

新疆南疆籽棉超高产机理研究

娄善伟¹, 帕尔哈提·买买提¹, 王新江¹, 杨涛², 张鹏忠¹, 赵小伊¹, 何红¹,
马腾飞¹, 边洋¹, 张巨松³

(1. 国家棉花工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830092; 2. 新疆农业科学研究院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐 830092; 3. 新疆农业大学, 新疆 乌鲁木齐 830092)

摘要: 为探寻新疆南疆地区籽棉 9000 kg·hm⁻² 超高产机理以及相关的指标, 对南疆地区生态条件下超高产田、高产田、中高产田进行了调查研究与数据采集。研究发现: 要获得超高产, 首先要有良好的基础地力, 有机质含量超 10 g·kg⁻¹, 种植密度 18 × 10⁴ ~ 21 × 10⁴ 株·hm⁻² 为宜; 其次, 塑造良好株型, 株高 65 ~ 75 cm, 茎粗接近 10 mm, 果枝 9 ~ 10 台, 棉铃空间分布均匀, 纵向上、中、下果枝棉铃比例 3.2:4.7:2.1, 横向第一、二果节比例 7:3, 初花至盛铃 LAI、SPAD、Pn 一直维持较高水平, 盛铃前后达到最大, 后期下降缓慢; 最后, 氮磷钾分配上, 前期差异不大, 进入花铃期生殖生长明显增强, 蕾花铃氮磷钾比例明显增大, 一直维持到见絮, 超高产处理的蕾花铃干物质质量比例明显高于其它处理 8% 以上, 见絮时蕾花铃干物质质量达到了 6 402 kg·hm⁻²。以指标数据作参考, 塑造良好株型, 协调棉铃空间分布, 维持较高较长的光合速率, 减缓 LAI、SPAD 下降速度, 促进生殖生长, 合理养分分配, 便能实现产量目标。

关键词: 棉花; 超高产; 机理; 养分分配; 新疆

中图分类号: S311 **文献标志码:** A

Mechanism study on the super-high-yield characteristic of cotton in southern Xinjiang

LOU Shan-wei¹, PA ER HA TI·Mai-mai-ti¹, WANG Xin-jiang¹, YANG Tao², ZHANG Peng-zhong¹,
ZHAO Xiao-yi¹, HE Hong¹, MA Teng-fei¹, BIAN Yang¹, ZHANG Ju-song³

(1. The National Engineering Research Center of Cotton, Urumqi, Xinjiang 830092, China;

2. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830092, China;

3. Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830092, China)

Abstract: To explore mechanism and related indexes of the super high yield (9 000 kg·hm⁻²) of seed cotton in the South of Xinjiang area, research was conducted in fields that displayed super high yield, high yield and medium yield, respectively, and the resulting data was collected for further analysis. The results showed that to achieve super high yield, the primary requirement was to have basic soil fertility, with organic matter content exceeding 10 g·kg⁻¹, and appropriate planting density of 18 × 10⁴ ~ 21 × 10⁴ plants·hm⁻². Also, a suitable plant type was needed, with an optimal plant height around 65 ~ 75 cm, stem diameter close to 10 mm, and fruit branches of 9 ~ 10. It was further noticed that proper distributions of bolls from upper, middle and lower portions of fruit branch were 3.2:4.7:2.1 longitudinally, and the ratio between the first horizontal fruit section and the second was 7:3. Additionally from flowering to peak stage of boll, LAI, SPAD and Pn maintained high levels, reaching the maximums at peak stage of boll, and then slowing down at later stages. Moreover, for nitrogen phosphorus potassium distributions, there were little differences at early stage. The reproductive growth had been enhanced at flower - boll stage. In particular, NPK ratio became significantly increased in bud, flower and boll until boll opening. Dry matter in flower buds and bolls processed through super high yield was significantly at least 8% more than others. The dry weight of flower buds and bolls reached 6402 kg·hm⁻² at boll opening

收稿日期: 2014-10-31

基金项目: 国家自然科学基金(41361067); 新疆自治区公益性科研院所基本科研业务经费资助项目(KY2013068); 新疆自治区科技计划项目(201231102); 新疆自治区成果转化项目(201354103-2)

作者简介: 娄善伟, 男, 山东日照人, 助理研究员, 主要从事作物栽培生理方面研究。E-mail: wei.lou@163.com.

stage. To achieve production goals, the followings may all be taken into considerations, including referencing to indexes of abovementioned data to model a healthy plant type, coordinating the spatial distributions of cotton bolls, maintaining high and long photosynthetic rate, reducing LAI and SPAD descending speed, promoting reproductive growth, and balancing reasonable distributions of nutrients.

