

## 棉花化学催熟与脱叶的生理基础

田晓莉\* 段留生 李召虎 王保民 何钟佩

中国农业大学作物农学与生物技术学院化学控制研究中心, 北京 100094

## Physiological Bases of Chemical Accelerated Boll Maturation and Defoliation in Cotton

TIAN Xiao-Li\*, DUAN Liu-Sheng, LI Zhao-Hu, WANG Bao-Min, HE Zhong-Pei

Research Center of Crop Chemical Control, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094

**提要** 从棉铃开裂和棉叶脱落的生理过程、化学催熟剂和脱叶剂作用的生理机制、不同种类催熟剂和脱叶剂复配/混用的方式等方面介绍了棉花化学催熟与脱叶的生理基础以及影响催熟剂和脱叶剂作用效果的因素, 并对这一领域的研究作了展望。

**关键词** 棉花; 催熟; 脱叶; 生理基础

棉花的无限生长习性和生长后期环境温度的下降, 往往导致形成较晚的外围铃和上位铃而不能正常吐絮成熟, 以致影响产量和纤维品质。棉花的这种晚熟现象普遍存在, 而化学催熟即是应用催熟剂解决棉花的后期晚熟问题。

化学脱叶是在收获前促使棉株的绝大部分叶片尽快脱落, 以提高机械采收的作业效率并降低子棉的含杂率。由于脱叶剂的直接作用以及脱叶后田间通风透光状况的改善, 脱叶剂的使用还能促进棉铃的开裂。

在棉花生长发育时期, 尤其在棉花收获季节气候常多变, 因而晚熟是各棉区生产上的主要问题; 另外, 实行棉花化学脱叶、保障机械采棉的顺利实现, 对像新疆这类大棉区的棉花生产, 节约成本和增加效益、提高我国原棉在国际市场上的竞争力很重要。本文介绍国内外几十年来棉花化学催熟与脱叶的生理基础和应用技术, 并对此问题今后的研究作了展望。

### 1 棉铃开裂和棉叶脱落的生理基础

**1.1 棉铃开裂成熟** Simpson和Marsh<sup>[1]</sup>发现, 在棉铃即将开裂前, 铃柄基部维管组织中形成一个软木层, 可阻止水分进入棉铃。与此同时, 维管组织中的内层(inner layers)与心皮(铃壳)之间也发生分离, 随后着以脱水过程, 棉铃即会开裂。

另外的研究还表明, 棉铃在开裂和明显脱水之前, 其释放的乙烯量显著提高<sup>[2~5]</sup>。其他采用不同品种的离体棉铃和非离体棉铃得到的棉铃释放乙烯的结果基本上相似。如Lipe和Morgan<sup>[3]</sup>、Morgan等<sup>[4]</sup>分别采用非离体棉铃(陆地棉Stoneville 213)和离体棉铃(陆地棉SP23)的研究发现, 棉铃开裂前1周左右, 乙烯的释放量迅速增加, 约在开裂前1 d达到最大值, 峰值范围在7~11.5  $\mu\text{L}(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot \text{kg}^{-1}(\text{FW}) \cdot \text{h}^{-1}$ 之间, 而棉铃物质充实期间的乙烯释放量则不足1  $\mu\text{L}(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$ 。刘文燕等<sup>[2]</sup>用沪棉204离体棉铃得到的结果与Morgan等<sup>[4]</sup>的非常相似。

刘文燕等<sup>[2]</sup>还测定了棉铃从开裂至完全吐絮期间不同阶段的乙烯释放量, 发现铃壳轻微开裂时乙烯释放量开始增加, 出现明显裂缝微裂时, 乙烯释放量达到高峰, 之后迅速下降, 大裂吐絮时降到最低水平。

提高离体棉铃周围的 $\text{CO}_2$ 浓度以拮抗乙烯的作用或降低其周围的气压以除去棉铃产生的乙烯,

收稿 2004-03-04 修订 2004-08-24  
资助

\* E-mail: tianxl@263.net

均会导致棉铃开裂的延迟<sup>[6]</sup>。开花后1~6周的离体棉铃用10  $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的乙烯熏蒸可在3~4 d内开裂<sup>[3]</sup>。这些结果为用乙烯利调控棉铃开裂提供了技术依据。

