

# 我国棉花生产现状与发展趋势

喻树迅

(中国农业科学院棉花研究所, 河南安阳 455000)

**[摘要]** 棉花是我国的重要经济作物,棉花产业的健康稳定发展意义重大,本文简要介绍了“十一五”期间我国棉花科研在基础研究、转基因抗虫棉、现代分子育种体系、品种高效应用保障技术等方面所取得的主要成就,阐述了我国棉花产业面临的总量不足、黄萎病危害和新成灾害虫加重等重大问题,并提出应推进盐碱旱地植棉,扩大粮棉复种指数,加大棉花分子设计育种技术的应用,大力推进棉花全程机械化进程,深入开展“千斤棉”高产创建,大幅度提高单产水平,实现快乐植棉,从而提高我国棉花科技的自主创新能力和棉业国际竞争力。

**[关键词]** 棉花;生产;现状;发展趋势

**[中图分类号]** S562 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)04-0009-05

## 1 前言

棉花是我国的重要经济作物,常年种植面积为8 000万亩(1亩 $\approx$ 666.67 m<sup>2</sup>),约占世界种植面积的15%。我国是世界最大的棉花生产国,同时又是最大的消费国,总产和单产均居世界首位,棉花年总产量为 $7 \times 10^6$  t,占世界总产量的25%,平均单产85.4 kg/亩,比世界平均单产高50%。我国棉花种植主要分布在黄河流域、长江流域和西北内陆这三大主产棉区,其中长江流域棉区面积占全国的25%,总产量占全国的22%;黄河流域棉区面积占全国的40%,总产量占全国的37%;西北内陆棉区面积占全国的35%,总产量占全国的41%。主要植棉区农业人口达到2亿多人,直接从事棉纺及相关行业人员达到2 000多万人,间接就业人员达到1亿人。因此,保持我国棉花生产的健康稳定发展,对促进农业增效、农民增收、农村经济稳定具有重要意义。本文简要介绍了“十一五”期间我国棉花科研所取得的主要成就,阐述了我国棉花产业面临的主要问题,并提出了未来棉花生产的发展趋势,从而大力提高我国棉花科技的自主创新能力和国际竞争力。

## 2 “十一五”棉花科技主要成就

### 2.1 棉花基础科学研究取得长足进步

#### 2.1.1 我国拥有丰富的棉花种质资源

我国拥有世界第四的棉花种质资源中期库,保存种质资源8 868份,其中陆地棉7 362份、陆地棉野生种系350份、海岛棉633份、亚洲棉433份、草棉18份、野生种32份<sup>[1]</sup>。我国在海南三亚拥有野生棉种质圃,活体保存陆地棉野生种系350份、野生种41个。已对6 742份种质进行了农艺、经济性状鉴定和抗病虫、耐逆境等的鉴定,初选出具有高强、长绒、抗黄萎病、抗枯萎病、抗旱、耐盐、抗虫等单项或多项性状优异的种质1 125份。其中,抗病材料(抗黄萎病)78份、优质材料(高强纤维)173份、耐旱材料188份,并建立了相应的数据系统。丰富多样、数据完备的种质资源为我国棉花基础研究提供了宝贵的物质基础。

#### 2.1.2 发掘了棉花优质高产基因*iaaM*和*csRRM2*

西南大学研究发现特异表达生长素合成酶基因*iaaM*能够显著提高棉花衣分<sup>[2]</sup>。通过构建特异启动子将*iaaM*基因转化到棉花中,生长素(IAA)在棉

**[收稿日期]** 2012-10-08

**[基金项目]** 国家棉花产业技术体系(CARS-18-03)

**[作者简介]** 喻树迅(1953—),男,湖北麻城市人,中国工程院院士,主要研究方向为棉花遗传育种;E-mail:yu@cricaas.com.cn

花纤维起始细胞中高丰度累积,特异启动子指导 *iaaM* 基因在胚珠的外表皮特异表达,转基因株系中胚珠生长素含量显著增加。原位杂交结果表明,转基因棉花纤维起始细胞中的 IAA 信号增强,表明特异表达 *iaaM* 提高了种皮的 IAA 含量,转基因株系棉花胚珠表面突起增加,单个种子平均成熟纤维数量比对照分别增加了 50% 左右,衣分达 50%,提高 20% 以上,皮棉产量提高 25%,短绒率降低 42%。相关结果发表在国际顶级刊物 *Nature Biotechnology*, 该研究是我国第二代转基因棉花在优质纤维新材料创制方面所取得的重大突破之一。

