

中国农业部科技发展中心负责翻译了题为：“Consensus Document on the Biology of Cotton (*Gossypium* spp.)”，Copyright OECD, 2008 的英语文件。经济合作和发展组织不会对于相对原文内容的中文翻译质量及其一致性予以负责。

Translated under the responsibility of the Development Center for Science and Technology, Ministry of Agriculture of People's Republic of China, from the original English edition published under the title “Consensus Document on the Biology of Cotton (*Gossypium* spp.)”，Copyright OECD, 2008. The OECD is not responsible for the quality of the Chinese translation and its coherence with the original text

# 第四章

## 棉花 (*Gossypium* spp) 生物学特性的共识文件\*

### 第一节 引言：描述和用途

通常所说的棉花是指棉属 (*Gossypium*) 的 4 个种，它们在欧亚大陆和新大陆的 4 个隔离地区分别得到驯化 (Sauer, 1993; Brubaker *et al.*, 1999c)。“cotton”一词源于阿拉伯语“quotn,” kutum”或“gutum”，意思是在作物的种皮上能够生长可纺织的纤维 (Lee, 1984; Smith, 1995)。在世界范围内，从干旱到半干旱的热带和亚热带地区，棉花 (棉属) 大概有近 50 个种 (Fryxell, 1992; Wendel 和 Cronn, 2003) (见本章附录 1)。根据染色体的倍数可将栽培种分为：

二倍体 (AA) ( $2n=2x=26$ )：草棉 (*G. herbaceum* L.) 和亚洲棉 (*G. arboreum* L.)

四倍体 (AADD) ( $2n=4x=52$ )：海岛棉 (*G. barbadense* L.) 和陆地棉 (*G. hirsutum* L.)

在以上 4 个棉花栽培种中，陆地棉 (*G. hirsutum*) 和海岛棉 (*G. barbadense*) 这 2 个种占棉花总产量的 95% 以上 (Jenkins, 1993; May 和 Lege, 1999; Zhang *et al.*, 2008)。本文件所说的棉花通常指这 2 个种，但在二者差异显著和关联之处，2 个种具有泾渭分明的特点。陆地棉 (*G. hirsutum*)，众所周知的是生长于陆地的棉花，有时也指美洲棉、墨西哥棉或阿卡拉 (Acala) 棉，约占棉花产量的 90%；海岛棉 (*G. barbadense*)，通常被认为是长绒棉、比马棉或埃及棉，约占棉花总产量的 5% 左右。

#### 1. 描述

Oosterhuis 和 Jernstedt (1999) 对棉花进行了全面的描述。棉花具有潜在的多年生习性，但从商业种植的角度而言是典型的 1 年生作物。2 个种的植株都能长成灌木或是小树。陆地棉 (*G. hirsutum*) 能够长到 1.5~2 (~5) m 高，海岛棉 (*G. barbadense*) 能够长到 3 m。然而，这 2 个种栽培时只有将近 1~1.5 m 高，且植株在收完果实 (纤维和种子) 之后就被损毁了。棉花有主根和许多侧根，主根依生长时期、土壤特征和管理方法而异能长到 1~3 m。棉花有突出直立的主茎，呈单轴无限生长，主茎上着生分枝和叶片 (Hanan 和 Hearn, 2003; Marur 和 Ruano, 2001、2004; Ritchie *et al.*, 2007)。腋生枝的数量和长度因不同的品种和环境条件而变化。

棉花的叶片围绕主茎或分枝的轴呈螺旋状轮生，叶序为 3/8 式。叶片的大小、形态、

\* Originally published by OECD in English under the title: “Consensus Document on the Biology of Cotton (*Gossypium* spp)” © 2008 OECD.

质地和绒毛各异。大多数叶片是掌状的，有凹处和凸角，叶形从圆形到尖型之间变动。叶片通常较大并带有绒毛（Hu 和 Zhao, 1992; Susin *et al.*, 1988; Bourland *et al.*, 2003），但是也有一些品种是平滑没有绒毛的（Delattre, 1992）；叶片有很多气孔，大多数在背轴面。叶柄通常和叶身一样长，与茎结合处的两侧有 2 个托叶（永久的或是早期脱落）。陆地棉（*G. hirsutum*）和海岛棉（*G. barbadense*）的叶片特征有很大的差异（Wise *et al.*, 2000）。

海岛棉（*G. barbadense*）的叶片通常有 3~7 个缺刻（Fryxell, 1984、1992），与陆地棉（*G. hirsutum*）相比其成熟叶片更大更薄。陆地棉（*G. hirsutum*）的叶片通常是 3~5 裂，整个发育过程中叶片几乎都是平展的，且具有横向日性，可跟踪太阳以获得最大的光吸收量。海岛棉（*G. barbadense*）的叶片呈现明显的弯曲或卷曲，以减少光抑制并使整个白天有更多的光线穿透照射到植株冠层。尽管海岛棉（*G. barbadense*）的气孔密度高于陆地棉（*G. hirsutum*），但其气孔较小，因此每张叶片的气孔面积较小（Lu *et al.*, 1997; Wise *et al.*, 2000）。

棉花产生 2 种类型的分枝：1 种是单轴或营养枝（自顶芽持续生长），1 种是合轴或果枝（自侧芽持续生长）。从结构方面来说，营养枝很像主茎，花朵仅产生于第 2 和第 3 分枝。果枝主要由植株较高节位处的第 1 腋芽发育而来，与营养枝相比，这些枝条的直径更小、也更趋水平。果枝的合轴发育方式使其外表略成之字形，这与营养枝相当笔直的生长形成对比。

每个果枝能够产生 6~8 个单生花芽（称作蕾）（Hutmacher, 2004）。花蕾是锥体结构，其周围是 3 个大的锯齿状的三角形苞叶（又叫萼状总苞或花被）。由外而内，紧挨着这些苞叶的是花萼，它由 5 个短的萼片组成，这些萼片融合成一个杯状，位于花的最底部，也是花最宽的部分（McGregor, 1976）。萼片内部是 5 个独立的花瓣（除基部外），它们构成了花冠。花冠（在基部融合）的里面是雄蕊柱，其上分布着许多（50~125 或是更多）短的杆状单室花药，这一管状雄蕊柱包围着伸长的花柱。花柱的顶端是棒状带浅裂的柱头，突出于雄蕊柱之上少许，有时会低一些，但通常会超过最远端的花药。与陆地棉（*G. hirsutum*）不同，海岛棉（*G. barbadense*）的柱头远高于花药，这增加了异花授粉的可能性（McGregor, 1976）。

陆地棉（*G. hirsutum*）的花朵是均一的乳白色至淡黄色，花粉奶油色，能分泌出少量花蜜；海岛棉（*G. barbadense*）的花朵是黄色的，但其内侧基部有褐红色斑点（花蜜指示色），花粉橘黄色，能够产生较多的低蔗糖含量的花蜜（McGregor, 1976; Moffett, 1983）。

雌蕊基部的圆锥形部分是子房，由 3~5 个心皮或心室构成。陆地棉（*G. hirsutum*）的子房经常有 4 或 5 个心皮，每个心皮有 8~12 个胚珠，它们沿着中轴胎座（心皮连接而成的中柱）的 2 个并联垂直的凹槽对齐排列。蒴果在成熟时裂开，又叫棉铃，呈球状或卵圆形，顶部有尖，不同棉种的颜色、大小和形状不同。陆地棉（*G. hirsutum*）的棉铃通常是淡绿色，相对平滑，表面有少许点状棉子酚腺体；海岛棉（*G. barbadense*）的棉铃为深绿色，有许多明显的腺体。

受精卵发育成种子，种子的表皮产生许多单细胞的种皮毛，可分为 2 种类型：长的指皮棉，粗短的指绒毛或是棉短绒（Applequist *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2007）。为了在

优良品种上生产白色的皮棉，2 种种皮毛之间的区别已被最大化。棉子油积累于种子胚胎细胞的细胞质中 (Gotmare *et al.*, 2004)，与棉子酚腺体没有相关性。Hopper 和 McDaniel (1999)、Ritchie 等 (2007) 对棉花种子做了较好的描述。另外，Ruan (2005) 对种子与纤维发育研究的进展进行了综述。

棉花植株的特征是存在很多已知为棉子酚腺体的溶生性小洞，棉株的绝大多数组织中 (除木质部之外) 都可发现这种腺体。这些腺体含有萜类醛，存在于一种油性的水溶性介质，形成已知为棉子酚的香精油 (Khan *et al.*, 1999)。棉子酚对非反刍哺乳动物、鸟类、许多昆虫以及微生物有毒，因此对食草性动物和微生物的攻击形成一种组成型和诱导型的防御机制。开发无腺体棉花的目的是食用，但其植株更容易受到伤害 (Lusas 和 Jividen, 1987; Delattre, 1992)。叶片背面的中脉处通常也有单个的花外蜜腺 (自其基部向外稍微突出)，每个总苞片 (外侧和内侧) 基部也有蜜腺。含糖的花蜜能够吸引昆虫，这可能抵御食草性昆虫的攻击。也可能更易受食草性昆虫的攻击，结果究竟如何依赖于整体的管理措施或生态环境 (Adjei-Maafa 和 Wilson, 1983a、1983b; Wäck-ers 和 Bezemer, 2003; Wäckers 和 Bonifay, 2004; Röse *et al.*, 2006)。

## 2. 用途

棉花主要的产品是棉纤维，对棉纤维品质特征的分析 and 评估已经进行了好几个世纪 (Vreeland, 1999; Wakelyn *et al.*, 2007a、2007b)。棉花是世界上天然纤维的首要来源，主要用于大多数纺织品的制造。低品质的纤维可用来制造毛毡、床垫填充物和特殊用途的纸。加工过的纤维素可用于各种消费品，如牙膏、唇膏、冰淇淋和蛋黄酱。棉纤维在化工领域也有一系列的用途。

棉子在世界范围内的使用尽管广泛且集中，但倾向于被认为是次要产物或副产物。棉子可以生产食用油，棉子油被认为是一种品质很好的植物油 (O' Brien *et al.*, 2005)；棉子壳可以作为家畜饲料；高蛋白含量的棉子饼和棉子粉主要用作家畜饲料 (第七节)；棉子粉有时用于人类消费，但前提是其中棉子酚的含量低或被去除，或来自于无棉子酚的品种。棉子酚已经作为一种男性避孕剂使用 (Coutinho, 2002)。棉子油在润滑油和生物燃料方面有很好的前景 (Karaosmanoğlu *et al.*, 1999)。

2006 年生产皮棉和棉子最多的国家是中国、美国、印度和巴基斯坦 (表 1)。陆地棉 (*G. hirsutum*) 又叫长绒棉，纤维长度为 22~36 mm。海岛棉 (*G. barbadense*) 又叫超长绒棉，纤维长度超过 35 mm；主要种植于埃及、秘鲁、苏丹、美国和一些中亚国家。最佳的农艺措施与不断提高的棉农素质和技术革新的应用已提高了棉花单产。2006 年皮棉最高产量为 1 861 kg/hm<sup>2</sup>，棉子最高产量为 2 793 kg/hm<sup>2</sup> (表 1)。

表 1 2006 年生长季皮棉和棉子单产最高和/或总产最多的国家

2006	单产 (kg/hm <sup>2</sup> )		总产 (t)	
	皮棉	棉子	皮棉	棉子
澳大利亚	1 861	2 631		
巴西			1 210 000	1 784 672
柬埔寨		2 712		
中国	1 243	2 485	6 730 000	13 460 000

(续)

2006	单产 (kg/hm <sup>2</sup> )		总产 (t)	
	皮棉	棉子	皮棉	棉子
印度			3 563 880	7 127 760
以色列	1 717	2 732		
巴基斯坦			2 186 800	4 065 200
叙利亚	1 409	2 793		
土耳其	1 646	2 469	900 000	1 350 000
美国			4 498 000	6 665 900
乌兹别克斯坦			1 171 000	2 376 200

资料来源: FAO, 2007。

## 第二节 棉花的分类、起源中心、多样性和驯化

### 1. 分类学

棉属 (*Gossypium* L.) 是锦葵科 (Malvaceae)、锦葵亚科 (Malvoideae) 的棉族 (Gossypieae) 成员之一, 有 9 个属 (cf. Seelanan *et al.*, 1997)。大约 1.1 千万至 1.4 千万年以前, 棉属作为一个单独的进化分支出现 (Senchina *et al.*, 2003; Wendel 和 Cronn, 2003)。棉属有 3 个主要的生物多样性中心: 非洲、阿拉伯半岛、澳大利亚和墨西哥 (见本章附录 1); 有 3 个主要的驯化中心: 非洲和亚洲、中美洲 (即墨西哥和美国中部)、南美洲。棉花的 2 个二倍体栽培种草棉 (*G. herbaceum*) 和亚洲棉 (*G. arboreum*) 来自于“旧世界”——亚非大陆, 2 个四倍体栽培品种来自于“新世界”——中美洲 (陆地棉 *G. hirsutum*) 和南美洲 (海岛棉 *G. barbadense*)。尽管有关亚洲方面的记载不太清楚, 但这 4 个栽培种可能是单独驯化的 (Sauer, 1993; Brubaker *et al.*, 1999c)。

尽管仍然需要对分类学进行一些研究, 但人们广泛认为棉花有 50 个种 (见本章附录 1) (Fryxell, 1992; Percival *et al.*, 1999)。其中 45 个种是二倍体, 可以分为 3 个地理组以及相应的亚属; 5 个种是四倍体, 包括在一个亚属中 (Fryxell, 1984、1992; Wendel 和 Cronn, 2003; Cronn 和 Wendel, 2004):

- 非洲—阿拉伯地理组 (*Gossypium* 亚属): 有 14 个种 (可能或更少); 主要天然地分布在非洲, 阿拉伯半岛也有, 可分布至巴基斯坦, 也许还能分布到远东地区 (Vollesen, 1987; Fryxell, 1992; Stanton *et al.*, 1994; Wendel 和 Cronn, 2003)。有 1 个种是佛得角群岛的地方种。

- 澳大利亚地理组 (*Sturtia* 亚属): 约 17 个种 (16 个种已有分类学描述), 大多数天然分布于金伯利区的西北部, 北方热带区和中部干旱区也有分布, 其中有 1 个种分布至东部温带区 (Fryxell *et al.*, 1992; Seelanan *et al.*, 1999; Brown 和 Brubaker, 2000)。

- 美洲地理组 (*Houzingenia* 亚属): 约有 14 个种 (13 个已有分类学描述), 其中 12 个种天然分布在西墨西哥 (有 1 个向北分布至美国的亚利桑那州), 还有 1 个种分布至加拉帕戈斯群岛和秘鲁 (Fryxell, 1988; Small 和 Wendel, 2000; Cronn *et al.*, 2003;

Álvarez *et al.*, 2005; Álvarez 和 Wendel, 2006; Ulloa *et al.*, 2006)。

● 美洲和太平洋地理组 (*Karpas* 亚属): 5 个四倍体种; 其中 3 个种天然分布在美洲 (1 个分布于中美, 2 个分布于南美), 1 个分布于加拉帕戈斯群岛和夏威夷群岛 (Small *et al.*, 1998; Wendell 和 Cronn, 2003)。

二倍体种被分为 8 个细胞遗传染色体组, 四倍体种只有 1 组 (Endrizzi *et al.*, 1985; Stewart, 1995; Wendel 和 Cronn, 2003) (见表 2)。

表 2 棉属 (*Gossypium*) 的染色体组

染色体组	种的数目	分布地区
A	2	非洲, 亚洲 (可能)
B	3	非洲 (包括佛得角群岛)
E	7+	非洲东北部, 阿拉伯半岛, 亚洲西南部
F	1	东非
C	2	澳大利亚
G	3	澳大利亚
K	11 (或 12)	澳大利亚北部和西北部
D	13 (或 14)	美洲 (主要在墨西哥, 秘鲁也有), 加拉帕戈斯群岛
AD	5	美洲, 加拉帕戈斯群岛, 夏威夷群岛

通常认为的棉属各个种的分类以及它们的地理分布、染色体组名称、一般系统发育分类学见本章附录 1 (Endrizzi *et al.*, 1985; Fryxell, 1992; Percival *et al.*, 1999; Wendel and Cronn, 2003)。

## 2. 主要进化事件

DNA 序列系统发育数据表明, 6 百万至 7 百万年前, 在一起跨洋扩散事件之后, 1 个 D 染色体组从非洲种系分化出来, 最终形成 A 染色体组, 并在美洲 (主要是墨西哥) 成为 1 个独立的种系 (Senchina *et al.*, 2003; Wendel 和 Cronn, 2003; Cronn 和 Wendel, 2004; *cf.* Graham, 2006)。另外一次长距离扩散事件发生于 1 百万至 2 百万年前, 这使 A 染色体组的非洲棉株 (可能与现在的草棉 *G. herbaceum* 关系最近) 与本土的 D 染色体组 (可能与现在的雷蒙德氏棉 *G. raimondii* 关系最近) 进行杂交产生了四倍体 (Wendel *et al.*, 1992; Senchina *et al.*, 2003; Wendel 和 Cronn, 2003; Kebede *et al.*, 2007)。通过单一的多倍体化过程, 新生的二倍体化的 AD 异源四倍体进化成现在的 5 个四倍体种 (Endrizzi *et al.*, 1985; Cronn *et al.*, 1999)。

雷蒙德氏棉 (*G. raimondii*) 是分布于秘鲁西北部的一个稀有种, 被认为是与祖先的 D 染色体组种具有最高相似性的二倍体种 (Liu *et al.*, 2001; Guo *et al.*, 2007); 它是最近进化的 DD 染色体组种之一, 从墨西哥经过长距离扩散来到此地后隔离分化而来 (Wendel 和 Cronn, 2003; Álvarez *et al.*, 2005)。雷蒙德氏棉 (*G. raimondii*) 与墨西哥南部 (*Oaxaca*) 的本地种拟似棉 (*G. gossypioides*) 具有遗传相似性, 而拟似棉 (*G. gossypioides*) 被认为是新大陆二倍体种的进化基础。尽管如此, 拟似棉

(*G. gossypioides*) 具有很不寻常的历史, 包括几次种间的天然杂交——显然包括来自于另一个非洲入侵种(在非洲 B、F、A 染色体组分化前进化)的基因渗入(Cronn *et al.*, 2003; Cronn 和 Wendel, 2004; Álvarez *et al.*, 2005; Guo *et al.*, 2007)。

D 染色体组种系分离出去后不久, 非洲的棉花随着长距离扩散事件进一步分化, 产生了澳大利亚种系(进化成 C、G、K 3 个染色体组)。非洲的种系进一步进化成另外 4 个染色体组: 首先是 E 染色体组种系的分化, 然后是 B 染色体组种系, 最后是 F 和 A 染色体组种系(Cronn *et al.*, 2002; Cronn 和 Wendel, 2004)。

棉花的叶绿体和线粒体 DNA 主要通过母系遗传(Small 和 Wendel, 1999)。目前仍在继续研究 A 染色体组果实/种子相对近期的长距离扩散方式和路径以及异源四倍体祖先的起源地(Wendel 和 Cronn, 2003)。南美洲四倍体种黄褐棉(*G. mustelinum*) (分布在巴西东北地区)的 A 和 D 染色体组在遗传上与祖先种最为相似, 而祖先种进化成现在的 5 个广泛扩散的四倍体(Wendel *et al.*, 1994)。AA 染色体组种的传播可能通过海流从非洲传播到美洲(Stephens, 1966; *cf.* Renner, 2004)。然后美洲二倍体(DD)种的花粉给入侵种受精, 经染色体加倍产生了最初 AADD 四倍体种; AA 入侵种或者没延续下来, 或者可能建立了一个小群体, 而这些群体后来灭绝了。

### 3. 驯化和早期栽培

#### (1) 亚非大陆的二倍体

亚非大陆栽培的 AA 二倍体是典型的短绒棉, 纤维长度不足 23 mm。这些棉花具有地域重要性, 并且在严酷或干旱的生长条件下仍可能是首选栽培种(Basu, 1996; Rajendran *et al.*, 2005)。这 2 个种(亚洲棉 *G. arboreum* 较多)现在仅占世界总产量的 4% 左右, 它们在亚非大陆已大部分被新大陆的四倍体种所替代。

这 2 个 AA 种均已通过许多方法(如农艺学、形态学、细胞遗传学、遗传学和分子学)进行了彻底的研究, 并且明确了二者的生物学差异, 尽管它们的差异只在各种共有性状(而非明显的鉴别性状)上被观察到(Wendel *et al.*, 1989; Stanton *et al.*, 1994; Rana 和 Bhat, 2004; Gao *et al.*, 2005; Desai *et al.*, 2006; Kebede *et al.*, 2007)。与亚洲棉(*G. arboretum*)相比, 草棉(*G. herbaceum*)的花青素较少(因此日光红较淡), 叶片较短, 缺刻较浅, 叶裂较宽, 苞片较宽, 是顶部齿状物或裂片(apical teeth or lobes)的 2 倍, 花较小, 棉铃较圆, 种子较大, 纤维较细(Abedin, 1979; Stanton *et al.*, 1994)。与姊妹种草棉(*G. herbaceum*) (具有属类上的典型排列)相比, 亚洲棉(*G. arboretum*)染色体间发生了易位(Song *et al.*, 1991; Desai *et al.*, 2006)。

野生(non-feral)的草棉(*G. herbaceum*)亚种(*africanum*)天然发生于萨瓦纳生物群系, 横贯南部南非(Vollesen, 1987; Wendel *et al.*, 1989; *cf.* Jürgens, 1997); 而驯化的草棉(*G. herbaceum*)亚种(*herbaceum*)间断分布于更远的东北部, 主要种植在从埃塞俄比亚到中亚、中国西北部和印度一带(Wendel *et al.*, 1989; Guo *et al.*, 2006)。亚洲棉(*G. arboretum*)主要生长于亚洲并延伸至东部, 从印度(栽培的亚洲棉多于草棉(*G. herbaceum*)到朝鲜都有分布(Wendel *et al.*, 1989; Basu, 1996; Guo *et al.*, 2006)。亚洲棉(*G. arboreum*)和草棉(*G. herbaceum*)亚种(*herbaceum*)的起源范围或驯化中心尚不清楚(Wendel *et al.*, 1989; Brubaker *et al.*, 1999c)。