韩碧文等<sup>[7]</sup>的研究结果表明,棉铃开裂与铃壳内过氧化物酶活性的升高呈明显的正相关。他们推测,乙烯促进此酶活性的提高后,生长素降解加速,最终导致棉铃中乙烯与生长素之间平衡发生改变,促使棉铃成熟开裂。

**1.2 棉花叶片脱落** 棉花叶片的自然脱落常发生于叶片衰老期间,是由一系列生理生化变化引起叶柄离层的形成所导致的。已经证明,植物激素平衡的变化在叶片脱落过程中起重要作用<sup>[8,9]</sup>,衰老叶片中的生长素含量降低,乙烯和脱落酸含量上升,而离层远轴端至近轴端之间的生长素梯度消失,于是,叶片对乙烯和脱落酸的敏感性增加,从而促进了叶片脱落。

采用外源乙烯或乙烯释放剂可使棉株叶片大量脱落<sup>[10~13]</sup>。但与其他作物不同,棉花叶片对乙烯的敏感性并不完全随叶龄或衰老程度而增加。一般情况下,完全展开的、处于生理功能盛期的棉花叶片对乙烯的敏感性最低,而尚未完全展开的幼叶和较老的叶片对乙烯的敏感性高,在外源乙烯或乙烯释放剂的作用下极易脱落<sup>[10~13]</sup>。Suttle和Hultstrand<sup>[12]</sup>认为,幼叶经外源乙烯处理后的脱落率高于功能叶,这可能是离层处 IAA 抑制脱落的作用受到限制之故。

由于功能叶尚未在衰老信号的诱导下发生生理代谢方面的变化,因而对外部施用的低剂量化学脱叶剂没有反应;加大脱叶剂的用量,会引起叶片干枯,但并不脱落。嫩叶和较老的叶片则在化学脱叶剂直接或间接产生的大量乙烯作用下,很容易脱落,但脱叶剂用量过大时也出现干枯、不脱落的现象<sup>[10]</sup>。

## 2 棉花化学催熟和脱叶的生理机制

乙烯促进棉铃的开裂,而且开裂是伴随着铃壳脱水干燥过程进行的,据此,人们就联想到用干燥剂和乙烯释放剂促进棉铃吐絮,实施化学催熟。化学脱叶一般是通过化合物的抗生长素性

能,促进乙烯发生或刺激伤害乙烯发生而达到目的的。刺激乙烯发生的化合物往往同时具有催熟和脱叶的功能,只是这两种功能一般并不等同。由于无法在化学结构上将催熟剂和脱叶剂截然分开,所以国际上常将这些物质统称为辅助收获剂(harvest-aids)。

化学催熟剂和脱叶剂从作用机制上可分为两类。第一类为触杀型的化合物,如脱叶磷(butiphos)、噻节因(dimethipin)、唑草酯(carfentrazone)、草甘膦(glyphate)、百草枯(paraquat)、敌草隆(diron)、氯酸镁(magnesium chlorate)等,它们通过不同的机制杀伤或杀死植物的绿色组织,同时刺激伤害乙烯的产生,从而起到催熟和脱叶作用。研究表明,脱叶磷伤害叶片的栅栏组织细胞<sup>[14]</sup>;噻节因引起叶片细胞失水<sup>[15]</sup>;唑草酯则产生自由基而伤害细胞膜;百草枯对叶绿体膜破坏力极强,以致光合作用和叶绿素合成很快终止;草甘膦影响植物体内必需氨基酸的合成;氯酸盐降低叶片的光合、呼吸和蒸腾速率。这一类化合物起效快,应用时间宜偏晚。第二类化合物促进内源乙烯的生成,从而诱导棉铃开裂和叶柄离层的形成,如乙烯利(ethephon)<sup>[4,16~19]</sup>、噻唑隆(thidiazuron)<sup>[11,20~22]</sup>等。一般情况下,乙烯利的催熟效果优于脱叶效果<sup>[23,24]</sup>,而噻唑隆的脱叶效果优于催熟效果。Suttle<sup>[11]</sup>的实验证明,噻唑隆诱发的乙烯释放与化学伤害、水分散失及衰老加快无关,因为实验中未检测到乙烷释放增加,叶片水势和叶绿素含量也没有明显变化。第二类化合物的作用比第一类缓慢得多,应用时间比第一类早。

