

新疆超高产棉花光合物质生产与分配关系的研究

郭仁松¹, 刘盼¹, 张巨松^{1*}, 饶翠婷², 王宏伟², 高云光¹, 赵强¹

(1.新疆农业大学/教育部棉花工程研究中心, 乌鲁木齐 830052; 2.阿克苏市农业技术推广中心, 新疆阿克苏 834000)

摘要:于2008—2009年在新疆自然生态条件下,利用普通高产和中低产棉花对比研究了超高产棉花光合物质生产与分配关系。结果表明:超高产棉花LAI花前增长速率明显快于高产、中低产棉花,盛铃期峰值大,且盛铃期后下降缓慢,后期仍能保持较高水平;叶片SPAD值与Pn(净光合速率)关系密切,即开花前超高产棉花叶片SPAD值增长较快,Pn增长较快,后期叶片SPAD值保持较高水平,Pn下降缓慢;超高产棉花地上部分与蕾铃干物质快速积累持续期长,且积累量大;超高产棉花光合产物向茎、叶器官分配集中在开花期以前,花后向茎、叶输送减少,转而在蕾铃器官分配较多,保证后期产量形成,而高产、中低产棉花开花后仍有光合产物向茎、叶输送,对产量影响较大。

关键词:超高产棉花;光合产物;分配

中图分类号:S562.048 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2010)05-0471-08

Study on Relations on Photosynthetic Production and Its Distribution of Super High-Yield Cotton in South Xinjiang

GUO Ren-song¹, LIU Pan¹, ZHANG Ju-song^{1*}, RAO Cui-ting², WANG Hong-wei¹, GAO Yun-guang¹, ZHAO Qiang¹

(1. Xinjiang Agricultural University/Research Center of Cotton Engineering, Urumqi 830052, China; 2. Center of Spreading Agricultural Technique of Akesu, Akesu, Xinjiang 843000, China)

Abstract: In order to study yield formation and the relationship between the photosynthesis matter production and its distribution of the super-high yield cotton, a field experiment was conducted in south Xinjiang under natural ecology conditions in 2008 and 2009. The results showed that the leaf area index (LAI) of the super-high yield cotton increased significantly than that of high-yield or mid-low yield cotton before flowering. The max LAI appeared at boll forming stage, after that, the LAI decreased slowly but still kept at a relatively high level until the end. There is a close relationship between leaf SPAD and its Pn, that is to say, the leaf SPAD of the super-high yield cotton increased fast before flowering, and kept at a high level at the end of the growth stage. Before flowering, the leaf Pn also increased fast, and had a slowly decreasing period. The dry matter aboveground and that of bud and boll accumulated fast and lasted longer. Photosynthetic production of the super-high yield cotton transmitted into stem and leaves mainly at the stage before flowering, then the bud and boll had got larger transmission amount which guaranteed the yield formation. But a relatively larger photosynthesis production still transmitted into stem and leaves in the high and mid-low yield cotton, this had a negative effect on cotton yield.

Key words: super-high yield cotton; photosynthesis; distribution

新疆地处欧亚大陆腹地,属干旱绿洲灌溉植棉,年降雨量少,日照充足,热量丰富,病虫害少,是世界高产棉区。随着新疆棉花“矮、密、早、膜”栽培技术体系的不断完善,新疆棉花单产水平不

断提高,特别是近几年超高产棉田频繁出现,不断刷新全国植棉高产记录。并且超高产棉田面积有扩大趋势,但目前超高产棉花理论研究滞后于生产,以至于实现超高产的随意性大,重演性小。

收稿日期:2010-01-15 作者简介:郭仁松(1982-), rensongguo@sohu.com; * 通讯作者, songzj3821@yahoo.com.cn

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BADB02-1);自治区科技攻关重大专项(200731133-1);公益性行业(农业)科研专项(3-5-22)

近些年,国内外学者对棉花光合特征和光合产物积累有大量研究^[1-5]。罗宏海等^[4]在不同土壤水分、种植密度条件下研究了高产棉花光合作用及棉铃干物质积累,认为在一定土壤水分、合理密植的条件下铃的干物质积累与光合作用的高低有明显的响应;张旺锋等^[6]研究了高产棉花光合日变化及呼吸作用,认为高产棉花光合作用及呼吸作用明显高于中低产量棉花;伍维模等^[7]研究了南疆高产棉花干物质积累特征,建立了南疆高产棉花干物质积累模型。但以上研究仅从单一角度研究棉花光合特征或干物质积累特征,而结合新疆自然生态条件和栽培管理水平,对新疆超高产棉花光合特征及光合产物积累与分配关系却未见报道。本试验以皮棉产量 3000 kg·hm⁻² 以上的超高产棉花为研究对象,以普通高产棉花(皮棉产量 2250~3000 kg·hm⁻²)和中低产棉花(皮棉产量 2250 kg·hm⁻² 以下)为对照,揭示超高产棉花在产量形成时期主要功能叶光合特性及光合产物积累与分配特点,旨在为新疆超高产棉花栽培技术提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试品种:2008 年为中棉所 49,2009 年为兆丰 1 号;试验地土壤质地均为中壤土,土壤背景值如表 1 所示。

