

种植密度与留叶枝对棉花产量和早熟性的互作效应

张冬梅,李维江,唐薇,董合忠*,李振怀,罗振,卢合全

(山东棉花研究中心,山东省棉花栽培生理重点实验室,济南 250100)

摘要:为实现合理密植与叶枝利用的有机结合,研究了种植密度与整枝对棉花产量和早熟性的影响。结果表明,密度和整枝对棉花产量有显著的互作效应。去叶枝情况下,以低密度($3.00 \text{株} \cdot \text{m}^2$)的产量最低,中高密度($5.25 \sim 7.50 \text{株} \cdot \text{m}^2$)的产量较高;留叶枝条件下,以中低密度($3.00 \sim 5.25 \text{株} \cdot \text{m}^2$)的产量较高,高密度($7.50 \sim 9.75 \text{株} \cdot \text{m}^2$)的产量较低。去叶枝条件下,中密度($5.25 \text{株} \cdot \text{m}^2$)比低密度皮棉增产 9.7%,而留叶枝条件下,低密度与中密度的产量相当,比高密度($9.75 \text{株} \cdot \text{m}^2$)增产 15.3%。密度与留叶枝可以单独或协同影响生物产量、经济系数和产量结构,对皮棉产量有显著的互作效应。低密度条件下保留叶枝似可弥补密度不足引起的产量损失,而中、高密度条件下,去叶枝仍有益处。

关键词:棉花;种植密度;叶枝;互作效应;产量;早熟性

中图分类号:S562.048 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2010)03-0224-07

Interaction of Plant Density with Retention of Vegetative Branches on Yield and Earliness of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.)

ZHANG Dong-mei, LI Wei-jiang, TANG Wei, DONG He-zhong*, LI Zhen-huai, LUO Zhen, LU He-quan

(Cotton Research Center, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Shandong Key Laboratory for Cotton Culture and Physiology, Ji'nan 250100, China)

Abstract: Optimum plant density and retention of vegetative branches (VB) have been widely studied as a single practice in cotton production, but their combination to approach better yields and benefits was less studied. Since effective combination of plant density and VB retention may further reduce cost and increase yield, it is very important to conduct profound studies on interaction of plant density and VB retention. Using upland cotton Lumianyan 28, a multi-site field experiment was conducted in Linqing City, Xiajin County and Huimin County of Shandong Province respectively, to study interaction of plant density and VB retention on yield, yield components, earliness, and economic index in 2008. A split-plot design with four replications was used for the study. The main plot was plant pruning (removal and retention of VB), while plant density ($3.00, 5.25, 7.50$ and $9.75 \text{plants} \cdot \text{m}^2$) constituted the subplots. Significant interaction was detected between plant density and plant pruning. Plants without VB produced the lowest and highest cotton yield at $3.00 \text{plant} \cdot \text{m}^2$ and from 5.25 to $7.50 \text{plants} \cdot \text{m}^2$ respectively, while those with VB produced the highest and lowest cotton yield from 3.00 to $5.25 \text{plants} \cdot \text{m}^2$ and from 7.50 to $9.75 \text{plants} \cdot \text{m}^2$ respectively. Under VB removal cotton yield at $5.25 \text{plants} \cdot \text{m}^2$ was 9.7% higher than at $3.00 \text{plants} \cdot \text{m}^2$, but under VB retention cotton yield at $3.00 \text{plants} \cdot \text{m}^2$ was similar to that at $5.25 \text{plants} \cdot \text{m}^2$ and 15.3% higher than that at $9.75 \text{plants} \cdot \text{m}^2$. Both plant pruning and plant density significantly affected yield components. Boll weight was higher under VB removal than retention, and the number of boll per m^2 increased as plant density raised. There existed significant interaction among site, plant density and plant pruning. Earliness under VB removal was higher than under VB retention, while earliness at $5.25 \sim 7.50 \text{plants} \cdot \text{m}^2$ was better than at 3.00 and $9.75 \text{plants} \cdot \text{m}^2$. No interaction of plant density and plant pruning on ratio of seedcotton to stalk, but VB retention and elevated plant density significantly increased biological yield and decreased ratio of seedcotton to stalk. Plant density and plant pruning affected biological yield, economic index and yield components individually or interactively, thus resulting in a

收稿日期:2009-09-10

作者简介:张冬梅(1971-),女,农艺师;*通讯作者, donghz@saas.ac.cn

基金项目:国家自然科学基金(30971720);公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-02);山东省重大应用技术研究项目(2009-棉花)

significant interaction on economic yield. VB retention can compensate for yield loss due to lower population under low plant density, while VB removal is still beneficial to yield increase under middle and high plant density in Shandong Province.