## 3 影响化学催熟剂和脱叶剂效果的因素

实际应用中,化学催熟剂和脱叶剂的效果往往缺乏年度间和地区间的一致性。Snipes和Cathey<sup>[25]</sup>指出,影响催熟和脱叶效果的因素包括植株状态、环境因素(尤其是处理时的温度)、催熟和脱叶剂的种类。Logan和Gwathmey<sup>[26]</sup>的研究表明,棉花生长季节期间、催熟剂和脱叶剂使用期间和使用后的天气条件都会影响它们的效果,其中生长季期间的天气因素可能会决定植株的生长

状况和对催熟剂和脱叶剂的敏感性。

**3.1 温度** 不同作用类型的催熟剂和脱叶剂对温度的敏感性不同。调节剂型催熟剂和脱叶剂作用的发挥依赖于细胞的代谢活性<sup>[27]</sup>, 需要较高的温度。噻唑隆和乙烯利施用后的一个较短范围之内, 日最高气温大于20℃的天数长短会直接影响脱叶效果<sup>[28]</sup>。环境温度低于15℃时, 噻唑隆的脱叶和催熟效果不明显<sup>[29]</sup>。触杀型脱叶剂对温度的依赖性较小, 而且温度较高时叶片容易干枯而不脱落(sticking)。Hake等<sup>[30]</sup>的研究表明, 触杀型的脱叶磷和噻节因要求的最低温度为12.8~15.6℃, 调节剂型的乙烯利为15.6℃、噻唑隆为18.3℃。

Logan和Gwathmey<sup>[26]</sup>分析美国5年16个地点的资料后指出, 就脱叶而言, 生长季的日最低温度是影响脱叶效果的主要气候因子, 生长季期间夜温较高会促进棉株成熟, 提高棉株对脱叶剂的敏感性; 就催熟而言, 处理前的日最高温度和处理后的日最高及最低温度是影响乙烯利及乙烯利混剂效果的主要因子。他们认为, 处理后14 d内日均最低温度达到11.1℃时, 乙烯利即可发挥作用, 而非文献中所报道的15.6℃<sup>[30]</sup>。

处理后的温度变化趋势也影响脱叶效率<sup>[31]</sup>。处理时气温高而处理后10 d内气温持续下降, 脱叶率低; 处理时气温低而处理后10 d内气温持续上升, 脱叶率高; 处理后气温先下降后上升的, 脱叶率也较低。

除了气温高低及其变化趋势外, 热量积累程度(degree-days, DDs)也是影响催熟剂效果的重要因素。Stewart等<sup>[32]</sup>的研究表明, 相对于催熟剂应用后的时间来说, 以15.3℃为起始温度计算的热量积累程度与棉铃开裂速度的关系更为密切。

**3.2 湿度** 生长期间气候湿润, 叶表皮一般较薄, 有利于催熟剂和脱叶剂的穿透<sup>[33]</sup>。脱叶剂应用时的空气湿度高, 其在叶表面保持溶液状态的时间较长, 会有利于吸收<sup>[34]</sup>。如果棉株在脱叶剂应用前和应用时受到水分胁迫, 脱叶效果往往降低。我国新疆气候干燥, 南疆棉区噻唑隆的用量需要600 g·hm<sup>-2</sup>, 远高于国外的225 g·hm<sup>-2</sup><sup>[35]</sup>。究其原因, 可能是: (1) 干旱降低了叶片的代谢活性<sup>[34]</sup>,

不利于脱叶剂作用的发挥; (2) 水分亏缺使棉叶表皮厚度增加将近28%, 叶表皮中的高分子量烷烃、岩藻甾醇、二十九碳烷烃的含量增加, 不利于脱叶剂的吸收<sup>[36]</sup>。另外, 应用时的空气湿度低还会引起叶表面上的脱叶剂迅速干燥, 减少脱叶剂的吸收<sup>[15]</sup>。

**3.3 其他因素** Brown和Hyer<sup>[37]</sup>认为, 长期缺少光照会降低脱叶剂的效果。处理后数天内持续降雨对催熟剂和脱叶剂效果的影响也比较大<sup>[25, 38]</sup>。生长季末期的氮素供应过多, 营养生长延长, 也影响脱叶效果。有研究表明, 不同品种对催熟剂和脱叶剂的反应也存在差异<sup>[39]</sup>, 这可能是植株状态和敏感性不同造成的。

