

棉铃对位叶生理特性的基因型差异及其与铃重形成的关系

张文静^{1,2}, 胡宏标¹, 陈兵林¹, 王友华¹, 李文峰¹, 周治国^{1*}

(1. 南京农业大学/农业部作物生长调控重点开放实验室, 江苏 南京 210095;

2. 安徽农业大学农学院, 合肥 230036)

摘要:在大田栽培条件下,研究了4个基因型棉铃对位叶花后碳氮比,可溶性蛋白含量及内源保护酶活性动态变化的基因型差异及其与铃重形成的关系。试验结果表明,棉铃对位叶花后N代谢活跃,内源保护酶活性高,叶片生理活性较强的基因型(如苏棉15和科棉1号),其铃重的快速增长期长,单铃棉纤维干重高,最终铃重较高;反之,棉铃对位叶生理活性弱、功能期短的基因型(如德夏棉1号),棉铃对位叶中C/N高,内源保护酶活性低或下降过快,造成铃重快速增长期缩短,单铃纤维干重降低,最终铃重较低;美棉33B棉铃对位叶中C/N和内源保护酶活性变化特征介于上述两种类型之间。由以上结果可以得出,在本试验条件下,棉铃对位叶生理特性的基因型差异是导致不同铃重形成的重要生理原因之一。

关键词:棉花基因型;对位叶;生理特性;铃重

中图分类号:S562.01 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2007)04-0296-08

Relationship between Genotypic Difference of Physiological Characteristics in Leaf Subtending Boll and Boll Weight Forming

ZHANG Wen-jing^{1,2}, HU Hong-biao¹, CHEN Bing-lin¹, WANG You-hua¹, LI Wen-feng¹, ZHOU Zhi-guo^{1*}

(1. Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 2. College of Agriculture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: To study the genotypic differences of physiological characteristics in leaves subtending bolls and its relationship with the boll weight forming, field experiments were conducted in Nanjing, Jiangsu Province (cotton belts in lower basin of the Yangtze River) in 2004—2005 by using four cotton genotypes. The study focused on the time course of C/N ratio, soluble protein content and internal source protective enzyme activity in the leaves subtending bolls. Flowers were labeled at anthesis and leaves subtending boll were sampled every 7 days from 10 DPA (day post-anthesis) in 2004 and every 7 days from 5 DPA in 2005. The results of 2-year experiments showed that the leaves subtending bolls of SC-15 and KC-1 had more active nitrogen metabolism and higher soluble protein content after anthesis, and had higher physiological activities and longer duration of function, including higher activity of internal source protective enzymes, lower MDA content during the middle and later development stages of bolls. These phenomena led longer time for rapid increasing of boll weight, higher fiber weight in single boll and resulted in higher boll weight finally. On the contrary, the leaves subtending bolls of DSC-1 had shorter duration of function, and lower physiological activities including higher C/N ratio, sharp drop of internal source protective enzyme activities and higher extent of lipid peroxida-

收稿日期:2007-01-04 作者简介:张文静(1979-),女,博士研究生;*:通讯作者, giscott@njau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(30370831),高等学校博士点基金(20050307028)和江苏省自然科学基金(BK2005091)

tion. These items caused the shorter time for rapid increasing of boll weights, lower speed for fiber weight increasing and resulted in lower boll weight finally. The items in AC-33B were between the above two types. From above results, we suggested that under our experiment condition, the genotypic difference of the physiological characteristic in leaves subtending bolls might be one of important reasons causing the difference in boll weights forming.

Key words: cotton genotype; leaf subtending boll; physiological characteristic; boll weight

自从 Mason 等提出作物的源库理论以来,以源库的观点探索作物高产途径已成为提高作物产量的重要方面^[1]。棉花进入结铃期后,棉铃发育的养分来自于对位果枝叶、主茎叶和相邻果枝叶,在这三者中,养分贡献最大的是对位果枝叶,即棉铃对位叶^[2],因此,棉铃对位叶的生理特性对于棉铃的生长发育及最终产量的形成有重要的作用。

大量研究结果表明,碳(C)、氮(N)代谢及二者之间的协调与作物的生态适应性、营养生长向生殖生长的转化、源库关系及产量的形成等生命活动有着非常密切的关系^[3-5]。因此,C/N 一般被作为衡量 C、N 代谢平衡、营养生长和生殖生长平衡的重要指标。内源保护酶(SOD、POD 与 CAT)在清除植物体内活性氧毒害方面有着重要的作用,其活性一定程度上反映了机体的生理活性及衰老情况^[6-7]。叶片中内源保护酶的活性与自由基数量、叶片功能期及衰老关系密切^[8]。随着叶片的衰老,叶绿体结构开始解体,光合过程受阻,光合产物的生产和积累均受到影响。棉铃对位叶作为棉铃养分的主要供应者,其生理特性直接影响棉铃发育所需养分物质的合成和转运^[9]。前人对于棉铃对位叶生理特性方面的研究,多集中于叶片的物质转运和光合生理特征与棉铃最终产量的关系上^[10-13],而对于棉铃对位叶生理特性的基因型差异对铃重形成过程的影响还缺乏深入的研究。因此,本文拟选取不同铃重及生育期基因型的棉花,研究花后棉铃对位叶中 C/N 及内源保护酶活性的动态变化,探寻棉铃对位叶部分生理特性的基因型差异及其对铃重可能存在的调控作用,旨在为棉花生产和高产优质品种的选育提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于 2004—2005 年在江苏南京江苏省农科院试验站进行,供试土壤为黄棕壤土,0~20 cm 土壤 pH 为 7.5,有机质 2.5%,全氮 12.0 g ·