将拥有自主知识产权的来源于油菜 FCA 基因中编码 RRM2 结构域的 cDNA 片段构建了转基因载体,获得一批产量性状有明显改良的 RRM2 转基因棉花阳性植株。转基因棉花表现出明显的植株增大,已稳定遗传至 T4 代。转基因植株的棉铃增大非常明显,数据显示转基因植株的平均单铃重较之受体品种“中棉所 12”最高增加可达 49.9%。同时,转基因植株的结铃数目也明显增多,较之受体品种“中棉所 12”最高增多可达 35.3%,而且棉铃主要集中在植株的中上部,可以有效地避免下部烂铃引起的减产。此外,转基因植株能显著增加棉纤维的长度和提高棉纤维强度。目前,这个转基因材料已经通过农业部环境释放(农基安审字(2010)第 018 号)。该高产基因转基因新材料的选育成功,将为广大育种者选育新型转基因高产杂交棉花新品种提供非常重要的亲本材料。“*csRRM2* 基因及其在棉花性状改良上的应用”已经申请国际专利,专利申请号为 PCT/CN2010/078434,该成果是我国第二代转基因棉花在产量和品质获得同步提高取得的重大突破之一。

### 2.1.3 发现以乙烯为中心的棉纤维伸长信号通路

北京大学通过转录组分析、胚珠离体培养、乙烯含量测定等手段发现乙烯在棉纤维伸长过程中有重要作用<sup>[3]</sup>;进一步研究发现超长链脂肪酸通过调控乙烯合成促进棉纤维的伸长<sup>[4]</sup>;通过比较蛋白组学、乙烯和超长链脂肪酸处理胚珠等技术,发现果胶生物合成是控制棉纤维的关键因子,如同建筑工地脚手架起构建框架作用,以支持次生细胞壁合成和细胞伸长,该合成途径受乙烯和超长链脂肪酸调控<sup>[5]</sup>。从棉花纤维 UniESTs 库中得到 10 个编码钙依赖型蛋白激酶(CPK)的基因,其中 GhCPK1、GhCPK32 和 GhCRK5 在纤维伸长期高表达。通过分析 CPK 在纤维发育过程中的表达特性,以及外加

CPK 抑制剂、免疫共沉淀和体外磷酸化等实验推测 CPK 磷酸化乙烯合成酶 ACS2 使其活性增加,从而加速乙烯合成<sup>[6]</sup>。综合以上研究,形成了以乙烯信号为中心的棉纤维伸长信号通路图<sup>[7]</sup>,该研究获得 2011 年度国家自然科学奖二等奖。

## 2.2 国产转基因抗虫棉培育取得重大进展

20 世纪 90 年代的美国孟山都公司借助技术优势,其研发的转基因抗虫棉品种迅速占领了我国市场,但是由于其生产方式和生产条件与我国有明显差异,其培育的抗虫棉类型单一,不能完全适应我国棉花生产的需要。我国科学家利用中国农业科学院生物技术研究所自主研发的 BT+CPTI 双价抗虫基因,结合我国各棉区的产业需求,进行了联合攻关,先后培育了适合长江流域的中棉所 38、47、48、63、83、邯杂 301 等多个杂交抗虫棉品种,适合黄河流域的 41、45、SGK321、鲁棉研 15、中棉所 60 等一系列抗虫棉新品种,适合麦棉或油棉两熟的中棉所 50、中棉所 73、中棉所 74 等多个早熟转基因抗虫棉新品种,适于纺织高支纱的中棉所 70 等,从而迅速提高了我国抗虫棉的市场份额,使国产转基因抗虫棉占有面积从 1999 年的 5% 提高到 2011 年的 98%,至今,美国抗虫棉几乎已经退出了我国市场。1999—2010 年,我国累计推转基因抗虫棉  $3.334 \times 10^7 \text{ hm}^2$  ( $1 \text{ hm}^2 = 10^4 \text{ m}^2$ ),增加收入 496 亿元。

与此同时,中国农业科学院棉花研究所研究人员完善了棉花规模化转基因技术体系,将多种转基因技术进行了有效的组装,实现了流水线操作,建立了高效、规模化的棉花转基因技术体系,年产转基因植株 20 000 株以上,有效降低了转基因运行成本;将农杆菌介导的基因转化周期由 10~12 个月缩短到 5~6 个月,转基因效率显著提高;将植物嫁接技术成功应用于转基因棉花的快速移栽,使其成活率达到 90% 以上,有效地解决了棉花转基因苗移栽成活率低的难题;在此基础上,建立棉花外源基因快速验证技术体系,筛选出再生率为 100% 的 CCRI24、冀合 321 等转化受体单株 20 多株,使转基因效率提高 2 倍以上;筛选出 3 类适宜农杆菌介导转化棉花的高效转化载体:pBI121、pCAMBIA2300 和 pKGWFS7;累计验证 184 个候选基因,以该体系为主的“棉花组织培养性状纯化及外源基因功能验证平台构建”获得 2010 年度国家科技发明奖二等奖。

