

## 播期温度对新疆膜下滴灌棉花出苗率及苗期生长的影响

随龙龙<sup>1</sup>, 田景山<sup>1</sup>, 姚贺盛<sup>1</sup>, 张鹏鹏<sup>1</sup>, 梁福斌<sup>1</sup>, 王进<sup>2</sup>, 张旺锋<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>石河子大学农学院/新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832003; <sup>2</sup>新疆乌兰乌苏农业气象试验站, 新疆石河子 832003)

**摘要:**【目的】新疆膜下滴灌棉田普遍采用干土播种、滴水出苗技术, 将棉花传统漫灌栽培条件下需要兼顾土壤墒情和气温状况转变为仅关注播期温度条件。论文根据棉花播种出苗对气温的要求, 选择不同时期不同温度条件下播种, 观测膜下滴灌棉花播种出苗及幼苗生长状况, 分析播期温度变化对出苗率、苗期生长发育的影响及收获期产量的变化, 为膜下滴灌棉花确定播种条件、实现一播全苗和培育壮苗提供理论依据。【方法】通过记载播种前气温及土壤温度的变化, 以棉花种子发芽、出苗的生物学下限温度为最早播期, 设置 3—4 个播期, 调查不同播期下棉花出苗率, 测定苗期株高、子叶节高度等形态指标和植株干物质累积量等, 明确不同温度条件下播种对膜下滴灌棉花出苗和壮苗指标的影响。【结果】播前 3 d 膜下 5 cm 土壤温度 18.7℃条件下棉花出苗速度快且出苗率最高; 与温度较低条件下的早播相比, 膜下 5 cm 土壤温度达 24.7℃的晚播棉花出苗期至 3 叶期植株株高提高 3.52%—8.64%、子叶节高度提高 8.82%—20.59%、总根长增长 1.79%—6.59%、比根长提高 14.84%—25.93%; 播前 3 d 膜下 5 cm 土壤温度 9.5℃早播条件下, 根干物质累积量较高、根冠比较大。【结论】棉花播前 3 d 平均气温稳定通过 13.8℃—15.7℃, 播后 1 周气温在 16℃—18℃, 出苗率可达 90%以上; 但平均气温在 6.7℃—14.1℃、膜下 5 cm 平均地温 9.5℃—17.6℃条件下播种, 出苗至 3 叶期平均气温在 18.5℃—19.5℃、有效积温在 110℃—120℃, 棉花幼苗单位株高干物质累积量较高, 根系生长量大, 幼苗健壮, 单株结铃多, 铃重较高。因此, 适温早播为棉花产量形成奠定良好基础。

**关键词:** 棉花; 膜下土壤温度; 播种期; 出苗率; 幼苗生长

## Effects of Different Sowing Dates on Emergence Rates and Seedling Growth of Cotton Under Mulched Drip Irrigation in Xinjiang

SUI LongLong<sup>1</sup>, TIAN JingShan<sup>1</sup>, YAO HeSheng<sup>1</sup>, ZHANG PengPeng<sup>1</sup>, LIANG FuBin<sup>1</sup>,  
WANG Jin<sup>2</sup>, ZHANG WangFeng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Agricultural College of Shihezi University/Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture, Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi 832003, Xinjiang; <sup>2</sup>Wulanwusu Agro-Meteorological Experiment Station of Xinjiang, Shihezi 832003, Xinjiang)

**Abstract:** 【Objective】Dry soil seeding with drip irrigation are widely used in field cotton in Xinjiang. And only seedling temperature has to be considered under dry soil seedling with drip irrigation. In this paper, according to the temperature requirement of cotton seedling, cotton was sown under different temperature conditions and different sowing dates. The emergence rate, seedling growth condition and yield of cotton under mulched drip irrigation were observed. The effects of sowing conditions on emergence rate, growth states and development of yield in harvest period were analyzed to provide theoretical basis for cultivating strong seedlings of cotton under mulched drip irrigation. 【Method】According to the changes of air temperature and soil temperature, 3-4 sowing dates were set up. The earliest sowing date was based on the biological low temperature for cotton seeds germination and

收稿日期: 2018-03-05; 接受日期: 2018-08-30

基金项目: 新疆兵团重大科技项目子课题 (2016AA001-2)

联系方式: 随龙龙, E-mail: 935176886@qq.com. 通信作者张旺锋, Tel: 0993-2057326; E-mail: zhwf\_agr@shzu.edu.cn

emergence. The morphological indexes, such as emergence rate, seedling height, cotyledon node height and total dry weight, were determined to demonstrate the effects of sowing under different temperature conditions on seedling indexes in cotton. 【Result】 Under “5 cm deep-18.7℃-3 days before sowing” condition, the germinate rate and emergence rate were the highest. Compared with early sowing at lower temperature treatment, the plant height under “5 cm deep-24.7℃-late sowing” condition was 3.52%-8.64% higher during seedling to three -leaf stage, the height of cotyledon section was 8.82%-20.59% higher, the total root length was 1.79%-6.59% longer, and the root length was 14.84%-25.93% greater. Under “5 cm deep-9.5℃-3 days before sowing” condition, the root dry matter accumulation was higher, and the ratio of root to shoot was the maximum. 【Conclusion】 Under “5 cm deep-3 days before sowing” condition steady passage 13.8℃-15.7℃, if the average temperature was in 16℃-18℃ after sowing 1 week, the cotton seedling emergence rate could be more than 90%. But if the air temperature was in 6.7℃-14.1℃ under “5 cm deep-9.5℃-17.6℃-3 days before sowing” condition, the average temperature was 18.5℃-19.5℃ and air accumulated temperature was in 110℃-120℃ during the emergence stage to trilobites stage, the unit of cotton seedling dry matter accumulation would be larger with stronger root and increasing boll number and single boll weight. Therefore, earlier sowing could support a good foundation for cotton yield.

**Key words:** cotton; soil temperature under mulch; sowing date; emergence rate; seedling growth

## 0 引言

【研究意义】新疆属典型大陆性干旱气候, 光热资源丰富, 是我国最重要的商品棉生产基地。在传统漫灌栽培条件下, 随春季解冻土壤疏松, 棉花适期早播能确保土壤湿度适宜, 有利于棉籽萌发, 提早了棉花生育进程; 但过早播种易出现降温、霜冻等极端天气, 严重影响出苗率, 甚至毁苗重播; 而晚播虽然温度适合种子萌发, 但土壤蒸发量较大易出现播种后土壤缺水影响出苗, 晚播也影响棉花生育进程, 易出现贪青晚熟<sup>[1-2]</sup>。随着膜下滴灌植棉技术的形成, 与传统漫灌栽培相比, 滴水出苗能满足棉花种子萌发出苗对水分的需求, 协调了播期与土壤墒情的矛盾<sup>[3-4]</sup>, 但有关膜下滴灌棉花播种对温度的要求及播期确定的研究报道较少, 这影响了新疆棉花精量播种对保苗率和促壮苗早发技术措施的制定。【前人研究进展】有关棉花适期播种的探讨历来受植棉业界的关注<sup>[5-6]</sup>。低温是棉花种子萌发和幼苗生长的主要胁迫因子<sup>[7]</sup>; 播种出苗阶段出现 5℃—12℃低温, 导致种子萌发期延长, 出苗率降低<sup>[8-9]</sup>。有研究表明, 早播遇到 4℃—15℃的土壤温度, 出苗时间长且出苗率低, 易造成棉田缺苗断垄、棉苗弱小、根系短, 易形成僵苗<sup>[10-11]</sup>; 但有学者认为, 在 10℃—15℃气温条件下早播能提高对棉花生育期热量利用<sup>[12]</sup>。晚播温度较高 (25℃—30℃) 利于棉花营养生长<sup>[13]</sup>; 但也有研究认为, 晚播棉苗旺长、茎秆细长、叶片大、根系干物质累积较小, 后期棉花株型偏高, 铃期长, 品质相应下降, 也不利于机械正常采收<sup>[14-15]</sup>。【本研究切入点】本文采用棉花滴水出

