

不同种植密度对新疆机采棉叶片生理特性及产量的影响

张娜¹ 冯璐² 李玲¹ 李春梅¹ 马云珍¹ 王芳¹ 李志鹏³

万素梅³ 李亚兵^{2*} 徐文修^{1*}

(1. 新疆农业大学 农学院, 乌鲁木齐 830052;

2. 中国农业科学院 棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室, 河南 安阳 455000;

3. 塔里木大学 植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要 为筛选出新疆南疆机采棉适宜的种植密度, 试验采用单因子随机区组试验设计, 在机采(66 cm+10 cm)一膜六行种植模式下设置9(P_1)、12(P_2)、15(P_3)、18(P_4)、21(P_5)和24万株/hm²(P_6)6个种植密度, 以‘中棉所88号’为供试材料, 测定不同种植密度处理机采棉叶片的光合特性及产量指标。结果表明: 随着种植密度的增大, 机采棉叶片SPAD、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、热耗散的量子比率(F_o/F_m)、光能传递效率(F_v/F_m)、光合性能指数(PIabs)及籽棉产量均呈“先升后降”的变化, 胞间CO₂浓度(C_i)则呈“先降后升”的变化趋势。叶片SPAD、 P_n 、 T_r 、 G_s 和 F_v/F_m 在盛蕾、盛花期均以 P_4 处理最大, 但盛铃期SPAD、 P_n 、 T_r 和 G_s 则均在 P_3 处理达到峰值, F_v/F_m 以 P_4 处理最大; F_o/F_m 盛蕾期以 P_3 处理最大, 盛花期和盛铃期以 P_4 处理最大; PIabs在测定生育时期内均以 P_3 处理最大。随种植密度的增加, 棉花单株铃数显著降低, 单铃重及籽棉产量均呈“先升后降”的变化, 以 P_5 处理籽棉产量最高, 为6 272.79 kg/hm², 分别较 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 和 P_6 处理高出28.54%、18.61%、3.87%、2.95%和12.78%, 但与 P_3 、 P_4 处理并无显著性差异($P>0.05$)。因此, 综合考虑各生理指标及产量, 建议南疆机采棉可适当降低种植密度, 宜控制在15~18万株/hm²。

关键词 密度; 机采棉; 光合特性; 荧光参数; 产量

中图分类号 S562

文章编号 1007-4333(2021)05-0022-08

文献标志码 A

Effect of planting density on leaf physiological characteristic and yield of machine picked cotton in Southern Xinjiang

ZHANG Na¹, FENG Lu², LI Ling¹, LI Chunmei¹, MA Yunzhen¹, WANG Fang¹, LI Zhipeng³,

WAN Sumei³, LI Yabing^{2*}, XU Wenxiu^{1*}

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Institute of Cotton Research/State Key Laboratory of Cotton Biology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang 455000, China;

3. College of Plant Science, Tarim University, Aral 843300, China)

Abstract The aim of this study was to select suitable planting density for machine picked cotton in South Xinjiang. Cultivar ‘Zhongmiansuo 88’ was applied as research material, and six planting densities 90 000 (P_1), 120 000 (P_2), 150 000 (P_3), 180 000 (P_4), 210 000 (P_5) and 240 000 plants/hm² (P_6), were set in a randomized block experimental design. Different indicators of photosynthetic characteristics and yield were observed under different treatments. The results showed that: With the increase of planting density, the SPAD, P_n , T_r , G_s , F_o/F_m , F_v/F_m , PIabs and seed cotton yield of machine picked cotton displayed the trend of “first rise then fall”, while the C_i showed

收稿日期: 2020-06-11

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD1000900); 新疆农业大学棉花团队发展基金(XNMH2019004)

第一作者: 张娜, 博士研究生, E-mail: 1732685125@qq.com

通讯作者: 徐文修, 教授, 主要从事农作制度与农业生态方面研究, E-mail: xjxwx@sina.com

李亚兵, 研究员, 主要从事轻简化植棉与智慧农业创新应用方面研究, E-mail: criliyabing@163.com

initially decreased and then increased trend. The SPAD, P_n , T_r , G_s and F_v/F_m of leaves were the highest in P_4 treatment at full budding and full flowering stage. The SPAD, P_n , T_r and G_s of leaves were the highest in P_3 treatment at full boll stage. The F_v/F_m was highest at P_4 treatment. The F_o/F_m was highest in P_3 treatment at full bud stage, and was highest in P_4 treatment at full flowering and full boll stage. The Plabs sustained the highest in P_3 treatment at full budding, full flowering and full boll stage. With the increase of planting density, the boll number per plant decreased significantly. The boll weight per plant and the yield of seed cotton presented a “first increase and then decrease” trend. The yield of seed cotton in P_5 treatment was the highest and reached 6 272.79 kg/hm², which was 28.54%, 18.61%, 3.87%, 2.95% and 12.78% higher than that of P_1 , P_2 , P_3 , P_4 and P_6 treatment respectively. There was no significant difference with P_3 and P_4 treatment ($P > 0.05$). Considering the physiological indexes and yield, it was concluded that the planting density should be reduced appropriately, and the planting density should be controlled within the range from 150 000 to 180 000 plants/hm².

