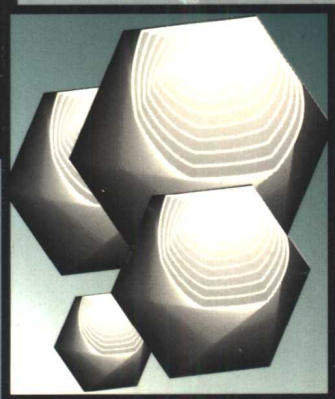


棉花的抗虫性 与抗虫棉



**COTTON INSECT RESISTANCE
AND INSECT-RESISTANT
COTTON**

张宝红 丰嵘 编著

ZHANGBAOHONG&FENGRONG

中国农业科技出版社

China Agricultural Science and Technology Press

棉花的抗虫性与抗虫棉

Cotton Insect Resistance and Insect-resistant Cotton

张宝红 丰 嵘 编著

Baohong Zhang & Rong Feng

中国农业科技出版社

Chinese Agricultural Science and Technology Press

图书在版编目 (CIP) 数据

棉花的抗虫性与抗虫棉-Cotton Insect Resistance and
Insect-resistant Cotton/张宝红, 丰 嵘编著, —北京:
中国农业科技出版社, 2000.8
ISBN 7-80119-902-2

I . 棉… II . ①张…②丰… III . ①棉花-抗虫性-
研究②棉花, 抗虫-作物育种-研究 IV . S562

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 10282 号

责任编辑
技术设计
责任校对
出版发行

经 销
印 刷
开 本
印 数
版 次
定 价

刘 晓 松

李 刚

中国农业科技出版社 (邮编: 100081)

电话: (010) 68919711 传真: 68919698

新华书店北京发行所

中国青年出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张: 24.25

1~1000 册 字数: 527 千字

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

50.00 元

《棉花的抗虫性与抗虫棉》

审 稿 人 员

(按姓氏笔画排列)

王志华	王坤波	毛树春	刘正德
周有耀	胡绍安	靖深蓉	潘家驹

内 容 提 要

本书在总结棉花抗虫性与抗虫育种历史的基础上,对棉花抗虫性及抗虫棉的各个领域进行了全面的概括、总结和论述,并对棉花抗虫棉育种的发展方向和转基因抗虫棉目前存在的问题及发展对策进行了探讨。本书共分十六章,大体可归纳为以下三个部分:第一部分是棉花抗虫性的研究和常规抗虫棉的培育,这部分包括该书的前五章,重点论述了棉花抗虫性研究和抗虫棉培育的历史、抗虫棉在害虫防治中的作用、棉花抗虫性的分类及抗虫机制、抗虫性的遗传及鉴定技术和常规抗虫棉的培育。第二部分重点论述了最近发展起来的转基因抗虫棉,该部分包括该书的第六到第十五章,是本书的重点,主要论述了转基因抗虫棉的培育、抗虫性、农艺和经济性状、良繁和栽培,并对外源基因在转基因抗虫棉中的整合、遗传和表达、害虫对转基因抗虫棉的抗性及管理对策、转基因抗虫棉的安全性评价及产品登记等进行了论述。第三部分对我国抗虫棉的发展趋势进行了探讨,指出了2010年我国抗虫棉的主要选育目标、发展趋势、研究领域,并提出了发展抗虫棉的主要对策和措施。

本书可供农学、遗传育种学、植保、生物学、生物技术等方面的科研人员、大中专院校师生以及从事抗虫棉种子生产、经营和种植的科技人员参考。

前 言

棉花是受害虫危害最严重的作物，在棉花的生长发育过程中先后要受到上百种害虫的危害，为了有效地生长、发育和繁衍后代，棉花在长期的进化过程中，逐渐形成了自己的抗虫性。人们在长期的生产过程中，为了有效地预防害虫对棉花的危害，逐渐将抗虫的棉花个体保存下来并扩繁应用，形成了人类的抗虫育种，培育出抗虫棉。棉花的抗虫性研究和抗虫棉的培育是相辅相成，共同发展的。综观棉花抗虫性和抗虫棉培育的历史，不难看出其历史可分为三个阶段，首先是以茸毛、蜜腺等为特征的形态抗虫性的研究和形态抗虫棉的培育；随后是以棉酚、单宁等为基础的生化抗虫性的研究和生化抗虫棉的培育。形态和生化抗虫棉的培育形成了传统的抗虫育种，并在 80 年代以前发挥出一定的作用，如早在 1925 年南非就有利用棉花多毛性状培育出的多毛棉来控制棉叶蝉危害的记载；40 年代，我国棉花专家俞启葆先生等育成了鸡脚德字棉，由于其具有鸡脚叶形，能减少大卷叶螟的危害，曾在四川省简阳、仁寿等地推广。

