

引用格式:

李侃, 谢章书, 何玉玺, 杨丹, 许豆豆, 覃业玲, 李佳芮, 周成轩, 朱方歌, 郭歌, 贺云新, 刘爱玉, 周仲华. 播期和种植密度对不同熟性棉花生理特性及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(3): 260–267.

LI K, XIE Z S, HE Y X, YANG D, XU D D, QIN Y L, LI J R, ZHOU C X, ZHU F G, GUO G, HE Y X, LIU A Y, ZHOU Z H. Effects of sowing date and planting density on physiological characteristics and yield of cotton with different maturity properties [J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(3): 260–267.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 播期和种植密度对不同熟性棉花生理特性及产量的影响

李侃<sup>1,2</sup>, 谢章书<sup>1,2</sup>, 何玉玺<sup>1,2</sup>, 杨丹<sup>1,2</sup>, 许豆豆<sup>1,2</sup>, 覃业玲<sup>1,2</sup>, 李佳芮<sup>1,2</sup>,  
周成轩<sup>1,2</sup>, 朱方歌<sup>1,2</sup>, 郭歌<sup>1,2</sup>, 贺云新<sup>3</sup>, 刘爱玉<sup>1,2</sup>, 周仲华<sup>1,2\*</sup>

(1.湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2.教育部作物生理与分子生物学重点实验室, 湖南 长沙 410128;  
3.湖南省棉花科学研究所, 湖南 常德 415101)

**摘 要:**以棉花早熟品种‘湘 K27’和‘JX0010’为试验材料, 以晚熟品种‘HN127’为对照, 分别设置 2 个种植密度(2000 株/(667 m<sup>2</sup>)、3000 株/(667 m<sup>2</sup>))和 2 个播期(5 月 25 日、6 月 5 日), 于 2021 年在湖南农业大学耘园基地进行大田试验, 通过测定其生理生化指标和产量构成因素, 研究不同种植密度和播期对棉花产量的影响。结果表明: 早熟直播棉较晚熟品种 SPAD 值高; 晚熟品种 SOD 活性总体高于早熟品种, 晚播较早播在蕾期到花铃期时能显著提高棉花的 SOD 活性; 从 POD 活性来看, 早熟棉较优; 从 MDA 含量来看, 在早播和高种植密度条件下, 营养生长期(蕾期)以晚熟品种表现较佳, 生殖生长期(花铃期)以早熟品种‘JX0010’最优; 品种极显著影响单铃质量、单株铃数和产量, 且均表现为早熟品种优于晚熟品种。综合分析, 早播有利于提高早熟棉产量, 增加种植密度虽在一定程度上可提高产量, 但增产潜力不大。

**关 键 词:** 棉花; 熟性; 种植密度; 播期; 生理特性; 产量

中图分类号: S562.04

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2023)03-0260-08

## Effects of sowing date and planting density on physiological characteristics and yield of cotton with different maturity properties

LI Kan<sup>1,2</sup>, XIE Zhangshu<sup>1,2</sup>, HE Yuxi<sup>1,2</sup>, YANG Dan<sup>1,2</sup>, XU Doudou<sup>1,2</sup>, QIN Yeling<sup>1,2</sup>, LI Jiarui<sup>1,2</sup>,  
ZHOU Chengxuan<sup>1,2</sup>, ZHU Fangge<sup>1,2</sup>, GUO Ge<sup>1,2</sup>, HE Yunxin<sup>3</sup>, LIU Aiyu<sup>1,2</sup>, ZHOU Zhonghua<sup>1,2\*</sup>

(1.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Key Laboratory of Ministry of Education for Crop Physiology and Molecular Biology, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Hunan Institute of Cotton Science, Changde, Hunan 415101, China)

**Abstract:** Early maturing varieties ‘Xiang K27’ and ‘JX0010’ were used as test materials with the control conventional late maturing varieties ‘HN127’ in this study, two densities(2000 plants/(667 m<sup>2</sup>), 3000 plants/(667 m<sup>2</sup>)) and two sowing dates(May 25, June 5) were set up to conduct field experiments in the Hunan Agricultural University farm base in 2021. The physiological and biochemical indices and yield components were collected to investigate the effect of planting densities and sowing dates on the cotton yields. The results showed that the SPAD value of early maturing direct seeding

收稿日期: 2022-10-13

修回日期: 2023-05-23

基金项目: 湖南省重点研发计划(2020NK2023); 湖南省棉花产业技术体系栽培与良种繁育岗位专家项目(湘农发[2022]31 号); 湖南省农业农村厅项目(湘财建指[2022]51 号)