kg⁻¹,速效氮 85.1 mg · kg⁻¹,有效磷 13.0 mg · kg⁻¹,有效钾 91.6 mg · kg⁻¹。

本试验选择了生育期和铃重存在较大差异的基因型 4 个:科棉 1 号(全生育期 135~140 d,铃重 5.5~6.0 g,用 KC-1 表示),苏棉 15(全生育期 135~140 d,铃重 5.9 g 左右,用 SC-15 表示),美棉 33B(全生育期 120~125 d,铃重 5.2 g 左右,用 AC-33B 表示)和德夏棉 1 号(全生育期 105~110 d,铃重 5.2~5.7 g,用 DSC-1 表示)。2004 年供试品种:苏棉 15、科棉 1 号、德夏棉 1 号和美棉 33B;2005 年供试品种:苏棉 15、科棉 1 号、德夏棉 1 号。2 年均于 4 月 15 日育苗,5 月 10 日移栽。田间小区面积 15 m×4 m,随机区组排列,重复 4 次。田间管理按高产栽培要求进行,3 月下旬浇底墒水,基肥于播种前施用,花铃肥在 7 月中旬追施。

在 6~8 果枝第 1、2 果节开花时,挂牌标记当日内所开花。对挂牌标记铃,2004 年从铃龄 10 d 开始,2005 年从铃龄 5 d 开始,每 7 d 取生长发育一致的棉铃 6~10 个及所对应的果枝叶,直至裂铃。将棉铃中的棉子和纤维分离,分别烘干称重,用于计算铃重,棉铃对位液氮速冻后-20 °C 下保存。

1.2 方法

对于标记的棉铃对位叶,可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[14],氨基酸含量测定采用茚三酮比色法^[11],用以计算棉铃对位叶中 C/N;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 比色法^[14],SOD 活性测定采用硝基四唑蓝还原比色法^[14],POD 活性测定采用愈创木酚法^[15],CAT 活性测定采用高锰酸钾滴定法,丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸比色法^[15]。铃重用 6~10 个棉铃的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同基因型棉铃对位叶中 C/N 的动态变化

由图 1 可以看出,除苏棉 15 棉铃对位叶中氨基酸含量随铃龄的增加呈现先缓慢上升后下降的趋势外,其它品种棉铃对位叶中可溶性糖和氨基

酸含量的总体趋势表现为:随棉铃的发育,对位叶可溶性糖和氨基酸含量均呈下降趋势,但后者下降较平缓。在棉铃发育的初期对位叶中光合产物较多,随着光合产物向棉铃的转运和叶片光合能力的下降,对位叶中可溶性糖含量下降较快。氨基酸是组成蛋白质的基本单位,其含量的高低表明叶片的氮代谢情况,花后棉铃对位叶中氨基酸含量下降较缓说明棉铃发育后期氮代谢较活跃。对位叶中碳氮比值随棉铃的发育呈下降趋势,各基因型表现一致,说明花后初期 C 代谢较为活跃,源器官叶片的供应比较充足,棉铃的合成能力相对较弱,随着后期棉铃合成能力的增大,C/N 降低。不同基因型间比较发现:德夏棉 1 号棉铃对位叶中的可溶性糖含量在棉铃发育过程中大于

其它基因型,科棉 1 号在铃龄 24 d 前棉铃对位叶中可溶性糖含量较大,但 24 d 后下降较快,苏棉 15 棉铃对位叶中可溶性糖含量在供试品种中最低。棉铃对位叶中氨基酸含量的基因型间差异与可溶性糖含量差异表现相反,苏棉 15 棉铃对位叶中氨基酸含量在棉铃发育过程中显著高于其它 3 个品种,科棉 1 号其次,德夏棉 1 号含量最低。棉铃对位叶中 C/N 基因型间的差异与氨基酸含量基因型间差异相同,苏棉 15 棉铃对位叶碳氮比值低说明棉铃对位叶中的光合产物转运快,有利于铃重的增加;德夏棉 1 号虽然在棉铃发育初期对位叶中积累了大量的可溶性糖类,但转运量较少,不利于铃重的形成,且氨基酸含量下降快,叶片生理活性降低。