亚非大陆早期利用棉花的考古学证据没有在“种”的水平上进行区分。因情形而言 (circumstantially), 草棉 (*G. herbaceum*) 亚种 (*herbaceum*) 也许来自于亚洲的西南部 (如 Abedin, 1979; Fuller, 2006), 而亚洲棉 (*G. arboretum*) 可能来自于印度 (Santhanam 和 Hutchinson, 1974)。据报道, 棉花的早期利用和可能的栽培在巴基斯坦始于公元前 5000 年 (Moulherat *et al.*, 2002); 在阿拉伯北部 (约旦) 大约始于公元前 4450 年至公元前 3000 年, 但根据 Betts *et al.* (1994) 的说法或许此地的棉花是因贸易而出現的; 在印度南部始于公元前 1500 年 (Fuller *et al.*, 2004); 在利比亚南部始于公元前 900 年至公元后 500 年 (Pelling, 2005)。这 2 个种在有最早的历史记载之前就已种植于北非和美索不达米亚 (Watson, 1983; Potts, 1997)。在亚洲 (如印度和中国) 和地中海地区, 早期的文献记载就提到了棉花和纺织。

## (2) 新大陆的四倍体棉花

### 海岛棉 (*G. barbadense*)

最初, 野生 (non-feral) 海岛棉 (*G. barbadense*) 被认为天然发生于秘鲁北部和厄瓜多尔南部的干燥沿海地区 (Schwendiman *et al.*, 1985; Percy 和 Wendel, 1990; Westengen *et al.*, 2005)。海岛棉 (*G. barbadense*) 栽培最早的考古学证据可追溯到公元前 5500 年的秘鲁西北部 (Dillehay *et al.*, 2007)。显然, 这个种被驯化和广泛种植于秘鲁西北部和厄瓜多尔西南部一带, 并扩散到安迪斯山脉, 之后进一步向东扩散到南美洲、向前扩散到加勒比海和中美洲南部 (Brubaker *et al.*, 1999c; Vreeland, 1999; Pearsall, 2003; Westengen *et al.*, 2005; Johnston *et al.*, 2006; Dillehay *et al.*, 2007)。

### 陆地棉 (*G. hirsutum*)

陆地棉 (*G. hirsutum*) 是中美洲的本地种, 尽管已被利用了上千年, 但其天然分布范围以及驯化和发展中心仍然不清楚 (Stephens, 1967; Lee, 1984; Jones *et al.*, 1989; Wendel *et al.*, 1992; Brubaker 和 Wendel, 1994; Stark *et al.*, 1998; Brubaker *et al.*, 1999c; Whitmore 和 Turner, 2002)。在这个广阔而多样的地区收集到的陆地棉, 甚至是自由生活的棉株, 一般表现出不同的驯化特征, 而不是野生种的特征——如棉铃更大更华丽 (flaring), 种子更大, 种子休眠特性和日照敏感性丧失、更多更细更易于摘取 (detachable) 的纤维 (Hutchinson, 1951; Stephens, 1958; Fryxell, 1979)。陆地棉 (*G. hirsutum*) 最早的考古学遗骸 (追溯到公元前 3500 至公元前 2300 年) 似乎是已驯化的形式, 发现于墨西哥中部的特瓦坎河谷 (Smith 和 Stephens, 1971; WWF 和 IUCN, 1997; *cf.* Pope *et al.*, 2001)。

通过对这一地区分布广泛的种质资源进行深入研究, Hutchinson (1951) 主要根据习性和形态将其分为 6 个驯化种族 (非植物学品种) 和 1 个野生种族, 并发现这些种族的地理分布不同, 其中在墨西哥南部的驯化种分化得最为深刻:

- morrilli——内陆山区、南墨西哥高原和北部;
- palmeri——太平洋斜坡、特万特佩克地峡西部的南墨西哥;
- richmondi——位于特万特佩克地区海湾的太平洋斜坡;
- punctatum——犹加敦半岛、大西洋斜坡北部, 美国的佛罗里达和巴哈马群岛;
- yucatanense——犹加敦半岛西北岸的野生种 (wild);



- *latifolium*——危地马拉（两个都是斜坡）、墨西哥最南部（恰帕斯）及附近区域；
- *marie-galante*——美洲中北部（危地马拉）从两边海岸向南延伸至哥伦比亚，加勒比地区（安地列斯群岛）和巴西的东北部。

用同工酶（等位基因酶）进行研究只能确认加勒比地区 *marie-galante* 的差异性 (Wendel *et al.*, 1992)；限制性片段长度多态性 (RFLP) 和简单序列重复标记 (SSR) 分析已为其他地方种质的识别提供了支持 (Brubaker 和 Wendel, 1993、1994；Lacape *et al.*, 2007)。下一个最明确的种系是 *punctatum*，其次为 *latifolium*。在这 3 个主要的驯化种系中 (Iqbal *et al.*, 2001)，*marie-galante* 是多年生的，来自于它的 *mocó* 棉仍然在巴西栽培 (Freire 和 Moreira, 1991；Moreira *et al.*, 1995；Johnston *et al.*, 2006)；*punctatum* 和 *latifolium* 是一年生的。最初在美国印第安的 Hopi Moencopi 棉（美国西南部的亚利桑那州）被认为属于 *punctatum* 种质 (Lee, 1984)。Palmeri 与 *latifolium* 种质的关系密切，用 SSR 研究发现 *morrilli* 和 *richmondi* 是不同的种系，但都与 Palmeri 相近。在驯化的 Palmeri 种族中，矛叶棉 (*G. lanceolatum*) 并不是一个不同的种，而是一个墨西哥的本地种质 (Brubaker 和 Wendel, 1993)。

现代研究证实了犹加敦种族是一种真正的野生生态型，这个蔓生植物是从沿着墨西哥犹加敦半岛西北海岸线的居群中分离出来的 (Hutchinson, 1951)，但也有可能天然存在于东面甚至远至小安地列斯群岛的瓜德罗普岛 (Ano *et al.*, 1982；Lacape *et al.*, 2007)。陆地棉 (*G. hirsutum*) 的类野生和野生居群分布得广而稀，生长于近海岸处或局限于小岛；这样的居群不会存在于内陆，但在内陆发现过野生 (feral) 植株 (Brubaker 和 Wendel, 1994)。

### 陆生棉 (upland cotton) 的起源

陆生型的陆地棉 (*G. hirsutum*) 及衍生品种是世界棉纺工业的主要原料来源 (May 和 Lege, 1999)。墨西哥与危地马拉接壤的边境被认为是陆生棉的起源和生物多样性中心 (Hutchinson *et al.*, 1947；Hutchinson, 1951；Brubaker 和 Wendel, 1994)，显然包括在陆地棉 (*G. hirsutum*) 的 *latifolium* 种族之内。这种类型好像 18 世纪中叶就在美国东南部普遍栽培 (Phillips, 1976；Smith *et al.*, 1999)。不久之后 (约 1785 年)，来自巴哈马群岛的海岛棉 (*G. barbadense*) 在美国大西洋海岸区的乔治亚州和南卡罗来纳州广泛栽培 (Brown 和 Ware, 1958；Smith *et al.*, 1999)。

首先到达美国的种子材料 (seed stocks) 叫乔治亚绿子 (Hutchinson *et al.*, 1947)。这种棉花轧花后种子上的短绒通常维持持久的绿色；海岛棉轧花后的种子无毛或为光子，将其归为“黑子棉”之中。海岛棉在低地栽培，而绿子棉在内陆种植较多，因此成为已知的陆生棉 (Smith *et al.*, 1999)。18 世纪，类似的种子材料被带入东南亚 (Lee, 1984)。19 世纪，墨西哥绿子栽培种传入美国，被公认为陆生棉品种 (Brown 和 Ware, 1958；Smith *et al.*, 1999)。在美国内战期间 (1861—1865 年)，棉花被引进到包括澳大利亚的许多热带和亚热带国家 (Constable *et al.*, 2001)。许多引进品种间的杂交使陆生棉在世界范围内扩张 (Lee, 1984；Smith *et al.*, 1999；Iqbal *et al.*, 2001)。集约的现代棉花工业直到 20 世纪 60 年代才在澳大利亚建立起来 (Hearn 和 Fitt, 1992)。

### 第三节 农艺需求和实践

#### 1. 非生物环境

尽管棉花起源于热带和亚热带区，但是最终绝大多数棉花栽培于亚热带和温带地区（占世界产量的一半以上）（表 1）。作为一种作物，这种地理位置的转移要求棉花的光周期也需要改变——天然的短日照植物变成可在夏季长日照时作为一年生植物来栽培的中日照植物（Smith *et al.*, 1999）。

#### 气候

棉花作物的地理分布在 43°~45° N（中亚，中国），但是主要种植于 37° N~32° S（例如，澳大利亚、阿根廷北部）。温度是决定棉花能够种植的地理分布的主要气候因素（Freeland *et al.*, 2006）。通常植物对温度高度敏感（Reddy *et al.*, 2006）。在温度升到 15°C 之前，棉花种子一般不会发芽和出苗；但是在 38°C 以上时种子萌发和出苗又会受阻。海岛棉（*G. barbadense*）幼苗生长的前两个星期对 15~40°C 的温度不敏感，但是 3 个星期后幼苗对温度反应比陆地棉（*G. hirsutum*）更为敏感（35/27 °C 比 30/22 °C 形成较少的果枝，在 40/32°C 时没有果枝）（Reddy *et al.*, 1992b）。不过，海岛棉（*G. barbadense*）栽培种与陆地棉（*G. hirsutum*）栽培种的耐热性相似（Cornish *et al.*, 1991；Radin *et al.*, 1994；Srivastava *et al.*, 1995）。对陆地棉（*G. hirsutum*）来说，白天最佳温度范围是 30~35°C，在 35°C 以上时，成铃减少，比 25°C 时产量减少 50%（Reddy *et al.*, 1992a）。

陆地棉（*G. hirsutum*）的正常发育需要 180~200 d 的无霜期，平均需要 150 d 的适宜温度（即 15.5°C 以上积温 1 200 热量单位，d·°C 或者 °C·d）（Duke, 1983）。而海岛棉（*G. barbadense*）的正常发育需要 200~250 d 的无霜期（Unruh and Silvertooth, 1997）。尽管这个数值在不同的品种中各有不同，但是至少必须要满足 60% 棉铃开放所需的 2 050 热量单位（Ritchie *et al.*, 2007；OGTR, 2008）。

#### 土壤和水分

棉花可以栽培于不同种类的土壤中，但是在灌溉良好、富含有机质和保湿性好的深耕土中生长更好。然而，棉花在一些国家被种在易于开裂的黏土中。棉花是一种耐盐作物，相对于陆地棉（*G. hirsutum*）来说，海岛棉（*G. barbadense*）耐盐性更强（Ashour 和 Abd-El' Hamid, 1970）。不过，盐胁迫对棉花的发芽和生长有负面影响（Ashraf, 2002）；盐胁迫通常会阻碍棉花植株的生长（Cothren, 1999）。

在贫瘠的土壤上，通过灌溉可以栽培棉花，但是必须采用可控制的方法来提供必要的湿度和营养。灌溉主要是通过地面开沟灌溉，这要求土地必须充分平整。

旱作（非灌溉）棉花在其生长期至少需要 500 mm 的降水量。棉花也可作为灌溉作物种植，通常通过固定或是移动的喷洒设备来有效灌溉。滴灌由于可节约水和利用不良的土地资源（由于土地是斜坡、缺肥或是盐碱度过高），因此其应用逐渐增加。通常，海岛棉（*G. barbadense*）与陆地棉（*G. hirsutum*）对水的需求相似，海岛棉（*G. barbadense*）生长期更长，后期座铃棉铃成熟期需要进行额外的灌溉（Silvertooth, 2001）。严格调节水

灌溉量可使棉花实现最佳营养生长和生殖生长，获得最高棉铃产量（McWilliams, 2003）。海岛棉（*G. barbadense*）的花和棉铃的形成可以通过持续的短日照、最佳湿度和低蒸发速率而得以提高（Sawan *et al.*, 2004、2005）。

## 2. 栽培

### 播种

播种棉花需要仔细整备土壤，以保持足够的湿度，从而有利于发芽和根系快速生长。建议预先准备田埂，这有利于获得足够的持水量和保持最佳的温度。适宜播种期是由温度决定的。对于棉花的生长和产量，温度是一个决定因素（ACCRC, 2001; Robertson *et al.*, 2007）。在土壤 10 cm 深处至少连续 3 天温度超过 14℃ 才可开始播种。播种太早（低温）或是太迟（缩短生长期）对皮棉产量都有负面影响（Kittock *et al.*, 1987）。由于提高海岛棉（*G. barbadense*）产量需要更长的生长期（大于 200 d），延迟播种对产量有较大的影响（Kittock *et al.*, 1981, 1985; Silvertooth, 2001）。

用酸脱绒的种子需用杀菌剂处理防治幼苗病害、用杀虫剂处理防治刺吸式害虫和昆虫（甲虫），播种量为 20~25 kg/hm<sup>2</sup>。播种可以采用精密的机械，4 行或者 6 行的间隔距离是 95~105 cm，与棉铃采摘机距离相适应。部分棉种有时以超窄行距播种，如行距为 30 cm，每平方米 25~30 株。

在适宜的温湿度条件下棉花种子才能发芽。棉花幼苗期比其他作物要长。有时棉花播种在塑料膜下面，这种技术可确保高发芽率并促进花的发育。这种技术在西班牙已经全部机械化了，根据不同的年份 2/3 以上的播种面积可能都采用了。

### 肥料

根据土质在植物基部施磷和钾肥。氮分布于植物的基部至顶部，植物对氮的利用效率是 200 或 250 个单位，当然，这取决于环境和作物的生理状态。每单位皮棉产量的生产，海岛棉（*G. barbadense*）需要的磷、钾和氮要稍微多一些（Unruh 和 Silvertooth, 1996）。然而，棉花对过量的氮肥较为敏感，过量的氮肥能够促进棉花保持更长时间的营养生长并延迟成熟（Silvertooth *et al.*, 1995）。

### 生长调节剂

生长调节剂或除草剂可用来控制棉花的营养生长和植株发育，并应用于收获调节。如在花蕾/花生产早期应用生长调节剂可以减少节间的长度、提高棉铃成铃、促进早期花开或是吐絮。在即将收获的时候，应用调节剂可以促使成熟棉铃开铃和脱叶（Cothren, 1999; Ritchie *et al.*, 2007）。

## 3. 生物环境

### 丛枝菌根真菌（VAM）

棉花能够从土壤当中成功长出来依赖于与菌根真菌之间的相互作用（Youssef 和 Mankarios, 1974; ACCRC, 2002; Nehl 和 Allen, 2004）。真菌（如丛枝菌根真菌（*Glomus mosseae*））生长于根部皮层细胞之间，在皮层细胞中形成具有质膜的丛枝菌根，它是真菌与植物间进行矿物质和碳水化合物交换的地点。磷吸收的提高有利于棉花生长。丛枝菌根真菌有利于减少植物的发病率和病害危害程度（Hu 和 Gui, 1991; Liu, 1995）。

### 害虫

害虫和病害的防治需要较高的成本 (Oerke, 2006), 这就需要反复地使用杀虫剂和杀菌剂。很多害虫以棉花为食 (Matthews, 1989; Delattre, 1992)。鼓励将害虫天敌昆虫纳入到害虫综合防治体系中来。栽培通过基因工程手段而开发的某些害虫的抗性品种, 已经取得了作物某些主要害虫治理的重大进步。

有害的节肢动物能够影响到棉铃的纤维品质。蚜虫 (棉蚜 *Aphis gossypii*、黑豆蚜 *A. craccivora*、桃蚜 *Myzus persicae*) 和烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 是影响棉纤维品质的主要害虫, 如果在生长季节后期不进行防治的话, 会产生带有黑色斑点的黏性纤维。粉螟 (*Platyedra gossypiella*)、各种半翅目害虫如草盲蝽 (*Lygus*)、各种螨类如二斑叶螨 (*Tetranychus urticae*) 等也能减少纤维产量、降低纤维品质。影响棉铃产量的重要害虫有棉铃虫 (*Helicoverpa armigera*) 和 (*H. punctigera*), 棉斑实蛾 (*Earias insulana*) 主要减少纤维产量。鳞翅目害虫如甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua*) 和棉贪夜蛾 (*Spodoptera littoralis*) 不大常见。棉铃象甲 (*Anthonomus grandis*) 在有些地区危害较大。其他重要害虫包括蚕豆微叶蝉 (*Empoasca lybica*) (浮尘子科)。

相对于陆地棉 (*G. hirsutum*) 来说, 海岛棉 (*G. barbadense*) 棉酚含量更高, 因此对棉铃虫 (Reed, 1994)、小叶蝉 (Matthews, 1994)、螨类具有一定的抗性 (şengonca *et al.*, 1986; Matthews 和 Tunstall, 1994)。

线虫在有些地区对棉花危害严重。包括: 根结线虫 (*Meloidogyne incognita*)、肾形线虫、冠线虫、刺线虫 (Robinson, 1999)、环线虫、螺旋线虫、针线虫、纹线虫、矮化线虫、毛刺线虫、钩针线虫、短体线虫、陈氏盾线虫和针线虫。

## 病害

在棉花的众多病害中 (Kirkpatrick 和 Rothrock, 2001), 最主要的是枯萎病, 主要是由大丽轮枝菌 (*Verticillium dahliae*) 引起的。这种真菌病害广泛分布在陆地棉 (*G. hirsutum*) 栽培地区; 澳大利亚也有一些通过常规育种而培育的抗性品种 (OGTR, 2008)。其他的一些病害, 如猝倒病, 由一些复杂的致病因子引起, 对作物产生重要影响。主要的病原体是立枯丝核菌 (*Rhizoctonia solani*)、终极腐霉 (*Pythium ultimum*)、烟草根腐霉 (*Thielaviopsis basicola*)、镰刀菌 (*Fusarium spp.*)。

许多真菌与棉花的病害发生有关, 或作为初级病原体, 或作为次生侵染菌: 链格孢属 (*Alternaria spp.*), 棉壳二孢菌 (*Ascochyta gossypii*)、黄曲霉菌 (*Aspergillus flavus*)、尾孢菌属 (*Brasiliomyces malachrae*)、草本枝孢 (*Cladosporium herbarum*)、镰刀菌 (*Fusarium spp.*) (如尖孢镰刀菌 (*F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum*))、棉小丛壳菌 (*Glomerella gossypii*) (anamorph *Colletotrichum gossypii*)、肉桂枝枯病菌 (*Lasiodiplodia theobromae*) (synonym *Diplodia gossypina*)、白粉病菌 (*Leveillula taurica*) [anamorph *Oidiopsis haplophylli* (synonyms *O. gossypii*, *O. sicula*)]、菜豆壳球孢菌 (*Macrophomina phaseolina*)、瓜类蔓枯病菌 (*Mycosphaerella spp.*)、针孢酵母属 (*Nematospora spp.*)、棉层锈菌 (*Phakopsora gossypii*)、棉根腐病 (*Phymatotrichopsis omnivora*)、大豆疫霉菌 (*Phytophthora spp.*)、棉花锈病原菌 (*Puccinia cacabata*)、乱子草柄锈菌 (*P. schedonardi*)、草坪草腐霉枯萎病 (*Pythium spp.*)、齐整小核菌 (*Sclerotium rolfsii*)。

这些病害导致的棉花烂铃能够导致严重减产。在高湿度和寡照条件下栽培的棉花，受害更为严重。机械损伤也会加重这种病害的发生程度。特别是如果吐絮棉铃长期接触雨水，或长期置于高湿度环境下，这些真菌主要是污染纤维。除了造成棉花纤维脱色之外，这些病原体也会使某些基本成分发生酶解，如纤维素经常发生酶解。

其他棉花病害可由细菌引起，如野油菜黄单胞菌（*Xanthomonas campestris* pv. *Malvacearum*），同样也可由病毒引起，如白麻属植物花叶病毒、棉花缩叶病毒、棉花黄色花叶病毒、棉花红叶病毒。棉花簇顶、叶色斑、卷叶病害的病原尚不清楚。

### 杂草

棉田杂草防除非常重要，一般采用机械除草和化学除草。许多除草剂都被用于棉花栽培中，有的在播种前和/或出苗前施用，少数用在出苗后施用（表 3）。综合杂草防除措施可降低对单一除草剂的依赖性，包括使用作物轮作和农田卫生防疫措施来减少杂草种子的扩散（Charles, 2002; Roberts 和 Charles, 2002）。通过基因工程方法而开发的除草剂抗性品种的栽培也显著改善了作物的杂草治理。

表 3 各种杀虫剂的施用时间

---

土地平整时、播种前
播种前
播种前、播种后
播种后马上
播种前、出苗前
出苗前
出苗前、出苗后
播种后马上、出苗后
出苗后

---

在不同的地区和不同的农事管理措施中，总有常见的杂草和非常麻烦的杂草发生。各地区值得注意的杂草属的一些种见本章附录 2。

#### 4. 收获和加工（轧棉和破碎）

为了有助于收获和随后的轧棉（从种子上获得棉绒），棉植株需要用化学处理使其叶片脱落。这样可以提高棉纤维的清洁度和质量。机械收获主要是每 2 行或 4 行用梭型采棉机进行。

轧棉最后一步是要根据纤维的长度和等级进行分类。分离的棉子进一步加工，首先从棉子仁中分离出棉子壳。将棉子仁压榨出油，将油提炼和加工，用于人类食品或其他产品中。棉子壳用于牲畜饲料和工业产品，剩下的棉子仁（高蛋白含量）加工成牲畜用的棉子粕。陆地棉（*G. hirsutum*）种子有短绒，需要通过机械和化学方法进行脱绒。这些分离的短绒用于各种目的，如作为纤维素的基础用料用于食品或其他消费产品中。为了保持海岛棉（*G. barbadense*）的优质棉纤维质量，采收和轧棉技术与陆地棉（*G. hirsutum*）不同。由于海岛棉（*G. barbadense*）没有棉短绒，其种子或以未加工的“子棉”或是加工后的黑色种子形式存在。

## 5. 作物轮作

棉花作物轮作是指棉花和其他常规作物在同一地区进行轮作。尽管如此，与一些最佳的农业实践相反，有些棉花在 2 年或是更长的时间内在同一土地上种植。重复的次数需减少以克服病害（特别是轮生菌）对作物造成的产量损失。