Key words: cotton; plant density; vegetative branch; interaction; yield; earliness

合理密植是实现棉花高产高效的重要技术途径^[1-2], 叶枝去留也是影响棉花产量或效益的技术措施^[3-4], 深入研究密度与留叶枝对棉花生长发育和产量、品质的互作效应, 实现合理密植与叶枝利用的有机结合, 是棉花增产增效的重要途径。国内外皆十分重视棉花合理密植。尽管大量研究和实践认为棉花具有较强的密度适应性, 在一定范围内其产量和品质基本不受密度的影响^[1,5-6], 但是, 现有研究和实践也同时认为, 具体情况下仍存在一个棉花产量、品质和效益最大化的适宜密度, 并且这个适宜密度因生态条件、生产条件和种植制度而异^[7-8]。我国西北内陆、长江流域和黄河流域棉区分别采取的密植矮化、稀植大棵和中等密度也说明了因地制宜确定密度的重要性^[1-2]。而且, 在同一种种植制度和生态条件下, 棉花适宜密度还受施肥^[9-10]、播种期^[11]以及化控^[12]等措施的影响。去叶枝作为棉花整枝技术的主要内容, 在中国内陆棉区一直广泛应用^[3-4]。一般认为, 去叶枝不仅使棉株间遮荫减轻, 而且可使更多的光合同化物直接分配到果枝上的生殖器官, 便于棉花产量和品质的形成^[13]。但是, 随着化学调控技术的应用和转基因抗虫棉品种的推广, 以及植棉农民对简化栽培的青睐, 国内许多学者开始倾向于保留叶枝, 并证实了叶枝利用的价值和保留叶

枝的可行性^[4,14-15]。不过, 针对当前主推抗虫棉品种合理密植与叶枝利用相配合的研究尚不多见, 在密度确定和叶枝去留方面仍存在争议。

种植密度是影响棉花群体大小的主要因素^[2], 叶枝去留对棉花群体大小也有显著的影响^[16], 密度大小与叶枝去留存在相互影响, 会对棉花产量形成产生互作效应。本文以当前主推常规抗虫棉品种为材料, 通过多点试验, 研究了抗虫棉密度与整枝的互作效应, 以期确定科学合理的密度与整枝方式, 实现棉花节本增产、增效提供指导。

1 材料和方法

1.1 试验地点与材料

田间试验于 2008 年在山东棉花研究中心试验站农场(临清市, 115° 72' E, 36° 68' N)、山东金秋种业试验田(夏津县, 116° E, 36° 95' N)和山东中棉棉业科技有限公司试验田(惠民县, 117° 51' E, 37° 49' N)同时进行。各试验田皆为连续植棉多年的一熟棉田, 轻壤或沙壤土, 中等或偏上地力(表 1), 有良好的排灌条件。

供试棉花(*Gossypium hirsutum* L.)品种为当前主推的鲁棉研 28, 是中早熟转 Bt (*Bacillus thuringiensis*)基因抗虫棉。

表 1 三个试验点的土壤肥力状况

Table 1 Soil fertility in three experimental sites

试验地点	土壤类型	pH	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)
临清	砂壤	8.24	58.9	38.5	197.6	11.4
夏津	砂壤	8.80	70.9	53.4	174.5	11.3
惠民	轻壤	8.19	60.3	40.9	140.2	12.6

注: 0~20 cm 土壤的测定值。

1.2 试验设计和田间管理

各试验点均采用裂区试验设计, 主区为整枝处理, 设去叶枝的正常整枝(R)和留叶枝(M)2个处理; 副区为密度处理, 设 3.00、5.25、7.50 和 9.75 株·m⁻² 4 个密度, 重复 4 次。各点皆采用 4 行区, 其中临清点小区面积 30.5 m², 行长 9.53 m, 行距 0.80 m; 夏津点小区面积 26.7 m², 行长 8.33 m, 行