20 世纪 80 年代由于棉花害虫的日益猖獗，传统的形态和生化抗虫棉很难在生产中发挥出作用，因而人们又再寻找新的培育抗虫棉的方法。与此同时，日益发展完善的分子生物学和生物技术为抗虫棉的培育找到了新的突破口，随后抗虫性极佳的转基因抗虫棉得以问世，从而使抗虫棉的培育进入了一个崭新的时代。到目前为止，许多植棉国家均在开展转基因抗虫棉的培育，其中成效较大的有美国、澳大利亚和我国等，并先后培育出几十个适应于不同植棉国家种植的转基因抗虫棉品种在生产上利用。目前转基因抗虫棉正在逐步取代常规的棉花品种在生产上应用。

人们在长期的生产和育种过程中，形成了不少的宝贵经验，本书就是在总结棉花抗虫性研究与抗虫育种历史的基础上，对棉花抗虫性及抗虫棉的各个领域进行了全面的概括和总结，并对棉花抗虫棉育种的发展方向 and 转基因抗虫棉目前存在的问题及发展对策进行了探讨。本书共分十六章，大体可归纳为以下 3 个方面：一是棉花抗虫性的研究和常规抗虫棉的培育，这部分共有五章，形成了该书的第一部分，重点论述了棉花抗虫性研究和抗虫棉培育的历史、抗虫棉在害虫防治中的作用、棉花抗虫性的分类及抗虫机制、抗虫性的遗传及鉴定技术和常规抗虫棉的培育；第二部分重点论述了最近发展起来的转基因抗虫棉，该部分包括该书的第六到第十五章，是本书的重点，主要论述了转基因抗虫棉的培育、抗虫性、农艺和经济性状、良繁和栽培，并对外源基因在转基因抗虫棉中的整合、遗传和表达、害虫对转基因抗虫棉的抗性及其治理对策、转基因抗虫棉的安全性评价及产品登记等进行了论述；第三部分对我国抗虫棉的发展趋势进行了探讨，指出了 2010 年我国抗虫棉的主要选育目标、发展趋势、研究领域，并提出了发展抗虫棉的主要对策和措施。

在本书的编写和出版过程中多次得到中国农业科学院副院长朱德蔚研究员，科技局文学先生，棉花研究所王坤波研究员、喻书迅副所长、靖深荣研究员、谢方灵研究员、

刘金定副研究员、黄潜康所长、胡绍安副研究员、王红梅副研究员、刘方先生、赵新华先生、张立损先生、孙君灵先生、周大云小姐、袁有禄博士、董双林博士，中华农业科教基金会荀显伦先生，山东省菏泽地区农业科学研究所郭腾龙先生等的帮助和支持，在此一并表示最衷心的感谢。

本书的出版得到中国农业科学院科技专著出版基金和中国农业科学院棉花研究所的资助，在此深表感谢。中国农业大学的周有曜教授，南京农业大学的潘家驹教授，中国农业科学院棉花研究所的王坤波研究员、靖深蓉研究员、王志华研究员、毛树春研究员、刘正德研究员和胡绍安研究员在百忙之中审阅了该书，并提出了许多建设性的改进意见。另外，潘家驹和周有曜两位教授还为本书申请出版基金撰写了推荐信，在此深表感谢。我还要特别感谢中国农业科技出版社的刘晚松主任和我的同事刘方先生，由于该书的出版过程中我远在美国，该书的多轮审核均是由他们两人承担，他们为本书的出版付出了艰辛的劳动。

本书的不少内容直接取自作者本人的研究成果，在此向参与研究的刘方、郭腾龙、王清莲、王红梅、刘志红等同志表示感谢。另外，本书参阅了大量国内外文献，在此我们也向这些文章的作者致以最衷心的感谢。

由于抗虫棉是一新生事物，许多方面仍有待于进一步的深入研究，再加上编著者水平有限、引集的资料不尽完善及时间仓促，书中难免会出现遗漏和不妥之处，敬请各位专家、学者和同仁批评指正，以便在再版时改进。

