文章编号:1000-7601(2022)05-0155-10 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2022.05.17

不同行距配置对机采棉生长发育及光合特性的影响

张 文,刘铨义,曾庆涛,王政洋,冯 杨,逯 涛

(新疆生产建设兵团第七师农业科学研究所,新疆 奎屯 833200)

摘 要:以新疆兵团第七师胡杨河市推荐棉花品种 Z1112 和中棉 641 为供试材料,设置一膜六行、一膜四行和一膜三行 3 种行距配置模式,研究不同行距配置模式对棉花生长发育及光合特性的影响。结果表明,一膜三行配置模式生育期较一膜六行和一膜四行缩短 2~6 d,株高较一膜六行、一膜四行分别增加 7.3 cm 和 6.8 cm,果枝数较一膜六行、一膜四行分别增加 1.1 台和 0.8 台,始果节位和始果节高受行距配置影响较小。棉花叶面积指数(*LAI*)从苗期到盛铃前期随生育时期推进而逐渐增大;在盛铃前期到达峰值,进入盛铃期后,各处理 *LAI* 逐渐开始减小,不同行距配置模式下,Z1112 和中棉 641 的 *LAI* 总体表现为一膜六行>一膜四行>一膜三行。所有处理叶片叶绿素相对含量(SPAD 值)在现蕾至吐絮期均呈现出先增后降趋势,生育前期,棉株叶片 SPAD 值和干物质积累量随行距的增加而降低;生育后期,一膜三行配置模式的叶片 SPAD 值和干物质积累量迅速上升,高于一膜六行和一膜四行配置模式。单株结铃数、单铃重和子指随行距的增大而增加,一膜三行处理下的单株结铃数、单铃重、子指较一膜六行和一膜四行分别增加 4.9 个·株$^{-1}$和 2.7 个·株$^{-1}$、0.5 g 和 0.4 g、0.7 g 和 0.4 g;但棉花总铃数、产量和衣分受行距影响较小。一膜三行配置模式可加快生育进程、增加棉花株高和果枝数、提高光合作用,能保持较高的产量,具有较好的推广潜力。

关键词:机采棉;行距配置;生育期;干物质积累;产量

中图分类号:S562;S359.1 **文献标志码**:A

Effects of different row spacing on the growth and photosynthetic characteristics of machine picked cotton

ZHANG Wen, LIU Quanyi, ZENG Qingtao, WANG Zhengyang, FENG Yang, LU Tao

(*Agricultural Science Research Institute of the Seventh Division of Xinjiang Production and Construction Crops*, *Kuitun*, *Xinjiang* 833200, *China*)

Abstract: This experiment used the cotton varieties Z1112 and Zhongmian 641 as test materials recommended by the Seventh Division of Xinjiang Production and Construction Corps in Huyanghe City. Three row spacing configuration modes of six rows with one film, four rows with one film and three rows with one film were set up to study the effects of different row spacing configuration modes on cotton growth and photosynthetic characteristics. The results showed that the growth period of three rows with one film was 2~6 days shorter than that of six rows with one film and four rows with one film, the plant height was 7.3 cm and 6.8 cm higher than that of six rows with one film and four rows with one film, and the number of fruit branches was 1.1 and 0.8 more than that of six rows with one film and four rows with one film, respectively. The position and height of initial fruit node were less affected by row spacing configuration. *LAI* of cotton increased gradually with the advance of growth period from seedling stage to early boll filling stage. The *LAI* of each treatment gradually began to decrease after entering the full boll period. Under different row spacing configuration modes, the *LAI* of Z1112 and Zhongmian 641 generally showed a trend of six rows of one film > four rows of one film > three rows of one film. The SPAD value of cotton leaves of all treatments

收稿日期:2021-12-17 **修回日期**:2022-07-03

基金项目:财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系(CARS-15-49)

作者简介:张文(1990-),女,新疆博乐人,助理研究员,主要从事棉花栽培及育种研究。E-mail: 1433139206@qq.com

通信作者:逯涛(1988-),男,新疆哈密人,助理研究员,主要从事棉花栽培及育种研究。E-mail: 380605364@qq.com

increased first and then decreased from bud to boll opening. In the early growth stage, the SPAD value and dry matter accumulation of cotton leaves decreased with the increase of row spacing. In the late growth stage, the SPAD value and dry matter accumulation of three rows with one film configuration mode increased rapidly, which was higher than that of six rows with one film and four rows with one film configuration mode. The number of bolls per plant, the boll weight and the seed index increased with the increase of row spacing. The number of bolls per plant, the boll weight and the seed index increased by 4.9 and 2.7 per plant, 0.5 g and 0.4 g, 0.7 g and 0.4 g, respectively, compared with the six rows with one film and four rows with one film. However, the total boll number, yield and lint percentage of cotton were less affected by row spacing. Based on comprehensive consideration, the configuration of three rows with one film can be a better mode in terms of speeding up the growth process, increasing the plant height and the number of fruit branches, improving photosynthesis, and maintaining a higher yield. Therefore, it should be promoted.

Keywords: machine picked cotton; row spacing; growth period; dry matter accumulation; yield

棉花是我国至关重要的经济作物与纺织工业原料,常年种植面积约500万hm^2,占全球总面积的17%,棉花年均总产量650万t,占全球总产量的21%。新疆是我国最大的产棉区,2018年新疆(含新疆生产建设兵团,以下简称兵团)棉花种植面积249.1万hm^2,其中兵团棉花种植面积达85.4万hm^2,机采面积约68.7万hm^2,棉花机械采收率达到了80.4%[1],南疆地区棉花采收机械化率也在逐年增长,新疆作为全国优质棉生产基地的地位得到进一步巩固。

然而新疆棉花生产普遍采用高密度栽培模式[2],随着机采棉的大力推广,群体密度过大的问题已日渐显现,例如,棉株间郁闭严重、个体发育不充分、单铃重下降、病虫害防治成本增多、脱叶效果差、棉株挂枝叶较多、籽棉含杂量高、机采采净率低、残膜回收不完全等[3-5]。若继续采用传统高密度种植模式,就难以充分挖掘出棉花的生产潜能,极大地制约了棉花生产的节本增收。因此,推行机械采棉,必须将农艺措施与农机相结合,建立与之相匹配的栽培技术[6],使之满足机采的要求,在确保棉花产量的同时不影响棉纤维品质,对新疆棉花产业的高质量发展具有重要意义。