距 0.80 m; 惠民点小区面积 26.7 m², 行长 6.67 m, 行距 1.00 m。

各点于 3 月中旬耕地, 结合耕地每公顷施鸡粪 22.5 t 或有机圈肥 30 t、氮磷钾复合肥(18% N, 12% P₂O₅, 18% K₂O)600 kg 作基肥。3 月下旬浇水造墒。根据墒情和天气状况, 临清、夏津和惠民 3 地分别于 2008 年 4 月 24 日、4 月 30 日和 4 月

15日播种。按预定株距人工点播脱绒种子8~10粒(发芽率80%以上),同时在地头播种预备苗。播种后覆土,然后覆盖地膜。于棉苗第2片真叶展开后定苗,每穴留健壮棉苗1株,缺苗的地方及时移栽预备苗,使所有小区达到预定密度。

去叶枝处理的小区于现蕾后5d及时去掉棉株下部的叶枝和赘芽(保留主茎叶),之后结合其它棉田管理措施于盛蕾期和花铃期各整枝(去叶枝和赘芽)1次,7月18-20日打顶;留叶枝的处理保留叶枝和赘芽,于7月10-15日打掉叶枝的顶心,7月18-20日打主茎顶心。根据长势情况,临清点喷施缩节胺3次,夏津和惠民点喷施缩节胺2次。各试验点见花后每公顷追施尿素150kg,打顶后再追施尿素75kg。根据转*Bt*基因抗虫棉的要求治虫。其它管理皆按常规要求进行。

1.3 数据采集和处理

吐絮后对每个小区中间2行棉株分4次人工收花,晾干后(含水量 $\leq 12\%$)称重计产,轧花后计算皮棉产量和衣分。在第一次收花前调查各小区中间2行棉花的单株铃数,计算单位面积的总铃数和铃重;收花结束后将中间两行棉株自然拔

出,晾晒30d后称重,计算棉柴(除子棉以外的其它部分,包括根、茎、枝、铃壳和残叶)产量;以子棉与棉柴重量之和作为其近似的生物产量,以两者的重量比(棉柴比)作为光合产物分配情况和经济系数的指标;以前2次收获的子棉与总子棉重量的比值(%)作为早熟性的指标。

所得数据用DPS软件^[7]进行统计分析。具体分析时,将3个地点的试验作为一个裂-裂区试验对待,其中试验点作为主区,整枝作为裂区,密度作为再裂区。由于本试验重点研究的是密度和整枝的互作效应,因此,尽管地点与密度、地点与整枝对有些指标也有显著的互作效应,但为简化和突出重点,对这些互作效应予以省略或只作简要介绍。

2 结果与分析

2.1 密度和整枝对棉花经济产量的效应

密度和叶枝对棉花产量皆有影响。在不考虑互作效应的前提下,去叶枝的子棉和皮棉产量分别比留叶枝的增产4.8%和5.1%;中等密度(5.25株 \cdot m⁻²)的子棉产量分别比最低(3.00株 \cdot m⁻²)和最高密度(9.75株 \cdot m⁻²)增产5.4%和7.4%,说明去叶枝和合理密植仍是棉花增产的重要措施(表2)。

表2 整枝和密度对棉花产量、产量构成和早熟性的影响

Table 2 Effects of pruning and plant density on cotton yield, yield components and earliness

项目	处理	子棉 /(kg \cdot hm ⁻²)	皮棉 /(kg \cdot hm ⁻²)	生物产量 /(kg \cdot hm ⁻²)	棉柴比	铃数 /(个 \cdot m ⁻²)	铃重 /g	早熟性 /%
叶枝	RM	4369 a	1779 a	10171b	0.724a	83.4 b	5.26 a	52.1 a
	RT	4171 b	1693 b	10828a	0.625b	84.7 a	4.95 b	49.3 b
密度/(株 \cdot m ⁻²)	3.00	4209 b	1727 ab	9747 b	0.743 a	76.8 b	5.54 a	48.2 b
	5.25	4438 a	1785 a	10037 b	0.715 b	85.3 a	5.20 b	52.0 a
	7.50	4301 ab	1755 a	11046 a	0.645 c	87.2 a	4.97 c	53.0 a
	9.75	4133 b	1676 b	11166 a	0.596 d	87.0 a	4.71 d	49.4 b
变异来源	S	0.0003	0.0003	0.0012	0.0001	0.0027	0.0065	0.0001
	VB	0.0054	0.0059	0.0471	0.0001	0.3005	0.0054	0.0002
	PD	0.0053	0.0139	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	S \times VB	0.1023	0.0450	0.3755	0.0001	0.9345	0.3907	0.1443
	S \times PD	0.1946	0.0147	0.1012	0.0006	0.0074	0.8074	0.4989
	PD \times VB	0.0001	0.0001	0.0339	0.1272	0.0070	0.0898	0.4572
	S \times VB \times PD	0.9130	0.5122	0.0743	0.0088	0.0180	0.3773	0.0001