苗技术, 研究滴灌条件下棉花不同播期对保全苗和培育壮苗的影响, 探讨棉花适宜播期的温度条件。

【拟解决的关键问题】针对不同播期条件下气温变化对棉花出苗率和培育壮苗的影响, 明确播种出苗期间和苗期的气温、膜下土壤温度变化与出苗率及幼苗生长的关系, 探讨膜下滴灌棉花全苗壮苗对温度的要求, 为北疆棉区棉花高产高效栽培和全程机械化管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

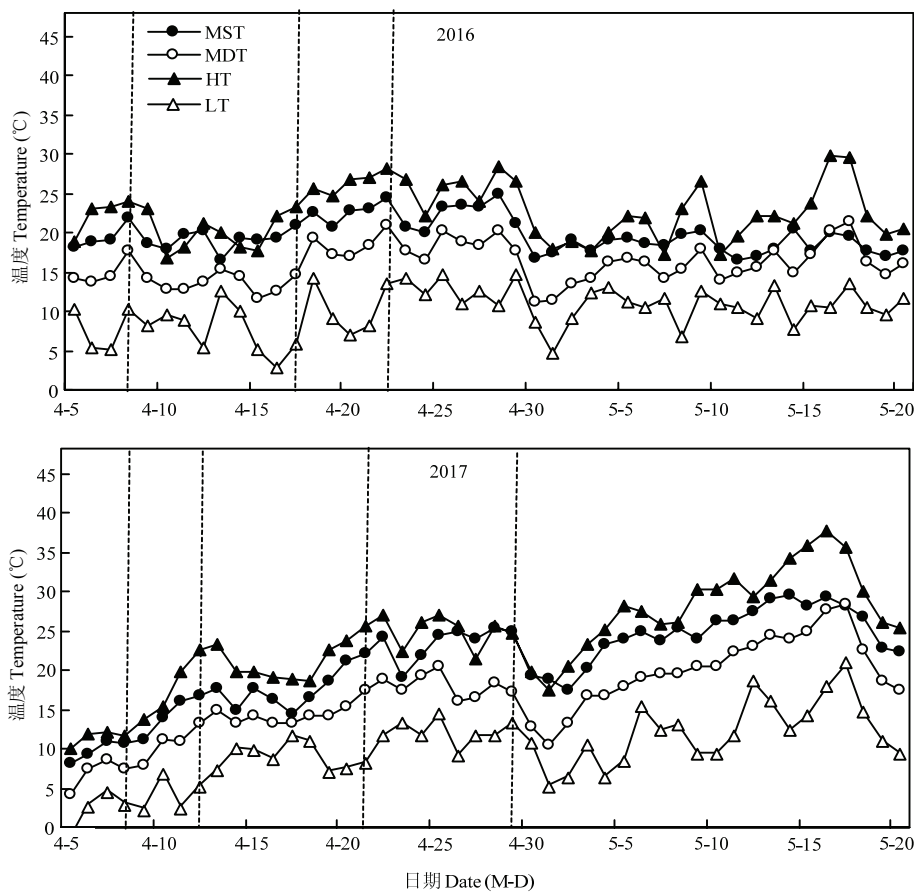
试验于 2016—2017 年在石河子气象局乌兰乌苏农业气象试验站 (44°17'N, 85°49'E) 进行, 当地多年平均降水量 210.6 mm, 平均蒸发量 1 664.1 mm, 无霜期约 170 d, 年平均气温 7.0℃, 年日照时数 2 861.2 h。试验地土壤类型为灰漠土, 土壤质地为中壤土, 含有机质 19.0 g·kg<sup>-1</sup>、全氮 1.25 g·kg<sup>-1</sup>、全磷 2.04 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 78.0 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 91.5 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 315 mg·kg<sup>-1</sup>。2 年供试品种均为当地生产上主栽品种新陆早 59 号。

### 1.2 试验设计

试验播期处理依据棉花播种对温度的要求, 通过观测播前土壤温度变化并收集气象资料确定播种日期。为了便于播期处理的可操作性, 使试验结果能为棉花生产提供参考, 以播种前 3 d 膜下 5 cm 土壤温度的变化确定播期处理, 共设置 3—4 个播期, 即 (1) 膜下 5 cm 土壤温度 3 d 平均达到 12℃作为适宜播种温度, (2) 膜下 5 cm 土壤温度 3 d 平均达到 9.5℃作为早播的温度条件, (3) 膜下 5 cm 土壤

温度 3 d 平均 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 为晚播的温度条件;具体播种日期依据当时天气状况和测定土壤温度确定。试验采用随机区组设计,重复 3 次,小区面积  $21\text{ m}^2$ 。种植模式 1 膜 4 行,宽窄行距配置;先覆膜后膜上点播,每穴播 2 粒种子,采用干播湿出的播种方法,每处理播种当天滴水出苗,待子叶展平后定苗,每穴保留 1 株,理论株数为  $1.921\times 10^5\text{ 株/hm}^2$ 。播种日期及播前 3 d 气温、膜下 5 cm 土壤平均温度等指标见表 1,各播期及播后温度因子的变化趋势见图 1。结合当地机采棉大田生产实际,各处理棉花生育期内共滴灌 8 次,滴灌量  $5\ 700\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ,一水一肥,共施用  $440\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $420\text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $270\text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。其他田间管理措施(如除草和病虫害防治)按当地高产田进行。

- 1.3 测定项目及方法
- 1.3.1 土壤温度 在播种前,用地温计(精度  $0.1^{\circ}\text{C}$ )测定膜下土壤 5 cm 温度,每天北京时间 8: 00、14: 00、18: 00、2: 00 测定土壤温度变化并记录。
- 1.3.2 出苗率 出苗时调查田间各处理出苗时间,在子叶完全展开时调查出苗率,出苗率(%)=苗数/播种的种子数 $\times 100\%$ 。
- 1.3.3 植株形态指标 待子叶完全展开,每个处理随机选取 20 株长势一致的棉花,待棉苗每长 1 片真叶,用钢尺(精度为  $0.1\text{ mm}$ )测定各处理幼苗高度、子叶节高度。
- 1.3.4 植株干物质积累量 待子叶完全展开,每处理选取长势一致的棉花 10 株,带回实验室将棉株分为叶片、茎、根,分别装袋置于  $105^{\circ}\text{C}$  烘箱中杀青 30 min,调至  $80^{\circ}\text{C}$  烘至恒重,采用百分之一电子天平称重。