# 第四节 生殖生物学、传播和稳定

## 1. 花的生物学、授粉和种子发育

开花的顺序是从植株的底部到顶部，从中央到外围。花期是指花蕾出现后的 20~25 d。花外蜜腺的分泌在开花前的 5~6 d，在开花时达到最大（Adjei-Mafo 和 Wilson, 1983a; Wäckers 和 Bonifay, 2004）。在开花前，花冠延伸至花苞之上，第二天早上开花和花蜜腺开始分泌（Waller *et al.*, 1981）；在当晚花瓣变成深粉红色并且萎蔫（Fryxell, 1979; Waller *et al.*, 1981; Eisikowitch 和 Loper, 1984; Sanchez 和 Malerbo-Souza, 2004）。花开之后，雄蕊打开，散发出花粉粒，每个雄蕊约有 900~350 个花粉粒；花粉粒圆球状、较大（直径是 100~140  $\mu\text{m}$ ），海岛棉（*G. barbadense*）花粉粒比陆地棉（*G. hirsutum*）花粉粒大（Srivastava, 1982; Wetzler 和 Jensen, 1992; Kakani *et al.*, 1999; Savaşkan, 2002; Watanabe *et al.*, 2006）。柱头在开花期间一般可接受花粉（McGregor, 1976）。

在棉花中通常发生自花授粉。由于花粉粒大、重且略有黏性，被风传播较为困难（McGregor, 1976; Umbeck *et al.*, 1991; Borém *et al.*, 2003）。在潮湿的实验室环境下，Richards 等（2005）发现 8 h 之后，90% 的花粉有活力；16 h 之后，31% 的花粉有活力；32 h 之后，7.5% 的花粉有活力。但是在棉铃虫（*Helicoverpa armigera*）的喙上，8 h 之后花粉粒 81% 是没有活力的。

棉花尽管在多数情况下为自花授粉，但是在适宜的传粉昆虫存在时，也存在低水平的异花授粉，这种异花授粉可以提高产量（McGregor, 1976; Tanda, 1984; Mamood *et al.*, 1990; Rhodes, 2002; Sanchez 和 Malerbo-Souza, 2004; Llewellyn *et al.*, 2007）。传粉昆虫的物种库以及种群数量在不同的地区、不同的位置、不同季节和不同时间是不同的。自发的（不经过人为帮助）或天然的异交绝大部分依赖于当地的昆虫种群，包括本地昆虫和外来引入昆虫（Moffett *et al.*, 1976; Berger *et al.*, 1988; Freire *et al.*, 2002; Rhodes, 2002; Sanchez 和 Malerbo-Souza, 2004; Danka, 2005; Van Deynze *et al.*, 2005; Llewellyn *et al.*, 2007）。花外蜜腺比花萼的花蜜腺更容易让昆虫接近，所以访花昆虫通常并不总是传粉昆虫（Moffett *et al.*, 1975; McGregor, 1976; Tsigouri *et al.*, 2004; Danka, 2005）。在一些地区雄蜂、蜜蜂、土蜂、黄蜂都是传粉昆虫（McGregor, 1976; Free, 1993; Delaplane 和 Mayer, 2000）。意蜂（*Apis mellifera*）是一种较为重要的传粉昆虫，但是它不喜欢棉花花粉（McGregor, 1976; Eisikowitch 和 Loper, 1984; Vaissière *et al.*, 1984; Waller *et al.*, 1985; Loper, 1986; Vaissière, 1991; Vaissière 和 Vinson, 1994; Danka, 2005; Van Deynze *et al.*, 2005）。在使用杀虫剂时，应采取保护措施保护传粉昆虫。如在有效的开花期不要使用杀虫剂（Delattre, 1992; Bourland *et al.*,

2001; Sekloka *et al.*, 2007)。

试验小区或作物的隔离取决于是否存在传粉昆虫以及传粉昆虫的飞行距离以及期望的结果 (Llewellyn *et al.*, 2007)。隔离带的设置因条件和目的不同变化非常大。从源出发, 花粉介导的基因流急剧下降, 如超过 10 m 概率则低于 1% (Van Deynze *et al.*, 2005)。从实验可知, 通常建议田间试验的隔离带为土耳其, 8~10 m (Sen *et al.*, 2004); 希腊, 10 m (Xanthopoulos 和 Kechagia, 2000); 巴西, 20 m (Freire, 2002a); 印度, 33 m (Singh 和 Singh, 1991); 中国, 60 m (Zhang *et al.*, 2005)。由其他棉花组成的保护行也可有效隔离 (Simpson 和 Duncan, 1956)。在澳大利亚, 20 m 的棉花缓冲区或 50 m 的空地是认可的有效隔离带, 但是在某种程度上讲距离越远越好 (Llewellyn *et al.*, 2007)。在巴西, 4 m 宽的玉米边界行可使棉花的异源杂交从 15% 降到 5%, 如果将玉米作为保护行的话, 建议采用 100 m 的隔离带 (Castro *et al.*, 1982; Freire, 2005)。

由于棉田栽培区域的增加或隔离的标准更加严格, 建议采用的隔离带也有所增加, 或使用大面积的封育区。OECD (世界经济合作组织) 种子规划分委员会 (Seed Schemes) 对棉花的隔离距离进行了规定: 陆地棉 (*G. hirsutum*) 和海岛棉 (*G. barbadense*) 商业用种子的隔离距离分别为 200 m 和 600 m, 其原种的隔离带分别为 600 m 和 800 m (OECD, 2008)。在巴西, 根据要求不同, 棉花的隔离带根据不同的目的而也有所调整, 一般为 250 m 或是 800 m (Freire, 2005)。某些情况下, 隔离带需要达到 1 000 m 甚至更多 (澳大利亚) (Llewellyn *et al.*, 2007)。Van Deynze 等 (2005) 发现间距为 1 625 m 时, 花粉介导的基因流概率为 0.04% (美国加利福尼亚)。在夏威夷, 为了防止与当地的特有野生种毛棉 (*G. tomentosum*) 杂交, 不允许大规模种植 Bt 棉花 (Hawkins *et al.*, 2005)。在巴西东北部, 为了保护当地特有的野生种黄褐棉 (*G. mustelinum*), 至少有 3 000 m 的隔离区域被划为禁止棉花种植区 (Barroso *et al.*, 2005; Freire, 2005)。

通过自花或异花授粉落在黏性柱头上的适宜的花粉粒, 在 30 min 以内萌发 (Pundir, 1972)。授粉过程中对花粉的基因型较为敏感, 有正面影响也有负面影响, 甚至在陆地棉 (*G. hirsutum*) 的一些株系中出现不亲和性 (McGregor, 1976; Gawel 和 Robacker, 1986; Pahlavani 和 Abolhasani, 2006)。在授粉 12~30 h 内, 花粉管通过花柱到达子房和胚珠, 然后受精。开花后 4~5 d 受精卵发生细胞分裂。

种子开始于受精。正常发育遵循 S 型曲线, 开花 7~18 d 内种子和果实发育最快 (Oosterhuis 和 Jernstedt, 1999)。开花 25 d 之后, 椭圆形种子达到最大。棉铃发育要经过 3 个阶段: 增大期、填充期和成熟期。随着棉子的生长, 纤维延伸; 伴随棉铃的充实, 种子和纤维体积达到最大。每根纤维都是由种皮的单个表皮细胞发育而成。3 个星期之后, 棉铃的填充期开始, 纤维素开始在延伸纤维的空壳内填充。填充期要持续到第 6 周, 然后棉铃开始成熟和脱水 (Ritchie *et al.*, 2007)。

每个棉铃有 3~5 个铃室, 每个铃室内有纤维附着和包围的种子。棉铃中种子的平均数目取决于很多因素, 包括基因型、棉铃在植物的位置、植物生长发育过程中所受的胁迫等。大约每棉铃含有 20~35 粒 (可达 45 粒) 种子。受精之后如果发育失败, 将导致胚不能发育成成熟的种子; 只有部分发育, 包括各种长度的不成熟棉纤维发育, 这样使棉绒的生产复杂化 (Bolek, 2006)。

## 2. 传播

从棉属不同寻常的进化历史可以知道，其传播的能力比较强，包括各个跨大陆传播事件和一些种间杂交等而形成一些新的种。如在过去的 1 百万至 2 百万年里，都发生过长距离的传播，达尔文氏棉 (*G. darwinii*) 的祖先种从南美到加拉帕戈斯群岛，夏威夷棉 (*G. tomentosum*) 的祖先种从中美洲到夏威夷群岛。在每个事件中，入侵的四倍体棉花都能进化成当地的种，这些种可在当地很好地定殖，并能够传播到群岛的各个岛屿 (Wendel 和 Percy, 1990; Sherwood 和 Morden, 2004)。

在数千年中，早期的人们就已驯化棉花的栽培品种、扩大棉花的栽培范围。4 个得以应用的栽培种已经被传播到其起源和多样性中心以外的新地区 (Brubaker *et al.*, 1999c)，有时在当地定殖和自由生活或具有不同程度的本土化。在这一点上，驯化品种真正的野生分布至今还是模糊的 (Westengen, 1958)。海岛棉 (*G. barbadense*) 野生种的分布在南美洲地区已经很清楚，但陆地棉 (*G. hirsutum*) 在中美洲 (和可能的加勒比) 的起源范围不是很清楚 (Stephens, 1958; Brubaker 和 Wendel, 1994)。类似地，亚洲棉 (*G. arboreum*) 和草棉栽培亚种 (*G. herbaceum*) 的起源中心或范围仍然不是很清楚。

种子的传播因不同季节、不同地区、不同环境而不同 (OGTR, 2008)。在自然情况下，风、水、鸟类都可作为传播媒介 (Stephens, 1958、1966; HEPX, 2007)。在农业上，棉子的传播通常在运输 (Addison *et al.*, 2007)、牲畜饲喂 (Coppock *et al.*, 1985; Sullivan *et al.*, 1993a、1993b) 或不利的的气候条件下发生，很少通过动物传播 (Smith, 1995)。

## 3. 种子休眠和萌发

尽管棉花种子天然或者诱导的自然休眠期为 2~3 个月或更短，“硬子”是不适合于生产应用的。通过驯化和选择育种，现代栽培品种的这一性状已经降到了最短或完全没有了 (Stephens, 1958; Hopper 和 McDaniel, 1999; Paiziev 和 Krakhmalev, 2006; OGTR, 2008)。

不同批次的陆地棉 (*G. hirsutum*) 种子的质量和活力 (潜在一致的发芽潜力) 差异较大 (Hopper 和 McDaniel, 1999)。影响种子相对品质的因素有成熟种子的化学组成、种子收获前的环境条件。提高幼苗活力的选择育种已经被纳入到陆地棉 (*G. hirsutum*) 育种计划中 (Bourland, 1996)。

种子发芽很大程度上依赖于种子的类型 (Eastick 和 Hearnden, 2006)。用于种植的陆地棉 (*G. hirsutum*) 黑种子 (轧花后用酸脱绒处理过的) 发芽率最高。新种子发芽率较低，主要是由于纤维环绕形成了子叶长出的机械障碍。有短绒的毛子 (陆地棉 *G. hirsutum*) 发芽率介于这两者之间。

种子的栖境类型可影响发芽率。实验研究表明，扩散和定殖的陆地棉 (*G. hirsutum*) 种子 (Eastick 和 Hearnden, 2006) 在诸如牲畜围栏、水道两旁等人为干扰生境下 (尤其是掩埋的种子) 发芽率最高，但是在非人为干扰的生境和路边，种子的发芽率降低了很多。本试验的目的旨在通过将种子播种到平整的地面，略为掩埋，然后浇水，从而使种子萌发和最初的成苗最大化。接下来小苗在某一地点的持续生长和甄选则只取决于生境条件。



#### 4. 杂草及逸生性

陆地棉 (*G. hirsutum*) 和海岛棉 (*G. barbadense*) 可不通过农业生产种植而逃逸生存。在很多地区的适宜区域, 棉花可以野化 (变成野生的) 或者在自然状态下生长。不过, 棉花作为作物在许多国家已有几十到几百年的种植史, 至今尚未报道其作为入侵杂草或恶性杂草的报道 (如 Holm *et al.*, 1979、1997; Randall, 2002; Weber, 2003)。非生物和生物因子决定了棉花是否能够在特定的环境下定殖, 这些因素包括生长季节的长度、寒冷季节或干旱季节的严重性、降雨量、土壤类型、与其他植物的竞争力、植食性 (被昆虫和其他动物取食)、物理损害 (如踩踏或火) (Eastick 和 Hearnden, 2006)。

最近在澳大利亚对植棉区域棉花的杂草化和归化做了一个较为全面的综述 (OGTR, 2008)。人们认为这一作物种并不会影响农业生产, 或影响当地的生物多样性 (Tothill *et al.*, 1982; Lazarides *et al.*, 1997)。陆地棉 (*G. hirsutum*) 从 20 世纪 60 年代或 20 世纪 70 年代在澳大利亚北部开始种植。现在陆地棉 (*G. hirsutum*) 和海岛棉 (*G. barbadense*) 已经出现了各自的归化种群, 包括在一些保护区中出现 (Sindel, 1997; Eastick, 2002)。

在澳大利亚所有种棉区均可见自生棉花, 比较常见的是棉子用作牲畜饲料 (Eastick 和 Hearnden, 2006)。这些自生棉花植株通常被牲畜啃掉或通过路边的管理措施除去, 从而限制其持续存在和繁衍的潜力 (Eastick 和 Hearnden, 2006; Addison *et al.*, 2007)。

2002 年、2004 年和 2005 年在澳大利亚沿着用作牲畜饲料的陆地棉 (*G. hirsutum*) 轧棉种子运输线路的调查发现, 这种植物通常不在路边环境中定殖, 即使作为暂时的群体也未出现在同一线路运输 12 年以上的情形 (Addison *et al.*, 2007)。陆地棉 (*G. hirsutum*) 自生植株倾向于在有规律且严重受到人为干扰的环境中定殖。

在另外一个实验 (Eastick, 2002; Eastick 和 Hearnden, 2006) 中发现, 陆地棉 (*G. hirsutum*) 的定殖时间多于 1~2 年的多年生特性只在增加水和营养的生境下 (如家畜圈) 发现。尽管棉花在家畜圈中可以生长并实现生殖成熟, 但种子的多年生特性和种子传播受到踩踏和牲畜取食的限制; 在周边地区未受人干扰的矮树丛生境中未见自生自长的棉花植株。

有人已经建立了预测野化棉花在澳大利亚能够长期生存适宜气候区域的精确模型 (Rogers *et al.*, 2007; OGTR, 2008)。模型预测显示, 澳大利亚当地的棉花生长区冬季气温太低, 不适合永久棉花群体的定殖。这一模型预测表明, 在澳大利亚北部干旱是主要的限制性因素; 在具有合适气候的东北部海岸棉花具备进行归化的潜力。土壤肥力、植物竞争性和火都可降低永久性种群定殖的概率。

## 第五节 遗传学和杂交

人们对棉花种质资源已经进行了详细的描述 (Percival *et al.*, 1999)。在棉花育种过程和应用相关技术所制定的不同目标受到很多因素的制约, 如生物约束因素、对非生物胁迫的抗性以及市场需求等其他因素 (Niles, 1980; Calhoun 和 Bowman, 1999; Mergeai, 2006a)。育种人员在 2000 年进行的一项调查发现, 陆地棉 (*G. hirsutum*) 育种工作用的是近缘亲本的杂交, 其次是与现有杂交种的回交, 或是已有组合的重新选育, 只有少于

3%的育种材料来自于非陆地棉 (*G. hirsutum*) 的育种材料 (Bowman, 2000)。在澳大利亚, 从 1983 年开始, 育种贡献了产量提高的 45% (Constable *et al.*, 2001)。

### 1. 基因组

根据棉属细胞遗传学以及种间杂交试验中形成存活的或可育种间杂交种的能力, 棉属种被分为 8 个二倍体组和一个四倍体组 (第二节, 表 2) (Edwards 和 Mirza 1979; Endrizzi *et al.*, 1985; Stewart, 1995)。通常属于同一个组的棉种能够杂交形成正常的减数分裂配对, 并且至少部分  $F_1$  代是可育的杂种。但是不同组间的棉种杂交很少形成杂交种, 即使形成杂交种其减数分裂也不正常, 且  $F_1$  代不育。

D 基因组是最小的, 2C 核 DNA 的平均含量只有 1.81 pg, 而 A 基因组是 D 基因组的近两倍即 3.47 pg; 四倍体 AD 基因组的核 DNA 含量近似为两者的相加值, 为 4.91 pg, 说明在多倍体化过程中可能发生了部分 DNA 片段的丢失 (Hendrix 和 Stewart, 2005; Grover *et al.*, 2007、2008)。二倍体基因组 (和四倍体基因组亚组) DNA 含量的不同主要是重复 DNA 转座因子差异扩增的结果 (Hawkins *et al.*, 2006)。

在棉属异源四倍体种中 ( $2n=4x=52$ ), 四倍体的 A 基因组中的 13 条染色体比 D 基因组的 13 条染色体要大、比已鉴定的各亚基因组中的单条染色体要大 (Muravenko *et al.*, 1998; Rong *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2006)。海岛棉 (*G. barbadense*) A 基因组染色体的平均长度是 4.20  $\mu\text{m}$  (范围是 2.23~5.81  $\mu\text{m}$ ), 有 7 条大于或等于 4.34  $\mu\text{m}$ ; D 基因组的染色体的平均长度是 3.29  $\mu\text{m}$  (范围是 1.76~4.25  $\mu\text{m}$ ) (Muravenko *et al.*, 1998)。二倍体亚洲棉 (*G. arboreum*) 的 A 基因组 13 条染色体已经被鉴定, 并与四倍体陆地棉 (*G. hirsutum*) 的 A 亚组的 13 条染色体有很大相关性 (Wang *et al.*, 2008)。

棉花的近期基因组学研究, 提供了较为全面的结果 (Preetha 和 Raveendren, 2008; Zhang *et al.*, 2008)。迄今最完整的四倍体遗传图谱 [来自陆地棉 (*G. hirsutum*)  $\times$  海岛棉 (*G. barbadense*)  $F_2$  群体] 有 2 584 个位点, 26 个染色体连锁群的标记平均间距是 1.72 cM (~606 kbp), 涵盖了每个亚基因组的所有 13 条染色体 (Rong *et al.*, 2004)。亚洲棉 (*G. arboreum*) 基因组遗传连锁图谱已经绘制, 且与陆地棉 (*G. hirsutum*) 的 A 型亚基因组有很大的关联 (Desai *et al.*, 2006; Ma *et al.*, 2008)。

根据陆地棉 (*G. hirsutum*) 的二倍体核平均 2C DNA 含量是 4.93 pg, 从而估计单倍体 DNA (1C 值) 的含量为 2 410 Mbp (Hendrix 和 Stewart, 2005)。国际研究人员联合体计划完成陆地棉 (*G. hirsutum*) 核基因组序列测序 (Chen *et al.*, 2007), 并首先测定了与 D 基因组祖先关系较近的近缘种雷蒙德氏棉 (*G. raimondii*), 其基因组要小很多 (880 Mbp/1C) (Hendrix 和 Stewart, 2005)。陆地棉 (*G. hirsutum*) (Lee *et al.*, 2006) 和海岛棉 (*G. barbadense*) (Ibrahim *et al.*, 2006) 叶绿体全 DNA 序列已经测序完成。

棉花基因组的复杂性表现在多方面。二倍体属被认为是古多倍体 (可能是大多数被子植物的情形)。古代的多倍体化事件 (整个基因组复制) (从  $2n=14$  到  $2n=28$ ) 发生在 1.3 千万~1.5 千万 (~3.0 千万) 年以前, 锦葵科产生了二倍体棉属 ( $2n=26$ ) (Muravenko *et al.*, 1998; Brubaker *et al.*, 1999a; Wendel 和 Cronn, 2003; Blanc 和 Wolfe, 2004; Rong *et al.*, 2004、2005; Ma *et al.*, 2008)。因此, 基因在那个古代起源事件中加倍, 物种继续进行基因组进化和基因进化 (Small *et al.*, 2004); 在最近形成的异源四

倍体中基因再次加倍，从而产生了现在的 2 个主要的四倍体种。

棉属异源四倍体形成时过多的对应基因（同源类似物）的功能和进化命运已经被系统研究。在这个过程中，出现了一系列的分化。有些情况下是基因组加倍（基因加倍）开始时马上开始的，有些品系还长期处于进化之中（Wendel 和 Cronn, 2003; Adams 和 Wendel, 2004; Adams, 2007; Liu 和 Adams, 2007; Wang *et al.*, 2007; Flagel *et al.*, 2008）。Paterson (2005) 描述了一些提高棉花产量的 QTL 位点与这些同源类似物有关。

## 2. 种内杂交

很明显，要提高生产效益主要依赖于皮棉的产量。因此许多育种工作的终极目标就是提高棉绒的产量。利用种内杂种优势增加产量作为育种目标已经很久了（Zhang 和 Pan, 1999）。皮棉产量是一个由多基因和环境互作的复杂的性状。要提高其产量，需要产量构成因子之间协调平衡。由于缺乏有效的杂交系统，杂种优势很难付诸现实。许多雄性不育系统已经被发现（Percy 和 Turcotte, 1991; Basu, 1996），但是雄性不育及其恢复因子在不同的环境中通常不够稳定。杂种优势除了依靠大量劳动力进行人工去雄和手工杂交的地区之外还没有商业应用。在印度，40% 的棉花产量来自于陆地棉（*G. hirsutum*）种内杂交（Chaudhry, 1997）。Meredith (1999) 报道在  $F_1$  代中杂种优势表现为 21.4%， $F_2$  代中表现为 10.7%，尽管如此，纤维品质性状所表现的杂种优势只有 0~2%。

## 3. 种间杂交

在精密的实验条件下，棉花和锦葵科的其他一些属杂交可以产生可育杂种植株已有报道（Mehetre *et al.*, 1980），但是自发的属间杂交几乎是不可能的。在棉属中，栽培棉遗传材料通过花粉的有性转移可以传到某些物种中。就主要作物的改良而言，根据棉花种间产生可育杂种以及进行同源重组的能力，可将棉花分为 3 个基因库（Stewart, 1995; Percival *et al.*, 1999）。