表 1 不同产量水平棉田土壤基础养分

Table 1 The basic field nutrient parameters in different yield levels of cotton

年份	处理	有机质 /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 /(mg·kg ⁻¹)
2008	超高产	10.3	111.8	22.5	209.6
	高产	9.2	102.8	23.8	193.7
	中低产	12.3	92.4	25.6	255.4
2009	超高产	9.4	42.7	26.2	130.7
	高产	8.6	45.4	20.5	148.3
	中低产	11.2	50.6	23.7	133.5

2 年基肥均为:尿素 450 kg·hm⁻²,磷酸二铵 450 kg·hm⁻²,硫酸钾 120 kg·hm⁻²,有机肥 30 m³·hm⁻²。

1.2 试验设计

试验于 2008-2009 年分别在南疆阿克苏市

水稻农场和拜什土库曼乡进行。采用随机区组设计,在定点培育超高产棉田随机选取 3 点定小区,小区宽 4.5 m,长 8 m,面积 36 m²,3 膜 12 行。播种均采用 1.45 m 宽膜覆盖,行距配置为(30 cm+45 cm+30 cm)+60 cm,株距为 10 cm,灌溉方式为膜下滴灌,重复 3 次,共 9 个小区。高产棉田与中低产棉田在附近选取。小区设置同超高产棉田。

1.3 测试项目及方法

1.3.1 农艺性状调查。在大田选择长势均匀具有代表性区域定 3 个样点,每点选定连续 10 株,内外行各 5 株。自 3 叶期开始分别在棉花不同生育时期调查株高、果枝数、出叶速率、真叶数、蕾铃数等指标,重复 3 次。

1.3.2 叶面积指数(LAI)测定。利用 LAI-2000 植物冠层分析仪测定棉花个生育时期 LAI,通过专用软件进行数据分析,从中可以得到 LAI 等参数。测定方法:在田间选择长势均匀的样点,将 LAI-2000 探头水平放置在地面 5 cm 处,每个样点测 4 个值(即窄行、宽行、窄行、膜间行),取平均值,重复 3 次。

1.3.3 叶片 SPAD 值与净光合速率(Pn)测定。利用 SPAD-502 叶绿素仪,在定点的 10 株棉花主茎叶片上测叶绿素 SPAD 值,测倒 4 叶,每片叶测三点取平均值。在测定 SPAD 的同时使用英国生产的 TPS-2 光合仪测定 Pn。

利用 TPS-2 测定叶片 Pn。TPS-2 是一个可以同时测定植物叶片同化作用(光合或呼吸)和蒸腾作用的系统,为开放式气路。利用 CO₂ 和 H₂O 浓度差,通过专用软件进行数据处理,可以同时计算出净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度等光合生理指标。

1.3.4 干物质测定。在大田选择长势均匀,具有代表性植株 6 株,将其分解成叶、茎、蕾铃、根,120℃杀青 30 min 后 80℃烘干至恒重,称干重。

1.3.5 Logistic 方程模拟。用 Logistic 方程拟合棉花干物质积累变化规律。Logistic 方程和几个特征值: $W=W_m/[1+(e^{a-bt})]$ 。W 为棉花干物质积累量,t 为棉花出苗后天数,a、b、W_m 为待定系数,都有一定生物学意义。当 $t_0=-a/b$ 时, $V_m=-bW_m/4$, t_0 表示干物质积累速率最大的时刻,此时 V_m 又叫做速度特征值。通过求二阶导数得出 t₁ 与 t₂。t₁ 和

t_2 将 Logistic 生长函数“S”型曲线分为 3 个阶段, 在 $0 \sim t_1$ 时间内, 干物质积累呈缓慢上升的趋势; 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内干物质或养分的积累速度加快, 几乎呈直线增加趋势; 在过了 t_2 时刻后, 干物质或养分的积累速度又减缓下来, 使 W 最终趋向于 W_m 。 $\Delta t = t_2 - t_1$, 为“时间特征值”, 表示作物旺盛生长期 (干物质积累快速增长期) 的时间长短; 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内, $GT = -bW_m/4 \times \Delta t$, GT 为“生长特征值”, 它表示干物质或养分的积累量已达到最大积累的 65.8%。

1.3.6 数据分析。采用 Excel、DPS 7.05 进行分析, 方差分析均为 0.05 水平, 采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 不同产量水平棉花产量构成因素