Keywords: cotton; super high yield; mechanism; nutrient distributions; Xinjiang

棉花是关系国计民生的战略物资,在国民经济中占有重要的地位。新疆是我国重要的优质棉和出口棉的主产区^[1-3],植棉面积在 150 万 hm^2 以上,2012 年皮棉产量达到 318 万 t,占过全国总产量的 50% 以上。随着我国耕地减少,长江、黄淮海流域棉区以将把扩大粮食生产规模、恢复粮食生产地位放在第一位,加上新疆林果面积扩大,新疆棉花生产水平将直接影响全国棉花产量,在面积不变的情况下保证产量增加,就必须提高单产水平。新疆棉花栽培体系完善,棉花单产水平不断提高,超高产棉田频繁出现,且面积不断扩大。但超高产田产生的随意性大,重演性差,缺乏理论支持。近些年,国内外针对棉花高产的研究层出不穷,好多大的相关课题也先后开展了研究。为寻找高产的理论,已有学者对此进行了大量研究^[4-7],纪从亮等^[8]研究了高产品种的库源特点,从品种和库源分配上寻找高产原因。郑德明等^[9]分析了高产棉花的产量构成因素与特征。张旺锋等^[10]研究了高产棉花光合日变化及呼吸作用,得出高产棉花光合作用及呼吸作用明显高于中低产量棉花的结论。陈德华^[11]对不同基因型棉花品种的光合特性进行过比较研究,发现钾素的高效吸收利用有利于促进光合作用。李存东^[12]、周治国^[13]对棉花的胁迫、光温调控等做过研究,深入到了各种抗逆生理机理。危常州,马兴旺等^[14-15]对高产棉花的灌溉方式以及施肥进行过系统研究,促进了滴灌施肥技术的发展。张巨松等^[16]提出新疆棉花高产受新疆特殊的光温条件和不同的栽培模式影响。这些都从不同角度对棉花高产形成的原因进行了研究,为今后的棉花高产研究打下了理论基础。由于亩产籽棉 600 kg 出现面积小和地区等因素的限制,理论上的支撑还不够系统,本研究以国家“十一五”科技支撑项目“棉花大面积持续优质高效生产技术体系研究与集成示范”为研究基础,以亩产籽棉 600 kg 超高产棉花为研究对象,以高产棉花(亩产籽棉 500 ~ 600 kg)和中高产棉花(亩产籽棉 400 ~ 500 kg)为对比,寻找并揭示其超高产形成的机理,为新疆实现大面积亩产籽棉 600 kg 关键栽培技

术提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2009—2011 年进行,分密度试验和高产田调查试验。

1.1.1 密度试验 试验于 2009—2010 年在南疆库尔勒地区进行,试验点土壤为壤土。该地区属温带、暖温带大陆性干旱气候,总日照数 2 900 h 以上,无霜期 183 ~ 228 d,年平均气温 10℃ 左右,年降水量约 55 mm,年蒸发量大,适宜农作物生长。

试验采用单因子随机区组设计,供试品种为新陆中 36 号。密度设置为 5 个处理:9.0 万(A1)、13.5 万(A2)、18.0 万(A3)、22.5 万(A4)、27.0 万(A5)株· hm^{-2} 。于 4 月初人工点播,播前结合整地深施尿素 300 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、磷酸二铵 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,在棉花见花期和盛花期各追施尿素 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 75 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。采用宽膜覆盖,一膜四行,每小区三膜十二行;小区面积 40 m^2 ,20 个小区,重复 4 次,试验地总长度为 35 m,总宽度为 25 m,密度由 A1 到 A5 按处理增大,A1 作为最低密度处理,A3 作为中密度处理,A5 作为最高密度处理。最后取两年数据平均,进行试验分析。

1.1.2 高产田调查试验 根据对南疆阿克苏和库尔勒地区高产棉田生长状况的了解,在 2011 年选取生长性状良好,具有不同生长潜力的棉田进行试验研究,分籽棉产量 9 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上超高产田(CG)、籽棉产量 7 500 ~ 9 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 高产田(G)、籽棉产量 6 000 ~ 7 500 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 中高产田(ZG)三类,进行田间性状调查和数据采集。调查点按高产田栽培管理方式进行管理,选取符合试验要求的进行相关分析。

1.2 测定项目

1.2.1 生育进程与农艺性状 调查生育期,自 3 叶期开始调查测定各处理在不同生育时期的株高、主茎叶片数、果枝数、叶枝数、现蕾数、成铃数。

1.2.2 田间取样与干物质测定 从现蕾开始,每隔 15 d 选取长势均匀的 6 株棉花按根、茎、叶、蕾、花铃

等器官分开,放入烘箱内于 105℃ 下杀青半小时后调温至 75℃ ~ 80℃ 下烘干 48 h,待冷却称重,测干物质重。

1.2.3 植株养分吸收 结合干物质的测定,将棉株分开的根、茎、叶、蕾、铃等各器官,取样进行室内氮、磷、钾测定。植株全氮测定: $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,奈氏比色法。植株中磷的测定: $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,钒钼黄比色法。植株全钾的测定: $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,火焰光度计法^[8]。

1.2.4 叶绿素、叶面积、光分布、光合速率测定 在棉花现蕾后定期测定叶面积、群体光分布、群体光合作用的变化特征。叶绿素采用日本产 SPAD - 502 叶绿素测定仪测定。光合速率(P_n)采用 tpa - 2 便携式光合测定仪在晴天的上午测定。光分布、叶面积指数采用 SunScan 冠层分析系统。

1.2.5 经济产量 进行田间测产,选取代表性 20 株调查单株果枝数(包括果节数)和吐絮铃的空间分布,按上(7 以上果枝)、中(4 ~ 6 果枝)、下(1 ~ 3 果枝)部位进行,并选取 50 吐絮铃(分上、中、下果枝部

位)测其铃重和衣分。

采用 Excel 与 Spss 17.0 软件进行数据统计与分析,方差分析均为 0.05 水平,采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 高产棉田的基础条件

2.1.1 基础肥力情况 如表 1 所示,对 0 ~ 20 cm 土壤养分含量情况进行调查,以不同区域作重复方差分析。阿克苏和库尔勒地区速效钾的含量较高,调查点平均含量在 $160 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,同时有机质含量大于 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,但速效磷含量比较少。对 CG、G、ZG 处理的基础肥力状况进行对比发现,获得亩产籽棉 600 kg 的超高产相比高产田和中高产田的碱解氮、速效磷、速效钾含量差别不大,说明都有获得超高产的潜力,密度试验 A3 处理亩产量达到 500 kg 以上,正好也证明了一观点,但超高产田的有机质含量相对高些,一般都在 $13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,与中高产田差异显著,有机质含量高,可以促进养分的吸收利用,促进高产。