编著者

2000年6月于美国

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 棉花抗虫性研究与抗虫育种的发展史	(1)
第二节 抗虫棉在棉虫防治体系中的作用	(6)
第三节 推广使用抗虫棉的经济效益分析	(9)
第二章 棉花的抗虫性与抗虫机制	(12)
第一节 棉花的抗虫性	(12)
第二节 棉花的诱导抗虫性	(15)
第三节 棉花的形态抗虫性	(20)
第四节 棉花的生化抗虫性	(32)
第五节 棉花对几种主要害虫的抗性机制	(44)
第三章 棉花抗虫性的遗传	(46)
第一节 棉花抗虫性遗传研究的意义	(46)
第二节 棉花抗虫性的遗传特点和研究技术	(47)
第三节 常规抗虫棉抗虫性的遗传	(49)
第四节 转基因抗虫棉抗虫性的遗传	(55)
第四章 棉花抗虫性的鉴定技术	(63)
第一节 常规抗虫棉抗虫性的鉴定技术	(63)
第二节 转基因抗虫棉抗虫性的鉴定与评价	(76)
第五章 常规抗虫棉的选育	(85)
第一节 棉花抗虫种质的搜集、鉴定与筛选	(85)
第二节 常规抗虫棉的育种方法和技术	(89)
第三节 常规抗虫棉主要品种介绍	(95)
第六章 转基因抗虫棉的培育	(100)
第一节 转基因抗虫棉产生的背景	(100)
第二节 抗虫基因的分离与应用	(104)
第三节 抗虫基因的转化	(118)
第四节 转基因抗虫棉的培育	(132)
第五节 我国转基因抗虫棉的培育	(139)
第六节 转基因双价抗虫棉的培育	(142)
第七节 我国示范种植的主要转基因抗虫棉品种 (系)	(144)

第七章 外源抗虫基因在棉株体内的整合与表达	(153)
第一节 转基因棉花的证据	(153)
第二节 外源基因整合的鉴定	(154)
第三节 外源基因表达的检测	(164)
第八章 转基因抗虫棉的经济与农艺性状	(180)
第一节 转基因抗虫棉的产量与产量构成	(180)
第二节 转基因抗虫棉的品质性状	(189)
第三节 转基因抗虫棉的抗病性	(191)
第九章 转基因抗虫棉的抗虫性	(198)
第一节 转基因抗虫棉的抗虫机制	(198)
第二节 转基因抗虫棉对鳞翅目害虫的抗性	(199)
第三节 转基因抗虫棉对非鳞翅目害虫的影响	(208)
第四节 转基因抗虫棉对害虫天敌的影响	(211)
第五节 转基因抗虫棉田昆虫群落生态学	(214)
第六节 转基因抗虫棉抗虫性的时空性	(215)
第七节 转基因抗虫棉的抗虫效果	(216)
第十章 抗虫棉的良种繁育	(221)
第一节 抗虫棉良种繁育的现实意义	(221)
第二节 抗虫棉品种的退化及其原因	(222)
第三节 防止和克服良种混杂和退化的技术措施	(226)
第四节 抗虫棉品种的保纯与种子生产技术	(228)
第五节 抗虫杂交棉的制种与保纯技术	(231)
第六节 抗虫棉种子生产的产业化	(240)
第十一章 转基因抗虫棉的生长发育特性与栽培管理技术	(244)
第一节 转基因抗虫棉推广和生产中应注意的几个问题	(245)
第二节 转基因抗虫棉的生长发育特性和需肥规律	(247)
第三节 转基因抗虫棉的田间栽培与管理技术	(250)
第十二章 转基因抗虫杂交棉的培育与应用	(266)
第一节 转基因抗虫杂交棉的培育	(266)
第二节 转基因抗虫杂交棉的生长发育特性	(279)
第三节 转基因抗虫杂交棉的产量及纤维品质	(283)
第四节 转基因抗虫杂交棉的抗虫性与田间治虫原则	(289)
第五节 转基因抗虫杂交棉的栽培技术	(293)
第六节 几个转基因抗虫杂交棉组合介绍	(299)