2 年试验结果表明 (表 2), 超高产与高产、中低产棉花产量形成过程中收获株数无显著性差异, 各产量水平的铃重有显著性差异。其中 2008 年超高产棉花平均铃重比高产、中低产棉花分别

高 4.24%、9.24%; 2009 年超高产棉花平均铃重分别比高产、中低产棉花高 10.87%、24.9%, 差异达到显著水平。成铃数超高产 > 高产 > 中低产, 差异显著, 且 2 年的结果趋于一致。衣分主要与棉花品种特性关系密切, 不同产量之间衣分有所差异。2008 年超高产棉花衣分与高产、中低产棉花有显著性差异, 高产与中低产棉花无显著性差异。2009 年超高产与高产棉花无显著性差异, 与中低产棉花有显著性差异, 而高产与中低产棉花也无显著性差异。试验表明, 2 个品种超高产棉花产量形成过程中必须保持一定的群体数量和较高的成铃数、铃重、衣分。中棉所 49 宜保持在 18 万 ~22.5 万株· hm^2 , 成铃数 119 万个· hm^2 以上, 铃重 6.1 g 以上, 衣分 41.5% 以上。兆丰 1 号宜保持在 13.5 万 ~18 万株· hm^2 , 成铃数 139.15 万个· hm^2 , 明显高于中棉所 49, 同时产量大幅提高, 表明在达到一定铃重、衣分的基础上, 增加成铃数能进一步提高棉花产量。

表 2 不同产量水平棉花产量构成因素

Table 2 The component of factors in different yield levels of cotton

年份	处理	收获株数 /(万株· hm^2)	成铃数 /(万个· hm^2)	铃重 /g	衣分 /%	皮棉产量 /(kg· hm^2)
2008	超高产	19.95ab	119.30a	6.15a	41.72a	3060.98a
	高产	21.15a	98.85b	5.90b	39.89b	2326.45b
	中低产	19.00b	79.35c	5.63c	39.92b	1783.39c
2009	超高产	16.37a	139.15a	6.12a	43.05a	3666.41a
	高产	16.56a	127.51b	5.52b	41.70ab	2935.17b
	中低产	16.68a	113.42c	4.90c	39.09b	2172.12c

2.2 不同产量水平棉花叶面积指数(LAI)变化

LAI 是衡量棉花冠层结构是否合理的重要指标之一, 合理的 LAI 有利于提高光能利用率, 减少漏光^[9-10]。从图 1 可以看出, 随着产量水平的提高, LAI 指数前期增长快, 到盛铃期达到峰值 (超高产棉花峰值在 4.5~5.0 之间), 且盛铃期后下降缓慢, 高位保持时间较长, 2 年的试验结果趋于一致。高产与中低产棉花花前 LAI 增长缓慢, LAI 较小, 光截获量小, 一定程度上抑制了棉花前期的生长。2008 年超高产棉花 LAI 自现蕾期开始快速增长, 现蕾期 LAI 分别比高产、中低产棉花高 25.5%、108.5%。到盛花期分别高 24.7%、78.2%; 2009 年超高产棉花 LAI 现蕾期分别比高产、中低

产棉花高 5.9%、59.3%, 到盛花期分别高 15.9%、12.2%。开花前 LAI 大, 提高了单位土地有效光合面积, 有利于光合作用的进行, 提高前期营养生长速率。而盛铃期后 LAI 下降缓慢, 保证了后期光合有效面积, 增加光合产物积累, 进一步提高产量。

2.3 不同产量水平棉花倒 4 叶 SPAD 值变化

叶片叶绿素含量是反映叶片生理活性变化的重要指标之一, 与叶片光合性能密切相关, 而叶片 SPAD 值是反映叶片叶绿素含量大小的数值^[11-12]。由图 2 可知, 现蕾期至开花期叶片 SPAD 呈快速增大趋势, 开花后缓慢增加, 其中超高产棉花到见絮期达到峰值。而高产棉花在盛铃期达

到峰值,随后缓慢下降。中低产棉花同样在盛铃期达到最大,但其峰值偏小,且后期下降速度较快。超高产棉花在蕾期叶片 SPAD 值由 50 左右快速上升到 60 以上,生育前期叶片 SPAD 值的快速增长为前期光合作用以及光合产物积累打下基础,而高产、中低产棉花叶片 SPAD 值前期增长速率低于超高产棉花。超高产棉花花后叶片

SPAD 值保持缓慢上升,表明后期超高产棉花叶片叶绿素含量保持较高水平,叶片功能期延长,而高产、中低产棉花后期叶片 SPAD 值有下降趋势,说明后期高产、中低产棉花叶片衰老较快,对后期棉花叶片光合作用的进行和光合产物积累有重要影响。