图中从横坐标延伸的虚线代表不同播种日期(分别为 2016 年 4-8、4-16、4-22, 2017 年 4-8、4-12、4-21、4-29)。MST 为土壤平均温度,MDT 为平均温度,HT 为最高温度,LT 为最低温度  
Dot lines in the figure represent the onset time of different sowing dates (4-8, 4-12, 4-21, 4-29 in 2016, 4-8, 4-16, 4-22 in 2017, respectively). MST: Mean soil temperature; MDT: Mean daily temperature; HT: The high temperature; LT: The low temperature

图 1 不同温度播种棉花播前和播后气温及膜下土壤温度的变化  
Fig. 1 Changes of air temperature and soil temperature under mulching film before and after different sowing dates

表 1 不同温度播种播前 3 d 气温指标及膜下土壤温度的变化

Table 1 Changes of mean daily temperature over three days before sowing date and soil temperature under mulching film at different sowing dates

年份	播期名称	播种日期	平均气温	最高气温	最低气温	土壤平均温度
Year	Sowing date name	Sowing date (M-D)	MDT (℃)	HT (℃)	LT (℃)	MST (℃)
2016	第一播期 First sowing date	4-08	14.1±0.30	21.7±2.52	6.9±2.83	17.6±0.49
	第二播期 Second sowing date	4-16	13.8±1.87	18.7±1.72	9.2±3.70	18.4±1.53
	第三播期 Third sowing period	4-22	17.5±0.67	26.2±1.39	8.1±1.11	22.2±1.22
2017	第一播期 First sowing date	4-08	6.7±2.26	11.3±1.19	1.8±3.04	9.5±1.41
	第二播期 Second sowing date	4-12	10.0±1.89	16.2±3.05	3.7±2.66	12.0±2.36
	第三播期 Third sowing period	4-21	15.7±0.68	23.9±2.67	7.5±2.21	18.7±2.30
	第四播期 Fourth sowing date	4-29	17.6±1.54	18.2±2.43	17.0±1.45	24.7±3.05

土壤平均温度为膜下 5 cm 土壤平均温度（平均值±标准偏差）。MDT 为平均温度，HT 为最高温度，LT 为最低温度，MST 为土壤平均温度  
Average soil temperature is that under 5 cm for mulching film (mean±SD). MDT: Mean daily temperature; HT: The high temperature; LT: The low temperature; MST: Mean soil temperature

1.3.5 植株根系形态指标 待子叶完全展开,每处理随机选取 3 个点,每点选取长势基本一致棉花 5 株,从子叶节处减去植株地上部分,采用面积挖掘法(长、宽、深各 40 cm)拣取根系,用自来水冲洗,去除杂质后带回实验室。将根放在透明的装水盒子里,利用专用扫根仪器(Epson V750)扫描成图像文件,再用图像分析软件处理总根长、比根长等形态指标。

1.4 指标计算

1.4.1 有效积温 采用公式  $K=N\times(T-C)$  计算<sup>[16]</sup>,式中, K 为棉花完成某阶段发育所需要的总有效积温(℃); T 为当天发育温度, N 为完成某阶段发育所需要的天数(d); C 为生长发育的下限温度 14℃。

1.4.2 每日热效应 温度对棉花发育速率的影响程度用相对热效应(RTE)来衡量<sup>[16]</sup>,其取值范围为 0—1。

$$RTE(T)=\begin{cases} 0.0 & (T < T_b) \\ (T - T_b)/(T_0 - T_b) & (T_0 \geq T \geq T_b) \\ (T_m - T)/(T_m - T_0) & (T_m \geq T \geq T_0) \\ 0.0 & (T > T_m) \end{cases}$$

式中, RTE(T)表示温度为 T 时的相对热效应值; T<sub>0</sub> 为棉花苗期发育的最适温度;T<sub>b</sub> 为棉苗发育的最低温度,低于这一温度,棉花发育速度为零; T<sub>m</sub> 为发育的上限温度 30℃。

1.5 统计方法

采用 Microsoft Excel 2010 软件处理数据和作图,用 SPSS 21.0 软件进行统计分析,用 LSD 法检验差异显著性。

2 结果

2.1 棉花播种至出苗期温度(热量)指标变化及对出苗率的影响

2.1.1 棉花不同温度播种出苗率和出苗天数的变化 试验表明,在一定土壤温度范围内,随膜下 5 cm 土壤温度的增加,棉花出苗率显著提高,当播种前 3 d 土壤平均温度大于 22.2℃时出苗率下降(表 2)。2 年不同温度播种棉花出苗率变化趋势表现一致,在 18.4℃—18.7℃条件下播种出苗率最高。2 年不同温度播种出

表 2 不同温度播种棉花出苗率和出苗天数的变化

Table 2 Changes of seedling emergence rate and emergence days at different sowing dates

指标	年份 Year							
Item	2016				2017			
播前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度	17.6	18.4	22.2	9.5	12.0	18.7	24.7	
Soil mean temperature averaged over three days before sowing date under 5 cm for mulching film (℃)								
出苗率 Emergence rate (%)	86.0±1.01b	93.0±1.85a	91.5±1.04a	84.0±1.21c	86.5±0.40b	94.0±1.15a	91.0±0.98b	
出苗天数 Emergence days (d)	9	8	10	15	12	7	8	

表中同一行小写字母表示同一年度内差异水平,平均值±标准偏差 Values followed by different letters are same years significantly different. Mean±SD

苗天数的变化趋势有所不同, 2016 年 22.2℃播种处理下, 由于气温呈现下降, 播后平均气温低(图 1), 出苗天数较长, 而 2017 年则是 9.5℃播种条件下出苗天数最长, 达到 15 d。

2. 1. 2 棉花播种至出苗期温度(热量)指标变化 温度对棉花生长发育的影响程度可以用相对热效应来表示, 出苗率受每日热效应的影响明显, 膜下土壤每日热效应值越大出苗率越高。试验表明, 随播后平均气

温升高, 膜下 5 cm 土壤温度增加,  $\geq 14^{\circ}\text{C}$  土壤有效积温呈现先增加后降低的趋势(表 3), 以播前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度为播种温度指标, 2016 年 18.4℃播种处理下 $\geq 14^{\circ}\text{C}$  土壤有效积温值最高, 2017 年 9.5℃播种处理下 $\geq 14^{\circ}\text{C}$  土壤有效积温值最高, 而 2 年 $\geq 14^{\circ}\text{C}$ 膜下每日热效应值均以播前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度在 18.4℃—18.7℃条件下最高, 该温度条件播种下出苗率也最高。

表 3 不同温度播种下棉花播种至出苗期间的温度(热量)指标的变化

Table 3 Changes of temperature (heat) index from sowing to emergence at different sowing dates

年份 Year	播前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度 Soil mean temperature averaged over three days before sowing date under 5 cm for mulching film ( $^{\circ}\text{C}$ )	播种至出苗期 Sowing to emergence date			
		平均气温 Mean air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	膜下 5 cm 土壤平均温度 Soil mean temperature under 5 cm for mulching film ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 14^{\circ}\text{C}$ 土壤有效积温 Growing degree days in soil ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 14^{\circ}\text{C}$ 膜下每日热效应 Daily heat effect under mulching film
2016	17.6	13.5	19.1	45.9	0.4636
	18.4	17.7	21.9	63.2	0.7182
	22.2	16.6	21.0	59.3	0.5391
2017	9.5	13.9	17.3	80.4	0.4123
	12.0	15.5	18.6	79.6	0.5103
	18.7	18.1	23.3	79.2	0.8703
	24.7	16.5	21.4	75.2	0.7231