第十三章	转基因抗虫棉的害虫治理	(306)
第一节	我国棉田主要害虫及防治措施	(306)
第二节	转基因抗虫棉的治虫原则	(309)
第三节	转基因抗虫棉害虫综合防治技术	(310)
第十四章	害虫对转基因抗虫棉的抗性及其治理	(315)
第一节	转基因抗虫棉存在的问题	(315)
第二节	害虫对 Bt 和转 Bt 基因抗虫棉的抗性	(316)
第三节	提高转基因抗虫棉抗虫性及抗性持久性的策略	(318)
第十五章	转基因抗虫棉的安全性评价及产品登记	(327)
第一节	转基因植物安全性评价的原则和安全性等级	(327)
第二节	转基因抗虫棉安全性评价的内容	(329)
第三节	转基因抗虫棉环境安全性评价	(331)
第四节	转基因抗虫棉中标记基因的安全性评价	(336)
第五节	转基因抗虫棉中目的基因对人畜安全性研究	(341)
第六节	转基因抗虫棉种子的营养价值	(345)
第七节	转基因棉花产品的登记和注册	(345)
第八节	转基因抗虫棉棉花释放中与安全性有关的几个问题	(347)
第十六章	我国抗虫棉育种的发展趋势与对策	(349)
第一节	2010 年我国抗虫棉选育的目标	(349)
第二节	抗虫棉选育的发展趋势	(349)
第三节	抗虫棉的主要研究领域	(351)
第四节	发展我国抗虫棉的主要对策与措施	(352)
参考文献		(358)

Content

Chapter 1 Induction	(1)
1.1 History of study on cotton insect resistance and insect – resistant cotton breeding ...	(1)
1.2 Role of insect – resistant cotton on cotton insect control system	(6)
1.3 Economic analyses of planting insect – resistant cotton	(9)
Chapter 2 Insect resistance and resistant mechanism of cotton	(12)
2.1 Cotton resistance to insect	(12)
2.2 Induced resistance to insect in cotton	(15)
2.3 Morphological resistance to insect in cotton	(20)
2.4 Biochemistrical resistance to insect in cotton	(32)
2.5 Cotton resistant mechanism to several main cotton pests	(44)
Chapter 3 Inheritance of cotton insect – resistant characters	(46)
3.1 Importance of studying cotton insect – resistant inheritance	(46)
3.2 Inheritance character and study methods of cotton resistance to insect	(47)
3.3 Inheritance of insect – resistant characters in conventional cotton	(49)
3.4 Inheritance of insect – resistant characters in transgenic cotton	(55)
Chapter 4 Identification of cotton resistance to insect	(63)
4.1 Identification of insect resistance in conventional cotton	(63)
4.2 Identification and estimation of insect resistance in transgenic cotton	(76)
Chapter 5 Breeding of conventional cotton variety	(85)
5.1 Collection, identification and selection of insect – resistant germplasm	(85)
5.2 Breeding methods and technology	(89)
5.3 Introduction of some conventional insect – resistant cotton varieties	(95)
Chapter 6 Transgenic insect – resistant cotton	(100)
6.1 Background of obtaining transgenic insect – resistant cotton	(100)
6.2 Isolation of insect – resistant gene	(104)
6.3 Transforming insect – resistant gene into cotton	(118)
6.4 Breeding of transgenic insect – resistant cotton	(132)
6.5 Breeding of transgenic insect – resistant cotton in China	(139)
6.6 Obtaining of bivalent insect – resistant transgenic cotton	(142)
6.7 Introduction of some transgenic insect – resistant cotton varieties in China	(144)

Chapter 7 Insertion and expression of exogenous gene in cotton	(153)
7.1 Evidences of identifying transgenic cotton	(153)
7.2 Identification of insertion of exogenous genes	(154)
7.3 Measure of expression of exogenous genes	(164)
Chapter 8 Economic and agronomic characters of transgenic cotton	(180)
8.1 Yield and yield components of transgenic insect – resistant cotton	(180)
8.2 Quality properties of transgenic insect – resistant cotton	(189)
8.3 Disease resistance of transgenic insect – resistant cotton	(191)
Chapter 9 Insect resistance of transgenic insect – resistant cotton	(198)
9.1 Insect – resistant mechanism of transgenic insect – resistant cotton	(198)
9.2 Resistance of transgenic insect – resistant cotton to lepidopteran pests	(199)
9.3 Resistance of transgenic insect – resistant cotton to non – lepidopteran pests	(208)
9.4 Effect of transgenic insect – resistant cotton on pest enemies	(211)
9.5 Effect of transgenic insect – resistant cotton on pest population and ecology	(214)
9.6 Time and space effect of insect resistance of transgenic insect – resistant cotton	(215)
9.7 Insect – resistant effect of transgenic insect – resistant cotton	(216)
Chapter 10 Seed production of transgenic insect – resistant cotton	(221)
10.1 Important of seed production of insect – resistant cotton	(221)
10.2 Degeneration of insect – resistant cotton variety and its effect factors	(222)
10.3 Technology methods for preventing mixture and degeneration of cotton variety	(226)
10.4 Purification, rejuvenation and production of insect – resistant cotton variety	(228)
10.5 Seed production of hybrid insect – resistant cotton	(231)
10.6 Industrial production of insect – resistant cotton seed	(240)
Chapter 11 Growth characters and cultivation of transgenic insect – resistant cotton	(244)
11.1 Some existed problems in application of transgenic insect – resistant cotton	(245)
11.2 Growth characters and demanding fertilizer of transgenic insect – resistant cotton	(247)
11.3 Cultivation and field management of transgenic insect – resistant cotton	(250)
Chapter 12 Breeding and application of transgenic insect – resistant hybrid cotton	(266)
12.1 Breeding of transgenic insect – resistant hybrid cotton	(266)
12.2 Growth characters of transgenic insect – resistant hybrid cotton	(279)
12.3 Yield and fiber quality of transgenic insect – resistant hybrid cotton	(283)