棉花生产过程中株行距配置是否合理,直接影响棉花生长发育、产量、早熟性指标等。近年来,学者们对株行距优化进行了大量研究,不同棉花品种、不同生态环境的棉花对株行距改变的响应存在较大的差异。有研究表明,等密度条件下,随种植行距的增大,棉花生育进程会前移,一膜三行种植模式下的棉花要比一膜四行、一膜六行提前2~6 d进入吐絮期[7]。也有研究发现,盛蕾期前,72+4配置模式5 cm处的地温高于66+10配置模式,棉苗生长速度加快,导致其生育期较66+10配置模式缩短,盛蕾期后,由于72+4配置模式的窄行间行距较小,棉株间存在激烈竞争,导致之后生育期晚于66+10模式[8]。此外,程林等[9]研究显示,行距的增加不会影响棉花出苗期和现蕾期,但会使棉花提前进入开花期和吐絮期。对株高随株行距配置的变化研究结果也多有不同,有的认为行距配置对株高有一定的影响[8],也有学者认为不同株行距配置对石抗126的株高有一定影响,但对冀棉958和冀863没有显著影响,可能是品种的生长特性所致[10]。棉花机械采收对始果节高度有一定要求,其始果节高要在20 cm以上。有研究认为,棉花的始果节高受品种的遗传特性影响较大,行距变化虽会对始果节高产生影响,但并不显著[7]。也有研究认为,行距变化对不同品种棉花始果节高的影响不同,但规律一致,均表现为随着行距的减小和群体密度的增大而增高[11]。此外,行距也是影响作物光合特性、养分吸收利用、产量和品质的重要因子。增大行距可以让养分更早地向生殖器官积累,增加棉株的结铃数,提高生殖器官养分分配率和吸收量,从而形成较高的产量[12]。李建伟等[13]研究发现行距变化对不同株型棉花的产量影响不同,对于松散型品种来说,一膜四行、一膜三行较一膜六行增产7.2%~10.0%,而对于紧凑型品种来说,一膜四行、一膜三行较一膜六行减产5.6%~8.2%,认为不同株型品种的最佳机采种植模式不同。张昊等[14]研究表明,从蕾期至吐絮期,一膜三行的棉花叶片SPAD值和干物质积累量均高于一膜四行和一膜六行,认为一膜三行棉花能够更好地进行生长发育。但梁亚军等[15]认为一膜六行能够保持较高的光能利用率,具有较优的冠层结构,能够实现棉花高产。虽然前人在株行距配置对棉花冠层结构、干物质积累、产量等方面做了部分研究,但研究结果不尽相同,而且不同的植棉区、不同棉花品种与不同行距配置对棉

花生长、光合特性及光合物质生产的影响也会不同。本研究选取七师棉区推荐的 2 个棉花品种,研究不同株行距配置对棉花生长发育、光合特性及光合物质生产的影响,为筛选出新疆北疆地区适宜的机采棉行距配置提供科学依据。

1　材料和方法

1.1　试验地概况

试验于 2019 年和 2020 年在新疆生产建设兵团第七师 131 团 8 连试验地进行。试验地土壤为壤土,耕层土壤 pH 8.0,总盐 4.3 g·kg^{-1},全氮 0.89 g·kg^{-1},有机质 14.5 g·kg^{-1},速效磷 52.6 mg·kg^{-1},速效钾 213 mg·kg^{-1}。2019—2020 年试验地气温状况如图 1 所示。

1.2　试验设计

供试棉花品种选用第七师推荐棉花品种 Z1112 和中棉 641,设 3 种株行距配置方式:一膜六行(目前新疆棉区普遍采用的行距配置方式)、一膜四行和一膜三行,分别用 R1、R2、R3 表示。采用随机区组试验设计,共 6 个处理,每个处理重复 3 次,共 18 个试验小区,每个小区面积 20 m^2,具体处理见表 1。试验地棉花种植采用膜下滴灌方式,滴头间距 0.25 m,滴头流量 2.1 L·h^{-1}。2019 年,4 月 29 日播种,7 月 12 日人工打顶,整个生育期化学调控 6 次,灌水 8 次,总灌溉定额为 4 800 m^3·hm^{-2},滴水施肥 8 次,其中尿素 255 kg·hm^{-2}、60%磷酸钾胺 206.25 kg·hm^{-2},10 月 10 日人工收获;2020 年,4 月 19 日播种,7 月 3 日人工打顶,整个生育期化学调控 7 次,灌水 9 次,总灌溉定额为 4950 m^3·hm^{-2},滴水施肥 9 次,其中尿素 280 kg·hm^{-2}、60%磷酸钾胺 220 kg·hm^{-2},10 月 2 日人工收获。

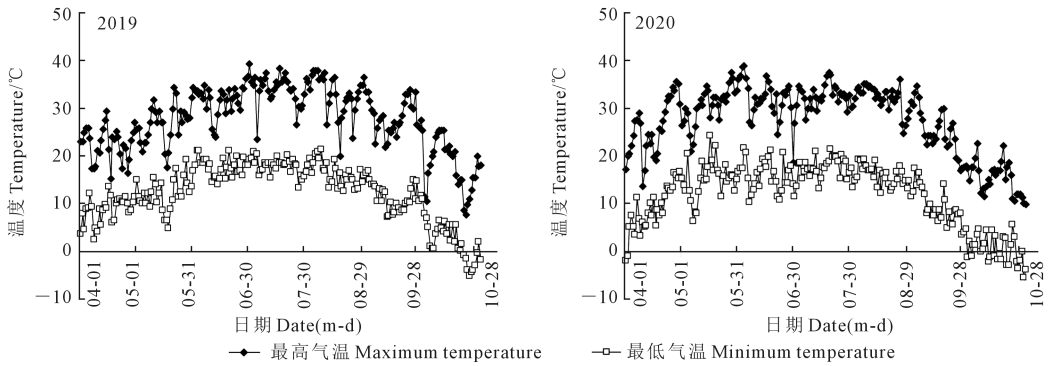


图 1　2019 年和 2020 年试验地气温变化

Fig.1　Temperature changes in the test site in 2019 and 2020

表 1　试验处理

Table 1　Test treatments

棉花品种 Variety	配置模式 Configuration	行距/cm Row spacing	株距/cm Plant distance	理论密度/(株·hm^{-2}) Density/(plant·hm^{-2})
Z1112	R1	10+66+10+66+10	9.5	279000
	R2	76+10+76	8.2	216000
	R3	76+76	8.2	162000
中棉 641 Zhongmian 641	R1	10+66+10+66+10	9.5	279000
	R2	76+10+76	8.2	216000
	R3	76 +76	8.2	162000

1.3　测定项目与方法

1.3.1　棉花生育期及其农艺性状调查　调查各小区出苗期、现蕾期、开花期、吐絮期时段,并在收获期选取各小区长势均匀、具有代表性的棉株 10 株,调查株高、果枝数、始果节位及始果节高度等农艺性状。

1.3.2　棉花叶面积指数(*LAI*)及叶绿素相对含量(SPAD 值)测定　自现蕾起,每隔 10~15 d 各小区采集具有代表性棉株 3 株,先将每株棉株的全部叶片汇集称重得 *W*1,取 8 片较大的棉叶叠加到一起,上面压上定积板,用小刀小心割取一定面积(*A*2,cm^2)的棉叶,注意避开中心叶脉和已经枯萎的部分,将割下的圆形叶片进行称重得 *W*2(百灵 LP303B 电子天平,0.001 g)。计算公式为:$LAI=(A2\times W1)/W2$。