2. 1. 3 棉花播种至出苗期间温度指标与出苗率的相关及通径分析 为进一步分析棉花播种至出苗期温度(热量)指标变化对出苗率的影响, 选取播种至出苗期间气温( $x_1$ )、膜下 5 cm 土壤平均温度( $x_2$ )、膜下 5 cm 土壤积温( $x_3$ )、膜下 5 cm 土壤每日热效应( $x_4$ )作为棉花播种至出苗期间的温度(热量)指标, 对棉花播种至出苗期间各温度指标与出苗率( $y$ )进行相关分析, 出苗率( $y$ )与播种至出苗期的气温( $x_1$ )、膜下 5 cm 土壤温度( $x_2$ )、膜下 5 cm 每日热效应( $x_4$ )的相关系数均达到极显著水平, 表明播种至出苗期间

温度(热量)因素对出苗率有显著影响。通径系数是表示变量间因果关系程度的一个重要指标, 直接通径系数表明影响出苗的各温度因素对出苗的直接影响程度, 而间接通径系数表明影响出苗的各单因素通过其他各因素对出苗的影响程度。播种出苗期间, 膜下 5 cm 土壤平均温度和平均气温对出苗率的直接通径系数达到极显著和显著水平, 表明膜下 5 cm 土壤温度可为评价出苗指标的第一选择, 而出苗平均气温可作为出苗指标的第二选择(表 4), 播种至出苗期土壤有效积温和土壤每日热效应对出苗率则表现间接影响作用较大。

表 4 棉花播种至出苗期间温度指标与出苗率的相关及通径系数

Table 4 Correlation and path coefficient between temperatures and emergence rate from sowing to emergence date

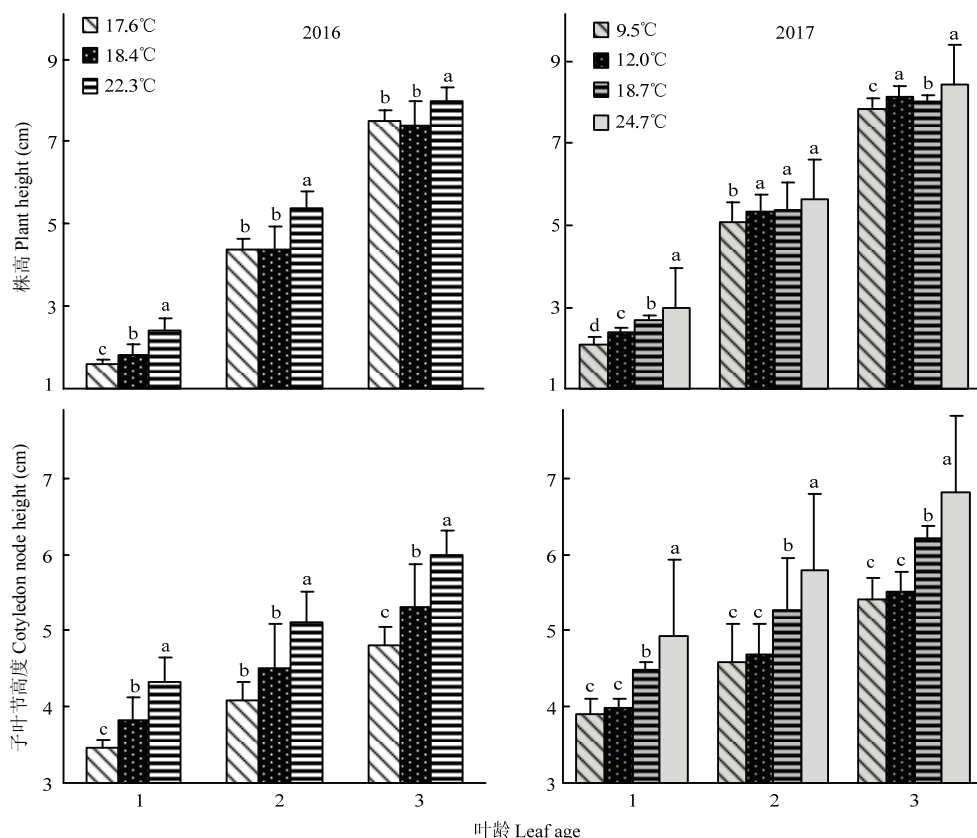
因素 Factor	相关系数 Correlation coefficient	直接通径系数 Directly path coefficient	间接通径系数 Indirectly path coefficient			
			$x_1 \rightarrow y$	$x_2 \rightarrow y$	$x_3 \rightarrow y$	$x_4 \rightarrow y$
$x_1$	0.9800**	0.4699		0.7090	-0.0109	-0.2180
$x_2$	0.9500**	0.7853	0.4243		-0.0007	-0.2297
$x_3$	0.0100	-0.0411	0.1251	0.0133		-0.0647
$x_4$	0.8900**	-0.2459	0.4167	0.7335	-0.0108	

\*, \*\*分别表示在 0.05, 0.01 水平上差异显著  
\*, \*\* mean significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively

## 2.2 棉花出苗至 3 叶期幼苗长势与温度的关系

2.2.1 不同温度播种棉花株高和子叶节高度的变化  
株高和子叶节高度是棉花苗期衡量幼苗生长状况最常用的指标。试验表明，棉花出苗至 3 叶期，不同温度播种处理间幼苗株高和子叶节高度表现为随叶龄增长均呈增加趋势（图 2）；棉花幼苗长势随

播种后温度升高株高生长加快。2016 年 22.2℃ 播种处理下棉花植株最高，较 17.6℃ 和 18.4℃ 处理高 7.41%、8.64%；子叶节分别高 11.67%、20%。2017 年 24.7℃ 播种处理下株高最高，较 9.5℃、12.0℃ 和 18.7℃ 播种处理高 7.05%、3.52%、4.71%；子叶节高 8.82%—20.59%。



图中温度为播前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度。下同

The picture temperature of the soil mean temperature averaged over three days before sowing date under 5 cm for mulching film. The same as below

图 2 不同温度播种棉花出苗至 3 叶期株高和子叶节高度的变化

Fig. 2 Changes of plant height and cotyledon node height from seedling to three-leaf stage at different soil temperatures

2.2.2 不同温度播种棉花地上部及根系干物质累积量的变化  
棉花植株地上部干物质累积量是植株生长快慢的直接反映，是籽棉产量形成的物质基础。试验表明，随棉花叶龄增长，幼苗地上部干物质累积量呈增加趋势；不同温度播种处理以 17.6℃—18.7℃ 条件下播种棉花地上部干物质累积量较高（图 3）。2016 年 17.6℃ 播种处理的干物质累积量，较 18.4℃、22.2℃ 处理分别高 7.33%、16.09%；2017 年 18.7℃ 播种处理较 9.5℃、12.0℃ 和 24.7℃ 处理提高 27.5%、21.25% 和 18.75%。