12.4	Insect – resistance and pest management of transgenic insect – resistant hybrid cotton	(289)
12.5	Cultivation and field management of transgenic insect – resistant hybrid cotton	(293)
12.6	Induction of some transgenic insect – resistant hybrid cotton varieties	(299)
Chapter 13 Insect control for transgenic insect – resistant cotton		(306)
13.1	Major cotton pests and management methods	(306)
13.2	Pest management law of transgenic insect – resistant cotton	(309)
13.3	IPM of transgenic insect – resistant cotton	(310)
Chapter 14 Insect resistance to transgenic insect – resistant cotton and management		(315)
14.1	Some shortages of transgenic insect – resistant cotton	(315)
14.2	Pest resistance to Bt and transgenic Bt – cotton	(316)
14.3	Strategies for managing pest resistance to Bt and Bt – cotton	(318)
Chapter 15 Safety evaluation and registration of transgenic insect – resistant cotton		(327)
15.1	Criteria for evaluating and grading biosafety of transgenic plant	(327)
15.2	Major aspects for biosafety evaluation of transgenic cotton	(329)
15.3	Environmental safety evaluation of transgenic cotton	(331)
15.4	Biosafety evaluation of marker gene in transgenic cotton	(336)
15.5	Biosafety evaluation of target gene in transgenic cotton	(341)
15.6	Nutritive value of transgenic cotton seeds	(345)
15.7	Registration of transgenic cotton	(345)
15.8	Environmental release of transgenic insect – resistant cotton	(347)
Chapter 16 Trends and strategies in development of transgenic insect – resistant cotton in China		(349)
16.1	Breeding goals of insect – resistant cotton for 2010	(349)
16.2	Developmental trends of insect – resistant cotton breeding	(349)
16.3	Major research fields on insect – resistant cotton	(351)
16.4	Strategies for developing insect – resistant cotton in China	(352)
References		(358)

第一章 绪 论

棉花是全球性的重要经济作物和纤维作物，又是受害虫危害最严重的作物。棉花一生遭受到几百种害虫的相继危害，其中尤以棉蚜、棉铃虫、棉红铃虫和棉叶螨的危害最为严重。据统计，每年因各种虫害造成的皮棉产量损失高达 60 万 ~ 80 万 t，占全球棉花总产量的 15% ~ 20%，在害虫发生严重的年份甚至高达 30% 以上。为了减轻这种损失，长期以来，人们试图用化学防治来消灭各种棉田害虫，据统计，全球每年用于棉田化学防治的农药花费高达 20 亿美元，约占全球每年农药费用的 1/4。大量化学农药的使用不仅增加了植棉成本、加重了棉农的生产负担，而且还增加了棉农的投工；更重要的是污染了环境，遗留了公害，同时化学药剂的使用在杀死棉田害虫的同时也杀死了害虫的天敌，破坏了生态平衡，后患无穷；造成棉田害虫抗药性的提高，用药量不断增加，使棉花害虫的化学防治产生恶性循环。除此之外还威胁着人畜健康，农药中毒事故屡屡发生，严重挫伤了棉农的植棉积极性。因而世界各国，尤其是各植棉大国均十分重视棉田害虫的防治工作，均在探讨新的棉田害虫防治方法和发展综合性的害虫治理体系，从而把栽培的、化学的和生物的防治方法综合应用，以便将棉田害虫的数量控制在棉花受害限度以下。在这个综合治理体系中，人们对抗虫棉的选育寄予了很大的希望。因为抗虫品种是建立综合防治系统的基础，在此基础上，再辅以栽培的、化学的和生物的防治方法，能有效地控制害虫的危害。所以，寻求并提高棉花自身对害虫的抗性，是治理棉田害虫的主要方法之一。