表 1 不同调查点的土壤肥力

Table 1 Soil fertilities at different research sites

处理 Treatment	土壤养分 Soil nutrient	阿克苏 1 Aksu 1	库尔勒 1 korla 1	阿克苏 2 Aksu 2	库尔勒 2 korla 2	平均 Average
CG	有机质含量 O. M./($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	18.4	13.9	14.3	17.3	15.9a
	碱解氮 Avail N/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	74.7	110.6	42.7	40.0	67.0a
	速效磷 Avail P/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	15.5	20.9	25.6	17.0	19.8a
	速效钾 Avail K/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	179.0	145.0	197.0	148.0	167.3a
G	有机质含量 O. M./($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	14.1	10.3	12.7	10.6	11.9ab
	碱解氮 Avail N/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	30.3	56.6	96.1	65.5	62.1a
	速效磷 Avail P/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	20.0	22.5	14.1	23.7	20.1a
	速效钾 Avail K/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	193.0	122.0	278.0	172.0	191.3a
ZG	有机质含量 O. M./($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.3	9.6	15.8	7.4	11.0b
	碱解氮 Avail N/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	47.7	53.8	36.8	33.9	43.1a
	速效磷 Avail P/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	15.8	24.1	4.1	15.7	14.9a
	速效钾 Avail K/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	140.0	16.04	146.0	118.0	142.0a
密度 Density	有机质含量 O. M./($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	—	—	—	—	12.5
	碱解氮 Avail N/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	—	—	—	—	56.6
	速效磷 Avail P/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	—	—	—	—	24.4
	速效钾 Avail K/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	—	—	—	—	165.0

2.1.2 适宜的种植密度 对密度和高产调查试验产量结果进行分析(表 2),密度与产量之间的关系可以得到模拟方程 $y = -7.9717x^2 + 282.39x + 5294.3$, $R^2 = 0.69$ 。从方程的性质来看,它是开口向下的抛物线,所以并不是密度越大,产量越高。A3 处理的籽棉产量最高为 $8074 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比 A1 和 A5

处理产量分别高出 12.4% 和 12.3%,且与 A5 存在显著性差异。分析密度与产量关系发现,虽然出现过不同种植密度下的高产典型,但在新疆地区,最易获得籽棉亩产量接近 600 kg 的适宜密度在 $12000 \sim 14000 \text{ 株} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 之间,而高产田也是以 $13000 \text{ 株} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 的产量最高,其结果正好证明了这一结论。

表 2 不同密度处理和高产调查点棉花产量及产量构成因素
Table 2 Yield and related components with different planting densities

处理 Treatment	实际株数 /(10 ⁴ plant·hm ⁻²) The No. of plant	单株铃数/个 The boll No. of plant	单铃重/g Boll weight	衣分/% Lint percentage	籽棉产量 /(kg·hm ⁻²) Yield	皮棉产量 /(kg·hm ⁻²) Lint yield
A1	8.41	14.27a	5.99a	40.85a	7185.8ab	2935.4ab
A2	12.73	9.66b	6.00a	40.91a	7380.2ab	3018.9a
A3	18.66	7.34bc	5.90ab	40.10a	8074.0a	3237.7a
A4	22.46	5.80bc	5.72b	39.78a	7439.5ab	2959.1ab
A5	26.63	4.90c	5.52b	39.87a	7188.1b	2865.9b
CG	19.50	8.01a	6.04a	41.50a	9434.2a	3915.2a
G	21.20	7.10b	5.86b	40.22a	8820.5b	3547.6b
ZG	22.08	5.81c	5.59c	40.20a	7171.1c	2882.8c

2.2 高产棉田的植株形态特征

2.2.1 植株农艺性状 对密度和高产调查试验进行农艺性状研究发现(表 3), 超高产田的株高为 69.5 cm, 茎粗 10.08 mm, 果枝台数 9.4, 真叶数 14.3。结合密度处理分析认为, 超高产田棉花的株高一定要超过 60 cm, 但不能过高, 在 65 ~ 75 cm 之间比较合适, 茎粗最好接近或者超过 10.00 mm, 果枝始节 5 ~ 6, 果枝数 9 ~ 10 台, 真叶数 14 ~ 15 片, 株型好, 棉花生长稳健, 更易获得产量的突破。

2.2.2 成铃的空间分布 由密度试验可以看出, 随着密度的增大, 棉铃在纵向分布上叶枝成铃数不断减少, 中下部果枝成铃数逐渐增加, 在横行分布上第三果节成铃数不断减少, 第一果节成铃数不断增加。所以, 在新疆种植模式下, 要获得高产就要注重中下部果枝和第一果节的成铃率。再根据高产调查点棉铃空间分布情况, 可以看出叶枝和第三果节对成铃贡献甚微, 比例均不足 10%。超高产田棉铃在纵向分布上, 中部棉铃比例最高为 44.25%, 其次是下部, 上部比例也超过了 20%, 而且横向第二果节成铃比例明显高于其他处理近 10%, 说明第二果节成铃主要分布在中部位置, 因此超高产田棉铃空间分布中部相对集中, 上下分布均匀, 每个果枝基本都有