棉花根系是苗期植株生长的中心，根系生物量是衡量棉花幼苗生长状况的重要指标。棉花幼苗根系干物质累积量表现为随叶龄增长呈增加趋势；不同温度播种处理间，棉花根系干物质累积量表现为随膜下 5 cm 土壤温度的增加，根系干物质累积量呈下降趋势。2016 年 18.4℃ 播种处理的根系干物质累积量较 22.2℃ 处理提高 14.67%，2017 年 9.5℃ 播种处理较 12.0℃、18.4℃ 和 24.7℃ 处理提高 4.87%、8.46% 和 20.65%。

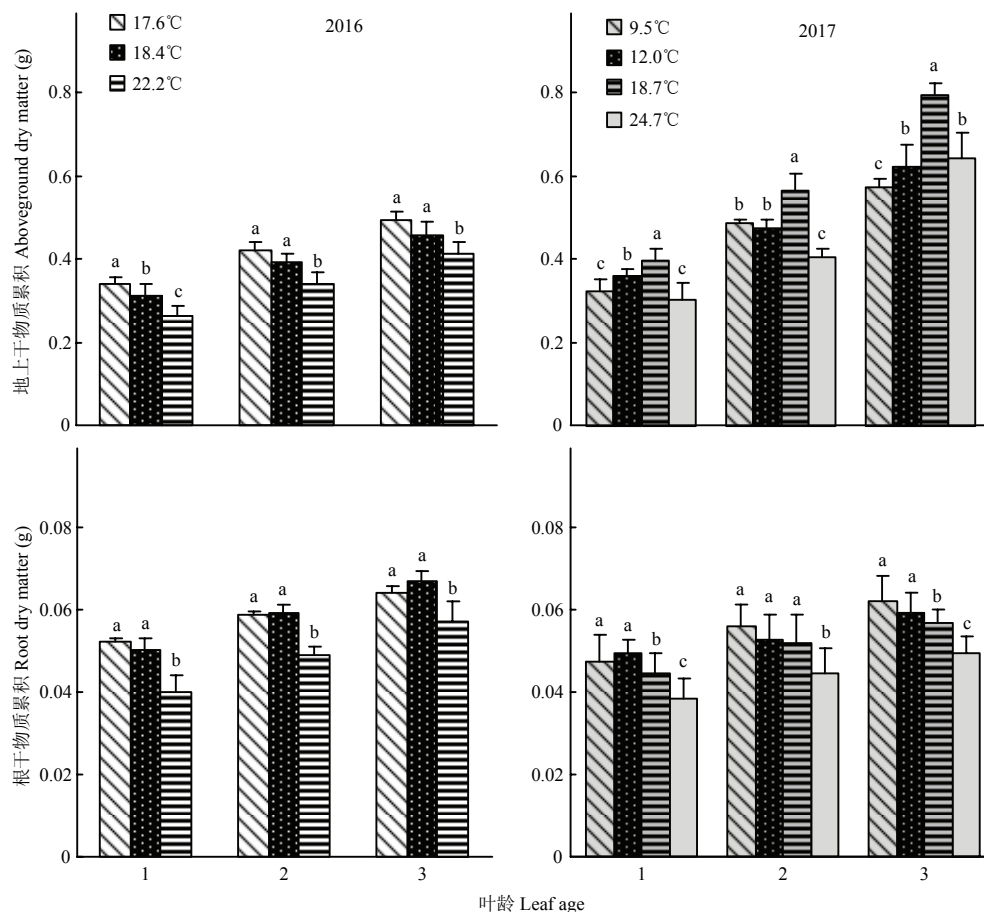


图3 不同温度播种棉花出苗至3叶期地上部及根系干物质累积量的变化

Fig. 3 Changes of above-ground dry matter and root dry matter from seedling to three-leaf stage at different soil temperatures

**2.2.3 不同温度播种对棉花总根长和比根长的影响** 棉花苗期根系形态是衡量幼苗生长是否健壮的重要指标。试验表明,棉花幼苗总根长随叶龄增长呈增加趋势;不同温度播种处理,棉花总根长均表现为1—2叶期以18.4℃—18.7℃条件下播种总根长较长,3叶期随温度升高总根长值最大(图4)。2016年22.2℃处理播种总根长较17.6℃、18.4℃处理高16.00%、10.62%,2017年24.7℃播种处理下,总根长较9.5℃、12.0℃、18.7℃播种处理高6.56%、4.47%、1.79%。

比根长是细根单位重量的根长,随叶龄增加,幼苗比根长呈增加趋势。不同温度播种处理间,随播种温度升高,棉花比根长值均表现增大。2016年22.2℃播种处理比根长较17.6℃、18.4℃处理提高24.89%、23.68%,2017年24.7℃播种处理比根长较9.5℃、12.0℃、18.7℃处理提高25.93%、20.39%和14.84%。

**2.2.4 不同温度播种棉花地上部单位株高的干物质累积量及根冠比的变化** 幼苗地上部单位株高的干物质累积量能反映单位干物质重量的株高变化情况。试验表明,不同温度播种处理随叶龄增加,幼苗单位株高的干物质量呈下降趋势(图5)。2年不同温度播种幼苗单位株高的干物质量表现不一致,2016年17.6℃播种处理的单位干物质质量的株高较18.4℃、22.2℃播种处理高6.11%、21.37%;2017年24.7℃播种处理的幼苗单位干物质质量的株高较9.5℃、12.0℃、18.7℃播种处理高25.71%、22.27%和22.87%。不同温度播种处理随叶龄增加,幼苗根冠比呈降低趋势。2年随播种温度的升高,根冠比表现出降低趋势,播种温度较低处理的根冠比较大,但2016年18.4℃播种处理的根冠比较17.6℃处理高11.52%。

**2.2.5 棉花幼苗形态指标与温度间的相关分析** 试验表明,棉花出苗至3叶期随播后气温升高,膜下5 cm



土壤平均温度增高， $\geq 14^{\circ}\text{C}$  气积温增加， $\geq 14^{\circ}\text{C}$  气温每日热效应值增加。2 年不同温度播种处理，3 叶期间温度变化表现一致（表 5）。出苗至 3 叶期，幼苗形态指标与各温度指标均表现出一定的相关关