大多数栽培棉是四倍体（主要是陆地棉 *G. hirsutum*），所以与二倍体种不亲和——因此这两个组棉种是不会自发杂交并产生可育后代的，其杂交试验难度大并需要较复杂的育种程序（Mergeai, 2006b）。而且实验获得的二倍体基因组间的杂种  $F_1$  代几乎总是不育的或是育性弱（Endrizzi *et al.*, 1984, 1985; Brown 和 Brubaker, 2000; Cronn 和 Wendel, 2004）。

### (1) 初级基因库——四倍体

四倍体 AADD 种具有有性杂交亲合性，与 1 百万至 2 百万年前的杂交事件之后的分化相一致，杂交事件后，杂交种衍化成 3 个进化家系（Wendel 和 Cronn, 2003）。初级基因库包括 *Karpas* 亚属：3 个野生型的四倍体种 [黄褐棉（*G. mustelinum*）、达尔文氏棉（*G. darwinii*）、夏威夷棉（*G. tomentosum*）]，海岛棉（*G. barbadense*）和陆地棉（*G. hirsutum*）的野生种、共栖种、地理种系、分类学来源不详之植物和野化材料。在这些材料间进行杂交比较容易，并且遗传重组频率较高；在现代的品系中，这些优良的性状已经从基因库 [特别是陆地棉（*G. hirsutum*）和海岛棉（*G. barbadense*）] 中被整合（Endrizzi *et al.*, 1984, 1985; Meredith, 1991; Stewart, 1995; Percival *et al.*, 1999）。

### 在亚非大陆四倍体自发杂交

3 个完全野生四倍体种的本地种群在生物地理上广为分布（见本章附录 1）。海岛棉

(*G. barbadense*) 和陆地棉 (*G. hirsutum*) 的野生本地种群地缘上彼此分隔, 也与其他 3 个四倍体种隔开 (Brubaker 和 Wendel, 1994; Westengen *et al.*, 2005; Johnston *et al.*, 2006), 因此在这些四倍体不会发生天然杂交。尽管如此, 如果把这些栽培种与这些野生种或最初的野生种群放在一个地区种植, 其自发的杂交是可以发生的。将各种其他不同的种群与栽培种植株种植在一起自发杂交是可能的。

### 黄褐棉 (*G. mustelinum*)

黄褐棉 (*G. mustelinum*) 是一个分布在巴西东北部半干旱地区的、极为稀有的特有地方种 (Freire *et al.*, 1998; Batista *et al.*, 2005; Barroso *et al.*, 2006; WWF 和 IUCN, 1997), 被认为与原始异源四倍体的祖先最为相似 (Wendel *et al.*, 1994)。实验时, 黄褐棉 (*G. mustelinum*) 能够与陆地棉 (*G. hirsutum*) 杂交, 并在一定程度上也可以与海岛棉 (*G. barbadense*) 杂交, 形成可育的  $F_1$  代和  $F_2$  代杂种及回交后代 (Freire, 2002b; Freire *et al.*, 2002; Gardunia *et al.*, 2007)。在巴西, 自发的基因渗入证据尚不确定, 特别是对陆地棉 (*G. hirsutum*) (Wendel *et al.*, 1994; Freire, 2002a; Freire *et al.*, 2002; Borém *et al.*, 2003; Johnston *et al.*, 2006)。

### 达尔文氏棉 (*G. darwinii*)

达尔文氏棉 (*G. darwinii*) 是一种广泛分布在加拉帕戈斯群岛的地方种, 与海岛棉 (*G. barbadense*) 亲缘关系最近 (Wendel 和 Percy, 1990; Lacape *et al.*, 2007)。被带入到加拉帕戈斯群岛的海岛棉 (*G. barbadense*) 明显包括一些与陆地棉 (*G. hirsutum*) 有明显基因渗入的植株。引种驯化的棉花种不能广泛归化, 但是会出现基因自发流向达尔文氏棉 (*G. darwinii*) (Wendel 和 Percy, 1990)。在试验中, 海岛棉 (*G. barbadense*) 和达尔文氏棉 (*G. darwinii*) 的杂种  $F_2$  代是可育和有活力的。

### 海岛棉 (*G. barbadense*) 和陆地棉 (*G. hirsutum*)

海岛棉 (*G. barbadense*) 原始天然生境被认为是秘鲁北部和厄瓜多尔南部的干燥海岸地区 (Schwendiman *et al.*, 1985; Percy 和 Wendel, 1990; Westengen *et al.*, 2005)。陆地棉 (*G. hirsutum*) 原始天然生境被认为是中美洲中部 (Hutchinson, 1951; Stephens, 1958; Brubaker 和 Wendel, 1994)。陆地棉 (*G. hirsutum*) 尽管使用了数千年, 经过驯化、传播和栽培, 但是其野生种的自然分布仍然不是特别清楚。

许多商业性的海岛棉 (*G. barbadense*) 其高世代品系通过植物育种的方法获得了渗入陆地棉 (*G. hirsutum*) 种质的优良性状 (Wang *et al.*, 1995)。相反的, 研究海岛棉 (*G. barbadense*) 种质渗入陆地棉 (*G. hirsutum*) 则主要利用了前者的优良纤维品质。尽管如此, 杂种优势主要与过度营养生长和晚熟有关, 这样就使得这些杂交种局限于那些生长季节长的地区。将陆地棉 (*G. hirsutum*) 与早熟的短季节海岛棉 (*G. barbadense*) 杂交获得  $F_1$  代, 可以解决这一局限性 (Feaster 和 Turcotte, 1980)。

尽管一些商业育种取得了一定成功, 但是陆地棉 (*G. hirsutum*) 基因渗入到海岛棉 (*G. barbadense*) 的概率非常低, 这些种质资源从中美洲和加勒比地区收集, 这些地区海岛棉 (*G. barbadense*) 自从史前就在陆地棉 (*G. hirsutum*) 广泛栽培地区种植 (Brubaker *et al.*, 1993; Westengen *et al.*, 2005)。基因渗入海岛棉 (*G. barbadense*) 概率非常低的原因有很多, 包括植物生殖生物学、农艺生态学和生态学 (Percy 和 Wendel, 1990;

Brubaker *et al.*, 1993; Jiang *et al.*, 2000; Freire *et al.*, 2002; Borém *et al.*, 2003; OGTR, 2008)。相反, 海岛棉 (*G. barbadense*) 基因渗入陆地棉 (*G. hirsutum*) 则相对普遍 (Wendel *et al.*, 1992; Brubaker *et al.*, 1993; Brubaker 和 Wendel, 1994)。同工酶分析发现, 陆地棉 (*G. hirsutum*) 族系马利—加朗特最容易接受基因渗入 (Brubaker 和 Wendel, 1994; Brubaker *et al.*, 1999c)。但是 SSR 分析马利—加朗特族系来自加勒比地区和巴西莫珂抽取的一些样品, 并未检测到这种基因渗入 (Lacape *et al.*, 2007; *cf.* Freire *et al.*, 2002; Borém *et al.*, 2003)。

### 夏威夷棉 (*G. tomentosum*)

夏威夷棉 (*G. tomentosum*) 是夏威夷群岛的特有种, 与陆地棉 (*G. hirsutum*) 的亲缘关系最近 (DeJoode 和 Wendel, 1992; Hawkins *et al.*, 2005; Waghmare *et al.*, 2005; *cf.* Westengen *et al.*, 2005)。据说, 夏威夷棉 (*G. tomentosum*) 的花在夜间才能接受花粉, 在白天不能, 而且传粉昆虫是蛾子而非蜜蜂 (Stephens, 1964; Fryxell, 1979)。野生的甲虫 (*Aethina concolor*) 可以增强其自花授粉, 并可能影响异花授粉 (Burraston *et al.*, 2005; Burraston 和 Booth, 2006)。栽培的陆地棉 (*G. hirsutum*) 遗传资源流向当地野生夏威夷棉 (*G. tomentosum*) 仍然只是猜测的 (*cf.* Waghmare *et al.*, 2005)。尽管形态学研究表明, 归化的海岛棉 (*G. barbadense*) 可与当地野生夏威夷棉 (*G. tomentosum*) 发生天然杂交 (Stephens, 1964; Münster 和 Wiczorek, 2007), 但是同工酶分析并未提供证据 (DeJoode 和 Wendel, 1992)。

### (2) 二级和三级基因库——二倍体

这些基因库中的物种都是二倍体。在这些二倍体和陆地棉 (*G. hirsutum*) 杂交中, 除了细胞学的障碍之外, 各种生理学障碍也存在, 因此通常关注的焦点是提高作物产量。胚珠的离体培养可部分解决这一问题 (Stewart 和 Hsu, 1978)。要克服这些育性障碍并成功导入具有优良目标性状的基因, 已经建立了 3 种育种策略 (Endrizzi *et al.*, 1985; Meredith, 1991; Stewart, 1995)。在 2 种策略中, 二倍体和四倍体陆地棉 (*G. hirsutum*) 杂交得到不育的三倍体 ( $3x$ ), 只有极少数例外。三倍体基因组用秋水仙碱加倍之后得到六倍体。六倍体和不同的二倍体杂交得到 3 种合成杂种的四倍体。或者是陆地棉 (*G. hirsutum*) 与六倍体杂交得到五倍体 ( $5x$ ), 五倍体可以自交, 或五倍体再与陆地棉 (*G. hirsutum*) 回交得到四倍体。

二级基因库包括进化上关系较近的二倍体, 因此包括 D 基因组 (*Houzingenia* 亚属) 棉种和 A 基因组棉种, 同时包括非洲的 B 和 F 基因组棉种 (见本章附录 1) (Phillips, 1966; Phillips 和 Strickland, 1966; Wendel 和 Cronn, 2003)。

2 个二倍体种的桥梁杂交, 诱导基因组加倍, 然后与陆地棉 (*G. hirsutum*) 杂交, 可以作为基因转移的一种有用策略 (Mergeai, 2006b)。如利用 A 基因组和 D 基因组种杂交, 得到合成的 AD 基因组四倍体种, 这个四倍体又可用于和陆地棉 (*G. hirsutum*) 杂交。因此, 来自于 A 和 D 基因组的基因可以通过此种方法转移到陆地棉中 (Stewart 和 Stanton, 1988; Saravanan *et al.*, 2007)。如利用 ATH 三系杂交种 [亚洲棉 (*G. arboreum*) × 瑟伯氏棉 (*G. thurberi*)] × 陆地棉 (*G. hirsutum*) 已经被用来提高纤维强度。

三级基因库进化上距离较远的二倍体, 包括非洲—阿拉伯 E-基因组物种, 澳大利亚 C-, G-, K-基因组物种(见本章附录 1)(Wendel 和 Cronn, 2003)。在这个基因库中, 有很多的优良基因值得开发(包括转基因融合潜力的评估), 因此促进了针对澳大利亚亚属(*Sturtia*)的重要研究(Brown *et al.*, 1997; Zhang 和 Stewart, 1997; Brubaker *et al.*, 1999b; Brown 和 Brubaker, 2000)。优良性状包括种子中不含棉酚, 这种性状出现于 C-和 G-基因组种。

陆地棉(*G. hirsutum*)与 G-基因组系杂交不可能获得杂交种, 而与 C-基因组杂交很容易获得杂交种; 但是与 K-基因组杂交的能力却处于 C-和 G-基因组之间(Brown 和 Brubaker, 2000)。澳大利亚亚属(*Sturtia*)种之间的实验杂交种从完全不育到在回交中某些减数分裂可育, 但是植株很弱(Brown *et al.*, 1997; Brown 和 Brubaker, 2000)。三级基因库中第一个被导入到陆地棉(*G. hirsutum*)的基因是来自于 C-基因组斯特提棉(*G. sturtianum*), 涉及萜烯类醛甲基化(可减少棉酚的形成)(Bell *et al.*, 1994)。尽管斯特提棉(*G. sturtianum*)是澳大利亚(*Sturtia*)亚属中最容易与陆地棉(*G. hirsutum*)杂交的物种, 但是其 F<sub>1</sub> 代完全不育。

## 第六节 生物技术和遗传转化

驯化和提高棉花产量的努力已经有上千年了, 从选择和传统育种到化学诱变和放射诱变, 再到高级的生物技术。人们对抗病虫性、耐旱耐盐碱等优良性状整合到棉花的栽培品种中一直比较感兴趣, 而其他性状主要集中于改良提高作物产量(Basu, 1996; Paterson 和 Smith, 1999; Wilkins *et al.*, 2000; Jenkins 和 Saha, 2001; Hake, 2004)。种间杂交而幼胚发育不全的可以通过胚挽救获得植株(Mehetre 和 Aher, 2004)。20 世纪 60 年代和 20 世纪 70 年代的研究主要侧重于建立新细胞培养方法。从愈伤组织培养分离原生质体开始, 通过有性不亲和种质的原生质体融合可进行广泛的杂交(Carlson *et al.*, 1972)。Price 等(1977)首先确定了 6 个棉花种的愈伤组织培养条件。Price 和 Smith(1979)首先报道了从棉花的愈伤组织获得体细胞胚的细胞培养体系, 同时还在持续改进之中(Kumar 和 Tuli, 2004; Sakhanokho *et al.*, 2004; Sun *et al.*, 2006)。

将特定基因导入到棉花的主要载体是根癌农杆菌(*Agrobacterium tumefaciens*), Umbeck 等(1987)和 Firoozabady 等(1987)最先报道了棉花核基因组的转化。然后建立了农杆菌(*Agrobacterium*)对 6~7 日龄棉花幼苗下胚轴侵染的基因转移体系(Fillatti *et al.*, 1989)。农杆菌介导法至今发挥着重要的作用(Wilkins *et al.*, 2004)。Finer 和 McMullen(1990)首先报道通过基因枪转化棉花, 后来又有 4 个栽培品种采用不依赖于基因型的粒子束轰击法进行了基因转化(McCabe 和 Martinell, 1993)。被轰击的细胞在组织培养的条件下分化和发育成芽或者全植株。一个主要的问题是再生——仅有少数一些棉花品种(即基因型)比较容易再生。在叶绿体基因组中, 也可以成功进行转化(Kumar *et al.*, 2004)。

抗虫棉和耐除草剂棉花品种已经通过基因工程的方法获得, 并在相当数量的国家进行了商业化种植。第一个转入棉花的重要农艺性状基因是抗虫基因, 来自于苏云金芽孢杆菌

的 *cry1A* (Perlak *et al.*, 1990)。其他一些来自于苏云金芽胞杆菌抗虫基因 (特别是 *cry1Ac*, *cry2Ab*, 最近的 *vip3A*) 也已经转入到棉花中, 这些基因编码的特定蛋白对鳞翅目害虫具有选择性毒性。从黄肥尾蝎 (*Androctonus australis*) 中克隆的具有杀虫活性的 *AaHIT* 基因正用于转基因棉花中, 对一些鳞翅目害虫有抗性 (Wu *et al.*, 2008)。

一些棉花品系通过基因工程手段能够抗除草剂如: 溴草腈、草铵膦、草甘膦或者磺酰脲。商业应用的转基因棉花包含多个转入基因, 如 Bt (*Cry1Ac* + *Cry2Ab*) + 草甘膦抗性基因。

随着技术的持续发展, 也可能通过转基因来改良棉花的其他方面。例如, 增加纤维强度 (Zhu *et al.*, 2006; Shang-Guan *et al.*, 2007) 或是类似于聚脂类没有绉纹的特性 (John 和 Keller, 1996); 或使棉子不含棉子酚 (Sunilkumar *et al.*, 2006) 或是改良油的组分 (Chapman *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2002)。

## 第七节 人类健康与生物安全

自 19 世纪中叶以来, 棉子油得到了广泛应用 (Jones 和 King, 1993)。棉子粕和棉子粉来自于不含棉子酚的棉种, 或是棉子酚被抽提或是含量较低, 有时也可以用作人类消费。OECD 于 2004 年总结了棉子 (包括陆地棉 *G. hirsutum* 和海岛棉 *G. barbadense*) 的加工、主要产物 (油、粕、棉子壳、棉绒) 及其组分, 包括食品和饲料的主要营养物、毒素和抗营养物。

对家畜来说, 棉子是一种非常重要的食品, 具有高能量、高纤维和高蛋白 (Ensminger *et al.*, 1990b)。完整的种子、棉子壳、棉子粉、棉子饼均有重要的应用价值。陆地棉 (*G. hirsutum*) 完整种子也有短绒纤维 (约占 10% 种子含量), 它几乎由纯纤维素构成, 可以被消化。棉子油含有高能值 (Coppock *et al.*, 1985)。棉子壳可以作为一种牛和羊粗粮的重要来源。从棉子上剥下来的外壳主要是由半纤维素和木质素构成, 短绒纤维仍然附着其上。轧棉碎屑可以饲喂反刍动物, 其营养占棉子壳的 90% (Ensminger *et al.*, 1990a)。

棉花植株的一些提取物已经应用于医药上 (*e.g.* Sawyer, 1955; Hasrat *et al.*, 2004)。由于产生多种强烈的生理效应, 棉子酚的医药价值已被研究 (Dodou *et al.*, 2005), 现已被用作男性避孕剂 (Coutinho, 2002)。

### 1. 毒性

棉花植株含有一些对人类和动物健康有不良影响的组分 (OGTR, 2008)。由于棉花组织特别是种子含有抗营养物或有毒物质, 因此大量摄入会产生毒性 (Abou-Donia, 1976; Tumbelaka *et al.*, 1994; Smith, 1995)。与人类健康和生物安全息息相关的最重要物质是棉子酚这种萜烯醛类物质, 其次是环丙稀脂肪酸 (CPFAs) 和单宁酸。

棉子中含有的棉子酚和环丙稀脂肪酸 (CPFAs) 限制了其在动物饲料中用作蛋白添加剂的作用。反刍动物的瘤胃中含有能够降解这些毒性复合物的酶, 因此受到的影响较小 (Kandylyis *et al.*, 1998)。所以棉子只能在食料中占小部分, 且应当逐步加入以避免其潜在的毒性 (Blasi 和 Drouillard, 2002)。

由于海岛棉 (*G. barbadense*) 棉子上面几乎没有棉绒, 比起陆地棉 (*G. hirsutum*) 棉子来说更容易被消化。由于几乎裸露的种子沉在瘤胃中, 很少被咀嚼和消化 (Coppock *et al.*, 1985; Sullivan *et al.*, 1993a、1993b; Zinn, 1995; Solomon *et al.*, 2005)。因此为了使海岛棉 (*G. barbadense*) 棉子更加容易消化, 通常在饲喂之前进行破碎, 不过这一步骤会使牲畜更多地接触到棉酚。如果破碎的海岛棉 (*G. barbadense*) 种子占牛饲料的 7.5% 左右时, 牛的生育能力会降低 (Santos *et al.*, 2003)。

### 棉子酚

棉酚最先在根、叶、花蕾和种子的色素腺体中发现 (Smith, 1961、1967)。它对非反刍哺乳动物、鸟类和许多昆虫和微生物都有毒性; 对哺乳动物的毒性包括降低食欲、体重减轻、呼吸困难 (Berardi 和 Goldblatt, 1980)。棉酚能够提供代谢不能产生的赖氨酸, 并影响线粒体的正常功能 (Yannai 和 Bensal, 1983; Cuellar 和 Ramirez, 1993; Risco *et al.*, 1993)。

一些无腺体棉花的研发目的是用作食品, 但是这种棉花的植株更容易受到病害的侵染 (Delattre, 1992)。在加工过程中, 除去棉子酚和环丙稀脂肪酸 (CPFAs) 或是使它们失活, 可以用棉子粕饲喂猪、家禽和鲟鱼 (Jones 和 Wedegaertner, 1986; Lusas 和 Jividen, 1987)。

棉酚有 2 种不同的异构体 (同一化合物的镜像结构), 它们在海岛棉 (*G. barbadense*) 和陆地棉 (*G. hirsutum*) 中所占的比例不同 (Stipanovic *et al.*, 2005)。海岛棉 (*Gossypium barbadense*) 中 (-) - 棉子酚构型含量高 (Sullivan *et al.*, 1993b), 它具有更强的生物学活性。这些异构体具有不同的毒性水平, 且其毒性因不同的动物而异 (Wang *et al.*, 1987; Bailey *et al.*, 2000; Lordelo *et al.*, 2005、2007)。

这 2 种异构体以游离态或结合态存在。在完整的棉子中, 棉子酚主要是以游离态存在。游离态具有更强的生物学活性, 但是在瘤胃中, 结合态通常是不会从棉子中释放的。对反刍动物而言, 瘤胃中有充分发育的微生物群, 可以将游离态的棉子酚转变成结合态的棉子酚, 这样阻止棉酚进入血管 (Santos *et al.*, 2002)。在整个棉子的加工过程中, 棉酚进入油组分和粗碾的组分中。大部分棉子酚在粗碾的组分中与蛋白质结合, 因此其毒性较小。

棉子中棉酚及相关萜烯类化合物在不同物种和品种的含量不同, 也因肥料使用、环境条件 (包括昆虫和病害的胁迫) 的不同而异, 一般变幅在 0.4% ~ 2.0% 之间 (Bell, 1986)。相对于陆地棉 (*G. hirsutum*) 来说, 海岛棉 (*G. barbadense*) 中棉酚含量更高, 多为游离态, 因此建议在家畜饲料中减少海岛棉 (*G. barbadense*) 棉子的用量 (Kirk 和 Higginbotham, 1999)。

### 环丙稀脂肪酸

环丙稀脂肪酸 (CPFAs) 存在于棉子中, 单宁酸存在于叶片和花蕾中 (Chan *et al.*, 1978; Lane 和 Schuster, 1981; Mansour *et al.*, 1997), 两者都是昆虫的驱避剂。环丙稀脂肪酸 (CPFAs), 诸如锦葵酸、莘婆酸和二氢莘婆酸占种子脂质总量的 0.5% ~ 1.0% (Schneider *et al.*, 1968)。陆地棉 (*G. hirsutum*) 中环丙稀脂肪酸 (CPFAs) 含量通常比海岛棉 (*G. barbadense*) 高 (Frank, 1987)。



环丙稀脂肪酸（CPFAs）是一种抗营养化合物，它主要是干扰饱和脂肪的代谢（Rolph *et al.* , 1990; Cao *et al.* , 1993）。用于人类消费的人造奶油和色拉油的棉子油加工过程中，环丙稀脂肪酸（CPFAs）会受到破坏，但是缺乏深加工的动物饲料中，环丙稀脂肪酸（CPFAs）会产生一些不必要的副效应（Goodnight 和 Kemmerer, 1967; Hendricks *et al.* , 1980; Tumbelaka *et al.* , 1994）。