成铃。对比超高产田, 高产田和中高产田第二果节成铃逐渐减少, 第一果节成铃数增加, 中部成铃比例以 ZG 产田最高, 达到了 48.3%, 说明中高产田主要依靠中部成铃, 而高产田上部铃增加, 促进了产量增加。

2.3 高产棉田的光合生产指标

2.3.1 叶面积指数指标 叶面积指数(LAI)是衡量棉花群体结构是否合理的一个重要生理动态指标。由图 1 可以看出, 叶面积指数在盛铃左右达到最高, A5 处理因密度大, 叶面积指数高, 但后期下降速度快, 而 A3 处理从见花到盛铃一直保持相对较高的叶面积指数。高产上, 超高产田 CG 和高产田 G 处理见花时(6 月 14 日左右)的 LAI 超过 2.0, 而中高产田 ZG 处理 LAI 仅有 1.64, 但增长速度均明显加快。之后 CG 处理一直维持较高水平, 到盛铃期(7 月 29 日)到达最大为 4.97, 而 G 处理达到了 4.76, 只有 ZG 处理较低为 4.34。到吐絮时, CG 处理 LAI 仍保持在 2.5 左右, 而 G 和 ZG 处理则迅速降低到 2.0 左右。分析认为, 要获得超高产, LAI 必须从初花到盛铃一直维持较高水平(LAI 平均 3.5 以上), 而不是短时间的高水平, 到吐絮时, LAI 降低要缓慢, 这样维持叶面积的光合时间相对较长, 有利于获得更多的光合产物, 促进增产。

表 3 不同处理的农艺性状

Table 3 Agronomic characteristics of cotton with different treatments

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/mm Short and stout	果枝始节 First fruiting shoot	始节高度/cm High of first shoot	真叶数 Main leaf number	果枝台数 Fruit spur number
A1	72.60	13.034a	6.3a	18.80c	17.60a	12.40a
A3	65.35	9.904b	5.8b	20.27a	15.70b	11.20ab
A5	60.00	8.724b	6.1b	20.30a	15.50b	10.70b
CG	69.5	10.080a	5.9a	16.8b	14.3a	9.4ab
G	76.7	9.502b	6.2a	18.2a	15.9a	10.1a
ZG	60.2	9.104b	6.1a	18.8a	13.6a	7.8b

表 4 棉铃的空间分布情况

Table 4 Spatial distributions of cotton bolls

处理 Treatment	棉铃/个 Boll	纵向分布 Longitudinal distribution/%				横行分布 Transverse distribution/%		
		叶枝 Leafy shoot	下部 Lower	中部 Middle part	上部 Top	第一果节 The first fruit sites	第二果节 The second fruit sites	第三果节 The third fruit sites
A1	14.27a	37.52a	21.16c	20.76b	20.56ab	57.05c	23.50a	19.45a
A3	7.34b	19.23b	29.90b	30.92a	19.95b	68.78b	22.77b	8.45b
A5	4.90c	14.79c	32.92a	31.24a	21.05a	81.53a	15.00c	3.48c
CG	8.01a	5.00a	31.75a	44.25b	20.00ab	67.00c	28.00a	5.00a
G	7.10b	8.33a	28.30a	42.25bc	21.12a	71.50b	18.60b	9.90a
ZG	5.81c	7.05a	25.90a	48.35a	18.70b	86.20a	14.80c	0.00a

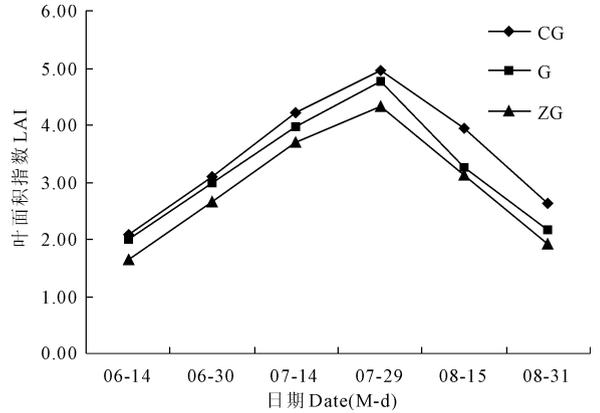
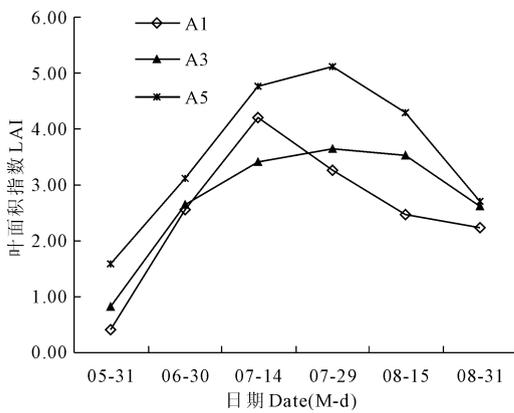


图 1 不同密度和高产处理的叶面积指数

Fig.1 LAI with treatments of different densities and high yields

2.3.2 SPAD 指标 大量研究表明棉花叶片 SPAD 值与叶绿素含量呈显著正相关, 而棉花倒四叶属典型部位的叶片, 具一定的代表性。由图 2 棉花倒四叶 SPAD 值变化情况可以看出, 无论是密度试验还是高产试验其处理之间的 SPAD 差异并不大, 基本都维持在 55 ~ 65 之间。在 6 月底到 7 月初有个下