采用日本柯尼卡美能达有限公司生产的便携式叶绿素测定仪 SPAD-502 plus,从现蕾期开始,每隔 7~10 d,选取主茎倒 4 叶(打顶后为倒 2 叶)测其 SPAD 值,每个小区测 10 株(内外各 5 株),去除最大值和最小值后求平均值。

1.3.3　棉花的干物质积累量　在棉花盛蕾期(出苗后 51 d)、开花期(出苗后 64 d)、盛花期(出苗后 77 d)、盛铃期(出苗后 90 d)、吐絮期(出苗后 110 d)等关键生育时期,各小区选取具有代表性的棉株 3 株,将棉株分成茎、叶、蕾(铃),105℃杀青 30 min,然后 80 ℃烘干至恒重,称取其干物质量(g)。

棉花干物质积累的规律用 Logistic 方程进行拟合,Logistic 方程的几个特征值[16]如下:

$$y=k/(1+e^{a+bt})$$

式中，y 为干物质积累量（kg · hm^{-2}），t 为出苗后天数（d），a、b、k 是待定系数。当 $t_0 = -a/b$ 时，$V_m = -bk/4$，t_0为积累速率最大时刻，V_m为最大增长速率（kg · d^{-1}）。t_1与 t_2是方程的两个拐点，将 Logistic 曲线分成 3 个时段，在 0~t_1时段，干物质积累缓慢增加；在 t_1~t_2时段，干物质积累基本呈直线上升态势；t_2时刻之后，干物质积累速度开始逐渐减慢。$\Delta t = t_2 - t_1$，表示时间特征值，是干物质积累快速增长时期的长短；$GT = -bk\Delta t/4$，为生长特征值（棉花处于关键期间的积累量达到最大积累量的 65%以上）。

1.3.4 棉花产量及相关性状 收获前，各小区取 60 个吐絮铃（上部、中部、下部果枝各 20 个吐絮铃）测定单铃重和衣分，最后通过实收子棉产量计产。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据处理和绘图，采用 DPS 软件进行数据统计分析，使用最小显著极差法（LSD）进行差异显著性检验（$P<0.05$）。

2 结果与分析

2.1 棉花的生育期及农艺性状

2.1.1 棉花生育期 行距配置模式显著影响棉花生育进程，棉花生育期随着行距的增加而缩短。对于同一棉花品种，R3 配置模式较 R1、R2 的生育期分别提前 5~6 d 和 2~3 d（表 2）。

2.1.2 棉花农艺性状 如表 3 所示，同一棉花品种的株高和果枝数随株行距的增加呈增加趋势，表现为 R3>R2>R1（表 3）。不同行距配置模式对棉花始果节位影响较小，对始果节高有一定影响，同一棉花品种，R2 和 R3 配置模式下的棉花始果节高显著高于 R1。果枝始节受品种影响较大，同一行距配置模式下，Z1112 果枝始节位及始果节高度均高于中棉 641。

表 2 棉花生育期

Table 2 Cotton growth period

年份 Year	品种 Variety	配置模式 Configuration	播种日期 Sowing time（m-d）	出苗日期 Seeding stage（m-d）	现蕾日期 Squaring stage（m-d）	开花日期 Flowering stage（m-d）	吐絮日期 Boll opening stage（m-d）	生育期 Growth periodd/d
2019	Z1112	R1	04-29	05-08	06-12	07-13	09-11	126
		R2	04-29	05-08	06-11	07-12	09-07	122
		R3	04-29	05-08	06-10	07-09	09-05	120
	中棉 641 Zhongmian 641	R1	04-29	05-08	06-12	07-13	09-12	127
		R2	04-29	05-08	06-11	07-13	09-08	123
		R3	04-29	05-08	06-11	07-10	09-06	121
2020	Z1112	R1	04-19	04-28	05-29	06-23	08-28	122
		R2	04-19	04-28	05-27	06-22	08-26	120
		R3	04-19	04-28	05-27	06-21	08-23	117
	中棉 641 Zhongmian 641	R1	04-19	04-28	05-28	06-23	08-29	123
		R2	04-19	04-28	05-28	06-23	08-25	119
		R3	04-19	04-28	05-26	06-21	08-22	116

表 3 棉花农艺性状

Table 3 Cotton agronomic traits

年份 Year	品种 Variety	配置模式 Configuration	株高/cm Plant height	果枝数/台 Fruit branch number/No.	始果节位/节 Initial fruit branch/node	始果节高/cm Initial node height
2019	Z1112	R1	66.9b	7.5bc	6.5ab	26.3b
		R2	64.3bc	7.7abc	6.6a	27.8a
		R3	75.0a	8.5a	6.4ab	27.4a
	中棉 641 Zhongmian 641	R1	55.5d	6.9c	6.2ab	22.9d
		R2	56.3cd	7.4bc	6.0b	24.4c
		R3	64.5bc	8.1ab	6.0b	24.0
2020	Z1112	R1	69.7a	8.7bc	6.2a	27.7ab
		R2	71.3a	9.0ab	6.2a	28.7ab
		R3	74.3a	9.5a	6.5a	30.3a
	中棉 641 Zhongmian 641	R1	53.3c	6.9d	5.8b	23.0c
		R2	55.3bc	7.1d	5.8b	25.7bc
		R3	60.7b	8.3c	5.6b	25.7bc

注：同列不同小写字母表示同年度处理间显著差异（$P<0.05$），下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among treatments in the same year ($P<0.05$), the same below.

2.2　棉花叶面积指数及 SPAD 值变化

2.2.1　*棉花叶面积指数(LAI)*　不同处理间 *LAI* 从苗期到盛铃前期均随生育时期推进而逐渐增大(图 2);在盛铃前期到达峰值,进入盛铃期后,各处理的 *LAI* 逐渐开始减小。2019 年:不同行距配置模式下,Z1112 的 *LAI* 表现为一膜六行>一膜四行>一膜三行;中棉 641 在生育前期 3 种行距配置模式之间差异较大,出苗后 77 d 表现为一膜四行>一膜三行>一膜六行,其他阶段均表现为一膜六行>一膜四行>一膜三行(图 2a,b)。2020 年:2 个棉花品种的 *LAI* 均表现为一膜六行>一膜四行>一膜三行。两年结果间的差异可能是不同年份间气候变化造成的(图 2c,d)。

2.2.2　*棉花叶片 SPAD 值*　棉株从现蕾到吐絮所有处理的叶片 SPAD 值均表现出先增加后降低的趋势(图 3)。棉花生育前期,棉株叶片 SPAD 值表现为 R1>R2>R3;棉花生育中后期,R3 配置模式的叶片 SPAD 值快速增加,高于 R1 和 R2 配置模式;到盛铃期,所有处理的 SPAD 值均达到顶峰,随后 SPAD 值表现出降低态势。