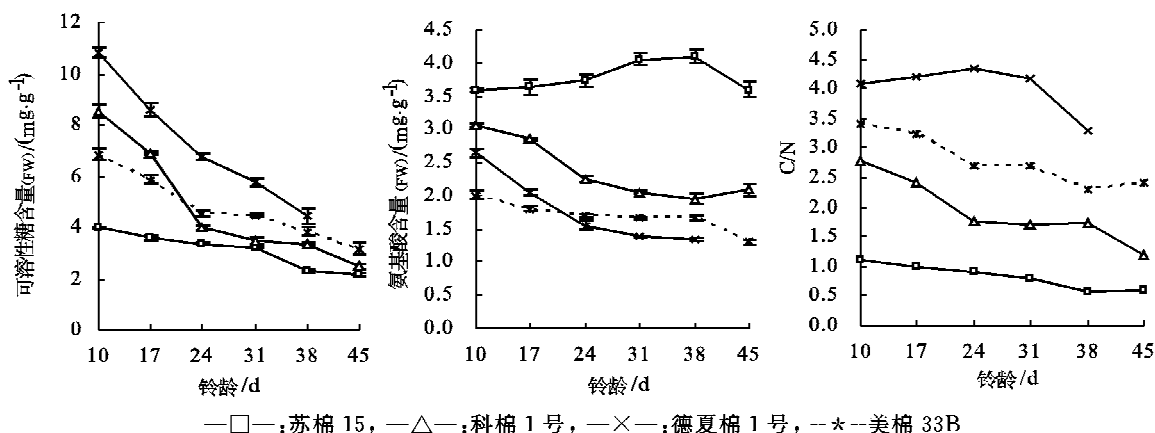


图 1 不同基因型棉铃对位叶可溶性糖含量、氨基酸含量及碳氮比的动态变化(2004)

Fig. 1 Dynamic changes of soluble sugar content, amino acid content and C/N ratio in the leaves subtending boll of different genotypes (2004)

2.2 不同基因型棉铃对位叶中可溶性蛋白含量的动态变化

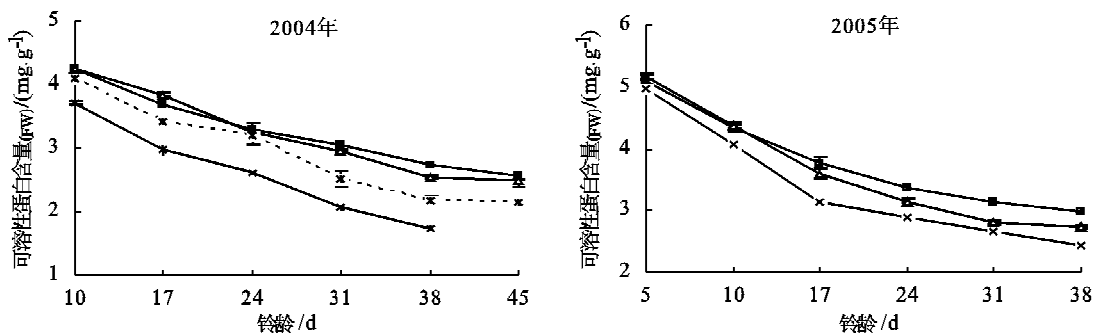
叶片中可溶性蛋白的含量直接反映叶片中多种酶的含量,并最终影响叶片的生理功能,同时可溶性蛋白也是叶片输出氮的主要形式^[1]。由图 2 可以看出,不同基因型棉铃对位叶可溶性蛋白含量在花后均呈下降趋势。基因型间的差异在两年试验中结果相似,苏棉 15 棉铃对位叶中可溶性蛋白含量在棉铃发育过程均高于相同铃龄的其它品种,其次是科棉 1 号及美棉 33B,德夏棉 1 号棉铃对位叶中可溶性蛋白在整个铃期都较低;另外不同基因型棉铃对位叶中可溶性蛋白含量下降幅度也存在差异,下降幅度依次为: DSC-1 > AC-33B > KC-1 > SC-15。可溶性蛋白的含量可以直接反映叶片中多种酶的含量,而酶的含量又在一定程度上决定了叶片的生理功能,因此,以上结果说明了各基因型棉铃对位叶的生理活性在棉铃发育过

程中存在明显差异。

2.3 不同基因型棉铃对位叶中内源保护酶活性和 MDA 含量的动态变化

2.3.1 SOD 活性。

SOD 是清除氧自由基对细胞膜系统伤害的重要保护酶,它可以把 O_2^- 转化为毒性较轻的 H_2O_2 , 随后由 CAT 和 POD 等将 H_2O_2 分解为无毒的 H_2O 和 O_2 。但当 O_2^- 达到较高的浓度时开始对 SOD 等保护酶进行进攻并导致其活性降低或丧失,促使叶绿素和蛋白质降解。从图 3 可以看出,棉铃对位叶 SOD 活性随着棉铃发育呈现缓慢上升的趋势,两年试验结果基本一致。不同基因型间存在一定差异,苏棉 15 棉铃对位叶 SOD 活性在整个铃期活性都高于其它品种,活性变化幅度较小。科棉 1 号棉铃对位叶 SOD 活性仅低于苏棉 15,且在整个棉铃发育过程中活性变化也较小,说明棉铃对位叶在棉铃发育的后期生理活性仍然较强,有利于光合产物的积