降过程, 可能受生殖生长增强, 营养生长减弱的影响, 其中 ZG 处理下降速度较快, 后期 SPAD 值一直最低, 密度试验的 A1 和 A5 处理也是如此, 这易加快叶片衰老, 而 SPAD 值高, 说明叶绿素含量高, 光合能力强。所以, 要获得高产, 就要维持较高的 SPAD 值。

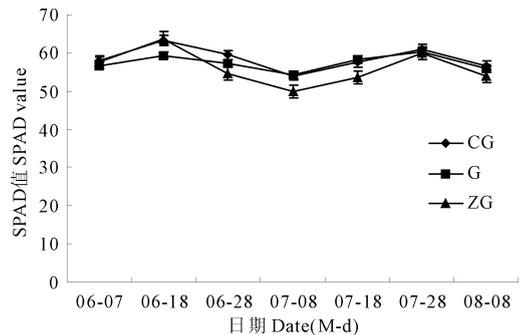
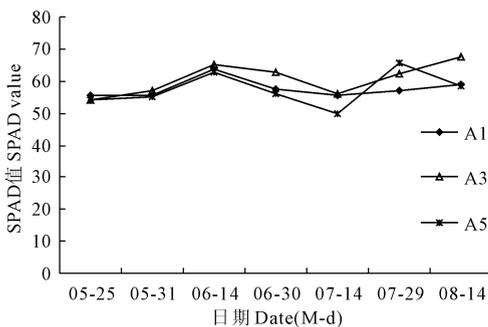


图 2 不同密度和高产处理 SPAD 值变化情况

Fig.2 SPAD with treatments of different densities and high yields

2.3.3 光合速率指标 叶片净光合速率 (P_n) 是单位面积叶片在单位光照时间内干物质积累量, 通常用倒四叶的净光合速率来衡量棉花净光合速率指标, 反映一定时期内棉花最大光合效率。由图 3 可

以看出, 密度试验从盛铃期开始各处理均呈下降状态, 到见絮时, A3 处理光合仍为 $11.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 其他处理均降到 $11 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下。高产上, CG 处理在盛铃期前后 (7 月 25 日) 达到最高, 要

稍早于 G、ZG 处理,最大值为 $34.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, G、ZG 处理最高分别为 31.2 、 $30.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,随后均开始逐渐降低,到见絮时 CG 处理降到 $11 \mu\text{mol} \cdot$

$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比 G 和 ZG 处理分别高出 9% 和 12%。可见,维持光合时间越长,越利于光合产物的积累。

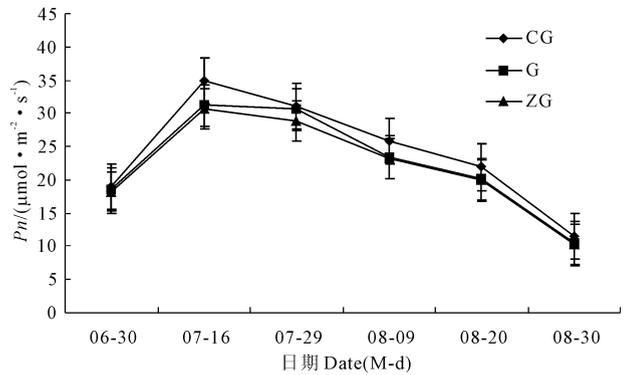
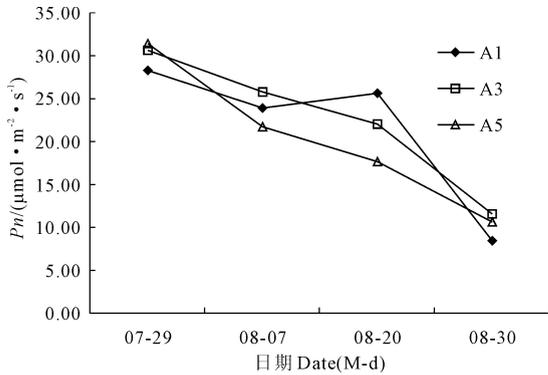


图 3 不同密度和高产处理单株净光合速率变化情况

Fig.3 Pn with treatments of different densities and high yields

2.4 高产棉田的物质分配情况

2.4.1 植株地上部氮磷钾分配情况 通过对不同处理各时期(苗期 5 月 20 日、蕾期 6 月 8 日、花铃期 8 月 1 日、吐絮期 9 月 1 日)棉花单株地上部氮磷钾含量及不同器官分配比例可以看出(表 5):苗期 CG、G、ZG 处理的氮磷钾含量差异不明显,叶片中氮素含量是茎的 2 倍,磷、钾素含量是茎的 4~5 倍。蕾期单株氮磷钾含量增加加快,氮磷占 30% 左右,钾仅 10% 左右,茎与叶的氮含量比加大,磷变化不大,钾的含量比减小,CG、G、ZG 处理间氮磷钾积累量差异变大,CG > G > ZG。单株氮素最大积累量出现在花铃期,磷钾稍有推迟,且处理之间含量差距加大,CG 比 G、ZG 氮素高出 5% 和 10%,磷素高出 14% 和 18%,钾素高出 17% 和 26%。到吐絮时,氮素含量开始减小,磷钾含量达到最大,处理间氮素含量差距加大,CG 高出其他处理 10% 和 15%,磷钾含量 CG 高出其他处理 11%、21% 和 15%、21%。密度试验中,盛铃一吐絮期 A3 处理各元素的含量最高,与产量形成相一致。