系（表 6），其中，棉花株高与各气象因子指标的相关系数达到显著和极显著水平，根冠比、根干物质积累量与气象因子指标间呈现显著和极显著负相关关系。

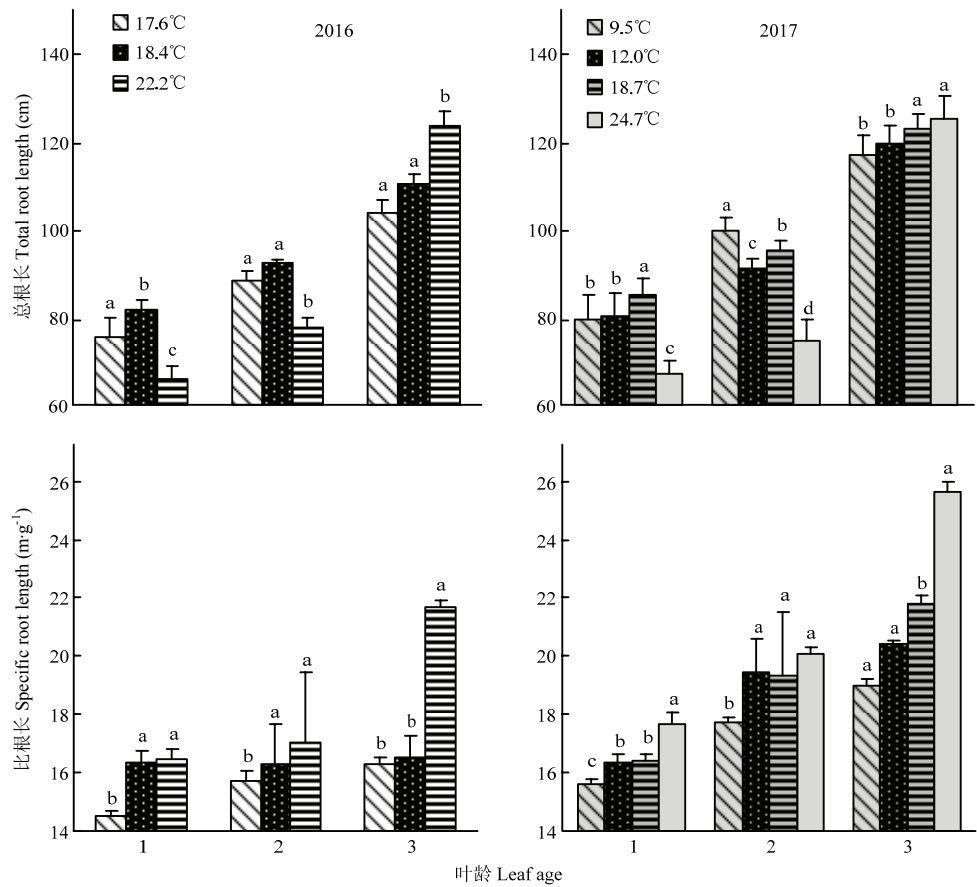


图 4 不同温度播种棉花出苗至 3 叶期幼苗总根长及比根长的变化

Fig. 4 Changes of seedling total root length and special root length from seedling to three-leaf stage at different soil temperatures

表 5 不同温度播种下棉花出苗至 3 叶期间的温度指标变化

Table 5 Changes of temperature index from seedling to three-leaf stage at different sowing dates

年份 Year	播前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度 Soil mean temperature averaged over three days before sowing date under 5 cm for mulching film (°C)	平均气温 Mean air temperature (°C)	膜下 5 cm 土壤平均温度 Soil mean temperature under 5 cm for mulching film (°C)	≥14℃土壤有效 积温 Growing degree days in soil (°C)	≥14℃气积温 Growing degree days in air (°C)	≥14℃气温每日 热效应值 Daily heat effect air
2016	17.6	16.5	19.9	175.6	82.2	0.17
	18.4	16.1	19.3	149.4	65.9	0.15
	22.2	17.2	19.9	171.6	96.1	0.21
2017	9.5	18.5	23.9	228.4	96.1	0.30
	12.0	18.9	24.5	231.1	113.9	0.32
	18.7	19.2	24.8	227.3	115.4	0.36
	24.7	21.7	27.6	245.5	138.9	0.52



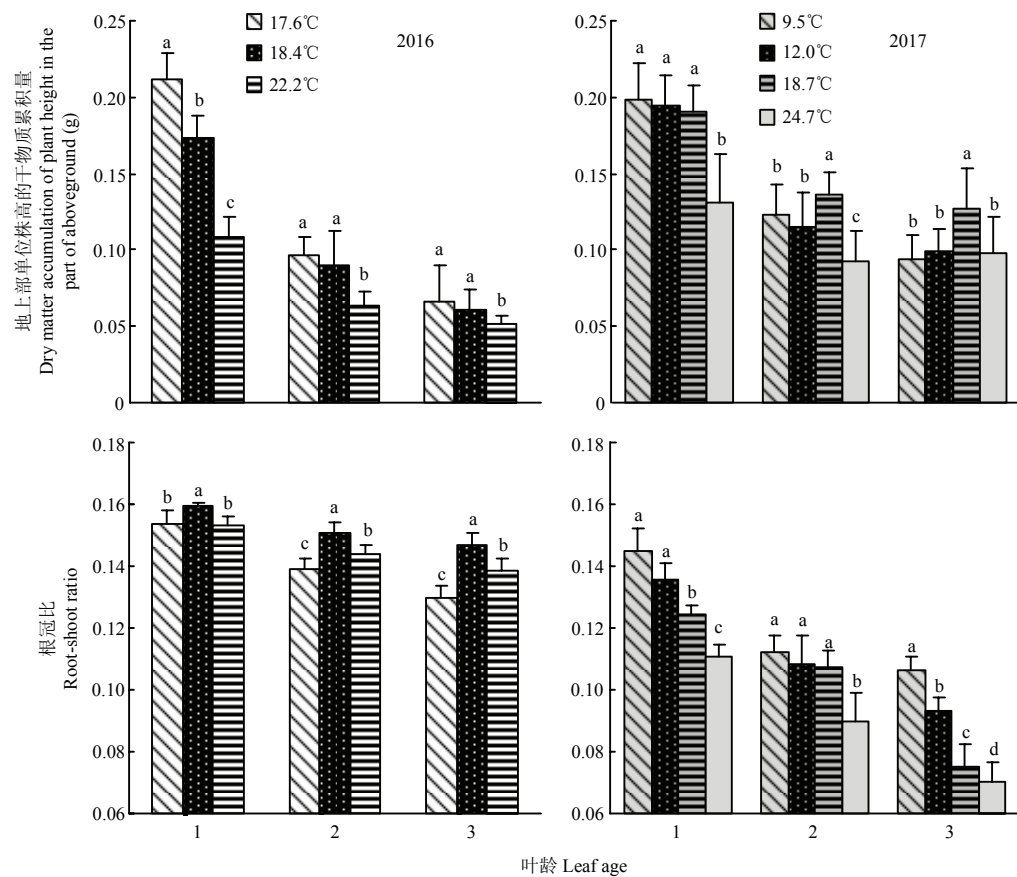


图 5 不同温度播种棉花出苗至 3 叶期地上部单位株高的干物质累积量及根冠比的变化

Fig. 5 Changes of dry matter accumulation of plant height in the part of above-ground and root-shoot ratio from seedling to three-leaf stage at different soil temperatures

表 6 不同温度播种棉花出苗至 3 叶期幼苗形态指标与温度的相关分析

Table 6 Correlation analysis of seedling index and temperature from seedling to three-leaf stage at different temperatures

项目 Item	平均气温 Air mean temperature	膜下 5 cm 土壤平均温度 Soil mean temperature under 5 cm for mulching film	≥14℃土壤 有效积温 Growing degree days in soil	≥14℃气积温 Growing degree days in air	≥14℃气温 每日热效应 Daily heat effect air
株高 Plant height	0.93**	0.87**	0.84**	0.97*	0.91**
子叶节高度 Cotyledon node height	0.83*	0.74*	0.85**	0.60	0.84**
地上干物质累积 Above-ground dry matter	0.70	0.80*	0.69	0.80*	0.72*
根干物质累积 Root dry matter	-0.90**	-0.79*	-0.95**	-0.71*	-0.89**
总根长 Total root length	0.73*	0.65	0.77*	0.60	0.72*
根冠比 Root-shoot ratio	-0.89**	-0.94**	-0.88**	-0.93**	-0.90**
比根长 Specific root length	0.89**	0.78*	0.92**	0.68	0.88**
地上部单位株高的干物质累积量 Dry matter accumulation of plant height in the part of above-ground	0.57	0.70	0.71*	0.56	0.60