棉花在长期的进化过程中，逐渐形成了其自身对害虫的防御机制，该机制能有效地减少或抵御害虫的危害，这种作用叫棉花的抗虫性。自人们发现棉花的抗虫性开始，它就引起人们的重视，并将它用于棉田害虫的防治工作，并取得了显著的成就。长期的实践证明，抗虫棉尤其是近年来发展起来的转基因抗虫棉的培育和种植是棉花害虫防治的最经济、最有效的途径。

第一节 棉花抗虫性研究与抗虫育种的发展史

与其他作物相比，棉花抗虫性研究与抗虫育种开展的较晚，且国内外发展水平不一。20 世纪 50 年代以前，在非洲一些国家以及印度、澳大利亚育成了多毛的抗棉叶蝉的棉花品种。70 年代以来，抗虫资源的筛选、抗虫性的鉴定、抗虫机制的研究和抗虫品种的选育等方面均取得了进展。各产棉国由于危害棉花生产的害虫种类不同，抗虫育种的重点也不尽相同。我国在 40 年代曾进行过抗大卷叶螟和棉叶蝉的研究，俞启葆等育成了鸡脚叶德字棉。由于具有鸡脚叶形，能减少大卷叶螟的危害，曾在四川省简阳、仁寿等地推广。70 年代后期，棉花抗虫性研究和抗虫育种又有进一步的发展。北方侧

重选育抗棉蚜和抗棉铃虫的品种,南方侧重于选育抗红铃虫和棉叶螨的品种。并育成了一些具有多毛、鸡脚叶、无蜜腺等性状的抗虫品种或品系。进入 90 年代,抗虫基因工程的发展,更为棉花抗虫育种开辟了新的途径。

一、国外棉花抗虫性与抗虫育种研究概况

国外对棉花抗虫性和抗虫育种研究开展较早,20 世纪初由于棉铃象鼻虫由墨西哥传入美国并给美国的棉花生产造成极大的威胁,从而引起了美国的高度重视。美国学者 Webber 和 Cook 是最先从事抗源筛选工作的研究者之一。Webber 在 1903 年观察到埃及棉品种间受棉铃象甲危害程度存在着差异。1902 年, Cook 去中美洲的墨西哥和危地马拉寻找抗棉铃象甲的种质资源。在那里,他看到一种印第安人种植的矮生棉花很抗棉铃象甲。进一步观察发现,这种矮生棉花多毛,对棉铃象甲不利;受伤的幼蕾及幼铃组织能迅速增殖,能杀死大量幼虫;棉花生长快、结铃早,并建议这些性状在育种中加以利用。随后,几代科学家对世界各产棉区进行了多次考察,搜集各种原始材料,分别从昆虫学、遗传学、育种学等方面对这些材料进行分析研究,探讨其在棉花抗虫育种中应用的可能性。但由于其没能很好地协调好棉花抗虫性与棉花丰产优质的关系,美国早期的抗虫棉育种培育出的绝大多数材料仅能作抗虫种质系使用,而很难在生产上应用。

利用棉花抗虫性培育抗虫棉并用于棉花生产防治棉花田间害虫的首例成功报道,是 1925 年南非利用棉花多毛性状培育出的多毛棉来控制棉叶蝉的危害。然而由于 20 世纪 40 年代新型杀虫剂的出现,起到了有效防治棉田害虫的目的,人们对棉花抗虫性的研究和抗虫棉育种又有所放松。故在 50 年代中期以前,除南非这一成功事例和印度、澳大利亚等少量报道外,有关棉花抗虫性的研究很少。进入 50 年代后,随着棉花害虫对某些杀虫剂抗性的产生和这种抗性的不断提高,棉花抗虫性的研究和利用再度引起人们的重视。在随后的 20 年里,棉花育种学家虽然培育出了一批较抗(耐)或避虫的种质系,但与其他育种目标如产量育种、纤维品质育种相比,抗虫育种的成就不够理想,故直到 80 年代均没有培育出高抗一种或兼抗多种棉花害虫并适宜于在生产上大面积种植的商业品种。80 年代以后,国外对棉花抗虫性的研究已普遍深入,尤其是在棉花抗生物物质的分析、抗性遗传规律等方面加强了基础研究,逐步揭示了棉花抗虫性的机制、鉴定技术和利用规律。随着人们对棉花抗虫机制的研究和抗虫性鉴定方法的日益完善,人们对棉花抗虫性的了解越来越深,并从理论和技术上克服了棉花抗虫育种中的一些困难,故最近几年棉花抗虫育种进展较快,国内外均培育出多个抗虫性好、产量高和品质优三者于一体的抗虫棉新品种,如美国先后培育出 Miscot7913-51、MD21ne 等多个抗虫棉品种,并已在生产上大面积推广使用。