2.4.2 植株地上部干物质质量的分配情况 随着棉花的生长发育,植株由营养生长为主逐渐变为生殖生长为主,干物质在不同器官中的分布比例也不断变化。由表 6 可以看出,蕾期干物质的积累量茎 > 叶 > 蕾花,所占比例分别为 40%~45%、35%~40% 和 15%~20%,CG 与 G 处理叶、蕾的干物质含量差异不明显,但茎的干物质含量差异显著,G 与 ZG 各器官干物质质量差异不显著。到了初花后,处理间蕾花铃干物质质量差异开始变得显著,叶和蕾花铃的比例逐渐增大,盛花至盛铃时蕾花铃所占比例最大,尤其是 CG 处理,分别高出 G 与 ZG 处理 8% 和 14%。

吐絮时干物质积累量蕾花铃 > 茎 > 叶,所占比例分别为 55%~60%、20%~25% 和 15%~20%,CG 处理蕾花铃干物质含量为 $6402 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比 G、ZG 分别高出 16% 和 33%。

3 讨论

高产一直是棉花领域的主要研究内容之一,关于高产的理论也层出不穷。俞树迅、毛树春等^[17-19]一些学者认为,要进一步提高棉花产量,必须从育种和栽培入手,探寻库源协调途径。纪从亮、陈德华等在品种、株型和库源分配方面做过研究,提出了要获高产,需要优化品种并塑造理想株型,扩库增源^[20-21]。另一方面,在水肥和光合上,张旺锋、李少昆等^[22]先后对膜下滴灌,精准施肥以及光合特征进行了研究。张巨松等^[23]对新疆棉花的种植密度、群体质量特征等方面做过细致研究。这些理论与研究促进了中国棉花生产的发展,并随着中国棉花形势不断发展,新的生产技术相继出现,长江、黄河流域发展了育苗移栽技术,并进一步研究提出棉花直播压缩营养钵技术和简化育苗移栽、施肥技术^[24-25]。新疆从 80 年代开始采用矮密早栽培技术,棉花产量大幅提高,连续多年保持全国产量第一,这引起了同行学者的广泛关注^[26-28]。近几年,新疆南北疆频频出现亩产籽棉超过 600 kg 的超高产田,使超高产研究逐渐由亩产籽棉 500 kg 提高到了 600 kg,针对棉花超高产的各项研究工作也相继展开,但一直以来,新疆棉花高产理论的研究较为薄弱,超高产田的理论研究却落后于生产。

本研究结合国家“十一五”科技支撑项目“棉花大面积持续优质高效生产技术体系研究与集成示

范”研究基础, 吸取团队研究精华, 对亩产籽棉 600 kg 的高产机理展开探索, 探寻其各项生理指标, 使形成高产的构成要素定量化。

4 结 论

本文通过对亩产籽棉 600 kg 以上棉田进行调查和数据采集, 分析结果得出如下结论:

1) 研究认为要实现棉花超高产, 首先土地要有一定的基础肥力, 有机质含量最好超过 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮、速磷、速钾含量要达到中等以上水平。

2) 最易获得超高产的种植密度为: $18 \times 10^4 \sim 21 \times 10^4 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$; 农艺性状指标: 株高 65 ~ 75 cm, 茎粗 10.00 mm 左右, 真叶数 14 ~ 15 片, 果枝数 9 ~ 10 台。

表 5 植株地上部氮磷钾分配情况

Table 5 Nitrogen and phosphorus potassium distributions of the above-ground organs in cotton plant

元素 Element	处理 Treatment	器官 Organ	苗期 Seedling		蕾期 Squaring		花铃期 Flower and bolling		吐絮期 Boll opening	
			$\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$	%						
N	CG	茎 Stem	0.035	31.0	0.081	11.2	0.285	14.4	0.265	13.3
		叶 Leaves	0.078	69.0	0.402	55.8	0.695	35.1	0.545	29.5
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.237	32.9	1.000	50.5	0.817	57.2
	G	茎 Stem	0.031	29.8	0.082	12.0	0.282	14.9	0.257	13.5
		叶 Leaves	0.074	70.2	0.388	57.1	0.682	36.1	0.480	30.1
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.204	30.0	0.926	49.0	0.746	56.4
	ZG	茎 Stem	0.028	31.2	0.115	17.7	0.275	15.2	0.250	13.0
		叶 Leaves	0.063	68.8	0.375	57.7	0.652	36.0	0.45	31.1
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.160	24.6	0.883	48.8	0.715	55.9
P_2O_5	CG	茎 Stem	0.000	17.1	0.025	13.6	0.050	10.6	0.064	12.7
		叶 Leaves	0.002	82.9	0.103	56.1	0.122	26.1	0.101	20.2
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.055	30.3	0.296	63.3	0.337	67.1
	G	茎 Stem	0.000	17.0	0.022	12.7	0.046	11.1	0.056	12.5
		叶 Leaves	0.002	83.0	0.098	56.1	0.112	27.2	0.096	21.3
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.054	31.2	0.254	61.7	0.299	66.2
	ZG	茎 Stem	0.000	16.7	0.018	12.1	0.045	11.5	0.050	12.1
		叶 Leaves	0.002	83.3	0.083	55.4	0.114	29.0	0.092	22.1
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.048	32.5	0.237	60.5	0.273	65.8
K_2O	CG	茎 Stem	0.011	15.4	0.106	16.3	0.313	20.2	0.354	16.8
		叶 Leaves	0.061	84.6	0.490	75.2	0.515	33.2	0.652	30.9
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.055	8.5	0.722	46.6	1.104	52.3
	G	茎 Stem	0.011	15.8	0.109	16.8	0.248	18.8	0.326	17.7
		叶 Leaves	0.060	84.2	0.480	74.1	0.474	35.9	0.585	31.8
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.059	9.1	0.598	45.3	0.929	50.5
	ZG	茎 Stem	0.011	15.1	0.110	17.1	0.229	18.6	0.324	18.5
		叶 Leaves	0.061	84.9	0.478	74.2	0.453	36.8	0.571	32.6
		蕾花铃 Bud flower and boll	—	—	0.056	8.7	0.549	44.6	0.856	48.9