Keywords plant density; machine picked cotton; photosynthetic characteristics; fluorescence parameters; yield

棉花是新疆的主要经济作物之一,新疆棉花产业在我国棉花生产中占比超过 83%^[1]。以往,棉花采收以人工采摘为主,然而,随着植棉面积的不断扩大及单产的提高,劳动力成本不断增加,导致植棉效益明显下降,农民增产不增收现象普遍存在,为降低拾花成本,棉花生产由传统劳动密集型向轻简节本型转变已成为必然。其中,机械采收是轻简化植棉技术中的重要环节,因其具有可大大降低劳动强度及人工采摘成本及提高植棉效益等优势^[2],近年来得以大面积推广。但是,新疆传统的“矮、密、早、膜”滴灌栽培技术下形成的“高密小株型”群体结构,却显现出一些与机械采摘技术不适配的问题,如,因株高偏低导致机械采收时易卷起地表残膜而污染原棉、密度过大荫蔽而造成的光合效率降低、蕾铃脱落率和脱叶效果差等问题^[3-4],进而影响产量及机采质量。因此,从提高叶片光合效率的角度出发,进一步探讨机采棉适宜的种植密度,对促进机采棉发展具有重要意义。

合理密植是优化作物群体质量和提高产量的重要手段^[5]。研究表明,棉花在高密度条件下,单株铃数、铃重与产量均随着种植密度的增加而降低^[6],但单位面积的总成铃数、籽棉产量与总生物量均随着种植密度的增加呈先增加后减少的趋势^[7-8],且在一定密度范围内,棉花产量随着密度的增大而呈现增长趋势,但密度过高会引起产量的显著降低^[9-10]。另有研究表明,虽然高密度会导致单株铃数和铃重降低,但收获株数增加^[11-12],总铃数和衣分提高^[13],因此产量保持稳定。光合作用是产量形成的基础,研究得出,在杂交棉群体中,随着密度的增加,叶绿素含量(SPAD)、净光合速率(P_n)及产量均呈“先升后降”的变化趋势^[14]。此外,棉花中下部叶片的冠

层光合有效辐射受密度影响差异显著,随密度增加,上部和下部叶片的 P_n 均显著降低,SPAD 显著升高,叶片厚度和比叶重均显著降低^[15]。然而,在机采棉模式下,密度对棉花叶片光合作用及产量影响的研究鲜有报道。本研究以‘中棉所 88 号’为材料,基于目前新疆机采棉区生产中普遍采用的“一膜六行”株行距配置条件,测定不同种植密度棉花功能叶的生理指标及产量,旨在探明种植密度对机采棉叶片生理特性及产量的影响规律,以期为新疆机采棉合理密植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2019 年 4—10 月在新疆维吾尔自治区生产建设兵团农一师阿拉尔市十团中棉所阿拉尔试验站(81.31°E、40.60°N)进行,多年平均降雨量 48.2 mm,年均气温 10.56 °C,年均 ≥ 10 °C 日照时数 1 793 h,无霜期 208 d,试验期间降雨量 96 mm。试验地土壤质地类型为沙壤土,前茬种植作物为棉花,播前 0~40 cm 土壤基础养分含量,见表 1。

1.2 试验设计

采用随机区组试验设计,设置 9(P_1)、12(P_2)、15(P_3)、18(P_4)、21(P_5)和 24 万株/hm²(P_6)共 6 个处理密度,试验于 4 月 18 日进行人工播种,采用发芽率 $\geq 95\%$ 的‘中棉所 88 号’为供试品种,种植方式为(66 cm+10 cm)一膜六行条播,膜宽 2.05 m,膜间距 0.23 m。每个处理重复 3 次,小区面积 47.88 m²(7.00 m \times 6.84 m),播前结合整地施有机肥 4.8 t/hm²、尿素(N $\geq 46.4\%$)225 kg/hm²和重过磷酸钙($P_2O_5 \geq 46\%$)300 kg/hm²。灌溉方式为膜下滴灌,滴灌带滴头间距 30 cm,流量 3 L/h,滴灌带

表1 2019年试验地基础土壤养分含量

Table 1 Nutrients contents of the experimental plot soil in 2019

土层/cm Soil layer	全氮/(g/kg) Total nitrogen	有机质/(g/kg) Organic matter	碱解氮/(mg/kg) Available nitrogen	速效磷/(mg/kg) Available phosphorous	速效钾/(mg/kg) Available potassium
0~20	0.40	9.98	21.00	32.01	72.00
>20~40	0.14	9.65	26.00	28.26	112.00
平均值 Average	0.27	9.82	23.50	30.14	92.00