与此同时,国外还将现代分子生物学技术和生物技术引入到棉花抗虫育种中来。20 世纪 80 年代以来美国 Monsanto 公司、Agracetus 公司、Calgene 公司等先后投入了大量的人力、物力和财力进行了棉花抗虫基因工程研究工作,他们从苏云金芽孢杆菌等微生物体中分离、克隆出能控制合成对棉花鳞翅目等害虫具有强烈毒杀作用的晶体毒蛋白的基因,并通过农杆菌介导法等手段将其导入棉花植株中使其获得抗虫性,从而培育出了含

有外源抗虫基因的抗虫棉, 该类抗虫棉与常规抗虫棉相比, 对棉铃虫等棉花害虫具有极强的抗性。与此同时, 他们还分别与岱字棉公司、斯字棉公司、佩字棉公司等合作将他们转化成功的转基因抗虫种质, 通过杂交转育的方法导入到当地主栽棉种, 截止到1998年已有 DP20B、DP50B、DP410B、DP428B、DP32B、NuCOTN33B、NuCOTN35B、DP90B、DP458B/RR、DP655B/RR、DP688B/RR、PM1215BG、PM1220BG、PM1220BG/RR、PM1244BG、PM1244BG/RR、PM1330BG/RR、PM1330BG、PM1560BG、BG4740等20余个转基因抗虫棉品种在生产上栽培种植, 其中以 NuCOTN33B 在生产上的推广面积最大, 据统计该品种1996年在美国已推广种植80余万 hm^2 。

与此同时, 澳大利亚、法国、原苏联的一些国家等也先后开展了棉花抗虫基因工程育种工作。其中以澳大利亚的成效最大, 他们一边在直接导入外源 Bt 等抗虫基因的同时, 还从美国 Monsanto 公司引进转基因抗虫种质材料, 并通过杂交转育的方法导入到了当地主栽棉种, 截至1997年至少有6个转基因抗虫棉品种在生产上推广种植。

二、我国棉花抗虫性与抗虫育种研究概况

与国外相比, 我国棉花抗虫育种工作开展较晚。该工作起始于20世纪40年代, 当时人们曾进行过抗大卷叶螟 (*Sylepta derogata*) 和棉叶蝉 (*Empoasca biguttula*) 的研究, 俞启葆等育成了鸡脚德字棉。由于具有鸡脚叶形, 能减少大卷叶螟的危害, 曾在四川省简阳、仁寿等地推广。其后长期停滞, 直到70年代末, 针对我国黄河流域和长江流域危害棉花的棉蚜、棉铃虫、棉红蜘蛛和棉红铃虫等四大主要害虫开展了试探性研究工作。1983年前, 我国棉花抗虫性研究与抗虫育种工作主要是收集、鉴定、筛选抗虫棉种质, 包括无蜜腺、多毛、高棉酚等多种类型, 在此基础上, 一方面系统选育适合我国不同生态条件的抗虫种质材料, 另一方面用抗虫材料与当地推广品种或高代品系进行杂交和回交转育, 来培育适合当地生产的抗虫棉品种。在此期间, 中国农业科学院棉花所从引进的 J366 中选育出茎叶多毛的抗棉蚜品系 J366-2; 四川棉花所从岱字棉中选育出茎叶密毛的抗棉蚜品系抗 77。此阶段选出的抗虫棉品系虽抗性明显, 但由于外来种质及不同形态抗性的影响, 后代一般分离世代长, 衣分比推广品种低 3%~5%, 生育期延长 7~10 天, 皮棉产量低 10%~20%, 故很难在生产上推广使用。尽管如此, 通过这一阶段的尝试, 人们积累了有益的经验, 并创造了一批有价值的研究材料, 为组织协作攻关奠定了良好的基础。

“六五”期间, 我国成立了棉花抗虫育种协作攻关组, 从而使我国棉花抗虫性研究与抗虫育种工作纳入统一计划、联合试验的轨道, 避免了某些重复性研究。该阶段人们初步研究了棉花抗棉蚜、棉铃虫及棉红铃虫的鉴定技术, 开展了棉花抗棉蚜、棉铃虫、棉红铃虫及棉叶螨的初步选育工作, 选育出 10 多个抗虫棉新品系, 其中主要的有 6 个 (表 1-1), 以抗棉蚜、棉铃虫等单一害虫为主。这一阶段所选育出品系的抗虫性得到进一步稳定和提高, 形态抗性从茎叶多毛、无蜜腺等增加了光滑叶、鸡脚叶和窄卷苞叶等, 某些形态抗性与产量、早熟性和纤维品质间的负相关有所改善。育成的棉花抗虫品系的蚜害指数比非抗虫对照降低 9.8%~16.0%, 百株棉铃虫落卵量较非抗虫对照降低