表 6 不同时期干物质在各处理器官的积累情况

Table 6 The accumulations of dry matters in organs during the different periods

器官 Organ	处理 Treatment	蕾期 Squaring stage		初花—盛花期 Flowering – flower peaking stage		盛花—盛铃期 Flower peaking – boll peaking stage		吐絮期 Boll opening stage	
		kg·hm ⁻²	%	kg·hm ⁻²	%	kg·hm ⁻²	%	kg·hm ⁻²	%
叶 Leaf	CG	1393a	38.0	3215a	46.5	3129a	35.0	2190a	19.5
	G	1008ab	35.1	2996b	46.5	2668b	33.5	2129ab	20.6
	ZG	977b	37.6	2815b	46.6	2328c	31.5	2211b	23.1
茎 Stem	CG	1547a	42.2	1562a	22.6	2235a	25.0	2640a	23.5
	G	1181b	41.1	1456b	22.6	1991b	25.0	2677a	25.9
	ZG	985b	38.0	1367c	22.6	1940b	26.2	2556a	26.7
蕾花铃 Bud flower and boll	CG	723a	19.7	2130a	30.8	3576a	40.0	6402a	57.0
	G	686ab	23.9	1985b	30.8	3305b	41.5	5530b	53.5
	ZG	633b	24.4	1865c	30.8	3126c	42.3	4806c	50.2

3) 棉铃空间分布上,越是超高产田,纵向上、中、下各部位果枝的棉铃分配比例越均匀,为 3.2:4.7:2.1,横向果枝的第二果节棉铃比例越大,超过了 25%。产量越低,则棉铃越集中于棉株中部和果枝的第一节位。

4) 叶面积指标方面,超高产田 LAI 从初花到盛铃一直维持较高水平(LAI 平均 3.5 以上),在盛铃期达到最大,后期下降缓慢;SPAD 指标中,超高产田主要是后期下降缓慢,维持光合能力期长;光合速率指标中,最大光合速率出现在盛铃前后,获得超高产的最大值接近 35 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 且保持较高水平,后期下降缓慢,到见絮时维持 11 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。

5) 氮磷钾分配方面,棉花氮磷钾在苗期和蕾期主要分配在叶片中,处理间的差距并不大。到了花铃期,氮、钾在叶片分配的比例减小,茎、蕾花铃的比例增大,磷在茎、叶分配的比例减少,在蕾花铃比例增大,尤其是超高产田,生殖器官所占比例最大,氮素积累量为 1.0 $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$ 超过 50%,磷素为 0.296 $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$ 超过 63%,钾素为 0.72 $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$ 超过 46%。一直到见絮后,各处理生殖器官所占比例保持最大且以超高产田的比例最高。

6) 在干物质积累上,超高产田积累量最高,随着生育进程干物质积累由茎叶逐渐向蕾花铃转移,前期差异不大,到了初花后,超高产处理的蕾花铃干物质质量比例明显高于其它处理 8% 以上,见絮时蕾花铃干物质质量达到了 6402 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

通过对超高产形成的机理研究,进一步解释了超高产形成的原因,但一些相关机理还需要进一步研究。要实现棉花亩产籽棉 600 kg 的超高产,除了理论支持外,还需要有效的栽培措施,选择好的品种

以及配合当地的生态气候,协调棉花生长发育等。

参 考 文 献:

- [1] 孔庆平. 制约新疆棉花生产发展的关键因素分析与应对策略探讨[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(S2): 3-5.
- [2] 赵振勇, 田长彦, 马英杰. 高密度对陆地棉产量及品质的影响[J]. 干旱区研究, 2003, 20(4): 292-295.
- [3] 耿涛, 戴路, 许占伟, 等. 棉花高密度种植群体结构的研究[J]. 新疆农业科学, 2003, 40(5): 269-272.
- [4] 柳维扬. 覆膜滴灌条件下高产棉花生长发育及 NPK 特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [5] 牛曰华. 改变库源比例和根冠比例对棉花叶片衰老的调节效应[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2007.
- [6] 余渝, 陈冠文, 林海, 等. 北疆棉田叶面积系数变化动态的研究[J]. 棉花学报, 2001, 13(5): 300-303.
- [7] Craig W B, Robert L N, Steve M B. Plant density modifications of cotton within-boll yield components[J]. Crop Science, 2006, 8: 2076-2080.
- [8] 纪从亮, 俞敬忠, 刘友良, 等. 棉花高产品种的库源特点研究[J]. 棉花学报, 2000, 12(6): 298-301.
- [9] 万素梅, 郑德明, 翟云龙. 南疆棉田不同产量构成因素及棉铃空间分布特征研究[J]. 中国棉花, 2006, 33(8): 8-21.
- [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.
- [11] 陈德华, 王兆龙, 吴云康, 等. 转 Bt 基因抗虫棉杂交种光合生产及干物质分配特点研究[J]. 棉花学报, 1998, 10(1): 33-37.
- [12] 孙红春, 李存东, 周彦珍. 不同氮素水平对棉花功能叶生理特性、植株性状及产量构成的影响[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(6): 9-14.
- [13] 刘瑞显, 郭文琦, 陈兵林, 等. 氮素对花铃期干旱及复水后棉花叶片保护酶活性和内源激素含量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(9): 1598-1607.