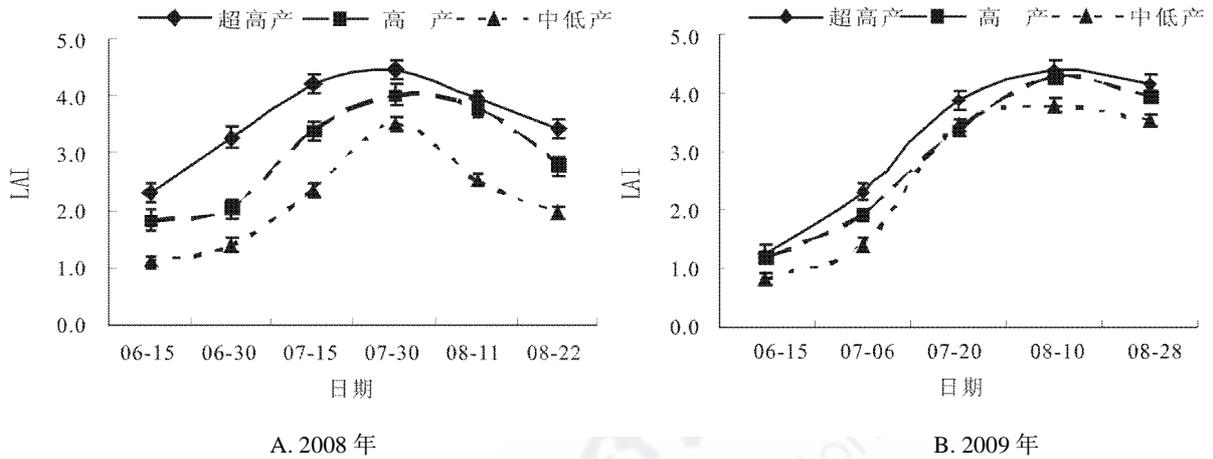


图 1 不同产量水平棉花 LAI 动态变化

Fig. 1 Development dynamics of LAI in different yield levels of cotton

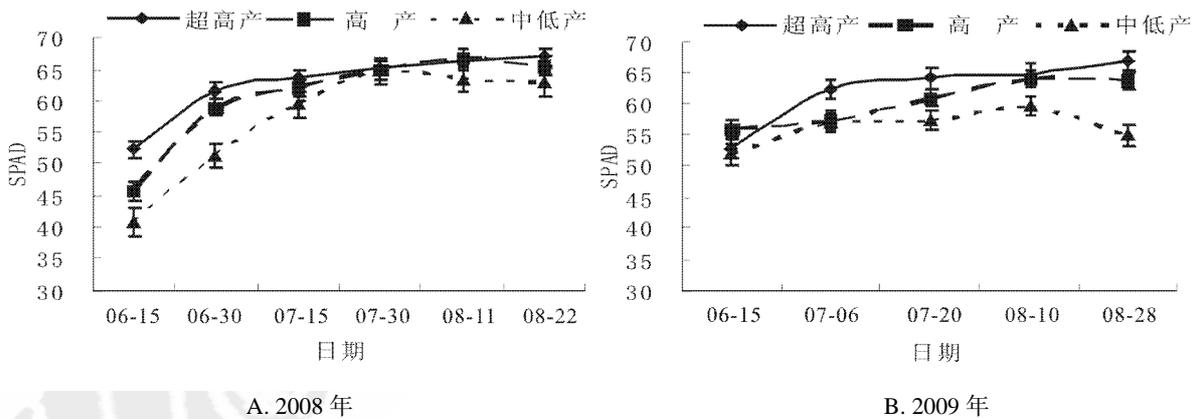


图 2 不同产量水平棉花倒 4 叶 SPAD 值动态变化

Fig. 2 Development dynamics of leaf SPAD in different yield levels of cotton

2.4 不同产量水平棉花倒 4 叶 Pn(净光合速率)变化

棉花花后光合产物大部分输送给棉铃^[12],生育后期叶片光合生产能力直接决定产量大小。由图 3 可知,不同产量水平棉花在盛花期达到峰值后倒 4 叶 Pn 呈下降趋势,峰值表现为超高产 > 高产 > 中低产。超高产棉花开花前 Pn 增长较快,增长速度明显快于高产、中低产棉花,且盛花后下降缓慢,在吐絮期仍能保持在 20~25 μmol·

m²·s⁻¹,而高产、中低产棉花后期 Pn 下降较快,特别是中低产棉花在盛铃后期下降到 10 μmol·m²·s⁻¹ 以下,对后期铃重及产量造成较大影响。

2.5 不同产量水平棉花光合产物积累特征

2.5.1 不同产量水平棉花群体地上部分干物质积累。棉花干物质积累是产量形成的基础^[14],对 2 年不同产量水平棉花地上部干物质积累进行 Logistic 方程模拟,效果较好。2 年的试验结果表明,3 个产量水平棉花地上部干物质积累均呈缓