18.7%~29.7%；纤维品质与当地推广品种相当；主要特点是铃重大、长势强，但由于没能很好地解决好棉花抗虫性与产量和品质的矛盾，从而造成产量偏低，育成的抗虫棉的霜前皮棉产量和衣分均偏低，抗虫品系的霜前皮棉产量平均仅为对照的90.5%。因而在该阶段培育出的抗虫棉品系仍很难在生产上推广使用，仅能作为抗虫种质系使用。在该时期内培育棉花抗虫品系的主要育种方法是系统选育、单交和回交。

1986年棉花抗虫育种进入国家“七五”育种攻关后，我国不少单位全面开展了抗棉蚜、棉铃虫、棉红铃虫及棉叶螨的系统选育工作，先后育成20多个抗虫棉新品系，其中优良的品系有9个（表1-1）。这些品系的抗性范围由“六五”期间的仅抗棉蚜和棉铃虫扩大到抗棉蚜、棉铃虫、棉红铃虫和棉叶蝉等我国主要4种棉花害虫，培育出的品系也由抗单一害虫变为抗2种或2种以上的害虫，如冀83(10)-1和中5905兼抗棉蚜和棉铃虫、华101兼抗棉红铃虫和棉铃虫、中99兼抗棉红铃虫和棉蚜，另外这些抗虫品系大多数还抗枯（黄）萎病。至于棉花的产量和品质，与“六五”期间育成的棉花抗虫品系相比有了较大的改进，既保持了先前的铃重优势，又提高了衣分和结铃性，从而使产量有所提高，多年的抗虫棉联合试验结果表明表1-1中列出的9个育成品系的皮棉产量与当时推广品种已接近或相当，甚至有的品系还超过了对照品种，其中以中99和川98表现尤为突出，并已作为种质系在生产上发放利用。“七五”期间培育出的棉花抗虫新品系除具有形态抗性外，还具有生化抗性。该时期的育种方法也由过去的系统选育、单交和回交手段逐步转向利用育成的品种与中高代材料进行复合杂交。从1988年起，我国抗虫棉联合试验还设立了统一对照品种，从而提高了试验的准确性和可比性。

在“七五”期间，我国对培育出的多个抗虫棉品系进行了省级区域试验。四川棉花所选育的川98、川109，河北植保所的U82-1、W82-3以及华中农业大学的华101、华102先后参加省级以上区试，抗虫棉新品系的试种示范面积已扩大到466.67hm²左右。四川棉花所选育的抗棉红蜘蛛种质系川98获1988年农业部技术改进奖，抗棉蚜的新品种川棉109已通过省级审定；中国农业科学院棉花研究所培育的中99抗棉蚜达高抗水平，可明显减少治蚜虫次数或免除治蚜，在生产试种中皮棉产量为中棉所12号的95%左右；河北植保所的U82-1具无蜜腺、高棉酚等特点，对棉铃虫和棉蚜有较好抗性。

1986年12月，攻关协作组统一制订了棉铃虫、棉蚜、棉红铃虫鉴定的试行方案，1987年进一步规定了抗虫对照品种（抗棉铃虫为HG-BR-8，抗棉蚜为非洲E40），并将过去抗虫性的4级比值修改为5级。四川棉花所在抗棉红蜘蛛鉴定中，以棉株的抗-感反应为依据，以材料的相对差异为目标，用棉株受害指数和单叶、单株受害率两种计算受害度的方法，均得到较好的效果。华中农业大学在棉红铃虫鉴定中，通过相关、聚类分析和主成分分析等，按抗性机制分成拒产卵、拒侵入、抗危害和综合抗性等，主要依据单铃活虫数和棉籽受害率判断抗性。最近采用昆虫种群生态学中的生命表技术，系统研究不同材料的棉铃虫世代种群变化，使鉴定技术更加完善。河北植保所从1982年开始进行棉花抗（耐）棉铃虫人工模拟试验，在二代棉铃虫危害盛期去早蕾以鉴定棉株受害后的补偿能力，效果较好。这些鉴定指标的制订，为棉花抗虫种质资源材料的筛选和抗虫育种的顺利进行奠定了基础。