2.3 不同播期下棉花产量及产量构成因子的变化

试验表明，棉花不同播期处理间，实收获籽棉产量表现为随播期推迟、气温升高呈下降的趋势（表 7）。2016 年，17.6℃播种处理的籽棉产量较 18.4℃、22.2℃处理高 13.06%、25.96%；2017 年，9.5℃播种处理的籽棉产量较 12.0℃、18.7℃、24.7℃高 6.81%、21.21%、32.78%。棉花收获株数表现为随

播种日期推迟，呈现先上升后下降趋势，2 年试验表明，18.4—18.7℃条件下播种收获株数最高。棉花单铃重随播期推迟下降，2016 年，17.6℃播种处理的单铃重较 18.4℃、22.2℃处理高 1.66%、8.69%；2017 年，9.5℃播种处理的单铃重较 12.0℃、18.70℃、24.7℃处理高 2.98%、5.40%、7.64%。单株铃数、总铃数变化与单铃重变化趋势一致。

表 7 不同播期下棉花产量与产量构成因子的变化

Table 7 Changes of different sowing date on yield and yield components in cotton

年份 Year	播前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度 Soil mean temperature averaged over three days before sowing date under 5 cm for mulching film (℃)	播期 Sowing date (M-D)	收获株数 Plant No. (×10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	单株铃数 Boll number per plant	单铃重 Boll weight (g)	总铃数 Total boll number (×10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	籽棉产量 Seed cotton yield (kg·hm <sup>-2</sup> )
2016	17.6	4-08	15.69±0.20b	6.70±0.58a	5.41±0.11a	105.12±0.21a	5978.51±139.9a
	18.4	4-16	15.79±0.50a	6.26±0.67b	5.32±0.14a	98.85±0.13b	5197.85±171.1b
	22.2	4-22	15.75±0.90a	6.01±0.50c	4.94±0.22c	94.66±0.15c	4426.26±149.4c
2017	9.5	4-08	15.65±0.28c	7.00±0.44a	5.37±0.17a	109.55±0.21a	6444.65±205.2a
	12.0	4-12	15.72±0.15b	6.83±0.26a	5.21±0.11a	107.36±0.35a	6005.98±159.5b
	18.7	4-21	15.87±0.46a	6.30±0.49b	5.08±0.13b	99.98±0.46b	5078.07±141.1c
	24.7	4-29	15.84±0.34a	5.90±0.24c	4.96±0.13b	93.46±0.29c	4332.08±126.8d

表中同列不同小写字母表示 0.05 水平差异显著 Different small letters indicate significances at 0.05 level

3 讨论

3.1 适温早播有利于提高新疆膜下滴灌棉花的出苗质量

新疆棉区无霜期短，传统漫灌条件下，早播土壤墒情好，早出苗能充分利用光热资源，有利于产量的形成<sup>[17-18]</sup>；但早播受低温（5℃—15℃）影响的机率增大<sup>[19]</sup>，如果播种后气温低、土壤积温不足，造成棉籽停留在土壤中的时间较长、养分消耗多，易导致种子霉烂<sup>[20]</sup>，影响出苗率；播种晚，气温高蒸发量大，土壤墒情不足，种子吸水困难，出苗率也较低。本研究表明，膜下滴灌不同温度条件下播种，采用滴水出苗，出苗率表现为随播后平均气温的升高呈增加趋势。以播种前 3 d 膜下 5 cm 土壤温度指标作为确定播期的条件，18.4℃—18.7℃出苗率最高，达到 90%以上，北疆棉区对应的日期为 4 月 16 日至 4 月 21 日；而膜下 5 cm 土壤温度 9.5℃—12℃条件下早播（4 月 8 日至 4 月 12 日），较低的温度可能使种子质膜结构破坏、通透性增大，种子内可溶性糖、氨基酸等物质外渗，导致代谢紊乱造成种子霉烂<sup>[21]</sup>，与 18℃条件下播种处理相比，出苗率仅 84%—86%；晚播（4 月 22 日至 4 月

29 日）播种前 3 d 土壤温度 22.2℃—24.7℃条件下，出苗率相对较低，这可能与播种至出苗期日均最高温度高于棉苗适宜生长的上限温度有关<sup>[16]</sup>。另有研究表明，在传统漫灌条件下，棉花出苗期间土壤含水量与出苗时间、出苗率的关系均呈显著的二次函数关系，土壤湿度越大，出苗越快，出苗率越高；温度对出苗率无明显影响，这可能传统漫灌条件下，土壤水分难以人为控制，适宜的土壤水分是棉花出全苗的关键因素<sup>[21]</sup>。膜下滴灌棉花普遍采用滴水出苗技术，依据播种前气温及土壤温度的变化确定播种日期，进行适期播种是提高出苗率和培育壮苗的有效途径<sup>[22]</sup>。依据本试验结果，播种前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度稳定达到 17.6℃—18.7℃，平均气温在 13.8℃—15.7℃，出苗率达到 90%以上；根据近 10 年气象资料统计，出苗率达到 90%以上的适宜播种日期在 4 月 7 日至 4 月 15 日。

3.2 适温早播是新疆膜下滴灌棉花培育壮苗的关键

棉花适宜温度条件下播种，种子萌发势强、苗齐、根系发达，是培育壮苗的重要措施之一<sup>[23]</sup>。本研究表明，膜下滴灌播种前 3 d 膜下 5 cm 土壤平均温度 9.5℃（4 月 8 日）条件下播种，棉花出苗至 3 叶期株高、

地上部干物质累积量较低,但根系生物量却显著增加,而 22.2℃—24.7℃晚播(4月22日至4月29日)条件下,出苗至3叶期根系生物量累积最少,这可能由于播种出苗后温度上升较快,引起幼苗地上部旺长,导致棉花根系生长发生适应性变化,根系生长量显著下降。根系是植物吸收水分和养分的重要器官,是苗期植株生长的中心<sup>[24]</sup>。一般情况下,棉花壮苗长相为茎秆粗壮、出叶速度快、根系健壮<sup>[25]</sup>;早播种低温不利于棉花地上干物质累积,但对根系生长的影响较小<sup>[15,17]</sup>。本试验结果表明,播前3 d膜下5 cm土壤平均温度达到9.5℃条件下播种,出苗期间膜下5 cm土壤平均温度17.3℃以上,地上干物质累积量虽然较小,但根冠比较大,有利于根系生长<sup>[15]</sup>;随着播期的推迟、气温升高,棉花地上部生长较旺;土壤平均温度24.7℃晚播条件下,单位株高幼苗地上干重较高,有利于幼苗地上部生长,但不利于根系生长<sup>[16,26]</sup>;与早播棉株相比,晚播棉株根冠比、单位株高的干物质重显著降低,植株茎秆细长<sup>[15-16]</sup>。对不同温度条件下播种棉花产量的调查表明,早播(播种前3 d土壤温度9.5℃播种)虽然出苗率不高,但保苗率相对较高,在较低温度下由于根系生长较快,植株早发<sup>[8]</sup>,单株结铃数增多,生育后期有效积温较高,单铃重提高,籽棉产量增加<sup>[27]</sup>。因此,适期早播是实现棉花高产的必要条件,是提高单产最重要的措施之一。