## 2. 过敏原

加工的棉花纤维 99% 以上是纤维素（Wakelyn *et al.* , 2007a、2007b），由于它的刺激作用低而广泛用于医药业。粉碎工人吸入棉灰尘之后会引起哮喘病样的棉纤维吸入性肺炎（Nicholls, 1992），这种病主要是由真菌污染的棉灰尘所致（Salvaggio *et al.* , 1986）。

## 附 录

附录 1 棉花种<sup>①</sup>

种 名	染色体组	分 布
亚洲棉 <i>G. arboreum</i> L.	A <sub>2</sub>	亚洲栽培种
草棉栽培亚种 <i>G. herbaceum</i> L. subsp. herbaceum	A <sub>1-1</sub>	非洲东北部—中亚栽培种
草棉阿非利加棉亚种/变种 <i>G. herbaceum</i> subsp. africanum (G. Watt) Vollesen		
[ synonym <i>G. herbaceum</i> var. africanum ( G. Watt ) J. B. Hutch. ex S. C. Harland]	A <sub>1-2</sub>	南非
长萼棉 <i>G. longicalyx</i> J. B. Hutch. & B. J. S. Lee	F <sub>1</sub>	非洲东中部
三叶棉 <i>G. triphyllum</i> (Harv.) Hochr.	B <sub>2</sub>	非洲西南部
异常棉 <i>G. anomalum</i> Wawra ex Wawra & Peyr.	B <sub>1</sub>	非洲撒哈拉沙漠西南和北部
绿顶棉 <i>G. capitis-viridis</i> Mauer	B <sub>3</sub>	佛得角群岛
三叉棉 <i>G. trifurcatum</i> Vollesen <sup>②</sup>	?	非洲东北部
司笃克氏棉 <i>G. stocksii</i> Masters	E <sub>1</sub>	索马里至巴基斯坦
亚雷西棉 <i>G. areysianum</i> Defflers	E <sub>3</sub>	阿拉伯
灰白棉 <i>G. incanum</i> (O. Schwartz) Hillcoat	E <sub>4</sub>	阿拉伯
索马里棉 <i>G. somalense</i> (Gürke) J. B. Hutch.	E <sub>2</sub>	非洲东北部
贝纳狄尔棉 <i>G. benadirensis</i> Mattei	E	非洲东北部
布里切特氏棉 <i>G. bricchettii</i> (Ulbrich) Vollesen	E	非洲东北部
佛里逊氏棉 <i>G. vollesenii</i> Fryxell	E	非洲东北部
鲁宾逊氏棉 <i>G. robinsonii</i> F. Muell.	C <sub>2</sub>	澳大利亚西部
斯特提棉 <i>G. sturtianum</i> J. H. Willis 变种 sturtianum	C <sub>1</sub>	澳大利亚中部至东部
斯特提棉 <i>G. sturtianum</i> 变种 nandewarensis (Derera) Fryxell	C <sub>1-n</sub>	澳大利亚东部
比克氏棉 <i>G. bickii</i> Prokh.	G <sub>1</sub>	澳大利亚北部至中部
澳洲棉 <i>G. australe</i> F. Muell.	G <sub>2</sub>	澳大利亚西北部
纳尔逊氏棉 <i>G. nelsonii</i> Fryxell	G	澳大利亚北部到东北部
肯宁汉氏棉 <i>G. cuminghamii</i> Todaro	K	澳大利亚北部
皱壳棉 <i>G. anapoides</i> J. M. Stewart, Craven & Wendel, ined. ? <sup>③</sup>	K	澳大利亚西北部
肯宁汉氏棉 <i>G. costulatum</i> Todaro	K	澳大利亚西北部
脉似棉 <i>G. enthyle</i> Fryxell, Craven & J. M. Stewart	K	澳大利亚西北部
林地棉 <i>G. exiguum</i> Fryxell, Craven & J. M. Stewart	K	澳大利亚西北部
伦敦德里棉 <i>G. londonderriensis</i> Fryxell, Craven & J. M. Stewart	K	澳大利亚西北部
马全特氏棉 <i>G. marchantii</i> Fryxell, Craven & J. M. Stewart	K	澳大利亚西北部
<i>G. nobile</i> Fryxell, Craven & J. M. Stewart	K	澳大利亚西北部
长茸棉 <i>G. pilosum</i> Fryxell	K	澳大利亚西北部
杨叶棉 <i>G. populi-folium</i> (Bentham) F. Muell. ex Todaro	K	澳大利亚西北部
小丽棉 <i>G. pulchellum</i> (C. A. Gardner) Fryxell	K	澳大利亚西北部
圆叶棉 <i>G. rotundi-folium</i> Fryxell, Craven & J. M. Stewart	K	澳大利亚西北部
拟似棉 <i>G. gossypioides</i> (Ulbrich) Standley	D <sub>6</sub>	墨西哥西部

种 名	染色体组	分 布
辣根棉 <i>G. armourianum</i> Kearney	D <sub>2-1</sub>	墨西哥西北部 (下加利福尼亚州)
哈克尼西棉 <i>G. harknessii</i> Brandegee	D <sub>2-2</sub>	墨西哥西北部 (下加利福尼亚州)
特伦纳氏棉 <i>G. turneri</i> Fryxell	D <sub>10</sub>	墨西哥西北部 (下加利福尼亚州)
松散棉 <i>G. laxum</i> L. L. Phillips	D <sub>8</sub>	墨西哥中西部
旱地棉 <i>G. aridum</i> (Rose & Standley) Skovsted	D <sub>4</sub>	墨西哥西北部至西南部
裂片棉 <i>G. lobatum</i> Gentry	D <sub>7</sub>	墨西哥中西部
斯温迪芒氏棉 <i>G. schwendimanii</i> Fryxell & S. D. Koch	D <sub>11</sub>	墨西哥中西部
瑟伯氏棉 <i>G. thurberi</i> Todaro	D <sub>1</sub>	墨西哥西北部, 亚利桑那州
三裂棉 <i>G. trilobum</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Skovsted	D <sub>9</sub>	墨西哥西部
戴维逊氏棉 <i>G. davidsonii</i> Kellogg	D <sub>3-d</sub>	墨西哥西北部 (下加利福尼亚州)
克劳茨基棉 <i>G. klotzschianum</i> Andersson	D <sub>3-k</sub>	加拉帕戈斯群岛
雷蒙德氏棉 <i>G. raimondii</i> Ulbrich	D <sub>5</sub>	秘鲁东北部
陆地棉 <i>G. hirsutum</i> L. <sup>④</sup>	(AD) <sub>1</sub>	中美洲
夏威夷棉 <i>G. tomentosum</i> Nuttall ex Seemann	(AD) <sub>3</sub>	夏威夷
海岛棉 <i>G. barbadense</i> L.	(AD) <sub>2</sub>	美国南部和西部
达尔文氏棉 <i>G. darwinii</i> G. Watt	(AD) <sub>5</sub>	加拉帕戈斯群岛
黄褐棉 <i>G. mustelinum</i> Miers ex G. Watt	(AD) <sub>4</sub>	巴西东北部

注: ①大多数种参照 Endrizzi et al. (1984), Fryxell (1992), Fryxell et al. (1992), Percival et al. (1999) 报道。

②*Gossypium trifurcatum* 由 Vollesen (1987) 进行了介绍, Fryxell (1992) 认可这一介绍。Percival et al. (1999) 认为该种可能属于 *Cienfuegosia* 属, 但是 Rapp et al. (2005) 的 cpDNA 分析表明它在 *Gossypium* 属中的分类位置。

③*Gossypium anapoides* 在最近的文献 (Stewart et al., 1997; Zhang 和 Stewart, 1997; Brubaker et al., 1999b; Percival et al., 1999; Brown 和 Brubaker, 2000; Cronn 和 Wendel, 2004) 中已经提到, 但是根据国际植物命名法规 (International Code of Botanical Nomenclature), 它尚未作为新种公布。

④茅叶棉 (*Gossypium lanceolatum* Todaro) 不是一种远缘种, 但是被认为是墨西哥的本地种——属于栽培陆地棉 (*Gossypium hirsutum*) 中的 palmeri 族系 (Brubaker 和 Wendel, 1993)。

## 附录 2 棉花不同区域的杂草属

双子叶植物	单子叶植物
<i>Abutilon</i>	<i>Alopecurus</i>
<i>Achyranthes</i>	<i>Cenchrus</i>
<i>Alternanthera</i>	<i>Commelina</i>
<i>Amaranthus</i>	<i>Cynodon</i>
<i>Boerhavia</i>	<i>Cyperus</i>
<i>Capsella</i>	<i>Dactyloctenium</i>
<i>Celosia</i>	<i>Digitaria</i>
<i>Chamaesyce (Euphorbia)</i>	<i>Echinochloa</i>
<i>Chenopodium</i>	<i>Eleusine</i>
<i>Convolvulus</i>	<i>Leptochloa</i>
<i>Croton</i>	<i>Lolium</i>
<i>Datura</i>	<i>Panicum</i>

(续)

双子叶植物	单子叶植物
<i>Desmodium</i>	<i>Paspalum</i>
<i>Diplotaxis</i>	<i>Poa</i>
<i>Fumaria</i>	<i>Rottboellia</i>
<i>Geranium</i>	<i>Setaria</i>
<i>Heliotropium</i>	<i>Sorghum</i>
<i>Hibiscus</i>	
<i>Ipomoea</i>	
<i>Matricaria</i>	
<i>Merremia</i>	
<i>Oxalis</i>	
<i>Papaver</i>	
<i>Parthenium</i>	
<i>Pavonia</i>	
<i>Plantago</i>	
<i>Polygonum</i>	
<i>Portulaca</i>	
<i>Raphanus</i>	
<i>Ridolfia</i>	
<i>Senna (Cassia)</i>	
<i>Sesbania</i>	
<i>Sida</i>	
<i>Sinapis</i>	
<i>Solanum</i>	
<i>Stellaria</i>	
<i>Trianthema</i>	
<i>Tribulus</i>	
<i>Urtica</i>	
<i>Xanthium</i>	

## ◆ 参考文献

- Abedin, S. 1979. Malvaceae, No. 130 in E. Nasir and S. I. Ali, eds. , Flora of West Pakistan. 107 pp.
- Abou-Donia, M. B. 1976. Physiological effects and metabolism of gossypol. pp. 126 - 160 in Residue Reviews- Residues of Pesticides and Other Contaminants in the Total Environment, Vol. 61 (F. A. Gunther and J. D. Gunther, eds. ) . Springer Verlag, New York.
- ACCRC. 2001. NUTRIpak - A Practical Guide to Cotton Nutrition (I. Rochester, ed. ) . Australian Cotton Cooperative Research Centre, Narrabri, New South Wales. 60 pp.
- ACCRC. 2002. Integrated Disease Management [for Australian Cotton] (by S. J. Allen, D. B. Nehl and N. Moore) . Australian Cotton Cooperative Research Centre, Narrabri, New South Wales. ca. 52 pp.
- Adams, K. L. 2007. Evolution of duplicate gene expression in polyploid and hybrid plants. *Journal of Heredity* 98: 136 - 141.
- Adams, K. L. , and J. F. Wendel. 2004. Exploring the genomic mysteries of polyploidy in cotton. *Biological Journal of the Linnean Society* 82: 573 - 581.
- Addison, S. J. , T. Farrell, G. N. Roberts and D. J. Rogers. 2007. Roadside surveys support predictions of

- negligible naturalisation potential for cotton (*Gossypium hirsutum*) in north-east Australia. *Weed Research* 47: 192 - 201.
- Adjei-Mafo, I. K. , and L. T. Wilson. 1983a. Association of cotton nectar production with *Heliothis punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition. *Environmental Entomology* 12: 1166 - 1170.
- Adjei-Mafo, I. K. , and L. T. Wilson. 1983b. Factors affecting the relative abundance of arthropods on nectaried and nectariless cotton. *Environmental Entomology* 12: 349 - 352.
- Álvarez, I. , and J. F. Wendel. 2006. Cryptic interspecific introgression and genetic differentiation within *Gossypium aridum* (Malvaceae) and its relatives. *Evolution* 60: 505 - 517.
- Álvarez, I. , R. Cronn and J. F. Wendel. 2005. Phylogeny of the New World diploid cottons (*Gossypium* L. , Malvaceae) based on sequences of three low-copy nuclear genes. *Plant Systematics and Evolution* 252: 199 - 214.
- Ano, G. , J. Schwendiman, J. Fersing and J. -M. Lacape. 1982. Les cotonniers primitifs de *G. hirsutum* race yucatanense de la Pointe des Chateaux en Guadeloupe et l' origine possible des cotonniers tétraploïdes du Nouveau Monde. *Coton et Fibres Tropicales* 37: 327 - 332.
- Applequist, W. L. , R. Cronn and J. F. Wendel. 2001. Comparative development of fiber in wild and cultivated cotton. *Evolution & Development* 3: 3 - 17.
- Ashour, N. I. , and A. M. Abd-El' Hamid. 1970. Relative salt tolerance of Egyptian cotton varieties during germination and early seedlings development. *Plant and Soil* 33: 493 - 495.
- Ashraf, M. 2002. Salt tolerance of cotton: Some new advances. *Critical Reviews in Plant Sciences* 21: 1 - 30.
- Bailey, C. A. , R. D. Stipanovic, M. S. Ziehr, A. U. Haq, M. Sattar, L. F. Kubena, H. L. Kim and R. de M. Vieira. 2000. Cottonseed with a high (+) - to (-) - gossypol enantiomer ratio favorable to broiler production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 5692 - 5695.
- Barroso, P. A. V. , E. C. Freire, J. A. B. do Amaral and M. T. Silva. 2005. Zonas de Exclusão de Algodoeiros Transgênicos para Preservação de Espécies de *Gossypium* Nativas ou Naturalizadas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, EMBRAPA Algodão Comunicado Técnico 242. Campina Grande, Paraíba, Brazil. 7 pp.
- Barroso, P. A. V. , C. E. A. Batista, L. V. Hoffmann and A. Y. Ciampi. 2006. Genetic structure and *in situ* conservation of natural populations of *Gossypium mustelinum*. Abstract 10 in International Cotton Genome Initiative (ICGI) Research Conference, Brasilia, Brazil, September 18 - 20, 2006. ICGI, Webpage <http://icgi/tamu.edu/>
- Basu, A. K. 1996. Current genetic research in cotton in India. *Genetica* 97: 279 - 290.
- Batista, C. E. de A. , A. Y. Ciampi, L. V. Hoffmann and P. A. V. Barroso. 2005. Conservação, diversidade e estrutura genética de populações naturais de *Gossypium mustelinum* presente no Semi-Árido Nordeste. 5 pp. in Anais, V Congresso Brasileiro de Algodão, Salvador, Bahia, 29 Agosto - 1 Setembro 2005. EMBRAPA-CNPA (Centro Nacional de Pesquisa de Algodão), Campina Grande, Paraíba, Brazil. CD-ROM.
- Bell, A. A. 1986. Physiology of secondary products. pp. 597 - 621 in J. R. Mauney and J. McD. Stewart, eds. , Cotton Physiology. The Cotton Foundation, Memphis, Tennessee, USA.
- Bell, A. A. , R. D. Stipanovic, M. E. Mace and R. J. Kohel. 1994. Genetic manipulation of terpenoid phytoalexins in *Gossypium*: Effects on disease resistance. pp. 231 - 249 in Genetic Engineering of Plant Secondary Metabolism (B. E. Ellis, G. W. Kuroki and H. A. Stafford, eds. ) . Recent Advances in Phytochemistry Vol. 28. Plenum Press, New York.
- Berardi, L. C. , and L. A. Goldblatt. 1980. Gossypol. pp. 184 - 238 in I. E. Liener, ed. , Toxic Constituents

- of Plant Foodstuffs, 2nd ed. Academic Press, New York.
- Berger, L. A. , B. E. Vaissière, J. O. Moffett and S. J. Merritt. 1988. *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae) as pollinators of male-sterile upland cotton on the Texas High Plains. *Environmental Entomology* 17: 789 - 794.
- Betts, A. , K. van der Borg, A. de Jong, C. McClintock and M. van Strydonck. 1994. Early cotton in North Arabia. *Journal of Archaeological Science* 21: 489 - 499.
- Blanc, G. , and K. H. Wolfe. 2004. Widespread paleopolyploidy in model plant species inferred from age distributions of duplicate genes. *The Plant Cell* 16: 1667 - 1678.
- Blasi, D. A. , and J. Drouillard. 2002. Composition and Feeding Value of Cottonseed Feed Products for Beef Cattle. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service MF - 2538. 22 pp.
- Bolek, Y. 2006. Genetic variation among cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars for mote frequency. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 144: 327 - 331.
- Borém, A. , E. C. Freire, J. C. V. Penna and P. A. V. Barroso. 2003. Considerations about cotton gene escape in Brazil: A review. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 3: 315 - 332.
- Bourland, F. M. 1996. Selecting of improved cotton planting seed quality. Page 624 in Proceedings—Beltwide Cotton Conferences, Nashville, Tennessee, 9 - 12 January 1996. National Cotton Council of America, Memphis, Tennessee, USA.
- Bourland, F. M. , N. R. Benson, E. D. Vories, N. P. Tugwell and D. M. Danforth. 2001. Measuring maturity of cotton using nodes above white flower. *Journal of Cotton Science* 5: 1 - 8.
- Bourland, F. M. , J. M. Hornbeck, A. B. McFall and S. D. Calhoun. 2003. A rating system for leaf pubescence of cotton. *Journal of Cotton Science* 7: 8 - 15.
- Bowman, D. T. 2000. Attributes of public and private cotton breeding programs. *Journal of Cotton Science* 4: 130 - 136.
- Brown, A. H. D. , and C. L. Brubaker. 2000. Genetics and the conservation and use of Australian wild relatives of crops. *Australian Journal of Botany* 48: 297 - 303.
- Brown, A. H. D. , C. L. Brubaker and M. J. Kilby. 1997. Assessing the risk of cotton transgene escape into wild Australian *Gossypium* species. Pp. 83 - 94 in Commercialisation of Transgenic Crops; Risk, Benefit and Trade Considerations. Proceedings of a Workshop, Canberra, 11 - 13 March 1997 (G. D. McLean, P. M. Waterhouse, G. Evans and M. J. Gibbs, eds.) . Cooperative Research Centre for Plant Science and Bureau of Resource Sciences, Commonwealth of Australia, Canberra.
- Brown, H. B. , and J. O. Ware. 1958. Cotton, 3rd ed. McGraw-Hill Book Co. , New York. 566 pp.
- Brown, M. S. 1951. The spontaneous occurrence of amphiploidy in species hybrids of *Gossypium*. *Evolution* 5: 25 - 41.
- Brubaker, C. L. , and J. F. Wendel. 1993. On the specific status of *Gossypium lanceolatum* Todaro. *Genetic Resources and Crop Evolution* 40: 165 - 170.
- Brubaker, C. L. , and J. F. Wendel. 1994. Reevaluating the origin of domesticated cotton (*Gossypium hirsutum*; Malvaceae) using nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs) . *American Journal of Botany* 81: 1309 - 1326.
- Brubaker, C. L. , J. A. Koontz and J. F. Wendel. 1993. Bidirectional cytoplasmic and nuclear introgression in the New World cottons, *Gossypium barbadense* and *G. hirsutum* (Malvaceae) . *American Journal of Botany* 80: 1203 - 1208.
- Brubaker, C. L. , A. H. Paterson and J. F. Wendel. 1999a. Comparative genetic mapping of allotetraploid cotton and its diploid progenitors. *Genome* 42: 184 - 203.

- Brubaker, C. L. , A. H. D. Brown, J. M. Stewart, M. J. Kilby and J. P. Grace. 1999b. Production of fertile hybrid germplasm with diploid Australian *Gossypium* species for cotton improvement. *Euphytica* 108: 199 - 213.
- Brubaker, C. L. , F. M. Bourland and J. F. Wendel. 1999c. The origin and domestication of cotton. Pp. 3 - 31 in W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , *Cotton: Origin, History, Technology and Production*. John Wiley & Sons, New York.
- Burraston, K. N. , and G. M. Booth. 2006. Pollination biology of *Gossypium tomentosum* by the nitidulid beetle, *Aethina concolor*. Abstract, 91st Annual Meeting, Ecological Society of America, Memphis, Tennessee, USA.
- Burraston, K. N. , J. S. Gardner and G. M. Booth. 2005. SEM evaluation of the plant - pollinator interactions between nitidulid beetles and a native tropical Malvaceae species, *Gossypium tomentosum* on Kauai. *Microscopy and Microanalysis* 11 (Suppl. S02): 1150 - 1151.
- Calhoun, D. S. , and D. T. Bowman. 1999. Techniques for development of new cultivars. Pp. 361 - 414 in W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , *Cotton: Origin, History, Technology and Production*. John Wiley & Sons, New York.
- Cao, J. , J. P. Blond and J. Bezard. 1993. Inhibition of fatty acid-6-and-5-desaturation by cyclopropane fatty acid in rat liver microsomes. *Biochimica et Biophysica Acta* 1210: 27 - 34.
- Carlson, P. S. , H. H. Smith and R. D. Dearing. 1972. Parasexual interspecific plant hybridization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 69: 2292 - 2294.
- Castro, E. M. , I. L. Gridi-Papp and E. Paterniani. 1982. Eficiência de barreiras vegetais no isolamento de parcelas de algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 17: 1155 - 1161.
- Chan, B. G. , A. C. Waiss and M. Lukefahr. 1978. Condensed tannin, an antibiotic chemical from *Gossypium hirsutum*. *Journal of Insect Physiology* 24: 113 - 118.
- Chapman, K. D. , S. Austin - Brown, S. A. Sparace, A. J. Kinney, K. G. Ripp, I. L. Pirtle and R. M. Pirtle. 2001. Transgenic cotton plants with increased seed oleic acid content. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 78: 941 - 947.
- Charles, G. 2002. Managing weeds in cotton. Pp. B3. 1 - B3. 22 in *WEEDpak—A Guide for Integrated Management of Weeds in Cotton*. Australian Cotton Cooperative Research Centre, Narrabri, New South Wales.
- Chaudhry, M. R. . 1997. Commercial cotton hybrids. *The International Cotton Advisory Committee Recorder* 15 (2): 3 - 14.
- Chen, Z. J. , B. E. Scheffler, E. Dennis, *et. al.* 2007. Toward sequencing cotton (*Gossypium*) genomes. *Plant Physiology* 145: 1303 - 1310.
- Constable, G. A. , P. E. Reid and N. J. Thomson. 2001. Approaches utilised in breeding and development of cotton cultivars in Australia. Pp. 1 - 15 in J. N. Jenkins and S. Saha, eds. , *Genetic Improvement of Cotton: Emerging Technologies*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, USA.
- Coppock, C. E. , J. R. Moya, J. W. West, D. H. Nave, J. M. Labore and C. E. Gates. 1985. Effect of lint on whole cottonseed passage and digestibility and diet choice on intake of whole cottonseed by Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 68: 1198 - 1206.
- Cornish, K. , J. W. Radin, E. L. Turcotte, Z. Lu and E. Zeiger. 1991. Enhanced photosynthesis and stomatal conductance of Pima cotton (*Gossypium barbadense* L. ) bred for increased yield. *Plant Physiology* 97: 484 - 489.
- Cothren, J. T. 1999. Physiology of the cotton plant. Pp. 207 - 268 in W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , *Cotton: Origin, History, Technology and Production*. John Wiley & Sons, New York.