注:RM和RT分别表示去叶枝和留叶枝处理;S、VB和PD分别代表地点、叶枝和密度3个因素;数据皆为3个试验点的平均数;同项目同列数字标注不同字母者差异显著,下同。

尽管地点和密度、地点和整枝及其三者之间对子棉和皮棉产量没有互作效应,但密度与整枝之间却存在显著的互作效应(表 2)。无论是子棉还是皮棉产量,尽管不同地点间存在显著差异,但 3 个试验点密度与整枝表现出大致相同的

互作效应(表 3)。在去叶枝情况下,都是低密度(3.00 株·m⁻²)的产量最低,中等和较高密度(5.25 株·m⁻²及以上)的产量较高;在留叶枝条件下,以低密度和中等密度(3.00~5.25 株·m⁻²)的产量较高,而高密度(7.50~9.75 株·m⁻²)条件下的产量较低。

表 3 不同试验点整枝和密度对棉花产量、产量结构和早熟性的互作效应

Table 3 Interaction effects of pruning with plant density on cotton yield, yield components and earliness in three experimental sites

地点	处理	子棉 /(kg·hm ⁻²)	皮棉 /(kg·hm ⁻²)	生物产量 /(kg·hm ⁻²)	棉柴比	铃数 /(个·m ⁻²)	铃重 /g	早熟性 /%
临清	RM/3.00*	4662 b	2045 de	9463 b	0.873 b	75.5 e	6.18 a	38.7 c
	RM/5.25	5319 a	2138 cd	10706 a	0.918 a	91.8 cd	5.64 bc	46.5 a
	RM/7.50	5313 a	2334 a	10654 a	0.891 ab	99.8 a	5.47 cd	41.3 b
	RM/9.75	5269 a	2279 ab	10976 a	0.832 c	97.3 ab	5.28 dc	38.7 c
	RT/3.00	5175 a	2258 ab	10570 a	0.863 bc	88.4 d	5.87 b	34.5 e
	RT/5.25	5150 a	2186 bc	10695 a	0.836 c	92.9 bcd	5.55 cd	37.7 cd
	RT/7.50	4796 b	2074 de	10547 a	0.765 d	93.8 bc	5.11 ef	42.9 b
	RT/9.75	4741 b	2042 e	10548 a	0.731 e	96.0 b	4.94 f	36.1de
夏津	RM/3.00	3103 cd	1272 bc	5915 d	0.736 b	55.5 f	5.85 a	73.8 b
	RM/5.25	3800 a	1566 a	6994 c	0.786 a	72.8 b	5.23 bc	73.9 b
	RM/7.50	3741 a	1541 a	9022 ab	0.708 b	69.3 bc	5.38 b	79.0 a
	RM/9.75	3690 a	1505 a	9164 ab	0.674 c	72.5 b	5.07 c	72.3 b
	RT/3.00	3388 b	1330 b	8271 b	0.661 c	63.3 de	5.37 b	66.3 c
	RT/5.25	3284 bc	1341 b	8849 ab	0.589 d	61.0 e	5.38 b	73.0 b
	RT/7.50	3215 bcd	1277 bc	9165 ab	0.541 e	81.5 a	4.60 d	72.4 b
	RT/9.75	3020 d	1218 c	9284 a	0.482 f	67.0 cd	4.41d	72.1 b
惠民	RM/3.00	4284 bc	1654 bc	10378 d	0.704 a	86.9 c	4.92 ab	35.2 d
	RM/5.25	4564 a	1731 ab	12228 bc	0.596 bc	94.7 ab	4.82 abc	40.2 b
	RM/7.50	4493 ab	1682 bc	13286 a	0.509 d	91.4 bc	4.74 bcd	45.1 a
	RM/9.75	419 6c	1598 c	13265 a	0.463 e	93.6 ab	4.51 d	39.9 bc
	RT/3.00	4643 a	1803 a	12809 ab	0.570 c	91.5 bc	5.07 a	40.9 b
	RT/5.25	4516 ab	1748 ab	11835 c	0.617 b	98.4 a	4.60 cd	40.4 b
	RT/7.50	4249 c	1623 c	13602 a	0.457 e	90.0 bc	4.52 d	37.5 cd
	RT/9.75	3883 d	1413 d	13757 a	0.394 f	92.8 b	4.06 e	37.4 d