作者简介: 李侃(1997—), 女, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事棉花栽培生理研究, 314661458@qq.com; \*通信作者, 周仲华, 博士, 教授, 主要从事棉花栽培生理及分子育种研究, zhouzhonghua1976@hotmail.com

cotton was higher, and the SOD activity was lower. Compared with early sowing, late sowing could significantly improve the SOD activities of different cotton varieties from bud stage to flower and boll stage. From the POD activity, early maturing cotton was the best. From the MDA content, under the conditions of early sowing and high density, the conventional late maturing varieties were the best at the vegetative growth stage(bud stage), and the early maturing varieties were the best at the reproductive growth stage(flower and boll stage). Different varieties significantly affected the single boll weight and number of bolls per plant, and then significantly affected the cotton yield. Early maturing varieties were superior to conventional late maturing varieties, and the yield of early maturing cotton was the highest. Comprehensive analysis showed that early sowing could improve the yield of early maturing cotton. Although the density could make up for the yield loss to a certain extent, the potential was small.

**Keywords:** cotton; maturity; seeding density; sowing date; physiological characteristics; yield

棉花是中国重要的纤维作物和油料作物，在国民经济中占重要地位。“新疆棉事件”警示，棉花过于集中于新疆，风险较大，适度恢复内地棉花生产势在必行。湖南因独特的温光水气条件成为中国最南端的棉花主产省，而传统植棉方式机械化程度不高，工序复杂，导致近年来湖南棉花种植面积大幅减少<sup>[1]</sup>。发展并推广生育期短、生长发育快、适宜机械化收获的早熟直播棉花品种是缓解粮(油)棉争地矛盾、促进植棉节本增效、保证棉花生产安全的重要举措<sup>[2]</sup>。

合理的播期可以使棉苗充分利用光、热、水等自然资源，协调营养生长和生殖生长的关系，有利于一播全苗<sup>[3]</sup>。适宜的种植密度可以提高水肥利用率，降低生产成本，协调个体和群体生长发育，形成高效的田间群体结构<sup>[4]</sup>。油(麦)棉种植新模式已在中国长江流域棉区取得初步成功<sup>[5]</sup>。本研究中，以不同熟性的棉花品种为材料，研究不同种植密度和播期对早熟直播棉产量构成及生长发育的影响，旨在筛选适宜湖南植棉区的早熟直播棉品种，促进早熟直播棉花的应用推广。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

早熟棉品种‘湘 K27’和‘JX0010’(生育期 105 d)来自湖南农业大学棉花研究所，以晚熟品种‘HN127’(生育期 135 d)为对照。试验前进行脱绒和晒种，挑选籽粒饱满的种子。

### 1.2 试验设计

2021 年 5 月，在湖南农业大学耘园科研基地开展试验。基地地处湘中区域，光热充足，降水充沛，适宜棉花生长。土壤为红黄壤。耕作层土壤 pH7.5，有机质、全氮和全磷含量分别为 5.9、0.8、2.9 g/kg，

速效磷和速效钾含量分别为 7.7、98.7 mg/kg。

试验采用品种(P)、播期(B)、种植密度(M)3 因素设计。棉花品种‘湘 K27’(P1)、‘JX0010’(P2)、‘HN127’(P0)；播期设 5 月 25 日播种(B1)、6 月 5 日播种(B2) 2 个水平；种植密度设 2000 株/(667 m<sup>2</sup>)(M1)、3000 株/(667 m<sup>2</sup>)(M2) 2 个水平。随机区组设计，小区面积为 20 m<sup>2</sup>(4 m×5 m)。设 3 次重复，共 36 个小区。参照 DB43/T 286—2006《棉花栽培技术规范》<sup>[6]</sup>进行田间栽培管理。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 棉花生理生化指标的测定

每小区选择 5 株发育良好的棉株取样。分别于苗期、蕾期、花铃期取棉株主茎倒 4 叶，吐絮期于棉株打顶后取棉株主茎顶叶。采用 SPAD-502 型叶绿素测定仪(日本 Monita 公司出品)测定棉株叶片的 SPAD 值；采用生工生物工程(上海)股份有限公司生产的试剂盒测定过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)活性。各指标重复测定 3 次，结果取平均值。

#### 1.3.2 棉花产量的调查

各小区于吐絮时采取 3 点对角线取样法选取 50 个铃收花，晒干后分别称量籽棉质量，轧花后称量皮棉质量，计算单铃质量、衣分、皮棉产量和籽棉产量。

### 1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2010 进行数据整理并绘图；采用 DPS 7.05 进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对棉花 SPAD 值的影响