2.3　棉花的干物质积累量

2.3.1　*干物质积累动态变化*　棉花地上部干物质积累量总体呈“S”型变化趋势(图 4),在以营养生长(出秒后 65 d 前)为主的阶段,所有处理的干物质积累均比较缓慢,到生殖生长时期(出秒后 65~110 d)开始迅速上升,最大值出现在盛铃后期。对于 Z1112 和中棉 641 来说,生育前期 R1 行距配置模式的干物质积累量高于 R2 和 R3;而生育中后期则与之相反,表现为 R3 行距配置模式的干物质积累量高于 R1 和 R2。

2.3.2　*干物质积累 Logistic 方程模拟分析*　对不同处理下棉花关键生育时期的干物质积累量进行测定并拟合,拟合方程 R^2 均达到 0.97 以上(表 4)。由干物质积累速率最大时刻 t_0 可以看出,Z1112 随着行距的增大,峰值出现时间 t_0 明显提前;而对于中棉 641 来说,R3 峰值时间出现最晚,R2 和 R1 峰值时间出现相差不大。对于同一棉花品种而言,随着行距的增大,快速累积期起始时间 t_1 推后,终止时间 t_2 则提前,快速累积期持续时间 Δt 变短,快速累积速率峰值 V_m 明显增加。对于生长特征值 *GT* 来说,Z1112 品种 *GT* 随行距的增大而减小;而对于中棉 641 来说,R3 配置模式下的 *GT* 值最大,其次是 R1,R2 配置模式的 *GT* 值最低。