*:RM 和 RT 分别表示去叶枝和留叶枝,数字 3.00 等表示密度。

3 个试验点平均(表 4),整枝条件下 5.25 株·m⁻² 密度的子棉和皮棉产量都较高,分别比 3.00 株·m⁻² 增产 13.6% 和 9.7%;留叶枝条件下则以 3.00 株·m⁻² 的子棉和皮棉产量较高,与 5.25 株·m⁻² 差异不显著,分别比 9.75 株·m⁻² 的高密度提高了 13.4% 和 15.3%。留叶枝 3.00 株·m⁻² 处理的子棉产量比整枝 5.25 株·m⁻² 处理低 3.5%,两处理组合间的皮棉产量差异不显著。

2.2 密度和整枝对棉花生物产量的效应

提高密度和留叶枝都可以显著提高单位面积的生物产量,密度与整枝对生物产量的互作效应也达到显著水平(表 2)。在临清试验点,留叶枝条件下不同密度间的生物产量差异不大(表 3),总体上无论密度大小都以留叶枝的生物产量高,无论叶枝是否保留都以高密度处理的生物产量高。密度 9.75 株·m⁻² 条件下留叶枝比去叶枝处理的生物产量提高了 14%(表 4)。

表 4 整枝和密度对棉花产量、产量结构和早熟性的互作效应

Table 4 Interaction of pruning with plant density on cotton yield, yield components and earliness

处理	子棉 /(kg·hm ⁻²)	皮棉 /(kg·hm ⁻²)	生物产量 /(kg·hm ⁻²)	棉柴比	铃数 /(个·m ⁻²)	铃重 /g	早熟性 /%
RM/3.00	4016 de	1657 c	8585 e	0.770 a	72.6 d	5.65 a	49.2 cd
RM/5.25	4561 a	1817 a	9976 d	0.767 b	86.4 ab	5.23 c	53.5 a
RM/7.50	4516 ab	1852 a	10987 abc	0.712 c	86.8 ab	5.20 c	55.1 bc
RM/9.75	4385 bc	1794 ab	11135 ab	0.668 e	87.8 a	4.95 d	50.3 a
RT/3.00	4402 bc	1797 ab	10550 bc	0.702 cd	81.1 c	5.44 b	47.2 e
RT/5.25	4317 c	1758 b	10459 c	0.705 d	84.1 bc	5.18 c	50.4 bc
RT/7.50	4087 de	1658 c	11105 ab	0.604 f	88.4 a	4.74 e	50.9 b
RT/9.75	3881 e	1558 d	11196 a	0.472 g	85.3 ab	4.47 f	48.5 de

注:数据皆为 3 个试验点的平均数;RM 和 RT 分别表示去叶枝和留叶枝,数字 3.00 等表示密度。

密度和整枝对棉柴比没有互作效应(表 2)。不同处理间棉柴比的差异趋势与生物产量的差异趋势正好相反,留叶枝降低棉柴比,提高密度也可显著降低棉柴比,留叶枝 9.75 株·m⁻² 处理组合的棉柴比比去叶枝 3.00 株·m⁻² 处理组合降低了 39%(表 4)。

2.3 密度和整枝对棉花产量构成的影响

密度和整枝对单位面积铃数的互作效应显著(表 2),且 3 个试验点各处理间的差异趋势基本一致(表 3)。留叶枝条件下以 7.50 株·m⁻² 的铃数最多,但去叶枝条件下 5.25~9.75 株·m⁻² 间的铃数无显著差异(表 4)。