#### 4 化学催熟剂和脱叶剂的应用

不同催熟剂和脱叶剂发挥最佳活性所要求的环境条件不同<sup>[30]</sup>, 目前, 还没有在各种条件下既能解决脱叶问题、又能解决催熟问题的化合物。因此, 生产中常常采用复配型或混用型的催熟剂和脱叶剂, 以保证不利环境条件下的作用效果, 这已成为棉花化学催熟和脱叶领域的研究热点之一<sup>[25]</sup>。噻唑隆在高温、高湿条件下的效果较好, 而与乙烯利混用后, 其脱叶和催熟的效果受天气变化的影响减小<sup>[29]</sup>。脱叶磷与其他脱叶剂或催熟剂混用, 可以保障两者在降雨时仍能发挥作用<sup>[25]</sup>。气温较低时, 脱叶磷和乙烯利混用的脱叶效果优于二者单用的<sup>[23]</sup>。

另外, 采用不同化合物之间的增效作用来降低用量和成本也是催熟剂、脱叶剂复配和混用的主要目的<sup>[40]</sup>。目前, 采用的复配/混用型催熟剂和脱叶剂有以下几种类型: (1) 不同作用类型的催熟剂和脱叶剂的复配物, 如触杀型的敌草隆(diron)和调节剂型的噻唑隆复配而成的Ginstar(商品名), 触杀型的百草枯和调节剂型的乙烯利复配而成的早熟丰(商品名)<sup>[41]</sup>; (2) 催熟剂和脱叶剂与生长素运输抑制剂或抗生长素类药剂的复配物, 如乙烯利与1-[(2,4-二氯苯基)氨基]羧基-环丁酸(cyclanilide)复配而成的Finish(商品名)。试验证明, cyclanilide可以与IAA竞争质膜上的生长素运输蛋白而抑制生长素运输<sup>[42]</sup>; (3) 催熟剂和脱叶剂与

促进其吸收的物质的混用或复配物, 如乙烯利与1-氨基甲酰胺二氢四氧硫酸盐(AMADS)复配而成的CottonQuik(商品名)<sup>[43]</sup>, 噻节因与植物油(crop oil concentrate)的混用等<sup>[27]</sup>; (4)作用类型相同的乙烯利和噻唑隆混用, 在脱叶中的增效作用和节约成本作用比较明显, 这在新疆棉区的试验和示范结果中已得到证实<sup>[31~35, 44]</sup>。

## 5 结语

人工化学催熟和脱叶已是棉花生产中的重要措施之一, 今后在我国各棉区, 尤其是在新疆棉区显得更为重要。综上所述, 虽然数十年来对棉花化学催熟与脱叶的生理基础进行了一些研究, 但相对于催熟剂和脱叶剂应用技术的发展需要来说, 基础研究还显得比较薄弱。尤其是近几年来, 这一领域的研究几乎停滞不前, 而关于棉花化学催熟与脱叶技术的报道却相对较多。如果这种现象延续下去, 将会阻碍化学催熟和脱叶技术的发展。因此, 应进一步深入研究棉花化学催熟和脱叶的生理基础, 以促进这项应用技术的不断完善。

目前, 虽然已经基本上明确了棉花化学催熟和脱叶的生理机制与植物激素乙烯有关<sup>[2~5, 8, 9]</sup>, 但还未弄清楚为什么乙烯利的催熟效果优于脱叶效果, 而噻唑隆的脱叶效果又优于催熟效果。另外, 噻唑隆除了可刺激乙烯发生外, 是否还影响其他生理过程? 阐明这一问题将有助于充分利用这两个化合物的增效作用, 最终提高药效、降低成本。

化学催熟和脱叶的效果在不同年份、地区、乃至品种间都不太稳定, 现有研究结果只笼统地提出环境条件和植株状态的不同会影响棉株吸收催熟剂和脱叶剂的能力, 棉花器官水平上的生理活性以及棉花对催熟剂和脱叶剂的敏感性也会发生变化<sup>[25, 26, 33, 34, 36]</sup>。另外, 还有不少研究认为不同种类催熟剂和脱叶剂对环境的敏感性不同<sup>[30]</sup>, 它们对棉株的作用效果也不同。但目前人们对所有这些问题的生理机制却知之甚少, 所以对这些问题的研究也应该加强, 这对设计完善的棉花化学催熟和脱叶技术有重要的指导意义。