铺设方式为“一膜三管六行”，田间种植模式及滴灌带布置见图1。棉花出苗时间为4月27日，于5月18日人工定苗至各处理密度。试验地棉花全生育期内共计灌水9次，总灌水量4 200 m³/hm²，

期间随水共计滴施尿素150 kg/hm²，磷酸二铵270 kg/hm²，磷酸二氢钾112.5 kg/hm²。田间其他管理措施同当地大田一致，收获时间为10月18日。

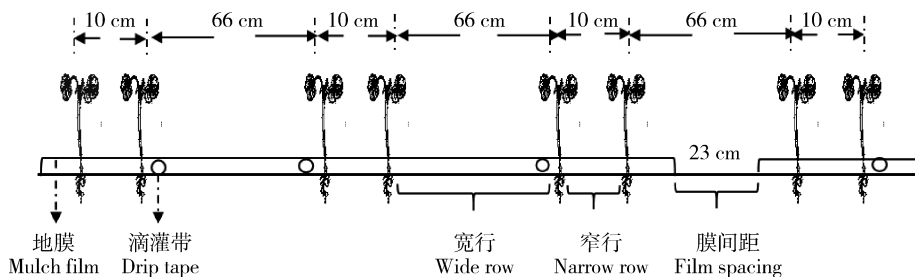


图1 田间种植模式及滴灌带布置图

Fig. 1 Layouts of planting pattern and drip irrigation pipe

1.3 测定项目与方法

1.3.1 SPAD测定

分别于棉花盛蕾期、盛花期和盛铃期，在各小区选取长势均匀一致的5株棉花，于11:00—12:00采用日本柯尼卡美能达公司的SPAD-502叶绿素仪测定所选棉株功能叶(打顶前测定倒4叶，打顶后测定倒3叶)SPAD，每叶避开叶脉测4点取平均值。

1.3.2 光合参数测定

于棉花盛蕾期、盛花期和盛铃期，选择在晴朗无风的晴天，11:00—13:00用CIRAS-2型便携式光合仪测定各处理棉花功能叶的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间CO₂浓度(C_i)，每小区测定5片功能叶。

使用Handy-PEA便携式植物效率分析仪(连续激发式荧光仪，Hansatech, UK)测定。激发光(饱和脉冲光)强度为3 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，暗适应时间为20 min，记录时间2 s，各处理均4次重复，所用荧光参数由Handy PEA软件直接导出。

1.3.3 产量及产量构成测定

于棉花完全吐絮后，每小区选定14.35 m²

(7.00 m×2.05 m)，调查收获株数和总成铃数，计算单株成铃数，并在各个小区内分别随机摘取上、中、下部果枝吐絮铃各20个混合，干燥后称量单铃重，以计算产量。

1.4 数据处理

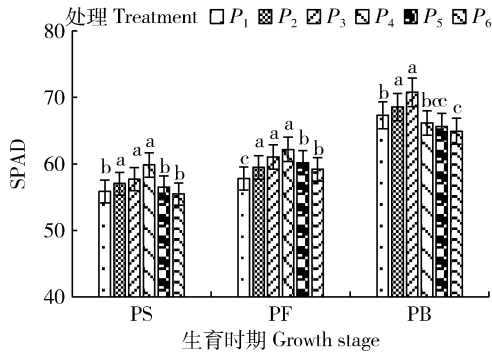
采用Microsoft Excel 2016软件进行数据处理和绘图，采用SPSS 25统计分析软件进行方差分析。

2 结果分析

2.1 种植密度对机采棉叶片SPAD的影响

由图2可知，随着生育进程的推进，各种植密度棉花叶片SPAD由高到低均表现为：盛铃期>盛花期>盛蕾期。随着种植密度的增加，叶片SPAD在各生育时期均呈“先升后降”的变化规律。 P_4 处理的SPAD在盛蕾期、盛花期均最高，分别为59.85和62.19，且其2个生育时期内与 P_1 、 P_5 及 P_6 处理差异均显著($P<0.05$)，但与 P_2 、 P_3 处理差异不显著。不同处理在盛铃期的SPAD则以 P_3 处理最高，为70.79，分别较 P_1 、 P_4 、 P_5 和 P_6 处理高出5.11%、6.98%、7.83%和9.03%，但与 P_2 处理未

达显著性差异。



P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 和 P_6 处理分别为 9, 12, 15, 18, 21 和 24 万株/hm²。PS, 盛蕾期; PF, 盛花期; PB, 盛铃期。不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。

P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 and P_6 represent $9 \times 10^4, 12 \times 10^4, 15 \times 10^4, 18 \times 10^4, 21 \times 10^4$ and 24×10^4 plants/hm², respectively. PS, peak squaring stage; PF, peak flowering stage; PB, peak boll stage. The different lowercase letters indicate significant differences at 0.05. The same below.