由表 1、表 2 可知，不同处理下苗期至蕾期棉花叶片的 SPAD 值快速上升，在花铃期达到最大值，吐絮期开始下降。

表 1 不同处理的棉花叶片的 SPAD 值

处理	SPAD 值			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
P1B1M1	41.80±5.90	47.43±2.25	(52.80±2.70)ab	(43.80±2.60)b
P1B1M2	37.13±5.28	50.80±2.11	(53.56±1.65)a	(45.36±3.54)b
P1B2M1	38.53±6.60	46.67±3.96	(47.06±1.10)cd	(48.86±3.66)ab
P1B2M2	40.20±3.47	47.73±3.88	(49.90±0.85)abcd	(46.16±0.55)ab
P2B1M1	35.29±1.29	51.10±1.71	(54.33±4.65)a	(48.36±1.90)ab
P2B1M2	37.76±3.41	51.46±2.94	(52.86±4.30)ab	(47.60±4.35)ab
P2B2M1	35.23±4.69	46.90±2.70	(46.40±3.08)cd	(51.33±2.97)a
P2B2M2	34.23±3.89	47.36±3.96	(48.30±3.96)bcd	(46.33±2.80)ab
P0B1M1	35.36±1.00	46.26±2.71	(50.03±0.49)abcd	(44.86±1.60)b
P0B1M2	36.00±5.67	47.86±2.42	(51.40±1.91)abc	(46.00±2.93)b
P0B2M1	35.73±5.06	47.06±2.78	(47.53±1.00)cd	(45.26±2.02)b
P0B2M2	35.26±3.87	46.10±1.13	(46.26±1.18)d	(48.36±1.25)ab
P1	39.41±5.31	48.15±3.05	(50.83±3.05)abcd	(46.18±2.54)ab
P2	35.62±3.31	49.20±2.83	(51.92±2.82)abc	(48.41±3.05)ab
P0	35.58±3.91	46.82±2.24	(48.81±2.26)bcd	(46.12±1.95)ab
B1	37.22±3.75	49.15±2.35	(52.49±2.61)ab	(46.99±2.82)ab
B2	36.53±4.18	46.97±3.07	(47.58±1.86)cd	(46.71±2.21)ab
M1	36.99±4.09	47.57±2.69	(49.69±2.18)abcd	(47.07±2.46)ab
M2	36.76±3.42	48.55±2.73	(50.38±2.31)abcd	(46.63±2.57)ab

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

表 2 不同处理下棉花叶片 SPAD 值的方差分析

变异来源	P 值			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
品种	0.000 0**	0.000 0**	0.000 2**	0.000 1**
播期	0.065 2	0.007 1**	0.001 7**	0.032 9*
种植密度	0.546 7	0.003 8**	0.035 1*	0.657 8
品种×播期	0.090 0	0.000 0**	0.012 4*	0.049 5*
品种×种植密度	0.008 2**	0.000 0**	0.080 9	0.000 0**
播期×种植密度	0.411 7	0.001 9**	0.411 5	0.005 1**
品种×播期×种植密度	0.000 4**	0.006 2**	0.006 7**	0.001 5**

“\*”“\*\*”分别示影响显著( $P<0.05$ )和极显著( $P<0.01$ )。

从品种来看,棉花全生育时期 P1、P2 的 SPAD 值高于 P0 的,除苗期外,P2 的 SPAD 值最高,P1 的次之。方差分析结果表明,品种对各生育期 SPAD 值均具有极显著影响。

从播期来看,各生育时期 B1 的 SPAD 值高于 B2 的,播期对棉花蕾期到吐絮期的 SPAD 值都有显著或极显著影响,其中 B1 较 B2 在花铃期提升了 10.32%,在蕾期提升了 4.64%,说明 SPAD 值在花铃期提升最快;从种植密度来看,种植密度对蕾期、花铃期 SPAD 值的影响分别达到了极显著和显著水

平,2 个时期 M2 的 SPAD 值均高于 M1 的。

从不同因素互作效应来看,在苗期,品种和种植密度以及品种、种植密度和播期都存在极显著的交互效应,P1B1M1 的 SPAD 值最高;在蕾期,不同因素的互作效应均极显著,以 P2B1M2、P2B1M1、P1B1M2 的 SPAD 值较高;在花铃期,品种和播期以及品种、播期和种植密度都具有显著或极显著的交互效应,P2B1M1 的 SPAD 值最高;在吐絮期,不同处理的互作效应之间都具有显著或极显著的交互效应,P2B2M1 的 SPAD 值最高。说明 P2 在蕾

期至吐絮期光合作用强，生长状况好；蕾期到花铃期，早播和低种植密度条件下的 SPAD 值相对较高；而到了吐絮期，晚播和低种植密度条件下的 SPAD 值相对较高。

2.2 不同处理对超氧化物歧化酶活性的影响

如表 3、表 4 所示，随着棉花生育期的推进，不同处理下棉花叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性呈现不断上升的趋势，并在吐絮期时达到峰值。