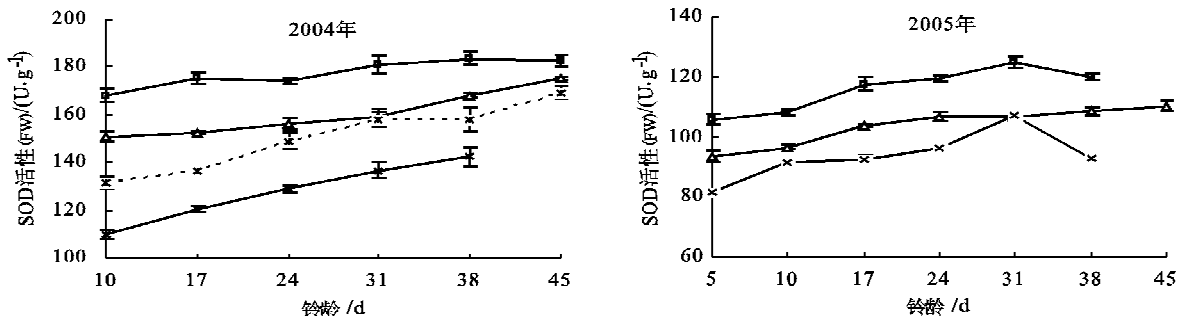
—□—: 苏棉 15, —△—: 科棉 1 号, —×—: 德夏棉 1 号, —*—: 美棉 33B

图 2 不同基因型棉铃对位叶可溶性蛋白含量的动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of soluble protein content in the leaves subtending boll of different genotypes

累和转运。德夏棉 1 号和美棉 33B 棉铃对位叶中的 SOD 活性随着棉铃的发育进程不断增强,说明这两个基因型棉铃对位叶在棉铃发育过程中,叶片细胞中自由基积累较多,细胞膜脂过氧化程度不断加强,刺激了 SOD 活性的迅速增强。尤其

是在 2005 年试验中,德夏棉 1 号棉铃对位叶中 SOD 在铃龄 31 d 以后就迅速下降,说明此时叶片中自由基到达一定高的浓度,导致 SOD 活性部分丧失,加剧了叶片的衰老速度。



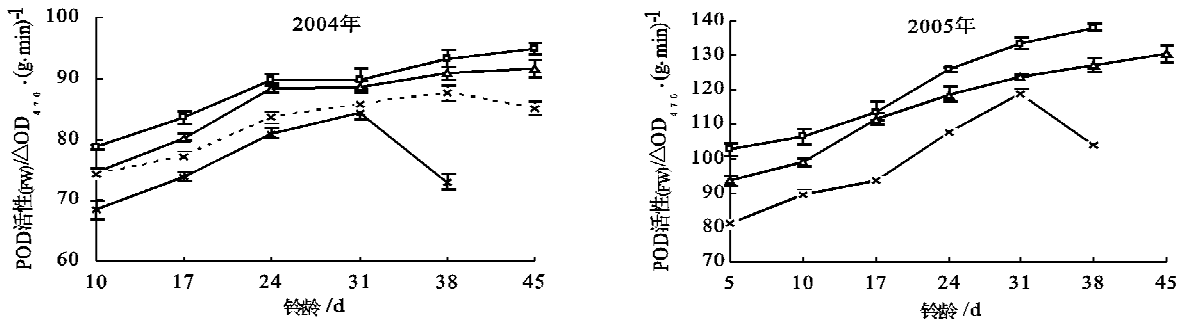
—□—: 苏棉 15; —△—: 科棉 1 号; —×—: 德夏棉 1 号; —*—: 美棉 33B

图 3 不同基因型棉铃对位叶 SOD 活性的动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of superoxide dismutases activities in the leaves subtending boll of different genotypes

2.3.2 POD 活性。POD 能清除植物体内的 H₂O₂,减少自由基的形成,维持体内活性氧的代谢,保护膜结构。由图 4 中不同基因型棉铃对位叶 POD 活性的动态变化可以看出,棉铃对位叶中 POD 活性随棉铃的发育进程不断上升,两年的试验结果相似。基因间的差异主要表现在酶活性的高低及棉铃发育中、后期酶活的变化趋势,苏棉

15 和科棉 1 号棉铃对位叶中 POD 活性在整个铃期呈上升趋势且活性高于其它供试品种;德夏棉 1 号棉铃对位叶中 POD 活性在铃龄 31 d 以前低于其它品种,且铃龄 31 d 以后酶活开始大幅下降;美棉 33B 棉铃对位叶中 POD 活性在铃龄 31 d 以后也开始下降,下降幅度较德夏棉 1 号平缓。



—□—: 苏棉 15, —△—: 科棉 1 号, —×—: 德夏棉 1 号, —*—: 美棉 33B

图 4 不同基因型棉铃对位叶 POD 活性的动态变化

Fig. 4 Dynamic changes of peroxidase activities in the leaves subtending bolls of different genotypes

2.3.3 CAT活性。由图5可以看出,棉铃对位叶中CAT活性在棉铃发育初期呈现上升趋势,到棉铃发育后期活性迅速下降,基因型间差异较大。苏棉15棉铃对位叶中CAT活性高于其它供试品种,其活性高峰出现在铃龄38d左右。科棉1号叶片中CAT活性高于美棉33B和德夏棉1号,其酶活峰值出现的时间也在铃龄38d左右,与苏棉15及美棉33B一致。科棉1号和苏棉15