图 2 种植密度对棉花不同生育时期叶片 SPAD 的影响

Fig. 2 Effect of planting density on leaf SPAD of cotton in different growth stages

表 2 种植密度对棉花不同生育时期叶片 P_n 和 T_r 的影响

Table 2 Effect of planting density on P_n and T_r of cotton leaf in different growth stages

处理 Treatment	$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$					
	盛蕾期 Peak squaring stage		盛花期 Peak flowering stage		盛铃期 Peak boll stage	
	P_n	T_r	P_n	T_r	P_n	T_r
P_1	35.11 c	5.41 c	33.24 c	5.38 c	32.43 b	5.17 c
P_2	35.53 c	5.50 c	33.66 c	5.46 c	33.15 a	5.22 bc
P_3	36.49 b	5.81 b	34.48 b	5.58 bc	33.21 a	5.38 a
P_4	37.68 a	6.07 a	35.90 a	5.72 a	32.17 bc	5.19 c
P_5	36.29 b	5.74 b	34.44 b	5.54 bc	31.80 c	5.12 c
P_6	34.67 d	5.38 c	33.13 c	5.14 d	29.87 d	5.07 c

表 3 种植密度对棉花不同生育时期叶片 G_s 和 C_i 的影响

Table 3 Effect of planting density on G_s and C_i of cotton leaf in different growth stages

处理 Treatment	盛蕾期 Peak squaring stage		盛花期 Peak flowering stage		盛铃期 Peak boll stage	
	$G_s/$	$C_i/$	$G_s/$	$C_i/$	$G_s/$	$C_i/$
	(mmol/(m ² · s))	($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	(mmol/(m ² · s))	($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	(mmol/(m ² · s))	($\mu\text{mol}/\text{mol}$)
P_1	0.63 bc	265.67 b	0.59 c	270.20 a	0.49 c	265.83 b
P_2	0.64 bc	265.13 b	0.62 b	258.60 b	0.52 b	264.67 b
P_3	0.70 a	251.96 d	0.65 a	254.20 c	0.56 a	259.11 d
P_4	0.72 a	244.67 e	0.66 a	248.50 d	0.55 a	261.50 c
P_5	0.67 b	259.29 c	0.63 b	257.80 b	0.46 d	273.67 b
P_6	0.61 c	270.80 a	0.54 d	275.20 a	0.45 d	283.33 a

2.2 种植密度对机采棉叶片光合参数的影响

2.2.1 净光合速率和蒸腾速率

由表 2 可知,不同密度处理下叶片 P_n 和 T_r 均随生育进程推进而呈逐渐降低态势。与各处理叶片 SPAD 的变化趋势相一致,在各生育时期,随着种植密度的增加,叶片 P_n 和 T_r 均呈“先升后降”的变化,二者在盛蕾期和盛花期均以 P_4 处理的值最大,且显著高于其他处理($P < 0.05$);盛铃期 P_n 和 T_r 则均以 P_3 处理的值最高,除与 P_2 处理的 P_n 差异不显著外,与其他处理均达显著差异水平($P < 0.05$)。累加各次测量值并求其平均值可以得出, P_4 处理棉花叶片 P_n 和 T_r 均最大,分别为 $35.25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $5.66 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其中, P_4 处理较 P_6 处理的 P_n 高出 8.27%;较 P_1 和 P_6 处理的 T_r 分别高出 6.39%和 8.92%。

2.2.2 气孔导度和胞间 CO_2 浓度

由表 3 可知,不同种植密度下机采棉叶片 G_s 变化趋势与 P_n, T_r 的变化趋势一致,亦随着生育进程的推进而降低,各处理随种植密度的增加呈“先升后

降”的变化。 C_i 变化趋势则反之,其随种植密度的增加呈“先降后升”的变化。 P_4 处理3个生育时期平均的叶片 G_s 最高,为0.642 mmol/(m²·s)、其 C_i 最低为251.56 μmol/mol。其中, P_4 处理叶片 G_s 除与 P_3 处理间差异不显著,与其他各处理差异显著($P<0.05$), C_i 与其他处理差异均显著($P<0.05$)。

2.2.3 种植密度对机采棉叶片荧光参数的影响

由表4可知,随着种植密度的增加,机采棉叶片热耗散的量子比率 F_o/F_m 、光能传递效率 F_v/F_m 及光合性能指数PIabs均呈“先升后降”的变化趋势。叶片 F_o/F_m 在盛蕾期以 P_3 处理最高,为0.297,且