表 3 不同处理下棉花叶片的超氧化物歧化酶活性

处理	SOD 活性/(U g <sup>-1</sup> )			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
P1B1M1	(316.72±32.04)ab	(346.52±5.32)abc	(443.37±26.72)ab	(632.89±27.15)a
P1B1M2	(335.15±58.92)ab	(354.03±23.38)abc	(454.80±35.15)ab	(646.75±37.16)a
P1B2M1	(324.74±23.51)ab	(419.21±68.59)a	(483.06±48.29)a	(599.57±29.11)ab
P1B2M2	(272.02±17.89)b	(301.97±17.66)c	(465.96±15.04)a	(531.88±17.26)c
P2B1M1	(278.29±30.72)b	(328.53±23.67)bc	(417.15±41.94)b	(634.56±33.49)a
P2B1M2	(305.17±55.31)ab	(355.24±36.18)abc	(414.16±24.74)b	(546.31±24.51)c
P2B2M1	(336.36±46.17)ab	(354.03±17.06)abc	(426.82±17.20)b	(587.38±6.71)b
P2B2M2	(287.53±25.45)ab	(374.13±85.04)abc	(485.31±14.36)a	(623.27±29.42)ab
P0B1M1	(316.94±14.98)ab	(378.94±46.82)ab	(448.90±28.53)ab	(570.13±29.15)b
P0B1M2	(346.02±24.58)a	(349.98±28.51)abc	(506.20±12.70)a	(622.71±16.50)ab
P0B2M1	(327.51±34.49)ab	(365.66±9.14)abc	(495.29±31.56)a	(650.29±28.96)a
P0B2M2	(315.68±9.56)ab	(386.47±15.76)ab	(458.88±44.31)ab	(637.01±8.67)a
P1	(312.16±33.09)ab	(355.43±28.73)abc	(461.80±31.3)ab	(602.77±27.67)ab
P2	(301.83±39.41)ab	(352.98±40.48)abc	(435.86±24.56)b	(597.89±23.52)ab
P0	(326.54±21.15)ab	(370.27±25.05)abc	(477.31±29.27)ab	(620.03±20.82)ab
B1	(316.38±36.09)ab	(352.21±27.31)abc	(447.43±28.30)ab	(608.89±27.80)ab
B2	(310.64±26.34)ab	(366.91±35.54)abc	(469.22±28.46)a	(604.90±20.02)ab
M1	(316.76±30.49)ab	(365.49±28.43)abc	(452.43±32.37)ab	(612.47±25.76)ab
M2	(310.26±31.95)ab	(353.64±34.41)abc	(464.21±24.38)a	(601.33±22.25)ab

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

表 4 不同处理下棉花叶片超氧化物歧化酶活性的方差分析

Table 4 Variance analysis results of superoxide dismutase activities in cotton leaves under different treatments

变异来源	P 值			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
品种	0.010 4*	0.010 3*	0.000 0**	0.000 0**
播期	0.016 5*	0.027 6*	0.038 5*	0.043 3*
种植密度	0.321 4	0.043 5*	0.051 6	0.120 3
品种×播期	0.000 1**	0.573 0	0.002 2**	0.000 0**
品种×种植密度	0.007 7**	0.000 1**	0.195 3	0.000 4**
播期×种植密度	0.001 4**	0.005 7**	0.099 2	0.695 6
品种×播期×种植密度	0.120 2	0.000 3**	0.000 8**	0.000 0**

“\*”“\*\*”分别示影响显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)。

方差分析结果表明，品种对棉花全生育期 SOD 活性具有显著或极显著影响，P0 的 SOD 活性较高。播期对棉花全生育期 SOD 活性具有显著影响。苗

期、吐絮期 B1 的 SOD 活性较高，蕾期至花铃期 B2 的较高；从种植密度来看，蕾期 M1 较 M2 的 SOD 活性提高 3.35%，其余各时期种植密度对 SOD 活性无显著影响。从不同因素互作效应来看，品种和播期互作对棉花苗期、花铃期和吐絮期 SOD 活性具有极显著影响；品种和种植密度互作对棉花苗期、蕾期和吐絮期 SOD 活性具有极显著影响；播期和种植密度互作对棉花苗期和蕾期的 SOD 活性具有极显著影响；品种、播期和种植密度三者互作对棉花蕾期、花铃期、吐絮期的 SOD 活性具有极显著影响。

综上可知，随着棉花生长发育的进行，晚熟品种 SOD 活性总体优于早熟品种，晚播在蕾期到花铃期时能提高棉花的 SOD 活性，但在吐絮期时早播的 SOD 活性更高。

2.3 不同处理对过氧化物酶活性的影响

由表 5、表 6 可知,随着棉花生育进程的推进,过氧化物酶(POD)活性呈现逐渐降低的趋势。方差分析结果表明,不同处理因子在棉花各生育时期内对 POD 活性均无显著影响。在苗期和蕾期,POD 活性分别为 658.59 ~ 4856.00、1504.82 ~ 5044.04 U/g, P2B2M2 处理的活性最高。在花铃期和吐絮期时,POD 活性分别为 700.80 ~ 2072.38、103.15 ~ 1220.51 U/g, P1B1M2 和 P2B1M1 的较高。综合以