密度和整枝对铃重没有互作效应(表 2),无论密度高低,基本上去叶枝的铃重高于留叶枝的铃重(6.3%);无论叶枝去留,随着密度升高,铃重表现出降低的趋势,去叶枝 3.00 株·m⁻² 处理的铃重最高,比其它密度处理的铃重高 6.5%~17.6%。

2.4 密度和整枝对棉花早熟性的效应

地点与密度、地点与整枝以及密度与整枝之间对棉花早熟性皆没有互作效应,但是地点与密度和整枝三个因素之间却有显著的互作效应(表 2),说明整枝和密度处理的效应受试验点生态条件的影响。总体来看,去叶枝的早熟性好于留叶枝的处理,5.25~7.50 株·m⁻² 密度处理的早熟性好于低密度(3.00 株·m⁻²)和高密度(9.75 株·m⁻²)的处理。

3 讨论

近 50 年来,我国棉花种植密度经历了由稀

植到密植,又到合理密植的发展过程^[2]。20 世纪 50 年代初,一般仅为 3.00 株·m⁻² 左右,密度稀、产量低。以后随着生产条件的改善和栽培技术的发展,种植密度逐步增加,1970 年以后长江和黄河流域棉区的种植密度提高到 4.5~5.25 株·m⁻²。1980 年以后随着缩节胺的运用和化控技术的发展,棉花种植密度得到进一步优化和提升^[1-2]。不过,近些年来,特别是 2000 年以后,我国主要产棉区的密度又有了新变化,这就是新疆棉区的密度越来越高,22.5 株·m⁻² 以上已是十分普遍。长江和黄河流域棉区的密度则普遍降低,前者多数在 3.00 株·m⁻² 左右,后者不足 4.50 株·m⁻²,杂交棉的密度则更低。密度向两个极端发展的趋势已经引起了棉花界的广泛关注和担心^[18]。

去叶枝是中国棉农在长期生产实践中总结出的一项棉田管理技术,已在长江和黄河流域棉区应用了 50 多年^[3]。前人的大量研究为去叶枝提供了相应的依据。孙学振等^[19]在山东研究发现,留叶枝影响主茎的生长,导致果枝结铃数减少,平均铃重降低;徐立华等^[20]在江苏研究发现,棉花叶枝对主茎叶面积扩展、叶片干重、主茎干重皆有显著的抑制效应;杨铁刚等^[21]在河南利用 ¹⁵N 标记发现,叶枝与果枝、主茎竞争无机养分,影响主茎和果枝的生长发育;张立桢等^[22]报道留叶枝棉花比整枝棉花的根系衰退早而快。不过,这些报道也同时认为留叶枝具有贡献部分经济产量、就近供应根系部分同化物、促进棉株中后期对无机氮的吸收等正面效应。留叶枝还具有“中前期增源、中后期扩库”的作用^[14],是调控棉花库源关系的重要技术措施^[16, 23-24]。这些报道又为保留叶枝提

供了相应的根据。

合理密植是增产的中心环节,只有建立一个从苗期到成熟期都较为合理的动态群体结构,才能充分利用光热资源实现高产^[1]。棉花的适宜种植密度受多种因素的影响,迄今已有密度与播种期、密度与氮肥、密度与化控等相互配合的研究^[2]。同样,在保留叶枝条件下实现不减产甚至增产也需要配套的栽培管理条件。王国印等^[15]曾在未设重复的条件下对抗虫杂交棉叶枝去留的效果进行了研究,发现密度大小似乎影响叶枝利用的效果;徐立华等^[20]对非抗虫棉以及我们在前文^[14,25]对杂交抗虫棉的研究也发现了类似现象。只是迄今对密度和留叶枝的互作效应尚不十分明确。本研究在多点的试验数据表明,密度和叶枝对棉花产量皆有影响。在不考虑互作效应的前提下,整枝处理的子棉和皮棉产量分别比留叶枝的增产 4.8% 和 5.1%,中等密度(5.25 株·m⁻²)的子棉产量比最低和最高密度分别增产 5.4% 和 7.4%,说明去叶枝和合理密植仍是棉花增产的重要措施。山东中等偏上地力一熟春棉的适宜密度为 5.25 株·m⁻² 左右。在此基础上,进一步提高密度无显著增产效果,密度过高还有减产作用。