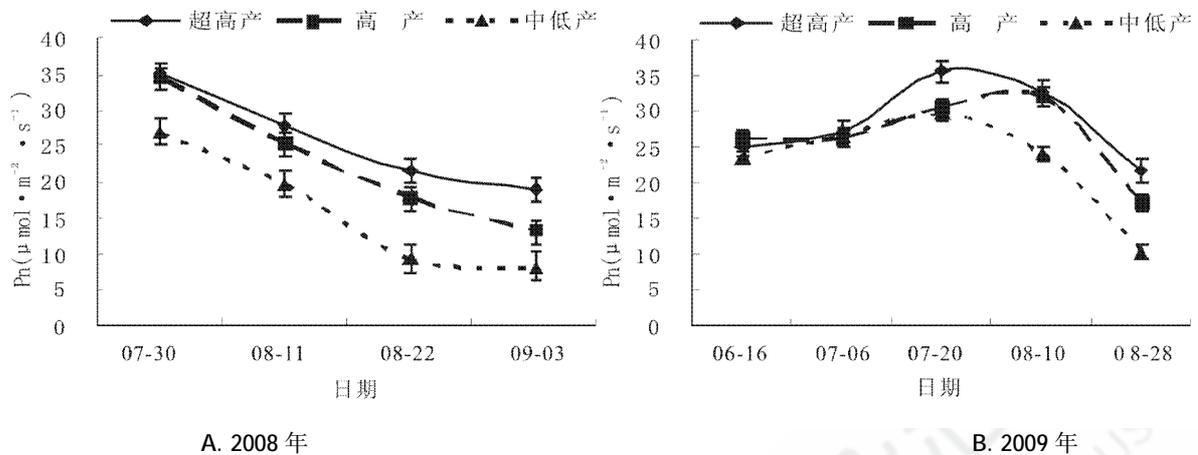


图 3 不同产量水平棉花倒 4 叶 Pn 动态变化

Fig. 3 Development dynamics of leaf Pn in different yield levels of cotton

增期—快增期—缓增期或缓降期,其中 2008 年超高产棉花 2 个时间拐点出现在出苗后 74 d 和 117 d,高产与中低产棉花出现在 65 d、105 d 与 65 d、103 d。表明超高产棉花第一拐点时间出现较晚,但快增期(Δt)持续时间明显长,速度特征值(V_m)与生长特征值(GT)较大。2009 年超高产棉花第一拐点时间出现较晚,快增期(Δt)持续时

间明显延长,生长特征值(GT)较大,但速度特征值(V_m)小于高产和中低产棉花,说明中棉所 49 虽然到达最大积累速率的时间较晚,但它快增期积累时间较长且日积累量达到 $314 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$,明显高于高产和中低产棉花,而兆丰 1 号日积累量小于高产和中低棉花,但快增期却明显延长,快增期积累量较大(表 3)。

表 3 不同产量水平棉花地上部分干物质积累模拟方程

Table 3 The simulation equation of above ground dry matter accumulation in different yield levels of cotton

年份	处理	模拟方程	R^2	V_m /($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	t_0 /d	t_1 /d	t_2 /d	Δt /d	GT /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
2008	超高产	$Y=19402.1561/[1+e^{(5.5833-0.061113X)}]$	0.9831**	314.00	96	74	117	43	12774.93
	高产	$Y=16906.4494/[1+e^{(5.5986-0.06562X)}]$	0.9786**	287.40	85	65	105	40	11131.68
	中低产	$Y=12922.0141/[1+e^{(5.6564-0.066789X)}]$	0.9726**	224.42	85	65	104	39	8837.53
2009	超高产	$Y=30482.4566/[1+e^{(4.3336-0.040161X)}]$	0.9838**	278.94	118	82	154	72	20070.51
	高产	$Y=26283.8205/[1+e^{(4.7508-0.045409X)}]$	0.9896**	318.06	98	71	125	54	17306.01
	中低产	$Y=27745.9999/[1+e^{(5.9689-0.052106X)}]$	0.9641**	361.63	114	89	140	51	18268.75

2.5.2 不同产量水平棉花群体蕾铃干物质积累。蕾铃干物质积累直接反映产量形成过程。从表 4 可以看出,超高产棉花生长特征值(GT)大于高产和中低产棉花,且快速积累持续期长。2008 年中棉所 49 超高产棉花快增期第一拐点出现时间比高产、中低产棉花晚 3 d,而出现第二拐点时间比高产、中低产棉花晚 5 d、6 d,且日积累量分别高出 $78.05 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $135.88 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$,表明中棉所 49 超高产棉花蕾铃快速增长期干物质积累强度大,时间长,总积累量较多。2009 年兆丰 1 号超高产棉花快速增长期比高产、中低产棉花多 6 d、12 d,表现出较长的积累时间优势。而日积累量表现为超