棉铃对位叶中CAT活性相对稳定,清除代谢过程中产生的活性氧自由基的能力强,能较长时间的维持叶片细胞结构完整,延迟叶片衰老。德夏棉1号棉铃对位叶中CAT活性在供试品种中最低,而且其活性高峰出现在铃龄24d左右且之后迅速下降,早于其它供试品种,说明该基因型对位果枝叶易出现早衰,光合能力减弱,影响光合产物的生产和积累。

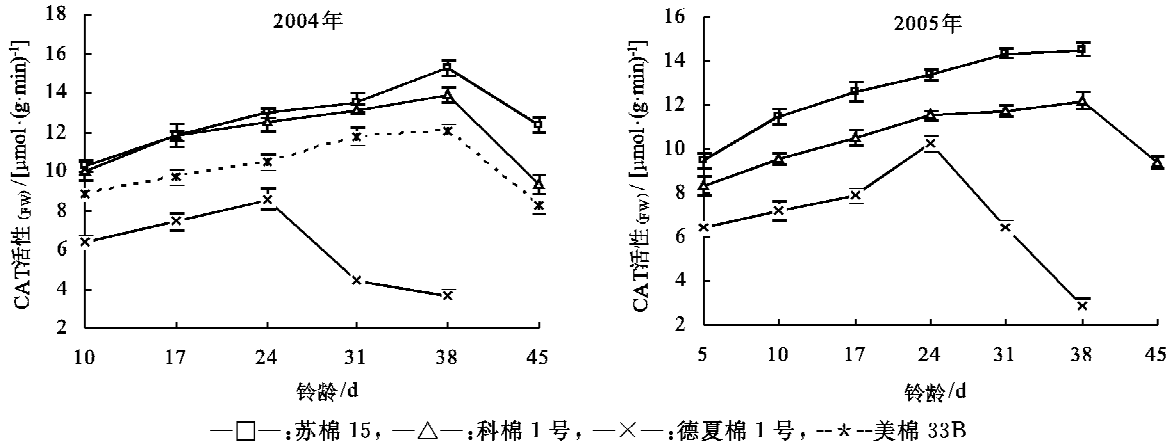


图5 不同基因型棉铃对位叶CAT活性的动态变化

Fig. 5 Dynamic changes of catalase activities in the leaves subtending boll of different genotypes

2.3.4 MDA含量。丙二醛(MDA)是反映生物膜损伤程度的重要生化指标之一。可与细胞内其它成分发生剧烈的氧化反应,可引起膜蛋白的变性。膜脂过氧化作用越强,质膜透性越大,机体衰老程度越高。由图6试验结果可以看出,随着棉铃的发育成熟,对位果枝叶中MDA含量不断增加。基因型间比较发现,苏棉15棉铃对位叶中MDA含量在整个铃期变化不大且含量较低,叶

片细胞膜质过氧化程度低,叶片功能期较长,有利于棉铃发育和产量的形成。德夏棉1号棉铃对位叶中MDA含量增加较快,明显高于其它基因型,说明其对位叶膜质过氧化严重,影响了棉铃发育中、后期光合产物的合成和转运。科棉1号和美棉33B棉铃对位叶中MDA含量介于苏棉15和德夏棉1号之间。

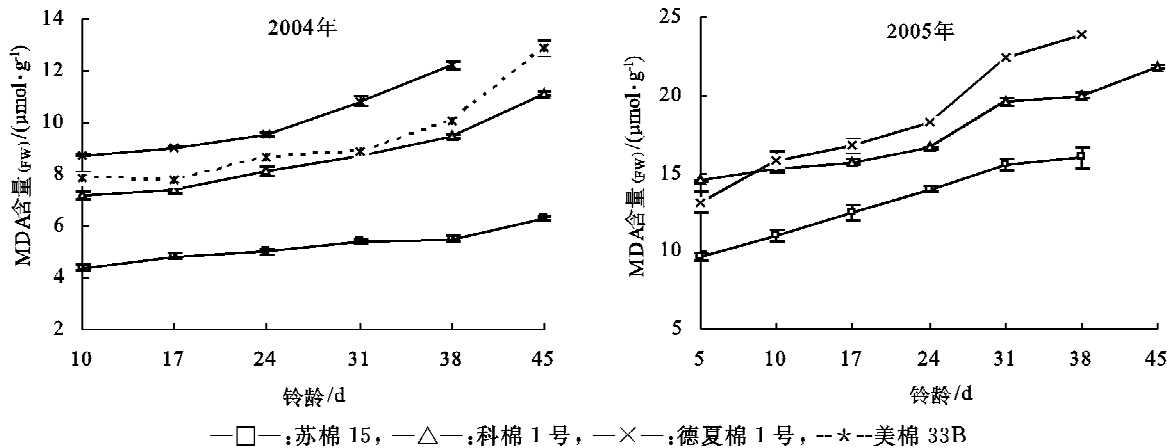


图6 不同基因型棉铃对位叶MDA含量的动态变化

Fig. 6 Dynamic changes of MDA contents in the leaves subtending boll of different genotypes