- Coutinho, E. M. 2002. Gossypol: A contraceptive for men. *Contraception* 65: 259 - 63.
- Cronn, R. , and J. F. Wendel. 2004. Cryptic trysts, genomic mergers, and plant speciation. *New Phytologist* 161: 133 - 142.
- Cronn, R. C. , R. L. Small and J. F. Wendel. 1999. Duplicated genes evolve independently after polyploid formation in cotton. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96: 14406 - 14411.
- Cronn, R. C. , R. L. Small, T. Haselkorn and J. F. Wendel. 2002. Rapid diversification of the cotton genus (*Gossypium*; Malvaceae) revealed by analysis of sixteen nuclear and chloroplast genes. *American Journal of Botany* 89: 707 - 725.
- Cronn, R. C. , R. L. Small, T. Haselkorn and J. F. Wendel. 2003. Cryptic repeated genomic recombination during speciation in *Gossypium gossypioides*. *Evolution* 57: 2475 - 2489.
- Cuellar, A. , and J. Ramirez. 1993. Further studies on the mechanism of action of gossypol in mitochondrial membrane. *Indian Journal of Biochemistry* 225: 1149 - 1155.
- Danka, R. G. 2005. High levels of cotton pollen collection observed for honey bees (Hymenoptera: Apidae) in south-central Louisiana. *Journal of Entomological Science* 40: 316 - 326.
- DeJooode, D. R. , and J. F. Wendel. 1992. Genetic diversity and origin of the Hawaiian Islands cotton, *Gossypium tomentosum*. *American Journal of Botany* 79: 1311 - 1319.
- Delaplane, K. S. , and D. F. Mayer. 2000. Crop Pollination by Bees. CABI Publishing, Wallingford, UK. 344 pp.
- Delattre, R. 1992. [The complexity of cotton/insect relationships: A few examples. ] *Comptes Rendus de l' Académie d' Agriculture de France* 78 (8): 3 - 24.
- Desai, A. , P. W. Chee, J. Rong, O. L. May and A. H. Paterson. 2006. Chromosome structural changes in diploid and tetraploid A genomes of *Gossypium*. *Genome* 49: 336 - 345.
- Dillehay, T. D. , J. Rossen, T. C. Andres and D. E. Williams. 2007. Pre-ceramic adoption of peanut, squash, and cotton in northern Peru. *Science* 316: 1890 - 1893.
- Dodou, K. , R. J. Anderson, D. A. P. Small and P. W. Groundwater. 2005. Investigations on gossypol: Past and present developments. *Expert Opinion on Investigational Drugs* 14: 1419 - 1434.
- Duke, J. A. 1983. *Gossypium hirsutum* L. Handbook of Energy Crops. Center for New Crops & Plant Products, Department of Horticulture and Landscape Architecture, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA. [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Gossypium\\_hirsutum.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Gossypium_hirsutum.html)
- Eastick, R. 2002. The Potential Weediness of Transgenic Cotton in Northern Australia. Australian Northern Territory Government, Department of Business, Industry and Resource Development, Technical Bulletin No. 305. 199 pp.
- Eastick, R. , and M. Hearnden. 2006. Potential for weediness of Bt cotton (*Gossypium hirsutum*) in northern Australia. *Weed Science* 54: 1142 - 1151.
- Eisikowitch, D. , and G. M. Loper. 1984. Some aspects of flower biology and bee activity on hybrid cotton in Arizona, U. S. A. *Journal of Apicultural Research* 23: 243 - 248.
- Endrizzi, J. E. , E. L. Turcotte and R. J. Kohel. 1984. Qualitative genetics, cytology, and cytogenetics. Pp. 81 - 129 in R. J. Kohel and C. F. Lewis, eds. , Cotton. Agronomy Monograph No. 24. ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Endrizzi, J. E. , E. L. Turcotte and R. J. Kohel. 1985. Genetics, cytology and evolution of *Gossypium*. *Advances in Genetics* 23: 271 - 375.
- Ensminger, M. E. , J. E. Oldfield and W. W. Heinemann. 1990a. By-product feeds/crop residues. Pp. 433 - 490 in Feeds and Nutrition, 2nd ed. Ensminger Publishing Company, Clovis, California, USA.



- Ensminger, M. E. , J. E. Oldfield and W. W. Heinemann. 1990b. Grains/high energy feed. Pp. 363 - 392 in Feeds and Nutrition, 2nd ed. Ensminger Publishing Company, Clovis, California, USA.
- FAO. 2007. FAOSTAT ProdSTAT: Crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>
- Feaster, C. V. , and E. L. Turcotte. 1980. Registration of American Pima cotton germplasm. *Crop Science* 20: 831 - 832.
- Fillatti, J. , C. McCall, L. Comai, J. Kiser, K. McBride and D. Stalker. 1989. Genetic engineering of cotton for herbicide and insect resistance. Pp. 17 - 19 in Proceedings of the Beltwide Cotton Production Research Conferences, Nashville, Tennessee, 2 - 7 January 1989, Vol. 1. National Cotton Council of America, Memphis, Tennessee, USA.
- Finer, J. J. , and M. D. McMullen. 1990. Transformation of cotton (*Gossypium hirsutum* L. ) via particle bombardment. *Plant Cell Reports* 8: 586 - 589.
- Firoozabady, E. , D. L. DeBoer, D. J. Merlo, E. L. Halk, L. N. Amerson, K. E. Rashka and E. E. Murray. 1987. Transformation of cotton (*Gossypium hirsutum* L. ) by *Agrobacterium tumefaciens* and regeneration of transgenic plants. *Plant Molecular Biology* 10: 105 - 116.
- Flagel, L. , J. Udall, D. Nettleton and J. Wendel. 2008. Duplicate gene expression in allopolyploid *Gossypium* reveals two temporally distinct phases of expression evolution. *BMC Biology* 6: 16, doi: 10.1186/1741-7007-6-16. (9 pp. )
- Frank, A. W. 1987. Food uses of cottonseed protein. Pp. 31 - 80 in B. J. F. Hudson, ed. , Development in Food Proteins, Vol. 5. Elsevier Applied Science, New York.
- Free, J. B. 1993. Insect Pollination of Crops, 2nd ed. Academic Press, London, UK. 684 pp.
- Freeland Jr. , T. B. , B. Pettigrew, P. Thaxton and G. L. Andrews. 2006. Agrometeorology and cotton production. Chapter 13A in Guide to Agricultural Meteorological Practices, 3rd ed. (in preparation). WMO Publication No. 134. Commission for Agricultural Meteorology, World Meteorological Organization, Geneva. 17 pp. <http://www.wmo.ch/pages/prog/wcp/agm/gamp/documents/chap13A-draft.pdf>
- Freire, E. C. 2002a. Fluxo gênico entre algodoeiros convencionais e transgênicos. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras (Campina Grande)* 6: 471 - 482.
- Freire, E. C. 2002b. Viabilidade de cruzamentos entre algodoeiros transgênicos e comerciais e silvestres do Brasil. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras (Campina Grande)* 6: 465 - 470.
- Freire, E. C. 2005. Zoneamento ambiental do algodão: Uma estratégia de biossegurança para o cultivo comercial do algodão transgênico no Brasil. *Jornal da ABRAPA* Ano 6, No. 64 (Maio): 1 - 2.
- Freire, E. C. , and J. de A. N. Moreira. 1991. Relações genéticas entre o algodoeiro mocó e diferentes espécies e raças de algodoeiro. *Revista Brasileira de Genética* 14: 393 - 411.
- Freire, E. C. , J. de A. N. Moreira, J. W. dos Santos and F. P. de Andrade. 1998. Relações taxonômicas entre os algodoeiros mocó e *Gossypium mustelinum* do Nordeste brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33: 1555 - 1561.
- Freire, E. C. , P. A. V. Barroso, J. C. V. Penna and A. Borém. 2002. Fluxo gênico: Análise do caso de algodão no Brasil. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento* 29: 104 - 113.
- Fryxell, P. A. 1979. The Natural History of the Cotton Tribe (Malvaceae, Tribe Gossypieae) . Texas A&M University Press, College Station and London. 245 pp.
- Fryxell, P. A. 1984. Taxonomy and germplasm resources. Pp. 27 - 57 in R. J. Kohel and C. F. Lewis, eds. , Cotton. Agronomy Monograph No. 24. ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Fryxell, P. A. 1988. Malvaceae of Mexico. *Systematic Botany Monographs* Vol. 25. 522 pp.

- Fryxell, P. A. 1992. A revised taxonomic interpretation of *Gossypium* L. (Malvaceae). *Rheedea* 2: 108 - 165.
- Fryxell, P. A. , L. A. Craven and J. M. Stewart. 1992. A revision of *Gossypium* sect. *Grandicalyx* (Malvaceae), including the description of six new species. *Systematic Botany* 17: 91 - 114.
- Fuller, D. Q. 2006. Agricultural origins and frontiers in South Asia: A working synthesis. *Journal of World Prehistory* 20: 1 - 86 & 127.
- Fuller, D. , R. Korisettar, P. C. Venkatasubbaiah and M. K. Jones. 2004. Early plant domestications in southern India: Some preliminary archaeobotanical results. *Vegetation History and Archaeobotany* 13: 115 - 129.
- Gao Y. -H. , Zhu S. -J. and Ji D. -F. 2005. Studies on the cytological characters of the interspecific hybrid  $F_1$  among the cultivated species in *Gossypium* and their genetic relationship. *Acta Genetica Sinica* 32: 744 - 752.
- Gardunia, B. W. , C. W. Smith, D. Stelly and M. Menz. 2007. Utilization of short - day winter nursery for evaluation of *Gossypium mustelinum* introgression. In Proceedings—Beltwide Cotton Conferences, New Orleans, Louisiana, 9 - 12 January 2007. National Cotton Council of America, Memphis, Tennessee, USA.
- Gawel, N. J. , and C. D. Robacker. 1986. Effect of pollen - style interaction on the pollen tube growth of *Gossypium hirsutum*. *Theoretical and Applied Genetics* 72: 84 - 87.
- Goodnight Jr. , K. C. , and A. R. Kemmerer. 1967. Influence of cyclopropanoid fatty acids on the cholesterol metabolism of cockerels. *Journal of Nutrition* 91: 174 - 178.
- Gotmare, V. , P. Singh, C. D. Mayee, V. Deshpande and C. Bhagat. 2004. Genetic variability for seed oil content and seed index in some wild species and perennial races of cotton. *Plant Breeding* 123: 207 - 208.
- Graham, A. 2006. Modern processes and historical factors in the origin of the African element in Latin America. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 93: 335 - 339.
- Grover, C. E. , HR Kim, R. A. Wing, A. H. Paterson and J. F. Wendel. 2007. Microcolinearity and genome evolution in the *AdhA* region of diploid and polyploid cotton (*Gossypium*) . *The Plant Journal* 50: 995 - 1006.
- Grover, C. E. , Y. Yu, R. A. Wing, A. H. Paterson and J. F. Wendel. 2008. A phylogenetic analysis of indel dynamics in the cotton genus. *Molecular Biology and Evolution* 25: 1415 - 1428 + suppl. Tables 1 - 4.
- Guo, W. -Z. , B. -L. Zhou, L. -M. Yang, W. Wang and T. -Z. Zhang. 2006. Genetic diversity of landraces in *Gossypium arboreum* L. race sinense assessed with simple sequence repeat markers. *Journal of Integrative Plant Biology* 48: 1008 - 1017.
- Guo, W. Z. , Z. Q. Sang, B. L. Zhou and T. Z. Zhang. 2007. Genetic relationships of D-genome species based on two types of EST-SSR markers derived from *G. arboreum* and *G. raimondii* in *Gossypium*. *Plant Science* 172: 808 - 814.
- Hake, K. 2004. Cotton biotechnology: Beyond Bt - and herbicide - tolerance. Pp. 9 - 13 in Proceedings of the World Cotton Research Conference - 3: Cotton Production for the New Millennium, Cape Town, South Africa, 9 - 13 March 2003 (A. Swanepoel, ed.) . Agricultural Research Council, Institute for Industrial Crops, Pretoria.
- Hanan, J. S. , and A. B. Hearn. 2003. Linking physiological and architectural models of cotton. *Agricultural Systems* 75: 47 - 77.
- Hasrat, J. A. , L. Pieters and A. J. Vlietinck. 2004. Medicinal plants in Suriname: Hypotensive effect of *Gossypium barbadense*. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 56: 381 - 387.
- Hawkins, J. S. , J. Pleasants and J. F. Wendel. 2005. Identification of AFLP markers that discriminate be-

tween cultivated cotton and the Hawaiian island endemic, *Gossypium tomentosum* Nuttall ex Seemann. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52: 1069 - 1078.

- Hawkins, J. S. , HR. Kim, J. D. Nason, R. A. Wing and J. F. Wendel. 2006. Differential lineage-specific amplification of transposable elements is responsible for genome size variation in *Gossypium*. *Genome Research* 16: 1252 - 1261.
- Hearn, A. B. , and G. P. Fitt. 1992. Cotton cropping systems. Pp. 85 - 142 in C. J. Pearson, ed. , *Ecosystems of the World: Field Crop Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam.
- Hendricks, J. D. , R. O. Sinnhuber, P. M. Loveland, N. E. Pawlowski and J. E. Nixon. 1980. Hepatocarcinogenicity of glandless cottonseeds and cottonseed oil to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) . *Science* 208: 309 - 311.
- Hendrix, B. , and J. McD. Stewart. 2005. Estimation of the nuclear DNA content of *Gossypium* species. *Annals of Botany* 95: 789 - 797.
- HEPX (Hotel Eco Paraíso Xixim) . 2007. Yucatan Endemic and Special Birds Description; Yucatan Wren, Matraca Yucateca, *Campylorhynchus yucatanicus*. Ecoturismo Yucatán, Mérida, Yucatán, Mexico. <http://www.ecoyuc.com.mx/articles.php?task=detail&aid=47> (1 p. )
- Holm, LeR. G. , J. V. Pancho, J. P. Herberger and D. L. Plucknett. 1979. *A Geographical Atlas of World Weeds*. John Wiley & Sons, New York. 391 pp.
- Holm, LeR. , J. Doll, E. Holm, J. Pancho and J. Herberger. 1997. *World Weeds; Natural Histories and Distribution*. John Wiley & Sons, New York. 1129 pp.
- Hopper, N. W. , and R. G. McDaniel. 1999. The cotton seed. Pp. 289 - 317 in W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , *Cotton: Origin, History, Technology and Production*. John Wiley & Sons, New York.
- Hu S. - A. and Zhao Q. - L. 1992. Studies on epidermal hairs of *Gossypium*. *Acta Botanica Sinica* 34: 311 - 314. (in Chinese)
- Hu, Z. , and X. Gui. 1991. Pretransplant inoculation with VA mycorrhizal fungi and Fusarium blight of cotton. *Soil Biology and Biochemistry* 23: 201 - 203.
- Hutchinson, J. B. 1951. Intra - specific differentiation in *Gossypium hirsutum*. *Heredity* 5: 161 - 193.
- Hutchinson, J. B. , R. A. Silow and S. G. Stephens. 1947. *The Evolution of Gossypium and the Differentiation of the Cultivated Cottons*. Oxford University Press, London, UK. 160 pp.
- Hutmacher, B. 2004. Square and early fiber development—timing and stress. *California Cotton Review* 72: 8.
- Ibrahim, R. I. H. , J. -I. Azuma and M. Sakamoto. 2006. Complete nucleotide sequence of the cotton (*Gossypium barbadense* L. ) chloroplast genome with a comparative analysis of sequences among 9 dicot plants. *Genes and Genetic Systems* 81: 311 - 321.
- Iqbal, M. J. , O. U. K. Reddy, K. M. El - Zik and A. E. Pepper. 2001. A genetic bottleneck in the ‘evolution under domestication’ of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. examined using fingerprinting. *Theoretical and Applied Genetics* 103: 547 - 554.
- Jenkins, J. N. 1993. Cotton. Pp. 61 - 70 in *Traditional Crop Breeding Practices: A Historical Review to Serve as a Baseline for Assessing the Role of Modern Biotechnology*. OECD, Paris.
- Jenkins, J. N. , and S. Saha, eds. 2001. *Genetic Improvement of Cotton; Emerging Technologies*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, USA. 344 pp.
- Jiang, C. - X. , P. W. Chee, X. Draye, P. L. Morrell, C. W. Smith and A. H. Paterson. 2000. Multilocus interactions restrict gene introgression in interspecific populations of polyploid *Gossypium* (cotton). *Evolution* 54: 798 - 814.
- John, M. E. , and G. Keller. 1996. Metabolic pathway engineering in cotton; Biosynthesis of polyhydroxybu-

- tyrate in fiber cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 93: 12768 - 12773.
- Johnston, J. A. , C. Mallory-Smith, C. L. Brubaker, F. Gandara, F. J. L. Aragão, P. A. V. Barroso, V. D. Quang, L. P. de Carvalho, P. Kageyama, A. Y. Ciampi, M. Fuzatto, V. Cirino and E. C. Freire. 2006. Assessing gene flow from Bt cotton in Brazil and its possible consequences. Pp. 261 - 299 in A. Hilbeck, D. A. Andow and E. M. G. Fontes, eds. , *Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms; Volume 2, Methodologies for Assessing Bt Cotton in Brazil*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Jones, L. A. , and C. C. King, eds. 1993. *Cottonseed Oil*. National Cottonseed Products Association and The Cotton Foundation, Memphis, Tennessee, USA. 60 pp.
- Jones, L. A. , and T. C. Wedegaertner. 1986. Advances in feeding cottonseed products. Pp. 195 - 199 in *Proceedings: World Conference on Emerging Technologies in the Fats and Oils Industry*, Cannes, France, November 3 - 8, 1985 (A. R. Baldwin, ed. ) . American Oil Chemists' Society, Urbana, Illinois, USA.
- Jones, R. W. , J. R. Cate and H. R. Burke. 1989. Phenology and ecology of wild cotton (Malvales: Malvaceae) and the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) in Tamaulipas, Mexico. *Journal of Economic Entomology* 82: 1626 - 1632.
- Jürgens, N. 1997. Floristic biodiversity and history of African arid regions. *Biodiversity and Conservation* 6: 495 - 514.
- Kakani, A. , S. Saha, V. T. Sapra, A. Zipf and D. M. Stelly. 1999. Genetic mechanism and chromosomal location of pollen-specific gene (s) in *Gossypium*. *Crop Science* 39: 668 - 673.
- Kandyliis, K. , P. N. Nikokyris and K. Deligiannis. 1998. Performance of growing-fattening lambs fed whole cotton seed. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78: 281 - 239.
- Karaosmano ğlu, F. , M. Tüter, E. Göllü, S. Yanmaz and E. Altinti ğ. 1999. Fuel properties of cottonseed oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 21: 821 - 828.
- Kebede, H. , G. Burow, R. G. Dani and R. D. Allen. 2007. A-genome cotton as a source of genetic variability for upland cotton (*Gossypium hirsutum*) . *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 885 - 895.
- Khan, M. A. , J. McD. Stewart and J. B. Murphy. 1999. Evaluation of the *Gossypium* gene pool for foliar terpenoid aldehydes. *Crop Science* 39: 253 - 258.
- Kirk, J. H. , and G. E. Higginbotham. 1999. Pima cotton, gossypol and dairy cattle: Is it a bad combination? [http://www.vetmed.ucdavis.edu/vetext/INF-DA/INF-DA\\_GOSSYPOL.html](http://www.vetmed.ucdavis.edu/vetext/INF-DA/INF-DA_GOSSYPOL.html) 2 pp.
- Kirkpatrick, T. L. , and C. S. Throckmold, eds. 2001. *Compendium of Cotton Diseases*, 2nd ed. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA. 100 pp.
- Kittock, D. L. , T. J. Henneberry and L. A. Bariola. 1981. Fruiting of upland and Pima cotton with different planting dates. *Agronomy Journal* 73: 711 - 715.
- Kittock, D. L. , R. Selley and B. B. Taylor. 1985. A summary of 25 years of cotton date of planting tests in Arizona. In *Cotton*, A College of Agriculture Report. University of Arizona College of Agriculture Series P - 63.
- Kittock, D. L. , B. B. Taylor and W. C. Hofmann. 1987. Partitioning yield reduction from early cotton planting. *Crop Science* 27: 1011 - 1015.
- Kumar, M. , and R. Tuli. 2004. Plant regeneration in cotton: A short-term inositol starvation promotes developmental synchrony in somatic embryogenesis. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 40: 294 - 298.
- Kumar, S. , A. Dhingra and H. Daniell. 2004. Stable transformation of the cotton plasmid genome and maternal inheritance of transgenes. *Plant Molecular Biology* 56: 203 - 216.