但是,密度和叶枝存在显著的互作效应。去叶枝情况下,以低密度(3.00 株·m⁻²)的产量最低,中、高密度(5.25~7.50 株·m⁻²)的产量较高;留叶枝条件下,以中、低密度(3.00~5.25 株·m⁻²)的产量较高,高密度下产量较低。此外,在本试验条件下,低密度留叶枝组合与中密度去叶枝组合的皮棉产量基本相当,子棉产量略高,说明在较低密度条件下采用留叶枝可以实现与去叶枝相近的产量,是一条节本高效的途径。需要注意的是,留叶枝的效应不仅与密度有关,还受品种^[15]和地力^[16]等因素的影响,而且留叶枝在一定程度上会降低棉柴比,影响早熟性,对棉花纤维品质形成还有一定的副作用^[15]。因此,是否简化整枝需要因地制宜。

4 结论

合理密植是棉花增产的基础措施。在传统整枝条件下,山东棉区中等及中等偏上地力一熟春棉的适宜密度为 5.25 株·m⁻² 左右,在此基础上,

进一步提高密度无显著增产效果,密度过高还有减产作用。在减少用工保留叶枝的情况下,可以适当降低密度。

参考文献:

- [1] 孙济中,陈布圣. 棉作学[M]. 北京:中国农业出版社,1999:207-219.
SUN Ji-zhong, Chen Bu-sheng. Cotton farming[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 1999: 207-219.
- [2] 蒋国柱. 棉花优质高产的理论与技术[M]. 北京:中国农业出版社,1999:141-157.
JIANG Guo-zhu. Theory and technique for high-yielding and fine quality Production of cotton[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 1999:141-157.
- [3] 董合忠,李维江,李振怀,等. 棉花营养枝利用的研究[J]. 棉花学报,2003,15(5):313-317.
DONG He-zhong, Li Wei-jiang, Li Zhen-huai, et al. Review on utilization of vegetative branches of cotton plants [J]. Cotton Science, 2003, 15(5):313-317.
- [4] 董合忠,李振怀,李维江,等. 抗虫棉保留利用营养枝的效应和技术研究[J]. 山东农业科学,2003(3): 6-10.
DONG He-zhong, Li Zhen-huai, Li Wei-jiang, et al. Effects and utilization technique of vegetative branches on Bt transgenic cotton plants [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2003(3): 6-10.
- [5] BEDNARZ C W, Bridges D C, Brown S M. Analysis of cotton yield stability across population densities [J]. Agronomy Journal, 2000, 92: 128-135.
- [6] FOWLER J L, Ray L L. Response of two cotton genotypes to five equidistant spacing patterns[J]. Agronomy Journal, 1977, 69: 733-738.
- [7] BEDNARZ C W, Shurley W D, Anthony W S, et al. Yield, quality, and profitability of cotton produced at varying plant densities [J]. Agronomy Journal, 2005, 97:235-240.
- [8] DONG He-zhong, Li Wei-jiang, Tang Wei, et al. Effects of genotypes and plant density on yield, yield components and photosynthesis in Bt transgenic cotton [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2006, 192: 132-139.
- [9] BOQUET D J. Cotton in ultra-narrow row spacing: plant density and nitrogen fertilizer rates[J]. Agronomy Journal, 2005, 97:279-287.
- [10] MCCONNELL J S, Francis P B, Stark C R, et al. Plant responses of ultra narrow row cotton to nitrogen fertilization[J]. Journal of Plant Nutrition, 2008, 31: 1005-1017.
- [11] DONG He-zhong, Li Wei-Jiang, Tang Wei, et al. Yield, quality and leaf senescence of cotton grown at varying planting dates and plant densities in the Yellow River Valley of China [J]. Field Crops Research, 2006, 98: 106-115.