还有, 从分子水平上研究化学催熟和脱叶的生理过程, 设计和合成能影响这两个生理过程的化合物, 从中筛选先导化合物, 然后优化结构来开发新的催熟剂和脱叶剂(生物合理设计)也值得重视。

## 参考文献

- 1 Simpson ME, Marsh PB. Vascular anatomy of cotton carpels as revealed by digestion in ruminal fluid. *Crop Sci*, 1977, 17: 819~821
- 2 刘文燕, 孙惠珍, 周庆祺等. 棉铃开裂生理. I. 棉铃的开裂与内生乙烯释放. *中国棉花*, 1981, (1): 22~24
- 3 Lipe JA, Morgan PW. Ethylene: Role in fruit abscission and dehiscence process. *Plant Physiol*, 1972, 50(6): 759~764
- 4 Morgan PW, Beyer EM, Lipe JA et al. Ethylene, a regulator in cotton leaf shed and boll opening. 1971 Proceedings of the Beltwide Cotton Production Research Conference, Atlanta, GA, 1971. 42~43
- 5 Abeles FB, Morgan PW, Saltveit ME. *Ethylene in Plant Biology*. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: Academic Press, 1992
- 6 Lipe JA, Morgan PW. Ethylene: Response of fruit dehiscence to CO<sub>2</sub> and reduced pressure. *Plant Physiol*, 1972, 50(6): 765~768
- 7 韩碧文, 徐楚年, 何钟佩等. 乙烯利催熟棉铃机理探讨. I. 乙烯利催熟对棉铃内部过氧化物酶的影响. *北京农业大学学报*, 1981, 7(2): 47~53
- 8 Addicott FT. *Abscission*. Berkeley: University of California Press, 1982
- 9 Sexton R, Woolhouse HW. Senescence and abscission. In: MB Wilkins (ed). *Advanced Plant Physiology*. London: Pitman, 1984. 469~497
- 10 Morgan PW. Stimulation of ethylene evolution and abscission on cotton by 2-chloroethylphosphonic acid. *Plant Physiol*, 1969, 44: 337~341
- 11 Suttle JC. Involvement of ethylene in the action of the cotton defoliant thidiazuron. *Plant Physiol*, 1985, 78: 272~276
- 12 Suttle JC, Hultstrand JF. Ethylene-induced leaf abscission in cotton seedlings. The physiological bases for age-dependent differences in sensitivity. *Plant Physiol*, 1991, 95: 29~33
- 13 夏叔芳, 吴振千. 棉花等植物对乙烯的反应. *植物生理学报*, 1979, 5(1): 1~7
- 14 Morgan PW. Chemical manipulation of abscission and desiccation. In: Hilton JL (ed). *Agricultural Chemicals of the Future*. BARC Symp. VIII, Beltsville, MD, 1983. Totowa, NJ: Roman and Allanheld. 61~74