上可知,在棉花不同生育时期内不同处理的 POD 活性具有较大的区间范围, P1、P2 优于 P0; 营养生长阶段(苗期、蕾期)P2 在晚播和高种植密度下表现最佳; 生殖生长阶段, P1 在早播、高种植密度(花铃期)表现较佳, P2 在早播、低种植密度(吐絮期)表现较佳。说明从苗期到花铃期高种植密度可以促进 2 个早熟品种的光合和呼吸作用, 而吐絮期低种植密度对 P2 的光合作用和呼吸作用的效果更好。

表 5 不同处理下棉花叶片的过氧化物酶活性

Table 5 Peroxidase activities of cotton leaves under different treatments				
处理	POD 活性/(U g <sup>-1</sup> )			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
P1B1M1	(4284.23±503.93)a	(3796.07±342.52)ab	(1597.62±281.12)a	(696.15±38.25)b
P1B1M2	(1639.01±165.31)cd	(2753.60±175.57)b	(2072.38±246.46)a	(811.49±104.92)ab
P1B2M1	(658.59±182.80)d	(2553.77±401.62)b	(701.26±54.41)c	(567.38±16.45)b
P1B2M2	(2147.79±246.42)c	(2987.29±330.80)b	(1348.89±271.26)ab	(136.63±98.74)d
P2B1M1	(904.22±95.28)d	(1576.29±302.42)d	(1433.42±164.35)ab	(1220.51±15.85)a
P2B1M2	(1311.05±103.27)cd	(2109.92±74.23)bc	(1495.21±78.69)ab	(1016.72±294.21)a
P2B2M1	(4367.14±512.05)a	(2191.32±81.90)bc	(1181.76±194.61)b	(473.76±85.42)bc
P2B2M2	(4856.00±532.12)a	(5044.04±162.38)a	(700.80±152.74)c	(419.04±25.79)bc
P0B1M1	(1693.71±289.84)cd	(1504.82±401.27)d	(1392.15±214.63)ab	(635.22±104.19)b
P0B1M2	(1729.53±186.13)cd	(2571.19±64.25)b	(891.93±105.24)c	(296.50±58.25)d
P0B2M1	(3891.26±433.84)ab	(1613.27±51.59)d	(807.50±132.35)c	(277.83±19.68)d
P0B2M2	(1007.94±215.06)d	(3702.92±164.38)ab	(705.24±62.84)c	(103.15±15.51)d
P1	(2182.40±274.62)c	(3022.68±312.63)b	(1430.04±213.31)ab	(552.91±64.59)b
P2	(2859.60±310.68)bc	(2730.40±155.23)b	(1202.80±147.60)b	(782.51±105.32)ab
P0	(2080.60±281.22)c	(2348.05±170.37)bc	(949.21±128.77)c	(328.18±49.40)d
B1	(1926.96±223.96)c	(2385.32±226.71)bc	(1480.46±181.75)ab	(779.43±102.61)ab
B2	(2821.46±353.72)bc	(3015.44±198.79)b	(907.58±144.70)c	(329.64±43.60)d
M1	(2633.20±336.29)bc	(2205.93±263.55)bc	(1185.62±173.58)b	(645.13±46.64)b
M2	(2115.22±241.39)c	(3194.83±161.96)b	(1202.41±152.87)b	(463.93±99.57)bc

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

表 6 不同处理下棉花叶片过氧化物酶活性的方差分析结果

Table 6 Variance analysis results of peroxidase activities in cotton leaves under different treatments				
变异来源	P 值			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
品种	0.854 3	0.948 5	0.562 9	0.247 4
播期	0.108 0	0.802 0	0.185 5	0.263 9
种植密度	0.759 5	0.269 0	0.557 8	0.160 3
品种×播期	0.178 5	0.758 6	0.721 2	0.785 8
品种×种植密度	0.865 9	0.591 4	0.390 7	0.943 4
播期×种植密度	0.968 4	0.374 9	0.496 0	0.761 9
品种×播期×种植密度	0.558 6	1.054 2	0.895 4	0.609 3

2.4 不同处理对丙二醛含量的影响

由表 7、表 8 可以看出,随着棉花生育期的推进,不同处理下棉花叶片丙二醛(MDA)含量总体呈增加的趋势,并在吐絮期时达到峰值。

方差分析结果表明,品种对苗期到花铃期的 MDA 含量具有极显著影响。在苗期,MDA 含量以 P0 的最低;蕾期和花铃期,MDA 含量以 P2 的最低;吐絮期,各品种之间无显著差异, P2 的最低。播期对苗期和蕾期 MDA 含量具有极显著和显著影响,以 B1 处理的较低。种植密度对苗期和花铃期 MDA 含量分别具有显著和极显著影响,苗期 M1