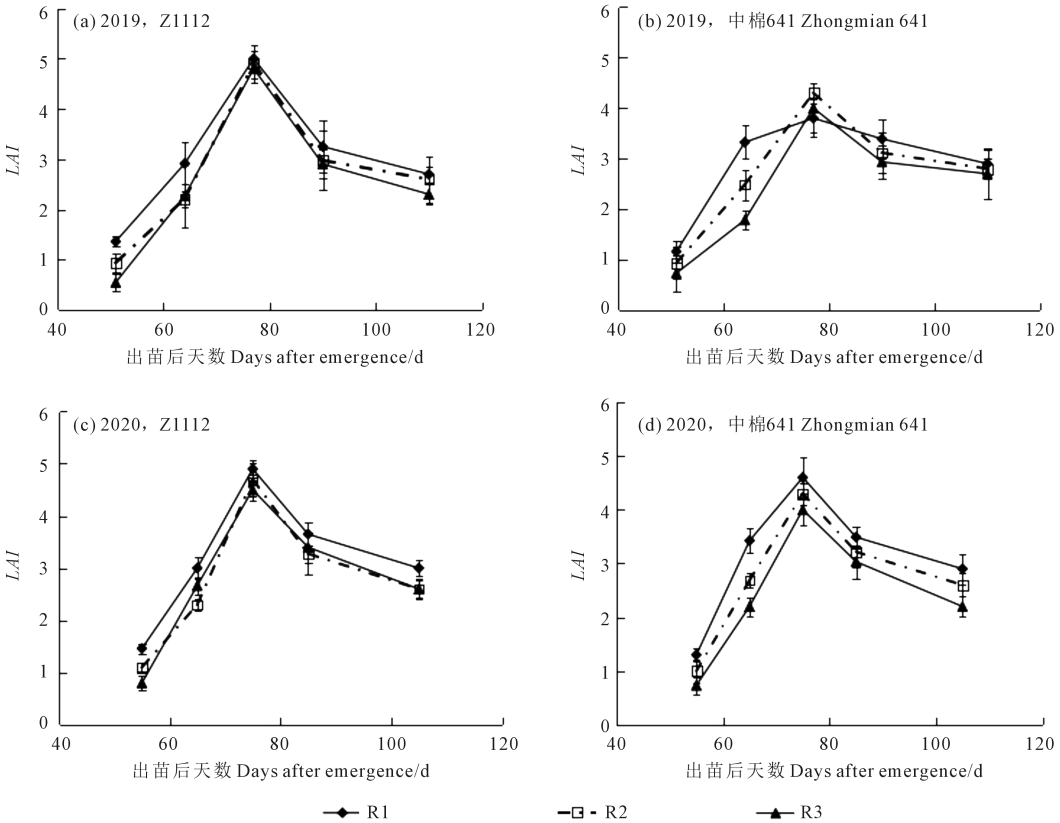


图 2　不同处理下棉花叶面积指数变化

Fig.2　Changes of *LAI* of cotton under different treatments

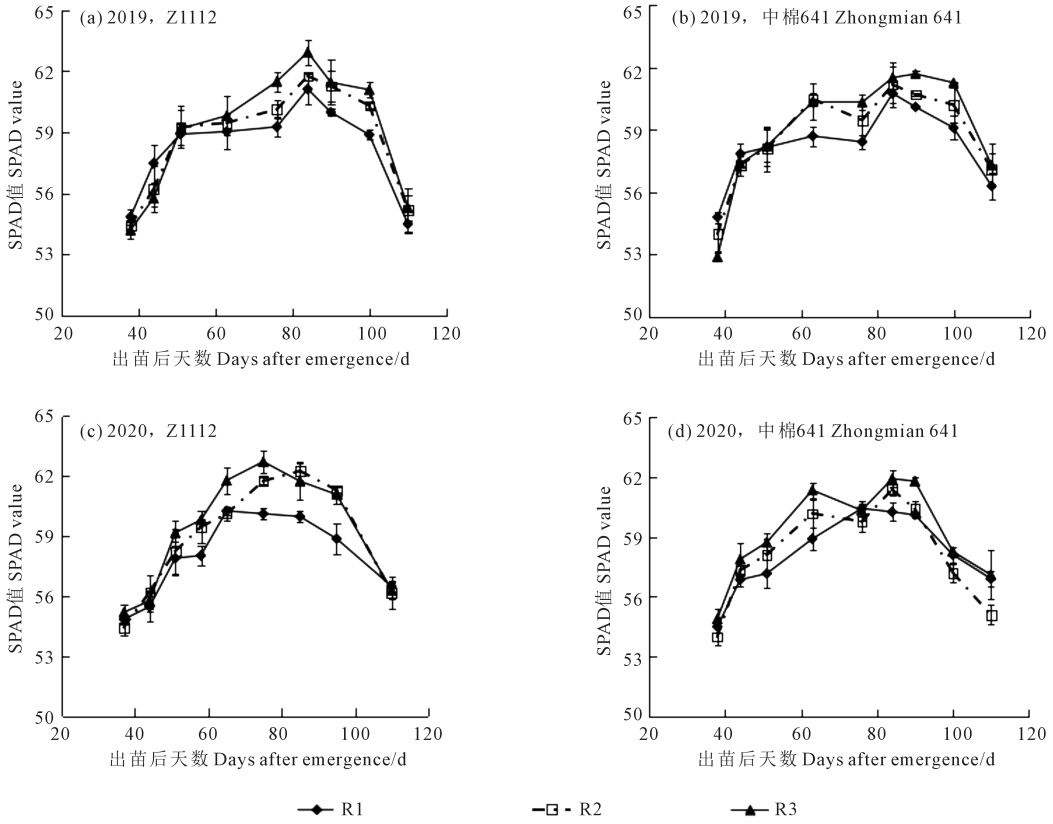


图 3 不同处理下棉花叶片 SPAD 值变化

Fig.3 Changes of SPAD value of cotton leaves under different treatments

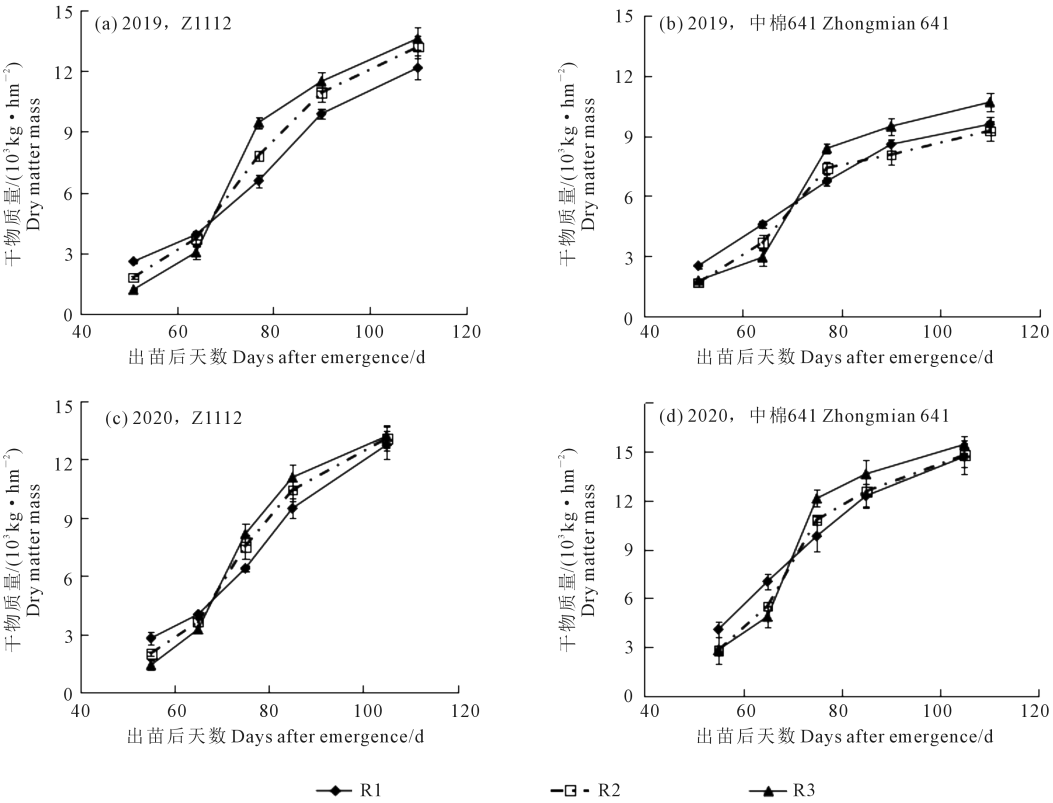


图 4 不同处理下棉花干物质积累量的变化

Fig.4 Changes of dry matter weight of cotton under different treatments

2.4　棉花产量及其相关性状

不同处理对棉花产量及其相关性状的影响如表 5 所示。棉花产量和衣分主要受品种影响,同一行距配置模式下,Z1112 的产量与衣分均高于中棉 641;而对于同一棉花品种而言,不同行距配置对棉花总铃数、产量和衣分无显著影响。株铃数、单铃重和子指主要受行距配置模式影响,同一棉花品种,一膜三行配置模式的株铃数、单铃重和子指高于一膜六行和一膜四行。

3　讨　论

棉花生育进程和营养生长、生殖生长息息相关。不同株行距配置模式会导致棉花的生理特性及所处的环境条件发生改变,从而使生育期延长或缩短。有研究表明,窄行越窄,宽行越宽,生育期相对延长[17]。杨培等[7]研究表明,等密度种植条件下,棉花的生育进程随种植行距的增大而前移,一膜三行模式下的棉花要比一膜六行、一膜四行提前 2~6 d 进入吐絮时期。程林等[9]对比一膜六行与一膜三行模式后发现,一膜三行等行距模式能够加快棉花生育进程。本研究表明,行距配置模式显著影响棉花生育进程,同一棉花品种下,一膜三行配置模式的生育期较一膜六行、一膜四行缩短 2~6 d,这与上述研究结果基本一致。可能是因为随着行距减小密度增加,地膜覆盖率和采光面积减小,使得棉株在水、肥、光照等资源间存在激烈竞争,生长发育慢,导致一膜六行、一膜四行种植模式下的棉花生育期晚于一膜三行模式。

表 4　干物质积累的 Logistic 模型及其特征值

Table 4　Logistic model and characteristic value of dry matter accumulation

年份 Year	品种 Variety	配置模式 Configuration	模拟方程 Simulation equation	t_0	t_1	t_2	Δt	V_m /(kg·d^{-1})	GT /(kg·hm^{-2})	R^2
2019	Z1112	R1	$y=13879.5958/(1+e^{(4.8485-0.062530t)})$	77.54	56.48	98.60	42.12	216.97	9138.78	0.99**
		R2	$y=13766.8283/(1+e^{(6.4773-0.087128t)})$	74.34	59.23	89.46	30.23	299.87	9065.07	0.99**
		R3	$y=13265.2540/(1+e^{(9.5436-0.133202t)})$	71.65	61.76	81.53	19.77	441.74	8733.20	0.99**
	中棉 641 Zhongmian 641	R1	$y=10059.2191/(1+e^{(4.7390-0.071219t)})$	66.54	48.05	85.03	36.98	179.10	6623.12	0.99**
		R2	$y=9156.1642/(1+e^{(7.1534-0.107876t)})$	66.31	54.10	78.52	24.42	246.93	6030.03	0.99**
		R3	$y=10604.3400/(1+e^{(8.7698-0.126988t)})$	69.06	58.69	79.43	20.74	336.66	6982.33	0.97**
2020	Z1112	R1	$y=14706.4883/(1+e^{(5.4838-0.070469t)})$	77.82	59.13	96.51	37.38	259.09	9684.78	0.99**
		R2	$y=13565.1044/(1+e^{(7.6916-0.104754t)})$	73.42	60.85	86.00	25.15	355.25	8934.54	0.99**
		R3	$y=13266.7234/(1+e^{(9.8992-0.136959t)})$	72.28	62.66	81.89	19.23	454.25	8735.23	0.99**
	中棉 641 Zhongmian 641	R1	$y=10292.8611/(1+e^{(5.3127-0.078453t)})$	67.72	50.93	84.50	33.57	201.88	6777.11	0.99**
		R2	$y=9883.0150/(1+e^{(8.0365-0.117716t)})$	68.27	57.08	79.46	22.38	290.85	6509.22	0.99**
		R3	$y=10329.2080/(1+e^{(9.9065-0.144827t)})$	68.40	59.31	77.50	18.19	373.99	6802.88	0.97**

注:**表示相关系数达差异极显著水平($P<0.01$)。

Note: ** indicates that the correlation coefficient reaches a very significant level ($P<0.01$).