与其他处理差异均达显著水平($P<0.05$);盛花期和盛铃期则均以 P_4 处理最大,分别为0.267和0.261,除盛花期 P_3 处理外,与其他处理差异亦均达显著水平($P<0.05$)。 F_v/F_m 在盛蕾期和盛花期均在 P_3 处理达到峰值,分别为0.788和0.784,盛铃期则以 P_4 处理最高,但与 P_2 、 P_3 、 P_5 处理均无显著差异。3个生育时期内PIabs均在 P_3 处理达到最大,分别为3.246、2.383和3.984,在盛蕾期处理间差异显著,随着生育进程的推进, P_3 与 P_4 处理间的差异不显著,但二者均显著高于其他处理($P<0.05$)。

表4 种植密度对棉花不同生育时期叶片荧光参数的影响

Table 4 Effect of planting density on fluorescence parameters of cotton leaf in different growth stage

处理 Treatment	盛蕾期 Peak squaring stage			盛花期 Peak flowering stage			盛铃期 Peak boll stage		
	F_o/F_m	F_v/F_m	PIabs	F_o/F_m	F_v/F_m	PIabs	F_o/F_m	F_v/F_m	PIabs
P_1	0.218 d	0.742 c	2.396 e	0.216 d	0.743 b	1.316 d	0.210 d	0.739 b	2.361 c
P_2	0.243 c	0.744 c	2.355 e	0.227 c	0.760 ab	1.420 d	0.213 d	0.780 a	2.604 b
P_3	0.297 a	0.788 a	3.246 a	0.257 a	0.784 a	2.383 a	0.243 b	0.787 a	3.984 a
P_4	0.256 b	0.782 a	2.996 b	0.267 a	0.773 ab	2.381 a	0.261 a	0.790 a	3.863 a
P_5	0.255 b	0.757 b	2.707 c	0.231 bc	0.769 ab	1.925 b	0.220 c	0.786 a	2.621 b
P_6	0.212 d	0.733 d	2.560 d	0.240 b	0.753 ab	1.702 c	0.214 d	0.747 b	2.604 b

2.3 种植密度对机采棉产量及产量构成的影响

由表5可知,不同种植密度下收获株数均达显著性差异水平($P<0.05$)。随种植密度的增加,单株铃数降低,以 P_1 处理最高,为8.29个/株。单铃重随种植密度的增加呈“先增后减”的变化趋势,其中以 P_3 处理的单铃重最大,为6.93 g,虽与 P_2 、 P_4 处理间差异不显著,但与 P_1 、 P_5 、 P_6 处理差异均显著($P<0.05$)。籽棉产量亦随种植密度的

增加呈“先增后减”的变化,以种植密度次高的 P_5 达到峰值,为6272.79 kg/hm²,较 P_1 、 P_2 和 P_6 处理增产28.54%、18.61%和12.78%($P<0.05$),但与 P_3 、 P_4 处理差异不显著。进一步模拟分析密度与产量关系可知,产量与密度拟合曲线为开口向下抛物线形式, P_3 、 P_4 和 P_5 处理为产量高值区间,在此基础上减少或增加密度均不利于获得高产,见图3。

表5 不同种植密度棉花产量及产量构成因素

Table 5 The yield and yield components of cotton under different planting density

处理 Treatment	实收株数/(10 ⁴ 株/hm ²) Harvest plants	单株铃数 Boll number per plant	单铃重/g Boll weight	籽棉产量/(kg/hm ²) Seed cotton yield
P_1	9.00 f	8.29 a	6.54 b	4880.03 c
P_2	12.00 e	6.53 b	6.74 ab	5288.48 bc
P_3	14.32 d	6.08 b	6.93 a	6038.85 a
P_4	17.79 c	5.09 c	6.73 ab	6093.06 a
P_5	20.99 b	4.59 c	6.62 b	6272.79 a
P_6	23.58 a	3.89 d	6.07 c	5561.76 b