- [12] SIEBERT J D, Stewart A M. Influence of plant density on cotton response to mepiquat chloride application[J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98:1634-1639.
- [13] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1983: 516-527.
Cotton Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. *Cotton-farming in China* [M]. Shanghai: Shanghai Press of Science and Technology, 1983: 516-527.
- [14] 董合忠, 李维江, 唐 薇, 等. 留叶枝对抗虫杂交棉库源关系的调节效应对叶片衰老与皮棉产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40: 909-915.
DONG He-zhong, Li Wei-jiang, Tang Wei, et al. Effects of retention of vegetative branches on source-sink relation, leaf senescence and lint yield in Bt transgenic hybrid cotton [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40:909-915.
- [15] 王国印, 李 妙, 张 晓. 抗虫杂交棉种植密度与叶枝利用效应研究[J]. *河北农业科学*, 2003, 7(2): 1-5.
WANG Guo-yin, Li Miao, Zhang Xiao. Studies on application of leaf shoot for hybrid cotton resistance to bollworm[J]. *Journal of Hebei Agricultural Science*, 2003, 7(2): 1-5.
- [16] 董合忠, 牛曰华, 李维江, 等. 不同整枝方式对棉花库源关系的调节效应[J]. *应用生态学报*, 2008, 19:819-824.
DONG He-zhong, Niu Yue-hua, Li Wei-jiang, et al. Regulation effects of various training modes on source-sink relation of cotton[J]. *Chinese Journal of Applied Economy*, 2008, 19: 819-824.
- [17] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
TANG Qi-yi, Feng Ming-guang. *DPS data processing system for practical statistics* [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [18] 周桂生, 于建平, 陈 刚, 等. 关于长江流域棉花适宜种植密度的思考[J]. *中国棉花*, 2005, 32(5): 51-52.
ZHOU Gui-sheng, Yu Jian-ping, Chen Gang, et al. On optimum planting density of cotton in The Yangtze River [J]. *China Cotton*, 2005, 32(5): 51-52.
- [19] 孙学振, 施 培, 单世华, 等. 留营养枝棉花群体干物质积累与分配规律研究[J]. *华北农学报*, 2000, 15(3): 77-81.
SUN Xue-zhen, Shi Pei, Shan Shi-hua, et al. Dry matter accumulation and allocation of cotton with vegetative branches[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2000, 15(3): 77-81.
- [20] 徐立华, 朱永歌, 王铁书, 等. 密度对棉花叶枝利用的调节效应[J]. *江苏农业科学*, 2000(5):26-27.
XU Li-hua, Zhu Yong-ge, Wang Tie-shu, et al. Regulative effects of vegetative branch utilization in cotton[J]. *Journal of Jiangsu Agricultural Science*, 2000(5):26-27.
- [21] 杨铁刚, 黄树梅, 孟菊茹. 棉花叶枝和主茎对无机营养 (N) 的竞争关系研究[J]. *中国棉花*, 2002, 29(1): 16-17.
YANG Tie-gang, Huang Shu-mei, Meng Ju-ru. Competitive relation on organic and inorganic nutrients between vegetative branches and stems in cotton[J]. *China Cotton*, 2002, 29(1): 16-17.
- [22] 张立楨, 李亚兵, 王桂平, 等. 留营养枝棉花根系生长发育与分布规律的研究[J]. *棉花学报*, 1998, 10(6): 322-328.
ZHANG Li-zhen, Li Ya-bing, Wang Gui-ping. The root growth, development and distribution of cotton with vegetative branches [J]. *Cotton Science*, 1998, 10(6): 322-328.
- [23] 唐 薇, 牛曰华, 张冬梅. 留叶枝去早果枝对抗虫棉生长发育及产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(8):178-182.
TANG Wei, Niu Yue-hua, Zhang Dong-mei. Effects of retention of vegetative branches and removal of early fruiting branches on the growth and development and yield of Bt transgenic cotton [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(8):178-182.
- [24] 张冬梅, 董合忠, 唐 薇, 等. 滨海盐碱地不同抗虫棉品种的产量和熟相及去早果枝的效应[J]. *棉花学报*, 2008, 20(6): 431-435.
ZHANG Dong-mei, Dong He-zhong, TANG Wei, et al. Yield and Maturity Performance of Bt Transgenic Cotton Varieties and Their Response to Removal of Early Fruiting Branches in a Coastal Saline Field[J]. *Cotton Science*, 2008, 20(6): 431-435.
- [25] DONG He-zhong, Li Wei-jiang, Li Zhen-huai, et al. Evaluation of a production system in China that uses reduced plant densities and retention of vegetation branches[J]. *Journal of Cotton Science*, 2005, 9:1-9. ●