表 5　不同处理对棉花产量及其相关性状的影响

Table 5　Effects of different treatments on cotton yield and related characters

年份 Year	品种 Varieties	配置模式 Configuration	株铃数 Boll number per plant	株数 Number of plants /(10^5·hm^{-2})	总铃数 Total boll number /(10^4·hm^{-2})	单铃重 Boll weight /g	衣分 Lint percentage /%	子指 Seed index/g	子棉产量 Yield /(kg·hm^{-2})
2019	Z1112	R1	5.7c	2.28a	130.0a	6.3b	44.30a	10.7b	5231a
		R2	8.6b	1.70b	146.2a	6.1bc	44.27a	10.9 ab	5318a
		R3	10.7a	1.27c	135.9a	6.7a	44.13a	11.1ab	5294a
	中棉 641 Zhongmian 641	R1	6.4c	2.27a	145.3a	5.7d	42.73b	10.7b	4332b
		R2	7.8b	1.67b	130.3a	5.8cd	43.20ab	11.0ab	4289b
		R3	11.3a	1.25c	141.3a	6.4ab	42.67b	11.5a	4449b
2020	Z1112	R1	6.5c	2.28a	148.2a	5.8c	45.07a	10.9d	6234a
		R2	8.8b	1.69b	148.7a	6.1ab	44.87ab	11.0d	6117a
		R3	11.5a	1.26c	144.9a	6.3a	44.17b	11.6c	6167a
	中棉 641 Zhongmian 641	R1	6.0c	2.28a	136.8a	5.9bc	40.67d	12.0bc	5450b
		R2	8.2b	1.70b	139.4a	6.1ab	41.47c	12.4ab	5600b
		R3	10.6a	1.27c	134.6a	6.3a	41.27cd	12.7a	5100b

株高、果枝数是表征棉花生育状况的重要性状指标,株高直接影响棉花的株型和光合效率,从而影响棉花的产量[8]。株行距配置对株高的研究多有不同,有学者研究认为,增加行距,降低种植密度,可以有效增加株高,便于机械采收[9,11];但也有学者认为随密度增加株高也增加[18]。本研究表明,同一棉花品种下,棉花株高随行距的减小而降低,表现为一膜三行>一膜四行>一膜六行。棉花果枝是蕾花铃的载体,较高的果枝数是单株具有较高结铃数的重要前提。本研究中同一棉花品种下,棉花果枝数随株行距的增加呈增加趋势,表现为一膜三行>一膜四行>一膜六行,但 3 种行距配置模式间差异并不显著。梁亚军等[3]研究也认为,随着平均行距的减小和密度的增加,棉花果枝数也随之较少。可能是因为一膜三行种植模式的棉株在棉田中的分布更加合理,可充分运用光能与地力,减少棉株间光、水、肥等资源的竞争,促进了棉株的生长发育,使得株高和果枝数增加。果枝始节高度与棉花机械采收质量息息相关,有研究表明,行距变化对果枝始节无明显影响,但显著影响棉花果枝始节高度,果枝始节高度随行距的减小、群体密度的增大而升高[11]。杨培等[7]研究表明,品种的遗传特性对棉花的果枝始节高影响较大,棉花果枝始节高虽受种植模式的影响,但影响并不明显。李建峰等[19]也得出相同结论,机采棉不同株行距配置对果枝始节高度影响不大,果枝始节高受品种影响较大。本试验表明,不同行距配置模式对棉花始果节位影响较小,对始果节高有一定影响,同一棉花品种,一膜四行和一膜三行配置模式下的棉花始果节高显著高于一膜六行。果枝始节受品种影响较大,同一行距配置模式下,Z1112 果枝始节位及始果节高度均高于中棉 641。

在作物生长过程中,保持冠层 *LAI* 的合理分布,使群体内光照分布均匀,冠层开度合理,能有效提高作物群体光合效能[20-21]。在机采棉花生产过程中,适宜的种植模式与合理的栽培密度是提高棉花光合效率及产量的重要途径之一[22]。有研究表明,密度增大不仅可增加作物群体叶面积,同时也显著影响 *LAI* 最大值出现的时间,随着密度增加,*LAI* 的峰值出现时间推迟[23]。杨长琴等[24]研究表明,低密度棉花群体 *LAI* 低、透光率高,对产量形成不利;高密度棉株紧凑,但密度的增加并不能弥补单株个体发育的不足,上部 *LAI* 低于中密度处理;中密度棉株上、中部的果枝较长且夹角大,*LAI* 高、透光率偏低,是形成高产的基础。但也有研究认为盛铃期一膜六行模式下的叶面积指数最高,其次是一膜三行和一膜四行,一膜五行的叶面积指数最低[15]。本研究表明,不同处理间棉花 *LAI* 从苗期到盛铃前期均随生育时期推进而逐渐增大,在盛铃前期达到峰值,进入盛铃期后,各处理棉花 *LAI* 开始逐渐减小。不同行距配置模式下,Z1112 和中棉 641 的 *LAI* 总体表现为一膜六行>一膜四行>一膜三行。可能是因为一膜六行种植模式的群体优势大,因此 *LAI* 相对较高,而一膜三行和一膜四行种植模式相对来说群体密度小、植株的漏光损失大,光能利用率低,因此 *LAI* 相对较低。