2.4 不同基因型棉花铃重形成的动态变化

2.4.1 铃重。铃重是构成棉花产量的基础,也是

其基因型的主要特征参数,同时铃重也是体现棉花库质量最直观的指标。本试验中不同基因型铃

重的增加符合“S”型增长曲线,用 Logistic 模型对其生育进程进行模拟,得到棉铃铃重的动态增长拟合方程(表 1)。从表 1 可以看出,不同基因型棉铃铃重的理论最大值存在一定的差异,具体表现为苏棉 15 和科棉 1 号铃重的理论值相差不大,但明显高于美棉 33B 和德夏棉 1 号,德夏棉 1 号的铃重在供试品种中最低。通过分析表中的特征值,比较快速增长期历时、最大增长速率与最终铃重值可以发现,在本试验条件下,铃重快速增长期历时长、最大增长速率较大的基因型,其最终铃重

也最大,反之,铃重快速增长期历时短、最大增长速率较小的基因型,其铃重相对较小。结合 2.3 节的结果,棉铃对位叶生理活性强,功能期长,衰老迟缓的基因型(如苏棉 15),其铃重快速增长期长,最大增长速率较快,有利于大铃的形成;而棉铃对位叶生理活性较弱,保护酶活性在棉铃发育后期下降较快,叶片发生早衰的基因型(如德夏棉 1 号),快速增长期持续时间短,最大增长速率较低,不利于铃重的形成。

表 1 不同基因型棉花铃重动态变化的拟合方程

Table 1 The imitated equation of single boll weight increase of different genotypes

年份	基因型	模型	n	R ²	t ₁ /d	t ₂ /d	T/d	V _{max} /(g·d ⁻¹)
2004	SC-15	$W=5.9062/(1+23.2124e^{-0.1160t})$	6	0.9817**	16	38	23	0.1713
	KC-1	$W=5.8865/(1+20.0443e^{-0.1180t})$	6	0.9768**	15	38	23	0.1663
	DSC-1	$W=4.9491/(1+22.5536e^{-0.1805t})$	6	0.9812**	14	34	20	0.1615
	AC-33B	$W=5.1166/(1+22.5341e^{-0.1242t})$	6	0.9830**	14	36	21	0.1589
2005	SC-15	$W=5.8881/(1+47.1490e^{-0.1586t})$	7	0.9625**	16	33	17	0.2335
	KC-1	$W=5.7693/(1+44.1307e^{-0.1469t})$	7	0.9621**	17	35	18	0.2118
	DSC-1	$W=4.8917/(1+53.6406e^{-0.1665t})$	7	0.9502**	16	32	14	0.2036

注:(1) W: 铃重,t: 铃龄;(2) n=6, R_{0.05}²=0.6584, R_{0.01}²=0.8413; n=7, R_{0.05}²=0.5693, R_{0.01}²=0.7653;(3) * *: 表示 0.01 水平显著性;(4) T: 铃重快速增长期历时,t₁,t₂: 铃重快速增长期开始和结束的时间,V_{max}: 铃重最大增长速率。

2.4.2 单铃棉纤维重。单铃中棉纤维干重的动态变化也符合 Logistic 增长曲线,表 2 显示的是对各基因型单铃纤维干重进行模拟所得的拟合方程及主要特征值。可以看出,单铃纤维干重理论值以苏棉 15 最大,其次是科棉 1 号,德夏棉 1 号纤维干重最低。虽然单铃棉纤维干重快速增长期开始和结束的时间在基因型间及年际间差异较大,但快速增长期持续的时间在基因型间差异不

大,这一点与铃重不同,最终纤维干重差异形成的主要原因可能在于不同基因型纤维干重增长速率差异较大。在本试验条件下,单铃纤维干重较高的品种(苏棉 15)最快增长速率明显高于其它基因型,最终的棉纤维干重也最大;单铃纤维干重较低的德夏棉 1 号,其纤维干重最大增长速率在供试品种中最低。

表 2 不同基因型单铃棉纤维干重增加的拟合方程

Table 2 The imitated equation of dry weight increase of fiber in single boll of different genotypes

年份	基因型	模型	n	R ²	t ₁ /d	t ₂ /d	T/d	V _{max} /(g·d ⁻¹)
2004	SC-15	$W=2.1375/(1+234.9356e^{-0.2009t})$	6	0.9925**	21	34	13	0.1074
	KC-1	$W=1.9762/(1+91.7631e^{-0.1845t})$	6	0.9780**	17	32	14	0.0912
	DSC-1	$W=1.4120/(1+65.5680e^{-0.1940t})$	6	0.9545**	15	28	14	0.0685
	AC-33B	$W=1.6860/(1+79.2773e^{-0.1713t})$	6	0.9780**	18	33	15	0.0723
2005	SC-15	$W=2.3385/(1+98.7431e^{-0.2032t})$	7	0.9717**	16	29	13	0.1188
	KC-1	$W=2.1568/(1+109.5368e^{-0.1868t})$	7	0.9851**	18	32	14	0.1007
	DSC-1	$W=1.7822/(1+78.4547e^{-0.1853t})$	7	0.9841**	16	31	14	0.0826

注:(1) W: 单铃纤维干重,t: 铃龄;(2) n=6, R_{0.05}²=0.6584, R_{0.01}²=0.8413; n=7, R_{0.05}²=0.5693, R_{0.01}²=0.7653;(3) * *: 表示 0.01 水平显著性;(4) T: 单铃纤维干重快速增长期历时,t₁,t₂: 单铃纤维干重快速增长期开始和结束的时间,V_{max}: 单铃纤维干重最大增长速率。