- 15 Hake K, Cathey G, Suttle J. Cotton defoliation. *Cotton Physiol Today*, 1990, 1(11): 1~4
- 16 Cathey GW, Luckett KE, Rayburn ST. Accelerated boll dehiscence with growth regulator and desiccant chemicals. *Field Crop Res*, 1982, 5:113~120
- 17 Smith CW, Cothren JT, Varvil JJ. Yield and fiber quality of cotton following application of 2-chloroethylphosphonic acid. *Agron J*, 1986, 78: 814~818
- 18 韩碧文, 李丕明, 奚惠达等编著. 棉花应用乙烯利催熟技术及其原理. 北京: 农业出版社, 1983
- 19 沈岳清, 方炳初, 盛敏智. 乙烯利催熟棉铃生理原因的探讨. *植物学报*, 1980, 22(3): 236~239
- 20 Suttle, JC. Effect of the defoliant thidiazuron on ethylene production. *Plant Physiol*, 1983, 72: S~121
- 21 Suttle JC. Effect of the defoliant thidiazuron on ethylene evolution from mung bean hypocotyls segments. *Plant Physiol*, 1984, 75: 902~907
- 22 Grossmann K. Induction of leaf abscission in cotton is a common effect of urea- and adenine-type cytokinins. *Plant Physiol*, 1991, 95:234~237
- 23 Snipes CE, Baskin CC. Influence of early defoliation on cotton yield, seed quality, and fiber properties. *Field Crops Res*, 1994, 37: 137~143
- 24 高艾兰, 宋贤利. 50%噻苯隆可湿性粉剂对棉花脱叶及防止烂铃的药效试验. *农药*, 2003, 42(1): 35~35
- 25 Snipes CE, Cathey GW. Evaluation of defoliant mixtures in cotton. *Field Crops Res*, 1992, 28: 327~334
- 26 Logan J, Gwathmey CO. Effects of weather on cotton responses to Harvest-Aid chemicals. *J Cotton Sci*, 2002, 6: 1~12
- 27 Snipes CE, Wills GD. Influence of temperature and adjuvants on thidiazuron activity in cotton leaves. *Weed Sci*, 1994, 42: 13~17
- 28 李新裕, 陈玉娟, 乔江等. 脱叶剂对棉花产量及纤维品质的影响. *中国棉花*, 2001, 28(2): 11~13
- 29 王桂盛, 田中午, 陈发等. 机采棉化学脱叶催熟技术的应用研究. *中国棉花*, 1997, 24(10): 25~26
- 30 Hake SJ, Hake KD, Kerby TA. Preharvest/harvest decisions. In: Hake SJ, Kerby TA, Hake KD (eds). *Cotton Production Manual*. Publ 3352. Oakland: Univ of California Div of Agriculture Natural Resources, 1996. 73~81
- 31 陈冠文, 李新裕, 王光强等. 新疆机采棉田化学脱叶技术试验. *新疆农垦科技*, 2000, (6): 9~11
- 32 Stewart AM, Edmisten KL, Wells R. Boll openers in cotton: effectiveness and environmental influences. *Field Crops Res*, 2000, 67: 83~90
- 33 Roberts BA, Curley RG, Kerby TA et al. Defoliation, harvest and ginning. In: Hake SJ, Kerby TA, Hake KD (eds). *Cotton Production Manual*. Publ. 3352. Oakland: Univ of California Div of Agriculture Natural Resources, 1996. 305~323
- 34 Cathy GW. Physiology of defoliation in cotton production. In: Mauney JR, Stewart JM (eds). *Cotton Physiology*. Memphis, TN: The Cotton Foundation, 1986. 143~154
- 35 李新裕, 陈玉娟, 闫志顺. 棉花脱叶技术研究. *中国棉花*, 2000, 27(7): 14~16
- 36 Oosterhuis DM, Hampton RE, Wullschlegel SD. Water deficit effects on the cotton leaf cuticle and the efficiency of defoliants. *J Prod Agr*, 1991, 4: 260~265
- 37 Brown LC, Hyer AH. A preliminary report on the influence varying periods of darkness on the defoliability of several varieties of cotton. In: *Proceedings of the Beltwide Cotton Defoliation Conference, USA, 1954*, 8: 44
- 38 叶鹏盛, 李琼芳, 文巧等. 四川棉花施用噻苯隆的效果. *农药*, 1996, 35(7): 37~39
- 39 徐新洲, 聂新富, 张学辉等. 北疆机采棉化学脱叶试验初探. *新疆农机化*, 2001, (2): 26~27
- 40 Supak JR. Harvest aids for picker and stripper cotton. *Cotton Gin Oil Mill Press*, 1995. 96: 14~16
- 41 王永山, 王凤良, 沈田辉等. 百草枯和乙烯利混配对棉花催熟效果好. *农药*, 1996, 35(10): 45~46
- 42 Pederson MK, Burton JD, Coble HD et al. Efficacy of Finish and its mechanism of action. 1997 *Proceedings Beltwide Cotton Conferences, New Orleans, LA, USA, 1997*. 2: 1363~1365
- 43 Robertson WC, Rodery S, Ballantyne P. Evaluation of harvest aids on dryland and irrigated cotton. *Special Report Arkansas Agricultural Experiment Station*, 1998, 188: 161~164
- 44 汤晓红, 邵春喜, 杨景志等. 机采棉脱叶及催熟效果小区试验小结. *石河子科技*, 2002, (1): 15~17