## 2.3 棉花现代分子育种体系日趋完善

我国棉花育种已基本形成了以优质、高产、抗

逆、早熟等棉花主要农艺性状改良为目标,转基因育种技术、分子标记辅助育种技术、生化标记辅助育种体系与常规育种相结合的现代高效育种体系,创制了一批新型抗虫、优质、高产、抗病等转基因新材料,形成了以转基因育种为核心,集基因克隆、遗传转化、遗传育种、分子标记、生化选择等各类人才为一体的现代棉花育种团队。

### 2.3.1 转基因棉花育种体系

形成了以中国农业科学院棉花研究所“棉花规模化转基因技术体系平台”为中心的,集基因克隆、功能验证、遗传转化、材料创制等转基因棉花育种技术为一体的转基因棉花分子育种体系,在基因克隆方面,我国已发掘了 *iaaM*、*csRRM2*、类 1-氨基环丙烷-1-羧酸氧化酶(ACO)等棉花高产优质基因,并通过遗传转化获得了优异的转基因棉花材料,已发放给全国棉花育种单位使用。

### 2.3.2 棉花分子标记辅助育种体系

棉花的产量性状、纤维品质性状等都属于数量性状,受多个基因控制,表现连续变异,遗传机理复杂,易受到环境的影响。传统的改良方法在棉花品种改良中效率低、周期长。由于分子标记不受外界环境的影响,我国基于分子标记的棉花遗传连锁图谱构建、数量性状位点(QTLs)定位、辅助选择育种应用研究已广泛开展。例如,南京农业大学构建了包含 1 970 个位点、总长度为 3 425.8 cM 的陆海遗传连锁图谱<sup>[9]</sup>;华中农业大学构建了包含 2 316 个位点,总长度为 4 418.9 cM 的陆海遗传连锁图谱<sup>[9]</sup>,西南大学则利用陆地棉渝棉 1 号、中棉所 35 号和 7235 系建立三亲本复合杂交群体,构建了陆陆遗传连锁图谱,总长为 4 184.4 cM,包含 978 个简单重复序列(SSR)标记位点<sup>[10]</sup>。中国农业科学院棉花研究所利用 3 个纤维长度 QTLs 相关的 SSR 标记对不同群体进行分子标记辅助选择,研究了多个 QTLs 聚合的效果;利用海岛棉优质渐渗系与转基因抗虫棉优质系杂交,经分子标记筛选聚合育成通过国家审定的优质棉新品种中棉所 70 号。

### 2.3.3 生化标记辅助育种体系

中国农业科学院棉花研究所研究发现超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、脱落酸、乙烯是影响棉花早熟早衰的关键生理生化因素,早熟不早衰品种的 SOD、CAT、POD 活性高于早衰品种,将生化指标应用到育种,主持选育出早熟不早衰、青枝绿叶吐白絮的高产、优质、

抗病系列新品种中棉所 24 号、27 号、36 号等,最近又开展了 NO 含量测定、体外喷施等试验研究,结果表明棉花叶片 NO 对抑制棉花叶片衰老有重要作用<sup>[11]</sup>,进一步利用非标记蛋白质组学技术发现 NO 能够调控乙烯合成过程中的两步关键酶,即蛋氨酸腺苷转移酶和类 1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)合酶,外源 NO 能够延缓衰老可能是通过调控乙烯的合成而发挥作用的<sup>[12]</sup>。

### 2.4 棉花品种高效应用保障技术成绩显著

棉花高产、高效栽培技术以及病虫害综合防治技术是棉花品种高效应用的重要保障。研究明确了相应的转基因抗虫棉对肥水的需求规律,提出了转基因抗虫棉“壮根—壮苗—早发—省工—节本—增产—增效”为核心的“棉花工厂化育苗、机械化移栽”技术和平衡施肥技术;针对我国水资源紧缺问题,研发了膜下滴灌配套栽培技术;针对劳动力成本提高问题,研发了除草播种覆膜一体化、植保机械化、采收机械化等棉花全程机械化技术,并提出利用各种集成配套技术,研发“千斤棉”的发展目标。