2.4.3 单铃棉子重。单铃棉子干重增长趋势同铃重和单铃纤维干重增长趋势相似,即经历了前

期慢、中期快、后期慢的“S”型增长曲线。由表 3 中拟合方程和相关特征值可以看出,单铃棉子干

重理论值以德夏棉 1 号最高,美棉 33B 次之,苏棉 15 单铃棉子干重最低。在相同年份内单铃棉子干重快速增长持续期在基因型间差距不大,但在快速增长期起止时间及最大增长速率上差异较大。在 2004 年试验中,铃重较大的品种苏棉 15 和科棉 1 号单铃棉子快速增长期开始的时间较其它两个基因型早 1 周左右,结束的时间也相应提前;最大增长速率以棉子干重理论值最大的德夏棉 1 号最高,干重理论值最小的苏棉 15 最大增长

速率相对最慢。而在 2005 年试验中,3 个供试品种单铃中棉子干重快速增长期开始和结束的时间都相差不大,苏棉 15 和科棉 1 号略早于德夏棉 1 号;相同品种快速增长期的持续时间与 2004 年数据比较相差较大,说明不同环境条件对于棉子干重快速增长起始时间和持续时间影响较大;棉子干重最大增长速率基因型间差异的规律与 2004 年相同。

表 3 不同基因型单铃棉子干重增加的拟合方程

Table 3 The imitated equation of dry weight increasing of cottonseed in single boll of different genotypes

年份	基因型	模型	n	R^2	t_1/d	t_2/d	T/d	$V_{max}/(g \cdot d^{-1})$
2004	SC-15	$W=2.5491/(1+7.4650e^{-0.1020t})$	6	0.9332**	7	33	26	0.0650
	KC-1	$W=2.5683/(1+9.7575e^{-0.1167t})$	6	0.9358**	8	31	23	0.0749
	DSC-1	$W=4.0339/(1+17.3970e^{-0.1013t})$	6	0.9789**	15	41	26	0.1022
	AC-33B	$W=3.7997/(1+15.5506e^{-0.1007t})$	6	0.9827**	14	40	26	0.0957
2005	SC-15	$W=2.2835/(1+24.0687e^{-0.1704t})$	7	0.9603**	11	26	15	0.0973
	KC-1	$W=2.3955/(1+25.9640e^{-0.1768t})$	7	0.9646**	11	26	15	0.1059
	DSC-1	$W=2.6446/(1+52.8235e^{-0.2077t})$	7	0.9563**	13	25	13	0.1373

注:(1) W : 单铃棉子干重, t : 铃龄;(2) $n=6$, $R_{0.05}^2=0.6584$, $R_{0.01}^2=0.8413$; $n=7$, $R_{0.05}^2=0.5693$, $R_{0.01}^2=0.7653$ 。(3) ** : 表示 0.01 水平显著性;(4) T : 单铃棉子干重快速增长期历时, t_1, t_2 : 单铃棉子干重快速增长期开始和结束的时间, V_{max} : 单铃棉子干重最大增长速率。

3 讨论

棉铃发育过程中所需的营养物质主要由棉铃对位叶进行光合作用产生的碳水化合物提供,因此棉铃对位叶的生理特性与棉铃最终的产量有着密切关系。本试验选择 4 个基因型,对于结铃后棉铃对位叶中部分生理指标进行了测定和分析,结果表明棉铃对位叶生理活性的基因型差异可能是造成铃重差异的重要生理原因之一。

功能叶碳氮代谢的协调和平衡对于作物高产有着重要的意义^[16-17]。He 等比较研究了不同叶片类型的玉米发现,叶片功能期持续时间长的基因型,其叶片中氮素含量明显高于早衰叶片品种,且根系吸收速效氮的速度也快^[18]。在本试验中,结铃以后对位叶中光合产物积累少,氨基酸含量高,氮代谢活跃, C/N 低的基因型,叶片功能期长,铃重快速增长期长,较易形成大的铃重;而叶片中碳水化合物积累多,氨基酸含量低且下降快, C/N 高的基因型,叶片功能期短,铃重快速增长持续期短,不利于铃重的形成。

对于大多数作物,功能叶生理活性强,衰老较慢的品种能够给库器官提供充分的光合产物,有

利于作物的高产^[19-21]。叶片中可溶性蛋白含量、内源保护酶的活性及细胞内膜质过氧化程度均可以反映叶片的衰老情况,在一定程度上决定了叶片的功能期长短。在本试验中棉铃对位叶可溶性蛋白含量高,下降平缓有利于铃重的形成。植株生育后期体内许多需氧代谢过程产生的活性氧增加,造成对细胞及组织的损伤,是导致叶片衰老加速的重要原因。有关试验证明,叶片衰老与活性氧代谢呈正相关^[22]。SOD、POD 和 CAT 共同构成植物体内活性氧清除系统,从本试验结果看,在棉铃发育过程中,对位果枝叶中 SOD、POD 和 CAT 活性高,尤其在棉铃发育的中、后期活性较强的基因型,叶片细胞内 MDA 含量相对较少,细胞膜质过氧化程度低,叶片功能期长,有利于铃重的增加,此外对单铃纤维干重的增加也有一定促进作用;反之,棉铃对位叶中内源保护酶活性低或者后期酶活下降较快的基因型,细胞膜质过氧化程度高,MDA 含量高,叶片出现早衰,不利于对养分的吸收和光能的转化,铃重快速增长期的时间缩短,增长速度缓慢,最终导致铃重的下降和单铃纤维干重的降低。