(下转第 86 页)

- 相关分析[J].应用基础与工程科学学报,2000,8(1):31-37.
- [2] 孙红,李民赞,张彦娥,等.不同施氮水平下玉米冠层光谱反射特征分析[J].光谱学与光谱分析,2010,30(03):715-719.
- [3] 王宏博,冯锐,纪瑞鹏,等.干旱胁迫下春玉米拔节-吐丝期高光谱特征[J].光谱学与光谱分析,2012,32(12):3358-3362.
- [4] Daughtry C T, Walthall C L, Kim M S, et al. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance[J]. Remote Sensing of Environment, 2000,74(2):229-239.
- [5] 刘冰峰,李军,赵刚峰,等.夏玉米叶片全氮含量高光谱遥感估算模型研究[J].植物营养与肥料学报,2012,18(04):813-824.
- [6] 方慧,宋海燕,曹芳,等.油菜叶片的光谱特征与叶绿素含量之间的关系研究[J].光谱学与光谱分析,2007,27(9):1731-1734.
- [7] 杜华强,葛宏立,范文义,等.马尾松针叶光谱特征与其叶绿素含量间关系研究[J].光谱学与光谱分析,2009,29(11):3033-3037.
- [8] 杨杰,田永超,姚霞,等.水稻上部叶片叶绿素含量的高光谱估算模型[J].生态学报,2009,29(12):6561-6571.
- [9] 刘伟东,项月琴,郑兰芬,等.高光谱数据与水稻叶面积指数及叶绿素密度的相关分析[J].遥感学报,2000,4(4):279-283.
- [10] Daniel A S, Gamon J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,81(2/3):337-354.
- [11] 陈志强,王磊,白由路,等.整个生育期玉米叶片 SPAD 高光谱预测模型研究[J].光谱学与光谱分析,2013,33(10):2838-2842.
- [12] 靳彦华,熊黑钢,张芳,等.不同地类春小麦叶片叶绿素含量高光谱植被指数估算模型研究[J].麦类作物学报,2013,33(05):1012-1018.
- [13] 张永贺,陈文惠,郭乔影,等.桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型[J].生态学报,2013,33(03):876-887.
- [14] 蒋金豹,陈云浩,黄文江,等.病害胁迫下冬小麦冠层叶片色素含量高光谱遥感估测研究[J].光谱学与光谱分析,2007,27(7):1363-1367.
- [15] 浦瑞良,宫鹏.高光谱遥感及其应用[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 王秀珍,王人潮,黄敬峰.微分光谱遥感及其在水稻农学参数测定上的应用研究[J].农业工程学报,2002,18(1):9-13.
- [17] 张俊华,张佳宝.夏玉米光谱特征对其不同色素含量的响应差异[J].西北农业学报,2010,19(4):70-76.
- [18] 唐延林,王秀珍.玉米高光谱与红边特征的分析[J].山地农业生物学报,2003,22(3):189-194.
- [19] Zarco-Tejada P J, Berjon A, Lopez-Lozano R, et al. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy[J]. Remote Sensing of Environment, 2005,99:271-287.

(上接第 39 页)

- [14] 危常州,张福锁,朱和明.新疆棉花氮营养诊断及追肥推荐研究[J].中国农业科学,2002,35(12):1500-1505.
- [15] 姚青青,杨涛,马兴旺,等.水肥调控策略对膜下滴灌棉花冠层结构和产量的影响[J].棉花学报,2013,25(1):73-80.
- [16] 刘翠,张巨松,阿依加玛丽,等.密度对杂交棉群体冠层及光合特性的影响[J].新疆农业科学,2013,50(1):1-7.
- [17] 原日红,俞树迅,余学科.中棉所 36 在北疆棉区的表现及高产栽培技术[J].中国棉花,2000,27(12):29-30.
- [18] 毛树春,韩迎春,王国平,等.推广棉花工厂化育苗机械化移栽加快发展现代植棉业[J].中国棉花,2012,39(8):1-5.
- [19] Wright P R. Premature senescence of cotton-predominantly a potassium disorder caused by an imbalance of source and sink [J]. Plant Soil, 1999,211:231-239.
- [20] 纪从亮,俞敬忠.棉花高产品种的产量构成特点[J].江苏农业学报,2000,16(1):25-30.
- [21] 陈德华,陈源,周桂生.高产条件下与棉铃发育有关的养分流研究[J].棉花学报,2002,14(1):28-32.
- [22] 张旺锋,王振林,余松烈,等.氮肥对新疆高产棉花群体光合性能和产量形成的影响[J].作物学报,2002,28(6):789-796.
- [23] 姜善伟,高云光,张巨松.不同栽培密度对棉花植株养分特征及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,16(4):953-958.
- [24] 柯梁,吕凤琴,熊辉.棉花生产主要育苗移栽技术概述[J].棉花科学,2013,35(2):11-15.
- [25] 伍维模,郑德明,董合林.新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,2002,26(1):17-18.
- [26] William R, Meredith J R, Heltholt J. Comparison of obsolete and modern cotton cultivars at two nitrogen levels [J]. Crop Sci, 1997,37:1453-1457.
- [27] 孙学振,单世华,宋宪亮.株型对棉铃时空分布及素质的影响[J].棉花学报,2002,14(3):171-174.
- [28] James R M, Steven A M. Antioxidant metabolism in cotton seedlings exposed to temperature stress in the field [J]. Crop Science, 2005,45:2337-2345.