SPAD 值大小可以间接反映作物的叶绿素含量、叶片颜色及氮素营养情况[25-26]。有研究表明,棉花叶片 SPAD 值随生育进程推移呈先增大后减小的变化趋势,在盛铃前期达到最大值,随后逐渐减小,从不同行距来看,盛铃期后行距越小叶绿素 SPAD 值越大[11]。秦文利等[27]研究也发现宽窄行处理的叶片 SPAD 值高于等行距种植模式,认为宽窄行种植模式较等行距种植模式更有利于增加棉花群体的受光情况,增加冠层对光能的截获,从而显著提高棉花叶片的叶绿素含量。本研究表明,出苗后 30~50 d,棉株叶片 SPAD 值表现为一膜六行>一膜四行>一膜三行;出苗后 50~110 d,一膜三行配置模式的叶片 SPAD 值迅速上升,高于一膜六行和一膜四行;直至盛铃期,所有处理的 SPAD 值均达到峰值,之后 SPAD 值呈下降趋势。前期一膜六行棉株个体发育较好,使得叶片具有较高含量的叶绿素,因此 SPAD 值大,随着生育进程不断推进,棉株开始进入营养与生殖生长同期进行的时期,由于一膜六行模式行距较小,棉株间存在激烈竞争,从而使得棉株长势较一膜四行和一膜三行行距配置模式偏弱,且叶绿素含量低,表现为 SPAD 值小。

营养器官和生殖器官间的光合物质分配直接影响作物生长发育,从而最终影响作物产量与品质[28]。尔晨等[12]研究表明,棉花单株干物质积累总量随平均行距的降低而降低,最大积累速率下降 1.4 $g \cdot 株^{-1} \cdot d^{-1}$,快速积累期起始时间由出苗后 51.4 d 推迟到 62.5 d,但快速积累持续时长由 19.7 d 增加到 35.1 d。王聪[11]研究表明,随着平均行距的减小,棉花光合物质快速累积起始时间 t_1 均略有提前,终止时间 t_2 与峰值出现时间 t_0 明显提前,快速累积期持续时间 t_3 减少,快速积累速率峰值 V_m 显著降低,物质积累活跃期呈减小的趋势。本研究表明,Z1112 和中棉 641 生育前期一膜六行的干物质积累量高于一膜四行和一膜三行;而生育中后期则与之

相反,表现为一膜三行的干物质积累量高于一膜六行和一膜四行。可能是生育前期棉株个体小,个体之间存在的竞争也小,不同行距配置模式下干物质积累量多少主要取决于种植密度,高密度一膜六行模式的干物质积累量最大,低密度一膜三行模式的干物质积累量最低。进入生育中后期,棉花进入营养生长与生殖生长并进阶段,由于一膜六行和一膜四行配置模式的行距较窄,棉株间的竞争增加,导致这两种模式棉株个体发育较弱,干物质积累少于一膜三行。

李健伟等[13]和李建峰[29]研究认为,增大机采棉的种植行距能显著增强棉花群体间的通风透光性,有利于提高棉花的单铃重。魏鑫等[30]研究表明,株铃数、单铃重、衣分及产量均随行距的增大而显著增加。本研究表明,行距变化对棉花产量构成因子有显著的调控作用,株铃数、单铃重和子指随行距的增加有明显的增加趋势,棉花总铃数、产量和衣分受行距配置影响不大。可能是行距增加、密度减小使得棉株个体优势得到充分发挥,提高了单株结铃数和单铃重,从而填补了低密度、群体较小造成的劣势。

4　结　论

1)一膜三行配置模式由于具有充足的光、热、水、肥等条件,株高和果枝数显著增加,生育期较一膜六行和一膜四行缩短 2~6 d。

2)机采棉行距配置显著影响棉花光合及干物质积累。不同处理间 *LAI* 从苗期到盛铃前期均随生育时期推进而逐渐增大;在盛铃前期到达峰值,进入盛铃期后,各处理的 *LAI* 逐渐开始减小。不同行距配置模式下,Z1112 和中棉 641 的 *LAI* 总体表现为一膜六行>一膜四行>一膜三行。对于叶片 SPAD 值来说,生育前期,棉株叶片 SPAD 值和干物质积累量随行距的增加而降低;生育后期,一膜三行配置模式的叶片 SPAD 值和干物质积累量迅速上升,高于一膜六行和一膜四行配置模式。

3)株铃数、单铃重和子指随行距的增大而增加,但棉花总铃数、产量和衣分受行距影响较小。

综合比较,一膜三行配置模式可加快生育进程,增加棉花株高和果枝数,提高光合作用,且能保持较高的产量,具有较好的推广潜力。

参 考 文 献:

[1] 邹政辉.浅议新疆兵团机采棉发展[J].中国纤检,2020,(1):33-33.
ZOU Z H. A brief discussion on the development of machine picking cotton in Xinjiang corps[J]. China Fiber Inspection, 2020, (1): 33-33.

[2] YANG G Z, LUO X J, NIE Y C, et al. Effects of plant density on yield and canopy micro environment in hybrid cotton[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(10): 2154-2163.

[3] 梁亚军,李雪源,龚照龙,等.新疆快速发展机采棉前后存在的问题比较及对策[J].棉花科学,2017,39(2):2-5.
LIANG Y J, LI X Y, GONG Z L, et al. Problems and countermeasures before and after the rapid development of mechanical cotton picking in Xinjiang[J]. Cotton Sciences, 2017, 39(2): 2-5.

[4] 辛明华,王占彪,韩迎春,等.新疆机采棉发展回顾,现状分析及措施建议[J].中国农业科技导报,2021,23(7):11-20.
XIN M H, WANG Z B, HAN Y C, et al. Review, status and measures of Xinjiang machine-picked cotton[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(7): 11-20.

[5] 余渝,孔宪辉,刘丽,等.新疆兵团机采棉发展现状与建议[J].塔里木大学学报,2018,30(3):57-61.
YU Y, KONG X H, LIU L, et al. Development status and suggestions of mechanical harvest upland cotton in Xinjiang Production and Construction Corps[J]. Journal of Tarim University, 2018, 30(3): 57-61.

[6] 孙巍,杨宝玲,高振江,等.浅析我国棉花机械采收现状及制约因素[J].中国农机化学报,2013,34(6):9-13.
SUN W, YANG B L, GAO Z J, et al. Analysis of mechanical harvest situation and restricting factors of cotton[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(6): 9-13.

[7] 杨培,陈振,阿不都卡地尔·库尔班,等.对等密度条件下机采棉不同种植模式的综合评价[J].新疆农业科学,2019,56(4):599-609.
YANG P, CHEN Z, KUERBAN A, et al. Comprehensive evaluation of different planting modes of machine-picked cotton under the equal density condition[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019, 56(4): 599-609.

[8] 徐新霞,雷建峰,高丽丽,等.不同机采棉行距配置对棉花生长发育及光合物质生产的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(2):51-56.
XU X X, LEI J F, GAO L L, et al. Effects of different row spacing patterns on growth and photosynthetic production of machine-harvested cotton[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(2): 51-56.

[9] 程林,郑新疆,朱晓平,等.一膜三行等行距栽培模式对棉花生长及产量的影响[J].安徽农业科学,2017,45(1):44-45,48.
CHENG L, ZHENG X J, ZHU X P, et al. Effects of one film three rows equal spacing cultivation mode on cotton growth and yield[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(1): 44-45, 48.