高产 < 高产 < 中低产,但快速积累期总量超高产 > 高产 > 中低产,说明兆丰 1 号快速增长期比中棉所 49 长,积累强度大,产量进一步提高。

2.6 不同产量水平棉花光合产物分配特点

棉花营养生长与生殖生长并进期较长,开花期以前棉花以营养生长为主,光合产物大部分输送到叶、茎、根。开花后随着生长中心的转移,光合产物大部分输送到蕾铃,只有少量输送到叶、茎、根^[14-15]。受栽培措施及棉花自身调控影响,中后期光合产物向营养器官分配过多,减少向生殖器官的输送,造成棉花贪青晚熟,降低产量。

表4 不同产量水平棉花蕾铃干物质积累模拟方程

Table 4 The simulation equation of accumulation of bud and boll dry matter in different yield levels of cotton

年份	处理	模拟方程	R ²	V _m /(kg·d ⁻²)	t ₀ /d	t ₁ /d	t ₂ /d	Δt /d	GT /(kg·hm ⁻²)
2008	超高产	Y=12181.6595/(1+e ^(9.5848-0.085545X))	0.9962**	260.52	112	97	127	31	8020.75
	高产	Y=7812.2959/(1+e ^(10.0782-0.093425X))	0.9946**	182.47	108	94	122	28	5143.84
	中低产	Y=5045.6722/(1+e ^(10.5827-0.09806X))	0.9943**	124.64	107	94	120	27	3322.21
2009	超高产	Y=15602.4680/(1+e ^(8.6828-0.08864X))	0.9911**	314.44	108	91	124	33	10273.10
	高产	Y=14604.1369/(1+e ^(10.5390-0.098030X))	0.9956**	357.74	108	94	121	27	9615.77
	中低产	Y=12971.3278/(1+e ^(13.4674-0.123376X))	0.9975**	400.16	109	98	120	21	8540.69

注: V_m 快速增长期速度特征值; t₀ 最大积累时间; t₁ 进入快速增长期时间拐点; t₂ 结束快速增长期时间拐点; Δt 快速增长持续期; GT 快速增长期生长特征值。

2.6.1 光合产物向茎、叶器官的分配。由表5可知,2年的数据结果显示超高产棉花光合产物在花前向叶片分配较多,从盛蕾期到盛花期光合产物向叶片分配逐渐减少,到盛花期有少量输入。而高产、中低产棉花从盛花期到盛铃期光合产物分配到叶片的量较多,一定程度上造成了光合产物向棉铃分配减少,对产量影响较大。光合产物在茎上的分配同叶片相似,超高产棉花前期向茎中分配光合产物明显比高产、中低产多,同样高

产棉花在盛花后有光合产物输入,特别是中低产棉花在盛铃期依然有部分光合产物向茎分配,造成中低产棉花后期贪青晚熟,从而影响后期棉花产量形成。

2.6.2 光合产物向蕾铃器官的分配。随着生育期推移,不同产量水平棉花光合产物向蕾铃分配量呈逐渐增加趋势,均在盛铃期达到高峰;其中超高产棉花在各生育阶段向蕾铃的分配量均高于高产、中低产棉花,说明超高产棉花向蕾铃分配

表5 不同产量水平棉花不同时期光合产物的分配

Table 5 Distribution of photosynthesis on different stages in different yield levels of cotton

kg·hm⁻²

器官	年份	处理	现蕾期	现蕾 - 盛蕾	盛蕾 - 开花	开花 - 盛花	盛花 - 盛铃	盛铃 - 见絮
叶	2008	超高产	1968.07a	897.75a	775.56b	-156.11c	-178.05b	-130.67a
		高产	791.36c	813.22a	1060.67a	186.30a	-56.05a	-259.09b
		中低产	1094.88b	322.53b	698.73c	30.40b	-50.51a	-130.78a
	2009	超高产	1407.98a	1109.46a	869.89a	-2.46c	-388.01c	-302.71c
		高产	649.05b	1106.01a	494.79b	169.39b	-103.62b	-138.43b
		中低产	673.47b	732.04b	442.85b	445.68a	435.21a	-68.25a
茎	2008	超高产	1611.96a	1512.21a	845.88b	506.23b	-110.22a	-677.80b
		高产	1108.61b	1255.25b	1053.62a	737.43a	-189.82b	-154.40a
		中低产	986.26c	469.30c	564.77c	751.77a	-357.20c	-670.38b
	2009	超高产	1151.48a	982.58b	931.01a	663.06b	-230.57c	-183.36b
		高产	433.67b	1531.82a	973.29a	409.80c	-27.07b	-110.02a
		中低产	1066.80a	452.75c	743.08c	905.22a	805.05a	-297.85c
蕾铃	2008	超高产	171.90a	780.05a	2307.38a	2797.99a	4224.91a	-173.56c
		高产	5.25c	607.78b	1951.77b	2214.05b	2763.78b	-108.39b
		中低产	101.02b	406.13c	1394.13c	1460.47c	1383.68c	-41.01a
	2009	超高产	68.22a	546.27a	2544.45a	4207.83b	5539.95a	-322.03c
		高产	20.37c	406.89b	2206.78b	4574.50a	5434.86a	-162.85b
		中低产	36.79b	307.59c	1160.74c	4523.84a	5129.39b	121.41a