## 3 我国棉花产业面临的重大问题

### 3.1 国内棉花生产总量不能满足原棉需求

我国每年的棉花需求量在  $1 \times 10^7$  t 以上,而 2006—2010 年我国年平均生产棉花  $7.06 \times 10^6$  t,占同期世界棉花产量的 28.7%,自给率在 70%左右,需进口 30%左右以满足国内需求。目前,棉花已成为我国继大豆和食用油之后的第三大进口农产品。因此,我国棉花供应必须立足于国内棉花生产,大幅度提高我国棉花生产能力。但由于受耕地面积减少、粮食安全、粮棉比价等因素影响,我国棉花面积不可能大幅度增长,唯一的途径是加强科技创新,提高棉花生产科技水平和国际市场竞争力,在稳定种植面积规模的基础上,提高棉花单产水平,增加总产量。

### 3.2 黄萎病发生严重

棉花主产区枯、黄萎病逐年加重,目前仍缺乏有效抗源。黄萎病在黄河流域、长江流域、新疆三大棉区呈发展态势,全国棉田黄萎病流行约 3 000 万亩,导致棉田常年减产 15%~20%。由于黄萎病危害,棉花减产达  $1 \times 10^6$  t,加上大幅度增长的原棉需求和  $5 \times 10^6$  t 的原棉缺口,使我国棉花安全面临着更大威胁。

### 3.3 新成灾的害虫逐年加重

随着抗虫棉的推广普及,棉铃虫被基本控制,但是由于农药使用量大幅度下降,原来零星发生的蚜虫、盲蝽象、烟粉虱等刺吸式次生害虫逐渐上升为主要害虫,危害逐年加重;棉田用药量出现反弹,成为影响我国棉花生产的重要问题。因此,必须加强抗蚜虫、盲蝽象转基因棉花研究。美国目前已研制出抗盲蝽象转基因棉,而我国尚属空白,一旦批准进入中国市场化,又会抢占我国大部分市场。

## 4 我国棉花生产的发展趋势

针对以上产业问题,我国棉业需在“不与粮争田”的前提下,主要从以下4个方面,提高我国棉花科技创新能力,全力提升我国棉花产业竞争力,实现快乐植棉。

### 4.1 扩大盐碱旱地植棉面积

我国约1/2国土面积处于干旱、半干旱区,即使在非干旱地区的主要农业区,也不时受到旱灾侵袭。在我国耕地中有较大面积的中低产田,其中大部分是由于干旱和盐碱所致,灌溉地区次生盐渍化田地还在逐年增加。天津、山东、河北、江苏、浙江沿海地区约有500万亩盐碱滩涂有待开发,这些土地适于大规模机械化种植,而棉花是最适合该区域种植的经济作物,是下一步扩大棉花种植面积的重点发展方向。

### 4.2 麦棉双高产,北移两纬度

解决我国棉花供需矛盾的另一个有效途径是扩大粮棉复种指数,缓解粮棉争地,实现粮棉两熟。培育适于黄河流域棉区、长江流域棉区麦(油)后直播超早熟新品种及适于北方特早熟棉区种植的短季棉新品种是解决我国粮棉争地矛盾的必由之路。种植生育期100 d左右的超早熟棉花品种可使棉花种植区域北移两个纬度,扩大棉花种植面积。因此,利用现代转基因技术,快速培育早熟不早衰、高产、优质的短季棉新品种,迫在眉睫。

### 4.3 加大棉花分子设计育种技术的应用,不断提高我国棉花单产水平

棉花基因组测序为棉花优异基因发掘、QTLs定位、农艺性状机理等研究打下了坚实基础。目前由中国农业科学院棉花研究所主持的棉花D组供体种雷蒙德氏棉基因组草图已绘制完成<sup>[13]</sup>,亚洲棉(A组)、陆地棉基因组测序正在进行中。广大棉花科技工作者需以此为契机,深入开展棉花基础科学

问题研究,开发完善的棉花分子设计育种技术体系,从而同步解决棉花生产中的高产、黄萎病、抗虫、耐盐碱等重大问题,不断提高我国棉花单产水平。

### 4.4 大力推进棉花全程机械化进程,实现快乐植棉

棉花是劳动密集型的大田经济作物,种植管理复杂,从种到收有40多道工序,每公顷用工300多个,是粮食作物的3倍,生产成本很高<sup>[14]</sup>。随着城镇化、工业化进程的加快,农村劳动力大量转移,劳动力成本高涨,对棉花生产提出了新的挑战。全程机械化可以降低植棉劳动强度,是稳定发展我国棉花生产的重要措施之一,是我国棉花未来生产的发展方向。植棉全程机械化是一个系统工程,需机械、育种、栽培、植保等方面的专家紧密配合,从而达到农机与农艺的有机结合。