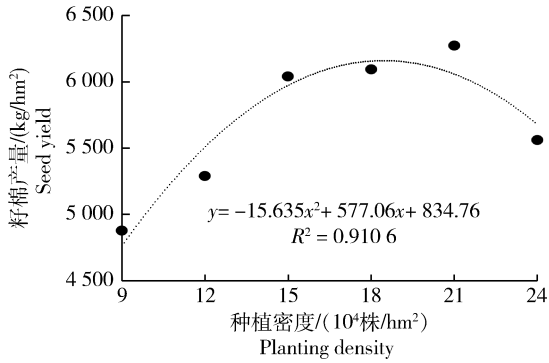


图3 种植密度与产量的关系

Fig. 3 Regression between planting density and yield

3 讨论

合理密植是提高棉花叶面积指数、群体光能利用的重要措施,是棉花获得优质、高产的关键环节,也是塑造合理株型的手段之一。已有研究表明,棉花不同种植密度对光合作用有一定影响^[16-18]。彭桃桃等^[19]研究表明,高密度种植模式下的棉花叶片的 P_n 、 C_i 、 T_r 和 G_s 均优于低密度。吕丽华等^[20]研究表明,高密度易造成群体内光分布不合理,造成生育后期叶片提早衰老,光合性能降低,中、低密度下冠层结构合理,冠层光合性能较高,更有利于产量的提高。张旺锋等^[21]认为新疆气候生态条件下,中密度处理群体光合速率较高,光合物质积累量较高。本研究结果与前人^[19-21]研究结果基本一致,即随着密度的增大,各项指标均以中等偏低的密度处理表现最优,且这种与高密度相比的优势会随生育进程的推进更加凸显。说明在相同的农田管理措施下,种内竞争较小的低密度群体,无论在空间还是时间维度上都更有利于发挥和延续个体优势,为后期高产奠定良好的基础。

张东升等^[26]研究发现,不同密度处理棉花 F_v/F_m 差异不显著,但中密度棉花叶片实际光化学效率、光化学猝灭系数及电子传递速率均显著高于低密度和高密度处理。与其研究结果基本一致,本研究结果亦表明,在低密度基础上适当增密可提高机采棉叶片 F_o/F_m 、 F_v/F_m 及PIabs,但密度过大反而降低,这可能是由于密度改变了群体冠层结构,而过高的种植密度易导致冠层内温度、湿度和光照等条件变差,进而导致棉花光合效率降低,但无论是在间作还是单作模式下,棉花叶片荧光特性均呈“先升后降”的变化趋势。然而,不同的生育时期叶片的叶

绿素荧光参数受种植密度的影响程度不同,本研究中,对环境反应最为敏感的PIabs参数在测定的各个生育时期内均以18万株/hm²的 P_4 处理最高,而 F_o/F_m 和 F_v/F_m 的峰值则均有随生育时期推进由15万株/hm²向18万株/hm²转变的趋势,但并未形成显著差异,说明密度在较小范围内浮动对 F_v/F_m 影响不大。

棉花产量受密度的影响很大。吴杨焕等^[27]研究表明,降低密度能增加单株结铃数,但密度过小不利于棉花产量形成。吕新等^[28]认为,棉花群体密度的高低对产量有一定的影响,密度过高或过低都不利于获得高产。与已有的研究结果基本一致,本研究中棉花产量虽以中等偏高密度的21万株/hm²(P_5 处理)最优,但这种以增大群体数量获得产量上的提升是以显著降低单株优势为代价的,且最终产量并未与较低密度的15万株/hm²(P_3 处理)和18万株/hm²(P_4 处理)形成显著差异,说明在一定范围内降密可充分发挥棉花单株个体优势,进而对产量产生一定的补偿,也可在一定程度上减轻因密度过大群体郁蔽而伴生出机采品质不佳的弊端。

4 结论

种植密度对机采棉叶片生理特性及其产量和产量构成因素影响显著。随着密度的增大,不同生育时期内叶片SPAD、 P_n 、 T_r 、 G_s 、 F_o/F_m 、 F_v/F_m 和PIabs均在密度为15~18万株/hm²达到最优;籽棉产量以密度为21万株/hm²时最高(6 272.79 kg/hm²),但在此基础上降密至15~18万株/hm²减产幅度仅为2.9%~3.7%。因此,综合考虑叶片各生理指标、产量和产量构成,建议新疆南疆滴灌机采棉(66 cm+10 cm)种植模式下,种植密度以15~18万株/hm²为宜。

参考文献 References

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019
Nation Bureau of Statistics. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2019 (in Chinese)
- [2] 努斯热提·吾斯曼, 喻树迅, 范术丽, 梅拥军, 原日红. 陆地棉机采性状对皮棉产量的遗传贡献分析[J]. 棉花学报, 2012, 24(1): 10-17
Nusirat O, Yu S X, Fan S L, Mei Y J, Yuan R H. Analysis of genetic contribution of mechanical harvesting traits to lint yield in upland cotton[J]. *Cotton Science*, 2012, 24(1): 10-17