注:方差分析以同一年的不同产量水平棉花为分析对象。

的光合产物较多,这也是超高产棉花产量形成的重要因素。2009年盛花期到盛铃期光合产物分配量高于2008年,这主要是品种因素影响;说明兆丰1号在盛花期到盛铃期光合产物积累强度大,且向蕾铃分配量多,进一步提高了产量。

3 讨论与结论

3.1 LAI 与产量的关系

棉花 LAI 大小与产量关系密切,在一定范围内产量随 LAI 的增大而增大^[8,9]。前人通过剪叶改变 LAI 大小,从而改变源库关系,探索 LAI 大小对产量的影响。研究结果表明,随着 LAI 逐渐增大,铃重逐渐增大,产量提高。表明 LAI 能调节库容量大小,LAI 增大一定程度增加了库容量,因此对产量影响较大。而通过改变种植密度调节 LAI,表明随着种植密度增大,LAI 逐渐增大,而产量在一定范围内随 LAI 增大而增大;当 LAI 过大时,产量反而降低。本试验研究表明,超高产棉花与普通高产、中低产棉花相比,LAI 在生育前期增长速度快,达到峰值时间早。2008年超高产棉花在盛花期达到高峰,且分别比高产、中低产棉花高 10.83%、26.42%;而 2009年超高产棉花 LAI 峰值出现在盛花期,普通高产和中低产棉花峰值出现时间略有延迟,且峰值比超高产棉花分别小 2.57%、15.83%。表明在一定群体数量条件下,增加 LAI,有利于增加棉花产量。

3.2 叶片光合性能与产量的关系

叶片是进行光合作用的主要器官,而叶绿素是进行光合作用的主要物质基础^[10-11]。已有研究表明,叶片 SPAD 值与叶绿素含量呈正相关^[3-5],在一定范围内随着叶片 SPAD 值增大 Pn 增大,而 Pn 的增大对后期产量形成有重要影响。本试验结果表明:超高产棉花盛铃后 Pn 保持在 25~30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,吐絮期保持在 20~25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,分别高于同时期高产、中低产棉花。说明后期较高叶片 SPAD 值,一定程度延长了叶片功能期;而较高的 Pn,增加了光合产物积累,保证了后期产量形成。因此,保持棉花后期主要功能叶生理活性,使 Pn 保持较高水平是获得超高产的关键。

3.3 光合产物积累、分配与产量的关系

棉花是阔叶型作物,具有无限生长习性,它

的生殖生长中心与顶端优势不重合,因此光合产物积累与转运比较复杂。已有研究表明,棉花光合产物的积累与分配对产量影响较大^[13-15]。棉花生育前期光合产物积累多,有利于花后光合产物向生殖器官分配,即棉花生育前期光合产物向茎、叶、根干物质分配多,营养器官发育完全,后期减少了光合产物向营养器官分配。2年的试验结果表明,超高产棉花整个生育期在现蕾期-开花期光合产物向茎叶营养器官分配速率最快,总量多,盛花期后光合产物净输入量逐渐减少。并且茎、叶营养器官光合产物向蕾铃输出,进一步提高了后期蕾铃的干物质积累量,从而提高产量。而普通高产棉花与中低产棉花,盛花后仍有一部分光合产物输送给茎、叶,一定程度上降低了光合产物向蕾铃的分配,这也是影响产量形成的重要因素。

参考文献:

- [1] WULLSCHLEGER S D, Oosterhuis D M. Photosynthesis of individual field grown leaves during ontogeny[J]. *Photosynthesis Research*, 1990, 23: 163-170.
- [2] 余 渝, 陈冠文, 田笑明, 等. 北疆高产棉花光合特性研究[J]. *棉花学报*, 2001, 13(4): 230-233.
YU Yu, Chen Guan-wen, Tian Xiao-ming, et al. Research on the photosynthesis characteristic of the high-yield cotton in north Xinjiang[J]. *Cotton Science*, 2001, 13(4): 230-233.
- [3] 吕 新, 张 伟, 曹连莆, 等. 不同密度对新疆高产棉花冠层结构光合特性和产量形成的影响[J]. *西北农业学报*, 2005, 14(1): 142-148.
LÜ Xin, Zhang Wei, Cao Lian-pu, et al. Effect of different density on cotton canopy structure, photosynthesis and yield formation in high-yield cotton of Xinjiang[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(1): 142-148.
- [4] 罗宏海, 李俊华, 勾 玲, 等. 膜下滴灌对不同土壤水分棉花花铃期光合生产、分配及子棉产量的调节[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(7): 1955-1962.
LUO Hong-hai, Li Jun-hua, Gou Ling, et al. Regulation of under-mulch-drip irrigation on production and distribution of photosynthetic assimilate and cotton yield under different soil moisture contents during cotton flowering and boll-setting stage[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(7): 1955-1962.
- [5] Hebbar K B, Perumal N K, Khadi B M. Photosynthesis and plant growth response of transgenic Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) hybrids under field condition[J]. *Photosynthetica*, 2007, 45(2):

- 254-258.
- [6] 张旺锋,任丽彤,王振林,等. 膜下滴灌对新疆高产棉花光合作用日变化的影响[J]. 中国农业科学,2003,36(2):159-163.
ZHANG Wang-feng, Ren Li-tong, Wang Zhen-lin, et al. Effect of different norms of under-mulch-drip irrigation on diurnal change of photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameter of high-yielding cotton in Xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(2): 159-163.
- [7] 伍维模,郑德明,董合林,等. 南疆棉花干物质和氮磷钾养分积累的模拟分析[J]. 西北农业学报,2002,11(1):92-96.
WU Wei-mo, Zheng De-ming, Dong He-lin, et al. Simulating the dynamics of dry matter and N, P₂O₅, K₂O accumulation of cotton in South Xinjiang[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2002, 11(1): 92-96.
- [8] 李蒙春,张旺锋,马富裕,等. 新疆棉花超高产光合生理基础研究[J]. 新疆农业大学学报,1999,22(4):276-282.
LI Meng-chun, Zhang Wang-feng, Ma Fu-yu, et al. Study on photosynthesis and physiological basis of super high-yielding cotton in Xinjiang [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 1999, 22(4): 276-282.
- [9] 杜明伟,姚炎帝,罗宏海,等. 新疆杂交棉超高产冠层结构特征及群体光合性能研究[J]. 新疆农业科学,2008,45(S2):12-19.
DU Ming-wei, Yao Yan-di, Luo Hong-hai, et al. Studies on characteristics of canopy structure and photosynthesis performance of high-yield hybridize cotton in Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(S2): 12-19.
- [10] 张旺锋,王振林,余松烈,等. 种植密度对新疆高产棉花群体光合作用、冠层结构及产量形成的影响[J]. 植物生态学报,2004,28(2):164-171.
ZHANG Wang-feng, Wang Zhen-lin, Yu Song-lie, et al. Effects of planting density on canopy photosynthesis, canopy structure and yield formation of high-yield cotton in Xinjiang, China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2004, 28(2): 164-171.
- [11] 王娟,韩登武,任岗,等. SPAD值与棉花叶绿素和含氮量关系的研究[J]. 新疆农业科学,2006,43(3):167-170.
WANG Juan, Han Deng-wu, Ren Gang, et al. A study on relation between SPAD value, chlorophyll and nitrogen content in cotton[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2006, 43(3): 167-170.
- [12] 屈卫群,王绍华,陈兵林,等. 棉花主茎叶 SPAD值与氮素营养诊断研究[J]. 作物学报,2007,33(6):1010-1017.
QU Wei-qun, Wang Shao-hua, Chen Bing-lin, et al. SPAD value of cotton leaves on main stem and nitrogen diagnosis for cotton growth[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(6): 1010-1017.
- [13] SIEGFRIED Schittenhelm, Ute Menge-Hartmann, Elisabeth Oldenburg. Photosynthesis, carbohydrate metabolism, and yield of phytochrome-B-Overexpressing potatoes under different light regimes[J]. *Crop Science*, 2004, 44: 131-143.
- [14] 张立楨,曹卫星,张思平,等. 棉花干物质分配和产量形成的动态模拟[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1621-1627.
ZHANG Li-zhen, Cao Wei-xing, Zhang Si-ping, et al. Dynamic simulation on dry matter partitioning and yield formation in cotton[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(11): 1621-1627.
- [15] 张培通,徐立华,杨长琴,等. 施氮量对科棉3号干物质积累及分配、产量和纤维品质的效应[J]. 棉花学报,2008,20(4):295-299.
ZHANG Pei-tong, Xu Li-hua, Yang Chang-qin, et al. Effects of nitrogen fertilization on dry matter accumulation and its distribution, yield and fiber quality of upland cotton[J]. *Cotton Science*, 2008, 20(4): 295-299. ●