处理的较低，花铃期 M2 的较低。

从各因素的互作效应来看，品种和播期互作对棉花全生育时期 MDA 含量具有显著或极显著影响；品种和种植密度互作对蕾期和花铃期的 MDA 含量具有显著影响；播期和种植密度互作对蕾期至吐絮期的 MDA 含量具有显著或极显著影响；品种、播期和种植密度三者互作对蕾期和花铃期的 MDA 含量具有显著或极显著影响。蕾期，P0B1M2 的 MDA 含量最低，为 104.63 nmol/g；花铃期，P2B1M2 的 MDA 含量最低，为 166.24 nmol/g。可见，在早播和高种植密度条件下营养生长期(蕾期)以晚熟品种 P0 表现最佳，生殖生长期(花铃期)以早熟品种 P2 最优。

表 7 不同处理下棉花叶片的丙二醛含量

Table 7 Malondialdehyde contents in cotton leaves under different treatments

处理	MDA 含量/(nmol g <sup>-1</sup> )			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
P1B1M1	(103.11±17.46)c	(125.23±14.32)c	(208.87±24.05)a	(228.09±22.14)a
P1B1M2	(108.64±16.65)bc	(128.27±8.92)bc	(184.12±18.64)b	(219.16±24.48)ab
P1B2M1	(123.62±17.41)a	(117.30±24.44)cd	(176.90±7.04)bc	(195.74±19.53)d
P1B2M2	(120.26±5.21)ab	(117.72±36.24)cd	(173.72±18.25)bc	(198.59±18.15)d
P2B1M1	(113.06±25.69)abc	(130.99±15.35)bc	(180.21±20.05)bc	(216.39±20.25)ab
P2B1M2	(108.13±22.23)bc	(117.71±21.45)cd	(166.24±24.57)c	(216.71±23.16)ab
P2B2M1	(120.62±4.82)ab	(105.62±9.71)d	(204.61±14.38)a	(191.27±19.08)d
P2B2M2	(120.99±6.71)ab	(106.08±5.63)d	(174.28±7.32)bc	(195.98±21.56)d
P0B1M1	(101.69±19.81)c	(104.77±24.51)d	(217.56±16.82)a	(205.69±18.49)bc
P0B1M2	(105.52±18.62)c	(104.63±15.23)d	(175.14±28.21)bc	(198.39±22.16)d
P0B2M1	(105.32±5.11)c	(142.79±6.26)b	(184.33±8.73)b	(209.85±17.19)ab
P0B2M2	(120.32±11.15)ab	(164.42±12.64)a	(210.57±5.48)a	(215.67±20.24)ab
P1	(113.91±14.18)abc	(122.13±20.98)c	(185.92±16.70)b	(210.40±21.06)ab
P2	(115.71±14.86)abc	(115.11±13.04)cd	(181.33±16.58)bc	(205.08±21.01)bc
P0	(108.21±13.67)bc	(129.16±14.66)bc	(196.91±14.82)a	(207.41±19.52)bc
B1	(106.70±20.08)c	(118.61±16.63)cd	(188.70±22.06)ab	(214.08±21.78)ab
B2	(118.53±8.41)abc	(125.66±15.82)c	(187.41±10.19)ab	(201.19±19.29)cd
M1	(111.24±15.06)bc	(121.13±15.77)c	(195.43±15.18)a	(207.84±19.45)bc
M2	(113.98±13.43)abc	(123.14±16.69)c	(180.70±17.08)bc	(207.42±21.63)bc

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

表 8 不同处理下棉花叶片丙二醛含量的方差分析结果

Table 8 Variance analysis results of malondialdehyde contents in cotton leaves under different treatments

变异来源	P 值			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
品种	0.000 1**	0.000 1**	0.000 1**	0.699 1
播期	0.004 4**	0.031 3*	0.605 2	0.052 4
种植密度	0.017 0*	0.980 9	0.000 6**	0.797 6
品种×播期	0.041 9*	0.000 0**	0.000 0**	0.000 1**
品种×种植密度	0.052 0	0.015 5*	0.048 2*	0.152 0
播期×种植密度	0.176 0	0.013 4*	0.002 0**	0.003 3**
品种×播期×种植密度	0.067 8	0.036 6*	0.000 0**	0.294 9

\*\*、\*、\*\*\* 分别表示影响显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)。

2.5 不同处理对产量性状的影响

单株铃数、单铃质量、衣分是构成棉花籽棉产量和皮棉产量的决定因素。由表 9、表 10 可以看出，品种对单铃质量、单株铃数、籽棉产量和皮棉产量的影响极显著，P2、P1、P0 的单株铃数、单铃质量、籽棉产量和皮棉产量均呈依次降低的趋势，P2 的籽棉产量较 P1 提高 25.82%，较 P0 提高 48.24%。播期对单株铃数、籽棉产量和皮棉产量均具有显著或极显著影响，B1 优于 B2，单株铃数的增幅最高，达 40.41%。种植密度对产量性状无显著影响，说明高种植密度虽在一定程度上可以提高产量，但增产潜力不大；P2B1M2 的产量高于 P2B2M2，说明早熟品种存在早播产量高于晚播产量的现象。各因素对棉花衣分均无显著影响，说明早、晚熟品种的衣分差异不大，播期和种植密度对衣分影响不大。