- Lacape, J. - M. , D. Dessauw, M. Rajab, J. - L. Noyer and B. Hau. 2007. Microsatellite diversity in tetraploid *Gossypium* germplasm; Assembling a highly informative genotyping set of cotton SSRs. *Molecular Breeding* 19: 45 - 58.
- Lane, H. C. , and M. F. Schuster. 1981. Condensed tannins of cotton leaves. *Phytochemistry* 20: 425 - 427.
- Lazarides, M. , K. Cowley and P. Hohnen. 1997. CSIRO Handbook of Australian Weeds. CSIRO, Canberra. 264 pp.
- Lee, J. A. 1984. Cotton as a world crop. Pp. 1 - 25 in R. J. Kohel and C. F. Lewis, eds. , Cotton. Agronomy Monograph No. 24. ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Lee, S. - B. , C. Kaittanis, R. K. Jansen, J. B. Hostetler, L. J. Tallon, C. D. Town and H. Daniell. 2006. The complete chloroplast genome sequence of *Gossypium hirsutum* : Organization and phylogenetic relationships to other angiosperms. *BMC Genomics* 7: 61, doi: 10.1186/1471 - 2164 - 7 - 61. (12 pp. )
- Liu, Q. , C. L. Brubaker, A. G. Green, D. R. Marshall, P. J. Sharp and S. P. Singh. 2001. Evolution of the *FAD2 - 1* fatty acid desaturase 5' UTR intron and the molecular systematics of *Gossypium* (Malvaceae). *American Journal of Botany* 88: 92 - 102.
- Liu, Q. , S. P. Singh and A. G. Green. 2002. High-stearic and high-oleic cottonseed oils produced by hairpin RNA-mediated post-transcriptional gene silencing. *Plant Physiology* 129: 1732 - 1743.
- Liu, R. -J. 1995. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on Verticillium wilt of cotton. *Mycorrhiza* 5: 293 - 297.
- Liu, Z. , and K. L. Adams. 2007. Expression partitioning between genes duplicated by polyploidy under abiotic stress and during organ development. *Current Biology* 17: 1669 - 1674.
- Llewellyn, D. , C. Tyson, G. Constable, B. Duggan, S. Beale and P. Steel. 2007. Containment of regulated genetically modified cotton in the field. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 419 - 429.
- Loper, G. M. 1986. Cotton pollen: Honeybee (*Apis mellifera*) avoidance and absence of gossypol. *Journal of Economic Entomology* 79: 103 - 106.
- Lordelo, M. M. , A. J. Davis, M. C. Calhoun, M. K. Dowd and N. M. Dale. 2005. Relative toxicity of gossypol enantiomers in broilers. *Poultry Science* 84: 1376 - 1382.
- Lordelo, M. M. , M. C. Calhoun, N. M. Dale, M. K. Dowd and A. J. Davis. 2007. Relative toxicity of gossypol enantiomers in laying and broiler breeder hens. *Poultry Science* 86: 582 - 590.
- Lu, Z. , J. Chen, R. G. Percy and E. Zeiger. 1997. Photosynthetic rate, stomatal conductance and leaf area in two cotton species (*Gossypium barbadense* and *Gossypium hirsutum*) and their relation with heat resistance and yield. *Functional Plant Biology* 24: 693 - 700.
- Lusas, E. W. , and G. M. Jividen. 1987. Glandless cottonseed: A review of the first 25 years of processing and utilization research. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 64: 839 - 854.
- Ma, X. -X. , B. -L. Zhou, Y. -H. Lü, W. -Z. Guo and T. -Z. Zhang. 2008. Simple sequence repeat genetic linkage maps of A - genome diploid cotton (*Gossypium arboreum*) . *Journal of Integrative Plant Biology* 50: 491 - 502.
- Mamood, A. N. , G. D. Waller and J. R. Hagler. 1990. Dispersal of upland and Pima cotton pollen by honey bees (Hymenoptera: Apidae) visiting upland male - sterile flowers. *Environmental Entomology* 19: 1034 -1036.
- Mansour, M. H. , N. M. Zohdy, S. E. El-Gengaihi and A. E. Amr. 1997. The relationship between tannins concentration in some cotton varieties and susceptibility to piercing sucking insects. *Journal of Applied Entomology* 121: 321 - 325.
- Marur, C. J. , and O. Ruano. 2001. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. *Revista de Oleaginosas e Fibrosas (Campina Grande)* 5: 313 - 317.

- Marur, C. J. , and O. Ruano. 2004. Escala do algodão: Um método para determinação de estádios de desenvolvimento do algodoeiro herbáceo. *Informações Agrônomicas (Piracicaba)* No. 105; 3 - 4.
- Matthews, G. A. 1989. *Cotton Insect Pests and Their Management*. Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, UK, and John Wiley & Sons, New York. 199 pp.
- Matthews, G. A. 1994. Jassids ( Hemiptera: Cicadellidae ) .Pp. 353 - 357 in G. A. Matthews and J. P. Tunstall, eds. , *Insect Pests of Cotton*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Matthews, G. A. , and J. P. Tunstall, eds. 1994. *Insect Pests of Cotton*. CABI Publishing, Wallingford, UK. 593 pp.
- May, O. L. , and K. E. Lege. 1999. Development of the world cotton industry. Pp. 65 - 97 in W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , *Cotton: Origin, History, Technology and Production*. John Wiley & Sons, New York.
- McCabe, D. E. , and B. J. Martinell. 1993. Transformation of elite cotton cultivars via particle bombardment of meristems. *Bio/Technology* 11: 596 - 598.
- McGregor, S. E. 1976. Insect Pollination of Cultivated Crop Plants. *Agriculture Handbook* No. 496. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. GPO, Washington, D. C. 411 pp.
- McWilliams, D. 2003. Drought Strategies for Cotton. New Mexico State University Cooperative Extension Service Circular 582. 6 pp.
- Mehetre, S. S. , and A. R. Aher. 2004. Embryo rescue: A tool to overcome incompatible interspecific hybridization in *Gossypium* Linn. - a review. *Indian Journal of Biotechnology* 3: 29 - 36.
- Mehetre, S. S. , M. V. Thombre and M. A. Tyyab. 1980. Cytomorphological studies in an intergeneric hybrid between *Gossypium hirsutum* L. ( $2n=52$ ) and *Hibiscus panduræformis* Burm. *Euphytica* 29: 323 - 330.
- Meredith Jr. , W. R. 1991. Contributions of introductions to cotton improvement. Pp. 127 - 146 in H. L. Shands and L. E. Wiesner, eds. , *Use of Plant Introductions in Cultivar Development*, Part 1. Proceedings of a Symposium, Las Vegas, Nevada, 19 October 1989. CSSA Special Publication 17. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Meredith Jr. , W. R. 1999. Cotton and heterosis. Pp. 282 - 283 in J. G. Coors and S. Pandey, eds. , *The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. An International Symposium, CIMMYT, Mexico City, 17 - 22 August 1997. ASA and CSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Mergeai, G. 2006a. Contributions possibles des innovations génétiques pour l' amélioration de la compétitivité des filières cotonnières africaines. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 10: 345 - 350.
- Mergeai, G. 2006b. Introgressions interspécifiques chez le cotonnier. *Cahiers Agricultures* 15: 135 - 143.
- Meyer, V. G. 1974. Interspecific cotton breeding. *Economic Botany* 28: 56 - 60.
- Moffett, J. O. 1983. Pollination of entomophilous hybrid seed parents-hybrid cotton. Pp. 508 - 514 in C. E. Jones and R. J. Little, eds. , *Handbook of Experimental Pollination Biology*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Moffett, J. O. , L. S. Stith, C. C. Burkhart and C. W. Shipman. 1975. Honey bee visits to cotton flowers. *Environmental Entomology* 4: 203 - 206.
- Moffett, J. O. , L. S. Stith, C. C. Burkhart and C. W. Shipman. 1976. Fluctuation of wild bee and wasp visits to cotton flowers. *Arizona Academy of Science* 11: 64 - 68.
- Moreira, J. de A. N. , E. C. Freire, J. W. dos Santos and R. M. Vieira. 1995. Use of numerical taxonomy to compare “mocó” cotton with other cotton species and races. *Revista Brasileira de Genética* 18: 99 - 103.

- Moulherat, C. , M. Tengberg, J. - F. Haquet and B. Mille. 2002. First evidence of cotton at Neolithic Mehrgarh, Pakistan: Analysis of mineralized fibres from a copper bead. *Journal of Archaeological Science* 29: 1393 - 1401.
- Münster, P. , and A. M. Wiczorek. 2007. Potential gene flow from agricultural crops to native plant relatives in the Hawaiian Islands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 1 - 10.
- Muravenko, O. V. , A. R. Fedotov, E. O. Punina, L. I. Fedorova, V. G. Grif and A. V. Zelenin. 1998. Comparison of chromosome BrdU-Hoechst-Giemsa banding patterns of the A<sub>1</sub> and (AD)<sub>2</sub> genomes of cotton. *Genome* 41: 616 - 625.
- Nehl, D. , and S. Allen. 2004. Symptoms of Diseases and Disorders of Cotton in Australia. Australian Cotton Cooperative Research Centre, Narrabri, Australia. 38 pp.
- Nicholls, P. J. 1992. Vegetable dust and lung disease. Pp. 161 - 182 in G. B. Leslie and F. W. Lunau, eds. , *Indoor Air Pollution; Problems and Priorities*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Niles, G. A. 1980. Plant breeding and improvement of the cotton plant. *Outlook on Agriculture* 10: 152 - 158.
- O' Brien, R. D. , L. A. Jones, C. C. King, P. J. Wakelyn and P. J. Wan. 2005. Cottonseed oil. Pp. 173 - 279 in Bailey' s *Industrial Oil & Fat Products*, 6th ed. (F. Shahidi, ed. ), Vol. 2, *Edible Oil and Fat Products; Edible Oils (Part 1)* . John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA.
- Oerke, E. - C. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 144: 31 - 43.
- OECD. 2004. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Cotton (*Gossypium hirsutum* and *Gossypium barbadense*): Key Food and Feed Nutrients and Anti-nutrients. OECD Series on the Safety of Novel Foods and Feeds No. 11. OECD, Paris. 32 pp.
- OECD. 2008. OECD Seed Schemes "2008", Annex VIII to the Decision; OECD Scheme for the Varietal Certification of Crucifer Seed and Other Oil or Fibre Species Seed Moving in International Trade. OECD Document C (2000) 146/FINAL Incl. 2003, 2004, 2005, 2006 & 2007 Amendments. OECD, Paris. 45 pp.
- OGTR. 2008. The Biology of *Gossypium hirsutum* L. and *Gossypium barbadense* L. (Cotton), Ver. 2. Office of the Gene Technology Regulator, Australian Government Department of Health and Ageing, Canberra. 91 pp.
- Oosterhuis, D. M. , and J. Jernstedt. 1999. Morphology and anatomy of the cotton plant. Pp. 175 - 206 in W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , *Cotton; Origin, History, Technology and Production*. John Wiley & Sons, New York.
- Pahlavani, M. H, and K. Abolhasani. 2006. Xenia effect on seed and embryo size in cotton (*Gossypium hirsutum* L. ) . *Journal of Applied Genetics* 47: 331 - 335.
- Paiziev, A. A. , and V. A. Krakhmalev. 2006. Microstructure of dormant cotton seeds. *Asian Journal of Plant Sciences* 5: 492 - 497.
- Paterson, A. H. 2005. Polyploidy, evolutionary opportunity, and crop adaptation. *Genetica* 123: 191 - 196.
- Paterson, A. H. , and R. H. Smith. 1999. Future horizons; Biotechnology for cotton improvement. pp. 415 - 432 in W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , *Cotton; Origin, History, Technology and Production*. John Wiley & Sons, New York.
- Pearsall, D. M. 2003. Plant food resources of the Ecuadorian Formative; An overview and comparison to the Central Andes. Pp. 213 - 257 in J. S. Raymond and R. L. Burger, eds. , *Archaeology of Formative Ecuador*. Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington, D. C.
- Pelling, R. 2005. Garamantian agriculture and its significance in a wider North African context; The evidence of the plant remains from the Fazzan project. *Journal of North African Studies* 10: 397 - 412.
- Percival, A. E. , J. F. Wendel and J. M. Stewart. 1999. Taxonomy and germplasm resources. Pp. 33 - 63 in

- W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , Cotton: Origin, History, Technology and Production. John Wiley & Sons, New York.
- Percy, R. G. , and E. L. Turcotte. 1991. Inheritance of male - sterile mutant  $ms_{13}$  in American Pima cotton. *Crop Science* 31: 1520 - 1521.
- Percy, R. G. , and J. F. Wendel. 1990. Allozyme evidence for the origin and diversification of *Gossypium barbadense* L. *Theoretical and Applied Genetics* 79: 529 - 542.
- Perlak, F. J. , R. W. Deaton, T. A. Armstrong, R. L. Fuchs, S. R. Sims, J. T. Greenplate and D. A. Fischhoff. 1990. Insect-resistant cotton plants. *Bio/Technology* 8: 939 - 943.
- Phillips, L. L. 1966. The cytology and phylogenetics of the diploid species of *Gossypium*. *American Journal of Botany* 53: 328 - 335.
- Phillips, L. L. 1976. Cotton: *Gossypium* (Malvaceae) . Pp. 196 - 200 in N. W. Simmonds, ed. , Evolution of Crops Plants. Longman, London, UK.
- Phillips, L. L. , and M. A. Strickland. 1966. The cytology of a hybrid between *Gossypium hirsutum* and *G. longicalyx*. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 8: 91 - 95.
- Pope, K. O. , M. E. D. Pohl, J. G. Jones, D. L. Lentz, C. von Nagy, F. J. Vega and I. R. Quitmyer. 2001. Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of Mesoamerica. *Science* 292: 1370 - 1373.
- Potts, D. T. 1997. Mesopotamian Civilization: The Material Foundations. Cornell University Press, Ithaca, New York. 366 pp.
- Preetha, S. , and T. S. Raveendren. 2008. Molecular marker technology in cotton. *Biotechnology and Molecular Biology Review* 3 (2): 32 - 45.
- Price, H. J. , and R. H. Smith. 1979. Somatic embryogenesis in suspension cultures of *Gossypium klotzschianum* Anderss. *Planta* 145: 305 - 307.
- Price, H. J. , R. H. Smith and R. M. Grumbles. 1977. Callus cultures of six species of cotton (*Gossypium* L.) on defined media. *Plant Science Letters* 10: 115 - 119.
- Pundir, N. S. 1972. Experimental embryology of *Gossypium arboreum* L. and *Gossypium hirsutum* L. and their reciprocal crosses. *Botanical Gazette* 133: 7 - 26.
- Radin, J. W. , Z. Lu, R. G. Percy and E. Zeiger. 1994. Genetic variability for stomatal conductance in Pima cotton and its relation to improvements of heat adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91: 7217 - 7221.
- Rajendran, T. P. , M. V. Venugopalan and C. S. Praharaj. 2005. Cotton research towards sufficiency to Indian textile industry. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 75: 699 - 708.
- Rana, M. K. , and K. V. Bhat. 2004. A comparison of AFLP and RAPD markers for genetic diversity and cultivar identification in cotton. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 13: 19 - 24.
- Randall, R. P. 2002. A Global Compendium of Weeds. R. G. and F. J. Richardson, Melbourne. 905 pp.
- Rapp, R. A. , I. Álvarez and J. F. Wendel. 2005. Molecular confirmation of the position of *Gossypium trifurcatum* Vollesen. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52: 749 - 753.
- Reddy, K. R. , and H. F. Hodges. 2006. Exploring the limitations for cotton growth and yield. *Journal of New Seeds* 8 (2): 1 - 22.
- Reddy, K. R. , V. R. Reddy and H. F. Hodges. 1992a. Temperature effects on early season cotton growth and development. *Agronomy Journal* 84: 229 - 237.
- Reddy, K. R. , H. F. Hodges, J. M. McKinion and G. W. Wall. 1992b. Temperature effects on Pima cotton growth and development. *Agronomy Journal* 84: 237 - 243.
- Reed, W. 1994. *Earias* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) . Pp. 151 - 176 in G. A. Matthews and



- J. P. Tunstall, eds. , Insect Pests of Cotton. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Renner, S. 2004. Plant dispersal across the tropical Atlantic by wind and sea currents. *International Journal of Plant Sciences* 165 (Suppl. ): S23 - S33.
- Rhodes, J. 2002. Cotton pollination by honey bees. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42: 513 - 518.
- Richards, J. S. , J. N. Stanley and P. C. Gregg. 2005. Viability of cotton and canola pollen on the proboscis of *Helicoverpa armigera* : Implications for spread of transgenes and pollination ecology. *Ecological Entomology* 30: 327 - 333.
- Risco, C. A. , P. J. Chenoweth, R. E. Larsen, J. Velez, N. Shaw, T. Tran and C. C. Chase Jr. . 1993. The effect of gossypol in cottonseed meal on performance and on hematological and semen traits in postpubertal Brahman bulls. *Theriogenology* 40: 629 - 642.
- Ritchie, G. L. , C. W. Bednarz, P. H. Jost and S. M. Brown. 2007. Cotton Growth and Development, rev. ed. University of Georgia Cooperative Extension Bulletin 1252. 16 pp.
- Roberts, G. , and G. Charles. 2002. Integrated weed management (IWM) guidelines for Australian cotton production. Pp. B2. 1— B2. 10 in WEEDpak—A Guide for Integrated Management of Weeds in Cotton. Australian Cotton Cooperative Research Centre, Narrabri, New South Wales.
- Robertson, B. , C. Bednarz and C. Burmester. 2007. Growth and development—first 60 days. *Cotton Physiology Today* 13 (2): 1 - 5.
- Robinson, A. E. 1999. Cotton nematodes. Pp. 595 - 615 in W. C. Smith and J. T. Cothren, eds. , Cotton: Origin, History, Technology and Production. John Wiley & Sons, New York.
- Rogers, D. J. , R. E. Reid, J. J. Rogers and S. J. Addison. 2007. Prediction of the naturalisation potential and weediness risk of transgenic cotton in Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 177 - 189.
- Rolph, C. E. , R. S. Moreton and J. L. Harwood. 1990. Control of acyl lipid desaturation in the yeast *Rhodotorula gracilis* via use of the cyclopropenoid fatty acid, sterculate. *Applied Microbiology and Biotechnology* 34: 91 - 96.
- Rong, J. , C. Abbey, J. E. Bowers, *et al.* 2004. A 3347 - locus genetic recombination map of sequence - tagged sites reveals features of genome organization, transmission and evolution of cotton (*Gossypium*). *Genetics* 166: 389 - 417.
- Rong, J. , J. E. Bowers, S. R. Schulze, V. N. Waghmare, C. J. Rogers, G. J. Pierce, H. Zhang, J. C. Estill and A. H. Paterson. 2005. Comparative genomics of *Gossypium* and *Arabidopsis*: Unraveling the consequences of both ancient and recent polyploidy. *Genome Research* 15: 1198 - 1210.
- Röse, U. S. R. , J. Lewis and J. H. Tumlinson. 2006. Extrafloral nectar from cotton (*Gossypium hirsutum*) as a food source for parasitic wasps. *Functional Ecology* 20: 67 - 74.
- Ruan, Y. - L. 2005. Recent advances in understanding cotton fibre and seed development. *Seed Science Research* 15: 269 - 280.
- Sakhanokho, H. F. , A. Zipf, K. Rajasekaran, S. Saha, G. C. Sharma and P. W. Chee. 2004. Somatic embryo initiation and germination in diploid cotton (*Gossypium arboreum* L. ) . *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 40: 177 - 181.
- Salvaggio, J. E. , C. E. O' Neil and B. T. Butcher. 1986. Immunologic responses to inhaled cotton dust. *Environmental Health Perspectives* 66: 17 - 23.
- Sanathnam, V. , and J. B. Hutchinson. 1974. Cotton. Pp. 89 - 100 in J. B. Hutchinson, ed. , Evolutionary Studies in World Crops: Diversity and Change in the Indian Subcontinent. Cambridge University Press, Cambridge, England, UK.

- Sanchez Jr. , J. L. B. , and D. T. Malerbo -Souza. 2004. Frequência dos insetos na polinização e produção de algodão. *Acta Scientiarum. Agronomy (Maringá)* 26: 461 - 465.
- Santos, J. E. P. , M. Villasenor, E. J. DePeters, P. H. Robinson and B. C. Baldwin Jr. 2002. Type of cottonseed and level of gossypol in diets of lactating dairy cows: Effects on lactation performance and plasma gossypol. *Journal of Dairy Science* 85: 1491 - 1501.
- Santos, J. E. P. , M. Villasenor, P. H. Robinson, E. J. DePeters and C. A. Holmberg. 2003. Type of cottonseed and level of gossypol in diets of lactating dairy cows: Plasma gossypol, health, and reproductive performance. *Journal of Dairy Science* 86: 892 - 905.
- Saravanan, N. A. , S. G. Ram, V. Thiruvengadam, R. Ravikesavan and T. S. Raveendram. 2007. Production and fertility restoration of an interspecific hybrid between *Gossypium hirsutum* L. and *G. raimondii* Ulbr. *Cytologia* 72: 195 - 203.
- Sauer, J. D. 1993. Historical Geography of Crop Plants: A Select Roster. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 309 pp.
- Savaşkan, Ç. 2002. The effects of gamma irradiation on the pollen size of *Gossypium hirsutum* L. *Turkish Journal of Botany* 26: 477 - 480.
- Sawan, Z. M. , L. I. Hanna and W. L. McCuistion. 2004. Effects of climatic factors prevailing prior to flowering or subsequent to boll setting on flower and boll production and retention of cotton in Egypt. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: 287 - 297.
- Sawan, Z. M. , L. I. Hanna and W. L. McCuistion. 2005. Response of flower and boll development to climatic factors before and after anthesis in Egyptian cotton. *Climate Research* 29: 167 - 179.
- Sawyer Jr. , W. H. 1955. Medicinal uses of plants by native Inaguans. *The Scientific Monthly* 80: 371 - 376.
- Schneider, E. L. , S. P. Loke and D. T. Hopkins. 1968. Gas-liquid chromatographic analysis of cyclopropanoid fatty acids. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 45: 585 - 590.
- Schwendiman, J. , G. Ano and A. E. Percival. 1985. Cotton collecting in continental Ecuador and Galapagos Islands. *Plant Genetic Resources Newsletter* 64: 33 - 37.
- Seelanan, T. , A. Schnabel and J. F. Wendel. 1997. Congruence and consensus in the cotton tribe (Malvaceae) . *Systematic Botany* 22: 259 - 290.
- Seelanan, T. , C. L. Brubaker, J. McD. Stewart, L. A. Craven and J. F. Wendel. 1999. Molecular systematics of Australian *Gossypium* section *Grandicalyx* (Malvaceae) . *Systematic Botany* 24: 183 - 208.
- Sekloka, E. , J. Lançon, B. Hau, E. Gozé, S. Lewicki and G. Thomas. 2007. A simple method for estimating the end of effective flowering in upland cotton (*Gossypium hirsutum*) . *Experimental Agriculture* 43: 163 - 171.
- Sen, I. , M. Oglakci, Y. Bolek, B. Cicek, N. Kisakurek and S. Aydin. 2004. Assessing the out-crossing ratio, isolation distance and pollinator insects in cotton (*Gossypium hirsutum* L. ) . *Asian Journal of Plant Science* 3: 724 - 727.
- Senchina, D. S. , I. Álvarez, R. C. Cronn, B. Liu, J. Rong, R. D. Noyes, A. H. Paterson, R. A. Wing, T. A. Wilkins and J. F. Wendel. 2003. Rate variation among nuclear genes and the age of polyploidy in *Gossypium*. *Molecular Biology and Evolution* 20: 633 - 643.
- Şengonca, Ç. , M. S. Lababidi and S. Gerlach. 1986. The effects of different cotton varieties on the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* (Boisd.) (Acari: Tetranychidae) . *Plant Breeding* 97: 297 - 303.
- Shang-Guan X. - X. , Wang L. - J. , Li Y. - E. , Liang Y. - S. and Wu X. 2007. Analysis of cotton (*Gossypium hirsutum* L. ) plants transformed with a silkworm fibroin light chain gene. *Acta Agronomica Sinica* 33: 697 - 702.