“千斤棉”高产创建综合利用适宜的优良品种和先进的栽培、植保技术,开展大面积高产示范田建设工程,从而达到长江、黄河流域亩产籽棉1000斤(1斤=0.5 kg)、短季棉亩产籽棉800斤、西北内陆棉区达到2000斤的高产目标,从而实现高产高效。实现了植棉机械化,棉农得不到效益,棉花生产不能持续发展,只有实现了高产高效,机械化才有意义,棉农植棉积极性才能持续发挥,从而实现快乐植棉。

### 参考文献

- [1] 杜雄明,周忠丽,贾银华,等.中国棉花种质资源的收集与保存[J].棉花学报,2007,19(5):346-353.
- [2] Zhang Mi, Zheng Xuelian, Song Shuiqing, et al. Spatiotemporal manipulation of auxin biosynthesis in cotton ovule epidermal cells enhances fiber yield and quality[J]. Nature Biotechnology, 2011, 29(5): 453-458.
- [3] Shi Yonghui, Zhu Shengwei, Mao Xizeng, et al. Transcriptome profiling, molecular biological, and physiological studies reveal a major role for ethylene in cotton fiber cell elongation[J]. The Plant Cell, 2006, 18: 651-664.
- [4] Qin Yongmei, Hu Chunyang, Pang Yu, et al. Saturated very-long-chain fatty acids promote cotton fiber and *Arabidopsis* cell elongation by activating ethylene biosynthesis[J]. The Plant Cell, 2007, 19(11): 3692-3704.
- [5] Pang Chaoyou, Wang Hui, Pang Yu, et al. Comparative proteomics indicate that biosynthesis of pectic precursors is important for cotton fiber and *Arabidopsis* root hair elongation[J]. Mol Cell Proteomics, 2010, 9(9): 2019-2033.
- [6] Wang Hui, Mei Wenqian, Qin Yongmei, et al. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase 2 is phosphorylated by calcium-dependent protein kinase 1 during cotton fiber elongation[J]. Acta Biochimica Biophysica Sinica, 2011, 43(8): 654-661.
- [7] Qin Yongmei, Zhu Yuxian. How cotton fibers elongate: A tale of linear cell-growth mode[J]. Current Opinion in Plant Biology,

- 2011, 14(1): 106–111.
- [8] Guo Wangzhen, Cai Caiping, Wang Changbiao, et al. A micro-satellite-based, gene-rich linkage map reveals genome structure, function and evolution in *Gossypium*[J]. *Genetics*, 2007, 176: 527–541.
- [9] Yu Yu, Yuan Daojun, Liang Shaoguang, et al. Genome structure of cotton revealed by a genome-wide SSR genetic map constructed from a BC1 population between *Gossypium hirsutum* and *G. barbadense*[J]. *BMC Genomics*, 2011, 12: 15.
- [10] Zhang Ke, Zhang Jian, Ma Jing, et al. Genetic mapping and quantitative trait locus analysis of fiber quality traits using a three-parent composite population in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.)[J]. *Molecular Breeding*, 2012, 29(2): 335–348.
- [11] 孟艳艳, 范术丽, 宋美珍, 等. NO 对生长发育中棉花叶片 NO 含量及其对抗氧化物酶的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(10): 1828–1836.
- [12] Meng Yanyan, Liu Feng, Pang Chaoyou, et al. Label-free quantitative proteomics analysis of cotton leaf response to nitric oxide[J]. *Journal of Proteome Research*, 2011, 10(12): 5416–5432.
- [13] Wang Kunbo, Wang Zhiwen, Li Fuguang, et al. The draft genome of a diploid cotton *Gossypium raimondii*[J]. *Nature Genetics*, 2012, 44: 1098–1103.
- [14] 毛树春. 我国棉花种植技术的现代化问题[J]. *中国棉花*, 2010, 37(3): 2–5.

## Present situation and development trend of cotton production in China

Yu Shuxun

(Cotton Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang, Henan 455000, China)

**[Abstract]** It is important to develop a healthy and stable cotton production in China, because cotton is one of the most economically important crops in China. Firstly, the main achievements gained among the “11th Five-year Plan” of cotton researches on basic research, transgenic insect-resistant, molecular breeding, and technologies that can utilize varieties efficiently were introduced; secondly, the main problems of cotton production such as the shortage of production capacity, the damage of the verticillium wilt, and the threats produced by secondary pests were described; finally, in order to improve the innovativeness and competitiveness of China’s cotton production, the following suggestions on cotton production development were provided: explore saline land and dry land to plant cotton, cultivate especial-early varieties that can be sowed after the harvest of wheat or rape, improve the technology application of molecular design breeding and promote the automation of cotton production to reduce labor intensity.

**[Key words]** cotton; production; present situation; development trend