表 9 不同处理的棉花产量性状

Table 9 Yield traits of cotton under different treatments					
处理	单株铃数	单铃质量/g	衣分/%	籽棉产量/(kg (667 m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> )	皮棉产量/(kg (667 m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> )
P1B1M1	(20.53±8.17)bc	(4.69±0.06)ab	(38.25±3.02)ab	(191.25±8.41)abc	(72.66±7.03)abc
P1B1M2	(19.06±9.99)bcd	(4.52±0.05)bc	(40.05±1.71)ab	(194.95±6.32)ab	(79.12±6.35)ab
P1B2M1	(12.33±3.75)ef	(4.44±0.06)bc	(40.60±2.16)ab	(118.77±2.65)c	(47.13±1.43)c
P1B2M2	(15.20±4.38)cdef	(4.56±0.19)abc	(41.22±2.34)a	(157.96±5.84)bc	(65.85±4.33)abc
P2B1M1	(28.40±9.91)a	(4.84±0.06)a	(34.92±1.33)b	(235.26±6.84)a	(90.41±6.19)a
P2B1M2	(23.80±9.50)ab	(4.71±0.07)ab	(39.52±1.05)ab	(240.06±9.86)a	(93.70±7.26)a
P2B2M1	(19.46±6.65)bc	(4.62±0.23)ab	(39.66±2.02)ab	(178.97±8.62)abc	(68.51±4.52)abc
P2B2M2	(17.06±8.03)cde	(4.65±0.08)ab	(41.92±4.05)a	(179.71±3.57)abc	(74.17±6.81)abc
P0B1M1	(16.13±4.69)cdef	(4.43±0.10)bc	(38.04±1.00)ab	(142.13±5.14)bc	(54.44±4.51)bc
P0B1M2	(16.73±6.05)cdef	(4.44±0.02)bc	(38.62±1.44)ab	(168.37±5.43)abc	(64.00±4.76)abc
P0B2M1	(13.60±5.38)def	(4.31±0.10)c	(41.62±2.60)a	(120.87±3.46)bc	(49.40±3.73)bc
P0B2M2	(11.13±2.97)f	(4.68±0.36)ab	(41.23±3.42)a	(131.27±1.69)bc	(47.11±1.97)c
P1	(16.78±6.57)cdef	(4.53±0.09)bc	(40.03±2.31)ab	(165.73±5.80)abc	(66.19±4.79)abc
P2	(22.18±8.52)ab	(4.71±0.11)ab	(39.01±2.11)ab	(208.52±7.22)ab	(81.70±6.20)ab
P0	(14.40±4.77)def	(4.47±0.15)bc	(39.88±2.12)ab	(140.66±3.93)bc	(53.74±3.74)bc
B1	(20.78±8.05)bc	(4.61±0.06)ab	(38.23±1.59)ab	(195.33±7.02)ab	(75.72±6.01)abc
B2	(14.80±5.19)def	(4.54±0.17)abc	(41.04±2.77)a	(147.93±4.31)bc	(58.70±3.80)bc
M1	(18.41±6.43)bcd	(4.56±0.10)abc	(38.85±2.02)ab	(164.54±5.85)abc	(63.76±4.57)abc
M2	(17.16±6.82)cde	(4.59±0.13)abc	(40.43±2.34)ab	(178.72±5.45)abc	(70.66±5.25)abc

同列数据不同字母处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

表 10 不同处理下棉花产量的方差分析结果

Table 10 Variance analysis results of cotton yield under different treatments					
变异来源	P 值				
	单铃质量	单株铃数	衣分	籽棉产量	皮棉产量
品种	0.006 0**	0.000 0**	0.387 0	0.000 0**	0.0001 **
播期	0.398 1	0.000 0**	0.263 0	0.013 6*	0.014 9*
种植密度	0.113 9	0.214 6	0.051 7	0.624 2	0.539 6
品种×播期	0.614 8	0.443 2	0.663 8	0.074 3	0.098 4
品种×种植密度	0.322 6	0.290 2	0.150 4	0.896 3	0.435 6
播期×种植密度	0.199 0	0.521 6	0.210 5	0.973 7	0.991 1
品种×播期×种植密度	0.573 5	0.368 5	0.299 4	0.223 1	0.222 3