- Sherwood, A. R. , and C. W. Morden. 2004. RAPD analyses of the endemic Hawaiian cotton (*Gossypium tomentosum* Nutt. ex Seem. ) reveal unexpected levels of genetic diversity. Pp. 43 - 44 in The 2004 Hawai 'i Conservation Conference, June 29 - 30, 2004, Honolulu. Hawai 'i Conservation Alliance, Honolulu.
- Silvertooth, J. C. 2001. Agronomic Guidelines for Pima Cotton Production in Arizona. University of Arizona College of Agriculture and Life Sciences, Cooperative Extension AZ1242. 4 pp.
- Silvertooth, J. C. , E. R. Norton, B. L. Unruh, J. A. Navarro, L. J. Clark and E. W. Carpenter. 1995. Nitrogen management experiments for upland and Pima cotton. Pp. 311 - 326 in Cotton, A College of Agriculture Report. University of Arizona College of Agriculture Series P - 99.
- Simpson, D. M. , and E. N. Duncan. 1956. Cotton pollen dispersal by insects. *Agronomy Journal* 48: 305 - 308.
- Sindel, B. M. 1997. Outcrossing of transgenes to weedy relatives. Pp. 43 - 81 in Commercialisation of Transgenic Crops: Risk, Benefit and Trade Considerations, Proceeding of a Workshop, Canberra, 11 - 13 March 1997 (G. D. McLean, P. M. Waterhouse, G. Evans and M. J. Gibbs, eds. ) . Australian Department of Primary Industries and Energy, Bureau of Resource Sciences, Canberra.
- Singh, I. P. , and D. P. Singh. 1991. Estimation of extent of natural crossing in upland cotton (*Gossypium hirsutum*) in Haryana, India. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 61: 629 - 633.
- Small, R. L. , and J. F. Wendel. 1999. The mitochondrial genome of allotetraploid cotton (*Gossypium* L. ). *Journal of Heredity* 90: 251 - 253.
- Small, R. L. , and J. F. Wendel. 2000. Phylogeny, duplication, and intraspecific variation of *Adh* sequences in New World diploid cottons (*Gossypium* L. , Malvaceae) . *Molecular Phylogenetics and Evolution* 16: 73 - 84.
- Small, R. L. , J. A. Ryburn, R. C. Cronn, T. Seelanan and J. F. Wendel. 1998. The tortoise and the hare: Choosing between noncoding plastome and nuclear *Adh* sequences for phylogeny reconstruction in a recently diverged plant group. *American Journal of Botany* 85: 1301 - 1315.
- Small, R. L. , R. C. Cronn and J. F. Wendel. 2004. Use of nuclear genes for phylogeny reconstruction in plants. *Australian Systematic Botany* 17: 145 - 170.
- Smith Jr. , C. E. , and S. G. Stephens. 1971. Critical identification of Mexican archaeological cotton remains. *Economic Botany* 25: 160 - 168.
- Smith, C. W. 1995. Cotton (*Gossypium hirsutum* L. ) . Pp. 287 - 349 in C. W. Smith, Crop Production, Evolution, History, and Technology. John Wiley & Sons, New York.
- Smith, C. W. , R. G. Cantrell, H. S. Moser and S. R. Oakley. 1999. History of cultivar development in the United States. Pp. 99 - 171 in C. W. Smith and J. T. Cothren, eds. , Cotton: Origin, History, Technology and Production. John Wiley & Sons, New York.
- Smith, F. H. 1961. Biosynthesis of gossypol by excised cotton roots. *Nature* 192: 888 - 889.
- Smith, F. H. 1967. Determination of gossypol in leaves and flower buds of *Gossypium*. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 44: 267 - 269.
- Solomon, R. , G. Adin, S. J. Mabeesh, M. Nikbachat, E. Yosef, D. Ben-Ghedalia and J. Miron. 2005. Digestibility in lactating cows of diets containing whole Pima treated with sodium hydroxide versus Akala or Pima cottonseed. *Journal of Dairy Science* 88: 1745 - 1751.
- Song P. , Ji D. - F. and Xu F. - H. 1991. Comparative studies on karyotypes of cultivated diploid cotton species *Gossypium herbaceum* and *G. arboreum*. *Acta Agronomica Sinica* 17: 102 - 106. (in Chinese)
- Srivastava, A. , Z. Lu and E. Zeiger. 1995. Modification of guard cell properties in advanced lines of Pima cotton bred for higher yields and heat resistance. *Plant Science* 108: 125 - 131.
- Srivastava, D. 1982. Studies in the Pollen Biology of Certain Cultivated Malvaceae. *Advances in Pollen -*

- Spore Research Vol. 9. 165 pp.
- Stanton, M. A. , J. McD. Stewart, A. E. Percival and J. F. Wendel. 1994. Morphological diversity and relationships in the A-genome cottons, *Gossypium arboreum* and *G. herbaceum*. *Crop Science* 34: 519 - 527.
- Stark, B. L. , L. Heller and M. A. Ohnersorgen. 1998. People with cloth; Mesoamerican economic change from the perspective of cotton in south - central Veracruz. *Latin American Antiquity* 9: 7 - 36.
- Stephens, S. G. 1958. Factors Affecting Seed Dispersal in *Gossypium* and their Possible Evolutionary Significance. North Carolina Agricultural Experiment Station Technical Bulletin No. 131. 32 pp.
- Stephens, S. G. 1964. Native Hawaiian cotton (*Gossypium tomentosum* Nutt. ) . *Pacific Science* 18: 385 - 398.
- Stephens, S. G. 1966. The potentiality for long - range oceanic dispersal of cotton seeds. *American Naturalist* 100: 199 - 210.
- Stephens, S. G. 1967. Evolution under domestication of the New World cottons (*Gossypium* spp) . *Ciência e Cultura (São Paulo)* 19: 118 - 134.
- Stewart, J. McD. 1995. Potential for crop improvement with exotic germplasm and genetic engineering. Pp. 313 - 327 in *Challenging the Future: Proceedings of the World Cotton Research Conference - 1*, Brisbane, Australia, 13 - 17 February 1994 (G. A. Constable and N. W. Forrester, eds. ) . CSIRO, Melbourne.
- Stewart, J. M. , and C. L. Hsu. 1978. Hybridization of diploid and tetraploid cottons through *in ovulo* embryo culture. *Journal of Heredity* 69: 404 - 408.
- Stewart, J. M. , and M. Stanton. 1988. Screening for resistance in the Asiatic cotton. Pp. 43 - 44 in *Proceedings of the 1988 Cotton Research Meeting: Research Aimed at Managing the Cotton Plant*. Proceedings of a Conference, Helena, Arkansas, February 16, 1988 (D. M. Oosterhuis, ed. ) . Arkansas Agricultural Experimental Station, Special Report 132. Fayetteville, Arkansas, USA.
- Stewart, J. McD. , L. A. Craven and J. F. Wendel. 1997. A new Australian species of *Gossypium*. Page 448 in *Proceedings - Beltwide Cotton Conferences*, New Orleans, Louisiana, 7 - 10 January 1997. National Cotton Council of America, Memphis, Tennessee, USA.
- Stipanovic, R. D. , L. S. Puckhaber, A. A. Bell, A. E. Percival and J. Jacobs. 2005. Occurrence of (+) - and (-) - gossypol in wild species of cotton and in *Gossypium hirsutum* var. *marie-galante* (Watt) Hutchinson. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 6266 - 6271.
- Sullivan, J. L. , J. T. Huber, R. L. Price and J. M. Harper. 1993a. Comparison of digestibility, nutritive value, and storage characteristics of different forms of cottonseed in diets fed to lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* 71: 2837 - 2842.
- Sullivan, J. L. , J. T. Huber and J. M. Harper. 1993b. Performance of dairy cows fed short - staple, Pima, and cracked Pima cottonseed and feed characteristics. *Journal of Dairy Science* 76: 3555 - 3561.
- Sun, Y. , X. Zhang, C. Huang, X. Guo and Y. Nie. 2006. Somatic embryogenesis and plant regeneration from different wild diploid cotton (*Gossypium*) species. *Plant Cell Reports* 25: 289 - 296.
- Sunilkumar, G. , L. M. Campbell, L. Puckhaber, R. D. Stipanovic and K. S. Rathore. 2006. Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue - specific reduction of toxic gossypol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 18054 - 18059.
- Susín, J. , M. Clemente and J. E. Hernández - Bermejo. 1988. Valoración de caracteres taxonómicos procedentes de estructuras de origen epidérmico para la diferenciación intraespecífica en *Gossypium hirsutum* L. *Agronomie* 8: 61 - 70.
- Tanda, A. S. 1984. Bee pollination increases yield of two interplanted varieties of Asiatic cotton (*Gossypium arboreum* L. ) . *American Bee Journal* 124: 539 - 540.

- Tothill, J. C. , J. J. Mott and P. Gillard. 1982. Pasture weeds of the tropics and subtropics with special reference to Australia. Pp. 403 - 427 in W. Holzner and M. Numata, eds. , *Biology and Ecology of Weeds*. Dr W. Junk Publishers, The Hague.
- Tsigouri, A. , M. Passaloglou - Katrali and O. Sabatakou. 2004. Palynological characteristics of different unifloral honeys from Greece. *Grana* 43: 122 - 128.
- Tumbelaka, L. I. , O. Slayden and F. Stormshak. 1994. Action of a cyclopropanoid fatty acid on the corpus luteum of pregnant and nonpregnant ewes. *Biology of Reproduction* 50: 253 - 257.
- Ulloa, M. , J. McD. Stewart, E. A. García-C. , S. Godoy-A. , A. Gaytan-M. and N. S. Acosta. 2006. Cotton genetic resources in the western states of Mexico; *In situ* conservation status and germplasm collection for *ex situ* preservation. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 653 - 668.
- Umbeck, P. , G. Johnson, K. Barton and W. Swain. 1987. Genetically transformed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants. *Bio/Technology* 5: 263 - 266.
- Umbeck, P. F., K. A. Barton, E. V. Nordheim, J. C. McCarty, W. L. Parrot and J. N. Jenkins. 1991. Degree of pollen dispersal by insects from a field test of genetically engineered cotton. *Journal of Economic Entomology* 84: 1943 - 1950.
- Unruh, B. L. , and J. C. Silvertooth. 1996. Comparisons between an upland and a Pima cotton cultivar; II. Nutrient uptake and partitioning. *Agronomy Journal* 88: 589 - 595.
- Unruh, B. L. , and J. C. Silvertooth. 1997. Planting and irrigation termination timing effects on the yield of upland and Pima cotton. *Journal of Production Agriculture* 10: 74 - 79.
- Vaissière, B. E. 1991. Honey bee stocking rate, pollinator visitation, and pollination effectiveness in upland cotton grown for hybrid seed production. *Acta Horticulturae* 288: 359 - 363.
- Vaissière, B. E. , and S. B. Vinson. 1994. Pollen morphology and its effect on pollen collection by honey bees, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae), with special reference to upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae) . *Grana* 33: 128 - 138.
- Vaissière, B. E. , J. O. Moffett and G. M. Loper. 1984. Honey bees as pollinators for hybrid cotton seed production on the Texas High Plains. *Agronomy Journal* 76: 1005 - 1010.
- Van Deynze, A. E. , F. J. Sundstrom and K. J. Bradford. 2005. Pollen - mediated gene flow in California cotton depends on pollinator activity. *Crop Science* 45: 1565 - 1570.
- Vollesen, K. 1987. The native species of *Gossypium* (Malvaceae) in Africa, Arabia and Pakistan. *Kew Bulletin* 42: 337 - 349.
- Vreeland Jr. , J. M. 1999. The revival of colored cotton. *Scientific American* 280 (4): 112 - 118.
- Wäckers, F. L. , and T. M. Bezemer. 2003. Root herbivory induces an above - ground indirect defence. *Ecology Letters* 6: 9 - 12.
- Wäckers, F. L. , and C. Bonifay. 2004. How to be sweet? Extrafloral nectary allocation by *Gossypium hirsutum* fits optimal defense theory predictions. *Ecology* 85: 1512 - 1518.
- Waghmare, V. N. , J. Rong, C. J. Rogers, G. J. Pierce, J. F. Wendel and A. H. Paterson. 2005. Genetic mapping of a cross between *Gossypium hirsutum* (cotton) and the Hawaiian endemic, *Gossypium tomentosum*. *Theoretical and Applied Genetics* 111: 665 - 676.
- Wakelyn, P. J. , N. R. Bertoniere, A. D. French, D. P. Thibodeaux, B. A. Triplett, M. - A. Rousselle, W. R. Goynes Jr. , J. V. Edwards, L. Hunter, D. D. McAlister and G. R. Gamble. 2007a. Cotton Fiber Chemistry and Technology. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 176 pp.
- Wakelyn, P. J. , N. R. Bertoniere, A. D. French, D. P. Thibodeaux, B. A. Triplett, M. - A. Rousselle, W. R. Goynes Jr. , J. V. Edwards, L. Hunter, D. D. McAlister and G. R. Gamble. 2007b. Cotton fibers. Pp. 521 - 666 in M. Lewin, ed. , *Handbook of Fiber Chemistry*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton,

Florida, USA.

- Waller, G. D. , F. D. Wilson and J. H. Martin Jr. 1981. Influence of phenotype, season and time of day on nectar production in cotton. *Crop Science* 21: 507 - 511.
- Waller, G. D. , J. O. Moffett, G. M. Loper and J. H. Martin. 1985. Evaluation of honey bees foraging activity and pollination efficacy for male - sterile cotton. *Crop Science* 215: 211 - 214.
- Wang, G. - L. , J. - M. Dong and A. H. Paterson. 1995. The distribution of *Gossypium hirsutum* chromatin in *G. barbadense* germplasm; Molecular analysis of introgressive plant breeding. *Theoretical and Applied Genetics* 91: 1153 - 1161.
- Wang, K. , X. Song, Z. Han, W. Guo, J. Z. Yu, J. Sun, J. Pan, R. J. Kohel and T. Zhang. 2006. Complete assignment of the chromosomes of *Gossypium hirsutum* L. by translocation and fluorescence *in situ* hybridization mapping. *Theoretical and Applied Genetics* 113: 73 - 80.
- Wang, K. , W. Guo and T. Zhang. 2007. Detection and mapping of homologous and homoeologous segments in homoeologous groups of allotetraploid cotton by BAC-FISH. *BMC Genomics* 8: 178, doi: 10.1186/1471-2164-8-178. (8 pp.)
- Wang, K. , B. Guan, W. Guo, B. Zhou, Y. Hu, Y. Zhu and T. Zhang. 2008. Completely distinguishing individual A-genome chromosomes and their karyotyping analysis by multiple bacterial artificial chromosome-fluorescence *in situ* hybridization. *Genetics* 178: 1117 - 1122.
- Wang, N. G. , L. F. Zhou, M. H. Guan and H. P. Lei. 1987. Effect of ( - ) - and ( + ) - gossypol on fertility in male rats. *Journal of Ethnopharmacology* 20: 21 - 24.
- Watanabe, S. , T. Sano, H. Kamada and H. Ezura. 2006. Reducing gene flow from pollen dispersal of genetically modified plants in special screened greenhouses. *Plant Biotechnology* 23: 129 - 135.
- Watson, A. M. 1983. Agricultural Innovation in the Early Islamic World; The Diffusion of Crops and Farming Techniques 700 - 1100. Cambridge University Press, Cambridge, England, UK. 272 pp.
- Weber, E. 2003. Invasive Plant Species of the World: A Reference Guide to Environmental Weeds. CABI Publishing, Wallingford, UK. 548 pp.
- Wendel, J. F. , and R. C. Cronn. 2003. Polyploidy and the evolutionary history of cotton. *Advances in Agronomy* 78: 139 - 186.
- Wendel, J. F. , and R. G. Percy. 1990. Allozyme diversity and introgression in the Galapagos endemic *Gossypium darwini* and its relationship to continental *G. barbadense*. *Biochemical Systematics and Ecology* 18: 517 - 528.
- Wendel, J. F. , P. D. Olson and J. M. Stewart. 1989. Genetic diversity, introgression and independent domestication of Old World cultivated cottons. *American Journal of Botany* 76: 1795 - 1806.
- Wendel, J. F. , C. L. Brubaker and A. E. Percival. 1992. Genetic diversity in *Gossypium hirsutum* and the origin of upland cotton. *American Journal of Botany* 79: 1291 - 1310.
- Wendel, J. F. , R. Rowley and J. McD. Stewart. 1994. Genetic diversity in and phylogenetic relationships of the Brazilian endemic cotton, *Gossypium mustelinum* (Malvaceae) . *Plant Systematics and Evolution* 192: 49 - 59.
- Westengen, O. T. , Z. Huamán and M. Heun. 2005. Genetic diversity and geographic pattern in early South American cotton domestication. *Theoretical and Applied Genetics* 110: 392 - 402.
- Wetzel, C. L. R. , and W. A. Jensen. 1992. Studies of pollen maturation in cotton: The storage reserve accumulation phase. *Sexual Plant Reproduction* 5: 117 - 127.
- Whitmore, T. M. , and B. L. Turner II. 2002. Cultivated Landscapes of Middle America on the Eve of Conquest. Oxford University Press, New York. 338 pp.
- Wilkins, T. A. , K. Rajasekaran and D. M. Anderson. 2000. Cotton biotechnology. *Critical Reviews in Plant*

*Sciences* 19: 511 - 550.

- Wilkins, T. A. , R. Mishra and N. L. Trolinder. 2004. *Agrobacterium*-mediated transformation and regeneration of cotton. *Journal of Food , Agriculture & Environment* 2: 179 - 187.
- Wise, R. R. , G. F. Sassenrath - Cole and R. G. Percy. 2000. A comparison of leaf anatomy in field - grown *Gossypium hirsutum* and *G. barbadense*. *Annals of Botany* 86: 731 - 738.
- Wu, J. , X. Luo, Z. Wang, Y. Tian, A. Liang and Y. Sun. 2008. Transgenic cotton expressing synthesized scorpion insect toxin *AaHIT* gene confers enhanced resistance to cotton bollworm (*Heliothis armigera*) larvae. *Biotechnology Letters* 30: 547 - 554.
- WWF and IUCN. 1997. Centres of Plant Diversity; Volume 3, The Americas. IUCN Publications Unit, Cambridge, England, UK. 562 pp.
- Xanthopoulos, F. P. , and U. E. Kechagia. 2000. Natural crossing in cotton (*Gossypium hirsutum* L. ). *Australian Journal of Agricultural Research* 51: 979 - 983.
- Yannai, S. , and D. Bensal. 1983. Gossypol in cottonseed products; Toxicology and inactivation. *Archives of Toxicology* 53 (Suppl. 6): 167 - 174.
- Youssef, Y. A. , and A. T. Mankarios. 1974. Studies on the rhizosphere mycoflora of broad bean and cotton. *Mycopathologia* 54: 173 - 180.
- Zhang, B. - H. , X. - P. Pan, T. - L. Guo, Q. - L. Wang and T. A. Anderson. 2005. Measuring gene flow in the cultivation of transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L. ) . *Molecular Biotechnology* 31: 11 - 20.
- Zhang, D. - Y. , T. - Z. Zhang, Z. - Q. Sang and W. - Z. Guo. 2007. Comparative development of lint and fuzz using different cotton fiber - specific developmental mutants in *Gossypium hirsutum*. *Journal of Integrative Plant Biology* 49: 1038 - 1046.
- Zhang, H. - B. , Y. Li, B. Wang and P. W. Chee. 2008. Recent advances in cotton genomics. *International Journal of Plant Genomics* 2008: Article ID 742304 (20 pp. )
- Zhang, J. , and J. McD. Stewart. 1997. Hybridization of new Australian *Gossypium* species (section *Grandicalyx*) with cultivated tetraploid cotton. Pp. 487 - 490 in Proceedings - Beltwide Cotton Conferences, New Orleans, Louisiana, 7 - 10 January 1997. National Cotton Council of America, Memphis, Tennessee, USA.
- Zhang, T. Z. , and J. J. Pan. 1999. Hybrid seed production in cotton. Pp. 149 - 184 in A. S. Basra, ed. , Heterosis and Hybrid Seed Production in Agronomic Crops. Haworth Press/Food Production Press, New York.
- Zhu, S. - W. , P. Gao, J. - S. Sun, H. - H. Wang, X. - M. Luo, M. - Y. Jiao, Z. - Y. Wang and G. - X. Xia. 2006. Genetic transformation of green-colored cotton. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 42: 439 - 444.
- Zinn, R. A. 1995. Characteristics of digestion of linted and lint - free cottonseed in diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 73: 1246 - 1250.