- (in Chinese)
- [3] 田景山,王文敏,王聪,牛玉萍,罗宏海,勾玲,张亚黎,张旺锋. 机械采收方式对新疆棉纤维品质的影响[J]. 纺织学报, 2016, 37(7): 13-17
Tian J S, Wang W M, Wang C, Niu Y P, Luo H H, Gou L, Zhang Y L, Zhang W F. Effect of cotton mechanical picking on fiber qualities in Xinjiang[J]. *Journal of Textile Research*, 2016, 37(7): 13-17 (in Chinese)
- [4] Yang G, Luo X, Nie Y C, Zhang X L. Effects of plant density on yield and canopy micro environment in hybrid cotton[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(10): 2154-2163
- [5] 牛玉萍,陈宗奎,杨林川,罗宏海,张旺锋. 干旱区滴灌模式和种植密度对棉花生长和产量性能的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(10): 1506-1515
Niu Y P, Chen Z K, Yang L C, Luo H H, Zhang W F. Effect of drip irrigation pattern and planting density on growth and yield performance of cotton in arid area[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(10): 1506-1515 (in Chinese)
- [6] 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
Zhao Z Y, Tian C Y, Ma Y J. Influence of close planting on the yield and quality of cotton[J]. *Arid Zone Research*, 2003, 20(4): 292-295 (in Chinese)
- [7] 王海洋,陈建平,蔡立旺,王为,王永慧,戚永奎,施庆华,潘宗瑾,高进. 不同种植密度对杂交抗虫棉生长发育及产量构成的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(9): 27-30
Wang H Y, Chen J P, Cai L W, Wang W, Wang Y H, Qi Y K, Shi Q H, Pan Z J, Gao J. Effects of planting density on growth, development and yield components of hybrid insect-resistant cotton[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2014, 26(9): 27-30 (in Chinese)
- [8] 周永萍,杜海英,田海燕,葛朝红,燕建召,孙辉,师树新. 不同种植密度对棉花生长结铃及产量品质的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(4): 95-99
Zhou Y P, Du H Y, Tian H Y, Ge C H, Yan J Z, Sun H, Shi S X. The influence of different planting densities on growth and yield of cotton[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(4): 95-99 (in Chinese)
- [9] Jenkins J N, Mccarty J C, Parrott W L. Fruiting efficiency in cotton: Boll size and boll set percentage[J]. *Crop Science*, 1990, 30(4): 857-860
- [10] 刘素华,彭延,彭小峰,罗振,董合忠. 调亏灌溉与合理密植对旱区棉花生长发育及产量与品质的影响[J]. 棉花学报, 2016, 28(2): 184-188
Liu S H, Peng Y, Peng X F, Luo Z, Dong H Z. Effects of regulated deficit irrigation and plant density on plant growth and yield and fiber quality of cotton in dry land area[J]. *Cotton Science*, 2016, 28(2): 184-188 (in Chinese)
- [11] 马一学,阳会兵,陈金湘,刘爱玉,王峰. 棉花种植方式和密度效应研究[J]. 作物研究, 2014, 28(3): 269-271
Ma Y X, Yang H B, Chen J X, Liu A Y, Wang F. Study on effects of planting patterns and densities on cotton[J]. *Crop Research*, 2014, 28(3): 269-271 (in Chinese)
- [12] 赵振勇,田长彦,马英杰,吕昭智,王平. 高密度种植下棉花群体质量主要指标研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 9-13
Zhao Z Y, Tian C Y, Ma Y J, Lv Z Z, Wang P. Study on central indexes of colony quality of cotton under high planting density[J]. *Agricultural Research in The Arid Areas*, 2004, 22(3): 9-13 (in Chinese)
- [13] 王燕,王树林,张谦,冯国艺,雷晓鹏,梁青龙,祁虹. 机采棉主要农艺性状与密度相关性分析[J]. 作物杂志, 2019, 35(6): 66-70
Wang Y, Wang S L, Zhang Q, Feng G Y, Lei X P, Liang Q L, Qi H. Correlation analysis between main agronomic traits and density in mechanical harvest cotton[J]. *Crops*, 2019, 35(6): 66-70 (in Chinese)
- [14] 刘翠,张巨松,阿依加玛丽,石俊毅,武辉. 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
Liu C, Zhang J S, Ayijiamali, Shi J Y, Wu H. Effects of densities on the group canopy and photosynthetic production of hybrid cotton[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013, 50(1): 1-7 (in Chinese)
- [15] 孟浩峰. 棉花叶片光合作用的系统调控及对种植密度的响应研究[D]. 石河子:石河子大学, 2017
Meng H F. Study on the systemic and regulation of photosynthesis in cotton leaves its response to plant density [D]. Shihezi: Shihezi University, 2017 (in Chinese)
- [16] 张东升,韩硕,王旗,刘军,张伟,张立祯,刘建国. 枣棉间作条件下棉花密度对棉花光合特性及产量影响[J]. 棉花学报, 2014, 26(4): 334-341
Zhang D S, Han S, Wang Q, Liu J, Zhang W, Zhang L Z, Liu J G. Effect of plant density on photosynthesis characters and yield of cotton in the jujube-cotton intercropping systems [J]. *Cotton Science*, 2014, 26(4): 334-341 (in Chinese)
- [17] 支晓宇,韩迎春,王国平,冯璐,杨北方,范正义,杜文丽,雷亚平,毛树春,李亚兵. 不同密度下棉花群体光辐射空间分布及生物量和纤维品质的变化[J]. 棉花学报, 2017, 29(4): 365-373
Zhi X Y, Han Y C, Wang G P, Feng L, Yang B F, Fan Z Y, Du W L, Lei Y P, Mao S C, Li Y B. Changes to the PAR spatial distribution, biomass, and fiber quality in response to plant densities[J]. *Cotton Science*, 2017, 29(4): 365-373 (in Chinese)
- [18] 罗宏海,张旺锋,赵瑞海,韩春丽,施敏. 种植密度对新疆膜下滴灌棉花群体光合速率、冠层结构及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 112-114
Luo H H, Zhang W F, Zhao R H, Han C L, Shi M. Effects of planting densities on canopy apparent photosynthesis, canopy structure and yield of cotton drip-irrigated under the mulch in Xinjiang[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(4): 112-114 (in Chinese)

