单基因 Bt 棉(GK12)一样，转双基因棉的棉铃虫发生在 7 月中旬至 8 月中旬出现 1 个小峰(吴孔明，2000 年研究报告)(图 16)。此外，*CpTI* 是一种酶抑制剂基因，表达后可抑制昆虫体内的消化酶，然而，这种抑制剂是否对人体也产生作用也没有深入的研究。

在河南安阳的研究也证实转双价基因棉并不比转单价基因有优势。试验表明，两种转基因棉对小地老虎(blank cutworm, *Agrotis ypsilon* Rottemberg)的控制作用均不理想，相比之下，转单基因棉对低龄小地老虎幼虫的抗性好于转双价基因棉，而后者对高龄幼虫的抗性好于前者(崔金杰等，2001，待发表)。

在河南安阳的中科院棉花所还在实验室测定了转单价基因 (Bt) 棉和转双价基因 (Bt + CpTI) 对害虫甜菜夜蛾 (Beet armyworm) 的抗性。研究结果表明，转 Bt 单价基因棉对甜菜夜蛾低龄幼虫的抗性优于转双价基因棉，而转双价基因棉对高龄幼虫的抗性优于转单价基因棉，但这两种转基因棉对高龄幼虫的控制均不理想 (夏敬源、崔金杰，2000)。

(4) Bt 棉虫棉推广的地理因素

由于转 Bt 基因抗虫棉对大田第 2 代棉铃虫有较好的控制效果，这种品种似乎更适宜种植在中国的华北地区，因为第 1 代和第 2 代棉铃虫的发生在华北地区比较严重。然而转 Bt

基因抗虫棉在长江流域的效果要比黄河流域差，因为在该地区棉铃虫的发生在第 3 代和第 4 代比较严重，而 Bt 抗虫棉对第 3 代和第 4 代棉铃虫效果较差，需要施药。所以转 Bt 基因抗虫棉的推广应有地理因素的考虑。

基于 1995-1997 年对棉铃虫抗性的监测研究，中国农科院植保所赵建周发现，棉铃虫对 Bt 杀虫蛋白的敏感性随地理区域而异，新疆地区最为敏感，华北地区有低频率抗性个体(赵建周，1998)。

吴孔明等研究了棉铃虫对 Bt 杀虫蛋白敏感性的地理差异，采用 5 个不同地理生态区的棉铃虫，对其进行 Bt 杀虫蛋白致死和生长抑制的剂量测定。结果表明， LC_{50} (50%致死浓度) 和 IC_{50} (50%抑制浓度) 的范围分别为 0.09-9.073 $\mu\text{g/ml}$ 和 0.011-0.057 $\mu\text{g/ml}$ (Wu et al 1999)。

此外，长江流域与黄河流域两棉区的主要目标害虫也有差异，北方黄河流域棉区的最重要害虫仅棉铃虫，而南方长江流域棉区的最主要害虫恰有两个种，棉红铃虫 (Cotton pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* Saunders) 是和棉铃虫相提并论的主要害虫。因此，使用转 Bt 基因棉也应考虑这个因素。

参考文献

- 夏敬源、崔金杰, 2000, 转基因棉对甜菜夜蛾的抗性研究, *中国棉花*, 27 (9): 10-11
- 崔金杰、夏敬源, 1997, 转 Bt 基因棉对棉田主要害虫及其天敌种群消长的影响, *河南农业大学学报* Vol. 31(4):351-356
- 崔金杰、夏敬源, 1998, 转基因棉对棉铃虫低龄幼虫取食行为的影响, *河南职技师院学报* Vol.26(1):9-11
- 崔金杰、夏敬源, 1998, 麦套夏播转 Bt 基因棉主要害虫及其天敌的发生规律, *棉花学报* Vol. 10(5):255-262
- 崔金杰、夏敬源, 1999a, 转 Bt 基因棉对天敌种群动态的影响, *棉花学报* Vol. 1(2):84-91
- 崔金杰、夏敬源, 1999b, 转 Bt 基因棉对棉铃虫生长发育及繁殖的影响, *河南农业大学学报* Vol. 33(1):20-24
- 崔金杰、夏敬源, 2000a, 麦套夏播转 Bt 基因棉 R93-6 对昆虫群落的影响, *昆虫学报* Vol.43 (1):43-51
- 崔金杰、夏敬源, 2000b, 转 Bt 基因棉田昆虫群落多样性及其影响因素研究, *生态学报* Vol.20(5):824-829
- 崔金杰、夏敬源、马艳, 2001, 转双价基因(Bt+CpTI)棉对小地老虎抗虫性研究, *棉花学报*, 待发表。
- 崔学芬、崔金杰、夏敬源、王春义、马丽华, 2001, 对 Bt 毒蛋白(Cry1Ac)不同抗性水平的棉铃虫种群(品系)的生物学研究(待发表)。
- 崔学芬、崔金杰、夏敬源, 2001, 棉铃虫对 Bt 毒蛋白(Cry1Ac)抗性品系的选育(待发表报告)。
- 沈晋良等, 1998, 棉铃虫对转 Bt 生物农药早期抗性及与转 Bt 基因棉抗虫性的关系, *昆虫学报* Vol. 41(1):8-14
- 沈晋良, 2001, 转 Bt 基因棉对天敌和非靶标害虫影响的大田试验报告。
- Wu, Kongming, Guo, Yuyuan and Nan LV, 1999, Geographic variation in susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to *Bacillus thuringiensis* Insecticidal Protein in China, *Journal of Economic Entomology*, 92(2):273-278
- Wu, Kongming, Yuyuan Guo, Nan Lv, John Greenplate, and Randy Deaton, 2002, Resistance

monitoring of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to Bt insecticidal protein in China, submitted.

吴孔明、梁革梅、郭予元, 2000, 华北地区 Bt 棉田害虫控制技术及其棉铃虫抗性风险评估研究, (2000 年研究报告)

张永军、吴孔明、郭予元, 2001, 转 Bt 基因棉花杀虫蛋白含量的时空表达及对棉铃虫的毒杀效果, *植物保护学报* Vol.28 (1): 1-6

梁革梅、谭维嘉、郭予元, 2000a, 棉铃虫对转 Bt 基因棉的抗性筛选及遗传方式的研究, *昆虫学报* Vol 43 (增刊): 57-62

梁革梅、谭维嘉、郭予元, 2000b, 棉铃虫对 Bt 的抗性筛选及交互抗性研究, *中国农业科学* Vol.33 (4): 46-53

赵建周, 1998, 棉铃虫对转 Bt 基因棉的抗性问题及其对策, *农业生物技术通讯*, No.2:1-2(内部资料)

张青文等, 2000, “发展棉花生产专项资金”项目 1999-2000 年度工作总结(未发表研究报告)

魏国树、张青文等, 2001, 转 Bt 基因棉田节肢动物群落结构特征研究, *应用生态学报* Vol.12 (4): 576-580。

贾世荣、郭三堆、安道昌 主编, 2001, 转基因棉花 (“863” 生物高技术丛书), 科学出版社, 北京。