[10] 周永萍,张海娜,师树新,等.合理密植下不同株行距配置对棉花生长发育和产量品质的影响[J].华北农学报,2018,33(z1):154-159.
ZHOU Y P, ZHANG H N, SHI S X, et al. Effects of different planting spacing on growth, yield and quality of cotton under reasonable density planting[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2018, 33(z1): 154-159.

[11] 王聪.棉花机采模式下行距变化对植株生长发育和产量形成的影响[D].石河子:石河子大学,2015.
WANG C. A research of machine-picked cotton growth and yield formation under different row space[D]. Shihezi: Shihezi University, 2015.

[12] 尔晨,林涛,张昊,等.行距对机采棉干物质积累及氮磷利用效率的影响[J].棉花学报,2020,32(1):77-90.

ER C, LIN T, ZHANG H, et al. Effects of row space on dry matter accumulation, nitrogen and phosphorus use efficiency of machine-harvested cotton[J]. Cotton Science, 2020, 32(1): 77-90.

[13] 李健伟,肖绍伟,夏冬,等.机采种植模式对不同株型棉花生长及产量的影响[J].新疆农业大学学报,2017,40(6):391-396.
LI J W, XIAO S W, XIA D, et al. The effect of machine harvesting planting patterns on the growth and yield of cotton with different plant patterns[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2017, 40(6): 391-396.

[14] 张昊,林涛,尔晨,等.配置模式对南疆机采棉生长发育及产量形成的调控效应[J].新疆农业大学学报,2018,41(5):307-313.
ZHANG H, LIN T, ER C, et al. Effects of planting patterns on growth and yield formation for machine-picked cotton in Southern Xinjiang[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2018, 41(5): 307-313.

[15] 梁亚军,罗天睿,郑巨云,等.不同机采棉配置冠层结构及产量性状差异研究[J].新疆农业科学,2017,54(6):1008-1013.
LIANG Y J, LUO T R, ZHENG J Y, et al. Research on the different colonial canopy architecture characters and yield characters of machine harvesting cotton under different field collocation patterns[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(6): 1008-1013.

[16] 王信理.在作物干物质积累的动态模拟中如何合理运用Logistic方程[J].农业气象,1986,(1):14-19.
WANG X L. How to reasonably use logistic equation in dynamic simulation of crop dry matter accumulation[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1986, (1): 14-19.

[17] 李健伟,吴鹏昊,石洪亮,等.不同机采棉种植模式对棉花主要植株形态影响效应分析[J].干旱地区农业研究,2018,36(5):82-87,93.
LI J W, WU P H, SHI H L, et al. Characteristics of plant morphological parameters and correlation analysis for machine picking cotton in the different planting models[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(5): 82-87, 93.

[18] 周永萍,田海燕,杜海英,等.种植密度对棉花生长结铃及产量品质的影响[J].作物杂志,2017,(4):84-88.
ZHOU Y P, TIAN H Y, DU H Y, et al. Influence of different planting densities on growth, boll setting, yield and quality of cotton[J]. Crops, 2017,(4): 84-88.

[19] 李建峰,梁福斌,陈厚川,等.棉花机采模式下株行距配置对农艺性状及产量的影响[J].新疆农业科学,2016,53(8):1390-1396.
LI J F, LIANG F B, CHEN H C, et al. Effect of plant and row spacing on agronomic characters and yield of machine-picked Cotton[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2016, 53(8): 1390-1396.

[20] YAO H S, ZHANG Y L, YI X P, et al. Cotton responds to different plant population densities by adjusting specific leaf area to optimize canopy photosynthetic use efficiency of light and nitrogen[J]. Field Crops Research, 2016, 188: 10-16.

[21] YAO H S, ZHANG Y L, YI X P, et al. Characters in light-response curves of canopy photosynthetic use efficiency of light and N in responses to plant density in field-grown cotton[J]. Field Crops Research, 2017, 203: 192-200.

[22] 彭小峰,张巨松,刘素华,等.不同覆膜模式对棉花生长发育及产量的影响[J].棉花科学,2016,38(3):18-21.
PENG X F, ZHANG J S, LIU S H, et al. Effect of different film mulch modes on the growth and yield of cotton[J]. Cotton Science, 2016, 38(3): 18-21.

[23] 娄善伟,赵强,高云光,等.密度对棉花冠层小气候影响及其与棉花相关生理特征和纤维品质的关系[J].棉花学报,2010,22(3):260-266.
LOU S W, ZHAO Q, GAO Y G, et al. The effect of different density to canopy-microclimate and quality of cotton[J]. Cotton Science, 2010, 22(3): 260-266.

[24] 杨长琴,张国伟,刘瑞显,等.种植密度和缩节胺调控对麦后直播棉产量和冠层特征的影响[J].棉花学报,2016,28(4):331-338.
YANG C Q, ZHANG G W, LIU R X, et al. Effects of planting density and growth regulator mepiquat chloride on yields and canopy architecture of cotton sown after harvesting barley[J]. Cotton Science, 2016, 28(4): 331-338.

[25] 李俊霞,杨俐苹,白由路,等.不同品种玉米氮含量与叶片光谱反射率及SPAD值的相关性[J].中国土壤与肥料,2015,(3):34-39,119.
LI J X, YANG L P, BAI Y L, et al. The correlation of total nitrogen content with leaf spectral reflectance and SPAD values in different maize varieties[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2015, (3): 34-39, 119.

[26] 王芳,马云珍,徐文修,等.叶绿素含量和叶柄硝酸盐含量对棉花氮素营养诊断的比较研究[J].新疆农业大学学报,2021,44(1):8-13.
WANG F, MA Y Z, XU W X, et al. Comparison of SPAD value and petiole nitrate content in diagnosis of cotton nitrogen nutrition[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2021, 44(1): 8-13.

[27] 秦文利,刘忠宽,智健飞.不同种植模式对棉花产量和土壤养分含量的影响[J].河北农业科学,2017,21(3):20-24,44.
QIN W L, LIU Z K, ZHI J F. Effects of different planting model on cotton yield and Soil nutrient contents[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2017, 21(3): 20-24, 44.

[28] DAI J L, LI W J, TANG W, et al. Manipulation of dry matter accumulation and partitioning with plant density in relation to yield stability of cotton under intensive management[J]. Field Crops Research, 2015, 180: 207-215.

[29] 李建峰.机采模式下株行距配置对棉花冠层特征及成铃特性的影响[D].石河子:石河子大学,2016.
LI J F. Effect of plant and row spacing on canopy structure and boll setting of machine-picked cotton[D]. Shihezi: Shihezi University, 2016.

[30] 魏鑫,徐建辉,张巨松.种植模式对机采棉干物质积累及品质的影响[J].新疆农业科学,2017,54(7):1177-1184.
WEI X, XU J H, ZHANG J S. Effects of planting patterns on dry matter accumulation and quality of machine-harvesting cotton[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(7): 1177-1184.