“\*”“\*\*”分别示影响显著( $P<0.05$ )和极显著( $P<0.01$ )。

3 结论与讨论

根据不同作物的生长特点和发育条件,选择适宜的播期是作物获得光、温、水等农业自然气候资源的保证,也是实现作物高产稳产的基础<sup>[7-8]</sup>。前人<sup>[9-12]</sup>研究发现早播较晚播可延长棉株生育期,提高棉花单铃质量,增加单株有效铃数,提升总铃数,继而实现产量增加。本研究发现,早播在直播棉的苗期和蕾期可降低叶片 MDA 含量,减缓叶片衰老程度,提高 SPAD 值,进而促进直播棉生长发育,显著提高单株铃数,实现直播棉的高质高产。

种植密度是影响棉花产量形成的关键因素,适宜的株行距可以形成高效的棉花群体结构,实现高产稳产<sup>[13]</sup>。本研究结果表明,种植密度对蕾期和花铃期的 SPAD 含量的影响达到了极显著和显著水平,但种植密度对产量无显著影响,说明种植密度对 SPAD 值的影响不是决定棉花产量形成的关键因素,这与前人<sup>[12]</sup>的研究结果有差异,可能是本试验种植密度梯度设置较小的原因。

种植早熟直播棉品种,改传统育苗移栽棉为麦(油)后机械化直播棉的种植方式是长江流域棉花生产的趋势<sup>[14]</sup>。韩永亮等<sup>[15]</sup>指出早熟直播棉品种产量

与单株铃数和株高关联度较高,其次是衣分、单铃质量和果枝数。本研究中,品种对单铃质量、单株铃数和产量的影响极显著,且早熟品种的单铃质量、单株铃数和产量均高于晚熟品种。

本研究中,早熟棉与晚熟品种在不同生育时期生长发育的差异呈现动态表现。从 SPAD 值来看,早熟棉较晚熟棉 SPAD 值高,棉花在全生育时期内光合作用强,生长状况好,以早熟品种‘JX0010’表现最佳。从 SOD 活性来看,全生育期均以晚熟品种‘HN127’表现最佳。从 POD 活性来看,早熟品种‘JX0010’在棉花苗期和吐絮期表现较好,早熟品种‘湘 K27’在蕾期和花铃期表现较好。从 MDA 含量来看,晚熟品种‘HN127’在营养生长阶段(苗期)细胞膜脂氧化程度较低,生长状况较好,但进入生殖生长阶段(蕾期到吐絮期)则以早熟品种‘JX0010’表现较佳。从单株铃数和单铃质量来看,均为早熟品种‘JX0010’表现最优。早熟品种的产量高于晚熟品种的,说明 SPAD 值、POD 活性和单株铃数可能对产量具有协同促进效应。

#### 参考文献:

- [1] 张志刚,赵瑞元,丁世勇,等. 湖南棉花产业发展形势调研报告[J]. 中国棉花, 2019, 46(11): 10–13.
- [2] 刘爱玉,屠小菊,周仲华,等. 棉花夏播短季轻简化栽培技术[J]. 湖南农业科学, 2022(2): 28–31.
- [3] 邹佳怡,贺云新,谢章书,等. 播种方式对直播棉产量及品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(5): 501–506.
- [4] DAI J L, DONG H Z. Intensive cotton farming technologies in China: achievements, challenges and countermeasures[J]. Field Crops Research, 2014, 155: 99–110.
- [5] 肖松华,纪从亮,俞敬忠. 机械化植棉是江苏省棉花生产发展的必由之路[J]. 江苏农业科学, 2009, 37(1): 4–7.
- [6] DB43/T 286—2006 棉花栽培技术规范[S].
- [7] BAZZO J H B, ARRUDA K M A, DE BATISTA FONSECA I C, et al. Sowing dates and densities on physiological potential of seeds of white oat cultivars[J]. Journal of Seed Science, 2020, 42: e202042023.
- [8] YANG H, LI Z Y, CHEN E X, et al. Temporal polarimetric behavior of oilseed rape(*Brassica napus* L.) at C-band for early season sowing date monitoring[J]. Remote Sensing, 2014, 6(11): 10375–10394.
- [9] 张丽娟,夏绍南,李永旗,等. 播期和密度对鄱阳湖植棉区不同熟性棉花品种产量和品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(15): 20–24.
- [10] 赵洪亮,于谦林,徐勤青,等. 山东一熟棉区主推品种适宜播期的研究[C]//中国棉花学会. 中国棉花学会 2012 年年会暨第八次代表大会论文汇编. 2012: 189–191.
- [11] 随龙龙. 新疆膜下滴灌棉花播期对幼苗生长及植株顶部棉铃发育的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2018.
- [12] 李金才,唐光雷,李存东. 不同播期和密度处理对超短季棉个体形态发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10220–10222.
- [13] 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.
- [14] 谢章书,李侃,杨丹,等. 棉花种子球化处理对幼苗生长发育的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(3): 265–269.
- [15] 韩永亮,路正营,李世云,等. 早熟棉主要农艺性状与产量的灰色关联分析[J]. 山东农业科学, 2015, 47(4): 18–20.

责任编辑: 毛友纯  
英文编辑: 柳 正