- [19] 彭桃桃,赵金祥,孙勇,万素梅,胡守林. 枣棉间作不同模式对棉花光合特性影响的研究[J]. 塔里木大学学报, 2013, 25(2): 9-13
Peng T T, Zhao J X, Sun Y, Wan S M, Hu S L. Southern jujube cotton intercropping different mode cotton photosynthetic characteristics of the research [J]. *Journal of Tarim University*, 2013, 25(2): 9-13 (in Chinese)
- [20] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,张雅杰,赵明,赵久然,王璞. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J]. 作物学报, 2008, 34(3): 447-455
Lv L H, Tao H B, Xia L K, Zhang Y J, Zhao M, Zhao J R, Wang P. Canopy structure and photosynthesis traits of summer maize under different planting densities [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(3): 447-455 (in Chinese)
- [21] 张旺锋,王振林,余松烈,李少昆,房建,童文崧. 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 W F, Wang Z L, Yu S L, Li S K, Fang J, Dong W S. Effects of planting density on canopy photosynthesis, canopy structure and yield formation of high-yield cotton in Xinjiang, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2004, 28(2): 164-171 (in Chinese)
- [22] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448
Zhang S R. The significance and discussion of chlorophyll fluorescence induction kinetic parameters[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4): 444-448 (in Chinese)
- [23] 张永强,方辉,范贵强,赛力汗·赛,薛丽华,陈兴武,雷钧杰. 遮阴和种植密度对南疆滴灌冬小麦旗叶生理特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(11): 1352-1358
Zhang Y Q, Fang H, Fan G Q, Sai L H S, Xue L H, Chen X W, Lei J J. Effects of shading and planting density on the physiological characteristics of flag leaf and yield of winter wheat under drip irrigation in south Xinjiang[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(11): 1352-1358 (in Chinese)
- [24] 徐寿军,薛海楠,刘志萍,张凤英,包海柱,道日娜,李国兴. 肥料与密度对春大麦叶绿素荧光参数影响的正交回归分析[J]. 核农学报, 2018, 32(12): 2414-2422
Xu S J, Xue H N, Liu Z P, Zhang F Y, Bao H Z, Dao R N, Li G X. Orthogonal regression analysis on effect of fertilizer and density on chlorophyll fluorescence parameters of spring barley[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32(12): 2414-2422 (in Chinese)
- [25] 张艳丽,张重义,李友军,刘辉,李娟. 不同密度下牛膝叶绿素荧光特性比较[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1089-1094
Zhang Y L, Zhang Z Y, Li Y J, Liu H, Li J. Chlorophyll fluorescence characteristics of *Achyranthes bidentata* under different planting densities[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(7): 1089-1094 (in Chinese)
- [26] 张东升,韩硕,王旗,刘军,张伟,张立祯,刘建国. 枣棉间作条件下棉花密度对棉花光合特性及产量影响[J]. 棉花学报, 2014, 26(4): 334-341
Zhang D S, Han S, Wang Q, Liu J, Zhang W, Zhang L Z, Liu J G. Effect of plant density on photosynthesis characters and yield of cotton in the jujube-cotton intercropping systems [J]. *Cotton Science*, 2014, 26(4): 334-341 (in Chinese)
- [27] 吴杨焕,李杰,杨平,柴顺喜,陈锐,费聪,彭新新,马富裕,贾彪. 棉花不同密度下辐热积与生育进程及产量的关系[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(10): 1765-1772
Wu Y H, Li J, Yang P, Chai S X, Chen R, Fei C, Peng X X, Ma F Y, Jia B. Relationship between product of thermal effectiveness (PTE) and cotton growth and yield at different densities[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2015, 52(10): 1765-1772 (in Chinese)
- [28] 吕新,张伟,曹连菁. 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
Lv X, Zhang W, Cao L P. 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 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