4 结论

在本试验条件下,棉铃对位叶的生理活性与铃重的形成有着密切关系,其生理活性的基因型差异可能是造成铃重差异形成的重要生理原因之一。棉铃发育过程中,尤其是在棉铃发育中、后期,棉铃对位叶生理活性强,N代谢较为活跃的基因型,其棉铃对位叶功能期长,铃重快速增长持续期长,最大增长速率高,较易形成高的铃重和单铃纤维干重;反之,棉铃对位叶在棉铃发育中、后期生理活性弱或叶片出现早衰的基因型,就会严重影响叶片光合产物的形成及其向棉铃的转运,导致铃重快速增长持续期短,最大增长速率低,不利于铃重的增加。

参考文献:

- [1] 周桂生,陈德华,吴云康. 施肥和化控对高产棉田叶源活性和棉铃发育的调节[J]. 棉花学报, 2001, 13(6): 356-360.
- [2] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2000.
- [3] PAN W L, Camberato J J, Moll R H. Altering source-sink relationships in prolific maize hybrids: Consequences for nitrogen uptake and remobilization [J]. *Crop Science*, 1995, 35(2): 836-845.
- [4] UHART S A, Andrade F H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios [J]. *Crop Science*, 1995, 35(1): 183-190.
- [5] 田晓莉,杨培珠,王保民,等. 转 Bt 基因抗虫棉中棉所 30 的碳、氮代谢特征[J]. 棉花学报, 2000, 12(4): 172-175.
- [6] PROCHAZKOVA D, Wilhelmova N. Changes in antioxidative protection in bean cotyledons during natural and continuous irradiation-accelerated senescence [J]. *Biologia Plantarum*, 2004, 48 (1): 33-39.
- [7] KUKAVICA B, Jovanovic S V. Senescence-related changes in the antioxidant status of ginkgo and birch leaves during autumn yellowing [J]. *Physiologia Plantarum*, 2004, 122(3): 321-327.
- [8] 喻树迅,范术丽,原日红,等. 清除活性氧酶类对棉花早熟不早衰特性的遗传影响[J]. 棉花学报, 1999, 11(2): 100-105.
- [9] WELLS R. Response of leaf ontogeny and photosynthetic activity to reproductive growth in cotton [J]. *Plant Physiology*, 1988, 87(1): 274-279.
- [10] 董合忠,李维江,唐 薇,等. 不同基因型抗虫棉的光合生产与叶源特征[J]. 棉花学报, 2005, 17(6): 328-333.
- [11] 朱绍琳. 棉花高产育种的探讨[J]. 中国棉花, 1994, 21 (4): 11-13.
- [12] 梁哲军,赵海祯,齐宏立,等. 基因型差异对棉花光合产物生产和分配的影响及遗传改良研究[J]. 棉花学报, 2005, 17(1): 18-22.
- [13] ZHAO D L, Oosterhuis D. Cotton responses to shade at different growth stages: Nonstructural Carbohydrate Composition [J]. *Crop Science*, 1998, 38(5): 1196-1203.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [15] 周治国. 苗期遮荫对棉花功能叶光合特性和光合产物代谢的影响[J]. 作物学报, 2001, 27(6): 967-973.
- [16] OSAKI M, Shinano T. Plant growth based on interrelation between carbon and nitrogen translocation from leaves [J]. *Photosynthetica*, 2001, 39 (2): 197-203.
- [17] 张 祥,陈德华,王进友,等. 移栽 Bt 棉的生长发育及其碳氮代谢研究[J]. 棉花学报, 2006, 18(1): 37-42.
- [18] HE P, Osaki M, Takebe M et al. Comparison of whole system of carbon and nitrogen accumulation between two maize hybrids differing in leaf senescence [J]. *Photosynthetica*, 2003, 41 (3): 399-405.
- [19] PATTERSON D T. Effect of temperature and photoperiod on growth and reproductive development of goatsrue [J]. *Journal of Range Management*, 1992, 45(5): 449-453.
- [20] ZHAO D L, Oosterhuis D M. Nitrogen application effect on leaf photosynthesis, nonstructural carbohydrate concentrations and yield of field-growth cotton [C]. *Proceedings of the Cotton Research Meeting*, 2000:69-71.
- [21] KUMUDINI S, Hume D J, Chu G. Genetic improvement in short-season soybeans; II. Nitrogen accumulation, remobilization, and partitioning [J]. *Crop Science*, 2002, 42(1): 141-145.
- [22] 杨淑慎,高俊凤,李学俊,等. 杂交春性小麦叶片衰老与保护酶系统活性的研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(6): 460-463. ●