## 4 结论

播前3 d平均气温稳定通过13.8℃—15.7℃、膜下5 cm土壤温度在17.6℃—18.7℃播种,播种后1周平均气温在16℃—18℃,出苗率可达90%以上;根据近10年气象数据,4月7—15日播种是保全苗的最适宜时期。播种前3 d土壤温度9.5℃条件下早播,棉花出苗至3叶期平均气温18.5℃—19.5℃,幼苗子叶节高度适中,地上部单位株高的干物质累积量较大,根系粗壮,根冠比较大,利于形成壮苗。因此,适期早播是提高棉花单产最重要的措施之一。

## References

- [1] 易福华. 地膜内由温度梯度引起的土壤水分运动及其应用. 中国农业科学, 1988, 21(1): 27-32.  
YI F H. Water movement in soils covered with plastic film due to temperature gradients and its application in crop production. *Scientia Agricultura Sinica*, 1988, 21(1): 27-32. (in Chinese)
- [2] 董忠义, 冯永平, 苏彩虹. 旱地棉花高产稳产抗逆栽培技术研究.

- 干旱地区农业研究, 1996, 4(4): 40-46.
- DONG Z Y, FENG Y Q, SU C H. Research on anti-reversibility cultivation technique of high-and stable-yielding cotton in rainfed land. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1996, 4(4): 40-46. (in Chinese)
- [3] 徐飞鹏, 李云开, 任树梅. 新疆棉花膜下滴灌技术的应用与发展的思考. 农业工程学报, 2003, 19(1): 25-27.  
XU F P, LI Y K, REN S M. Investigation and discussion of drip irrigation under mulch in Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003, 19(1): 25-27. (in Chinese)
- [4] 张永玲, 王兴鹏, 肖让, 丁强强. 干播湿出棉田土壤温度及水分对出苗率的影响. 节水灌溉, 2013(10): 11-13.  
ZHANG Y L, WANG X P, XIAO R, DING Q Q. Impacts of drip irrigation under mulch with dry sowing and wet seedling on soil temperature, water content and seedling emergence rate of cotton. *Water Saving Irrigation*, 2013(10): 11-13. (in Chinese)
- [5] MOHAMMED O E, AHMED N E, ENEJI A E, MA Y Q, ALI M, INANAGA S, SUGIMOTO Y. Effect of sowing dates on the incidence of bacterial blight and yield of cotton. *Basic & Applied Ecology*, 2003, 4(5): 433-440.
- [6] HUANG J, FENG J. Effects of climate change on phenological trends and seed cotton yields in oasis of arid regions. *International Journal of Biometeorology*, 2015, 59(7): 877-888.
- [7] LYONS J M. Chilling injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 1973, 24(1): 445-466.
- [8] BOLEK Y, NAS M N, COKKIZGIN H. Hydropriming and hot water-induced heat shock increase cotton seed germination and seedling emergence at low temperature. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 2013, 37(3): 300-306.
- [9] COKKIZGIN, HATICE, BÖLEK Y. Priming treatments for improvement of germination and emergence of cotton seeds at low temperature. *Plant Breeding & Seed Science*, 2015, 71(1): 121-134.
- [10] NABI G, MULINS C E. Soil temperature dependent growth of cotton seedlings before emergence. *Pedosphere*, 2008, 18(1): 54-59.
- [11] AOU-OUAD H E, MEDRANO H, LAMARTI A, GULIAS J. Seed germination at different temperatures and seedling emergence at different depths of *Rhamnus spp.* *Central European Journal of Biology*, 2014, 9(5): 569-578.
- [12] 高云光, 饶翠婷, 贺海燕, 郭仁松, 武辉, 魏红国, 赵强, 张巨松. 铃期温度对不同棉花品种棉铃发育过程及纤维比强度的影响. 棉花学报, 2010, 22(6): 580-585.  
GAO Y G, RAO C T, HE H Y, GUO R S, WU H, WEI H G, ZHAO Q, ZHANG J S. Regulation effect of temperature on the boll dates for

- boll development and fiber strength. *Cotton Science*, 2010, 22(6): 580-585. (in Chinese)
- [13] PETTIGREW W T. Improved yield potential with an early planting cotton production system. *Agronomy Journal*, 2002, 94(5): 997-1003.
- [14] KILLI F, BOLEK Y. Timing of planting is crucial for cotton yield. *Acta Agriculture Scandinavia*, 2006, 56(2): 155-160.
- [15] BOQUET D J, CLAWSON E L. Cotton planting date: Yield, seedling survival, and plant growth. *Agronomy Journal*, 2009, 101(5): 1123-1130.
- [16] 张立祯, 曹卫星, 张思平, 罗卫红. 基于生理发育时间的棉花生育期模拟模型. *棉花学报*, 2003, 15(2): 97-103.
- ZHANG L Z, CAO W X, ZHANG S P, LUO W H. Simulation model for cotton development stages based on physiological development time. *Cotton Science*, 2003, 15(2): 97-103. (in Chinese)
- [17] NUTI R C, VIATOR R P, CASTEEL S N, EDMISTEN K L, WELLS R. Effect of planting date, mepiquat chloride, and glyphosate application to glyphosate-resistant cotton. *Agronomy Journal*, 2006, 98(6): 1627-1633.
- [18] DEOL J S, KAUR R, BRAR Z S. Growth and yield of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by sowing dates and plant spacings. *Environment Ecology*, 2011, 29: 1886-1888.
- [19] 史俊东, 李新民, 辛永红, 张建诚, 许爱玲. 低温持续期与低温强度对棉花种子发芽率的影响. *北京农业*, 2014(21): 5-6.
- SHI J D, LI X M, XIN Y H, ZHANG J C, XU A L. Effects of low temperature duration and intensity to germination rate of cotton. *Beijing Agriculture*, 2014(21): 5-6. (in Chinese)
- [20] 王延琴, 杨伟华, 周大云, 许红霞, 冯新爱, 夏俊英. 棉子营养成分与发芽率及出苗率的关系. *棉花学报*, 2003, 15(2): 109-112.
- WANG Y Q, YANG W H, ZHOU D Y, XU H X, FENG X A, XIA J Y. Study on the relationships between the nutrient of cottonseed and germination and emergence percentage. *Cotton Science*, 2003, 15(2): 109-112. (in Chinese)
- [21] ZHENG G H. Physiological, biochemical and ultrastructural aspects of imbibitional chilling injury in seeds. *Seed Science Research*, 1991, 1(2): 127-134.
- [22] 马树庆, 王琪, 于海, 徐丽萍, 张铁林, 纪玲玲. 东北地区玉米出苗速度与水热条件的关系及出苗期气象评估. *生态学杂志*, 2013, 32(8): 2049-2055.
- MA S Q, WANG Q, YU H, XU L P, ZHANG T L, JI L L. Maize emergence speed and its relationships with water and heat conditions in Northeast China and meteorological assessment of the maize emergence period. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(8): 2049-2055. (in Chinese)
- [23] VANDELOOK F, ASSCHE J A V. Temperature requirements for seed germination and seedling development determine timing of seedling emergence of three monocotyledonous temperate forest spring geophytes. *Annals of Botany*, 2008, 102(5): 865-875.
- [24] 杨威, 朱建强, 吴启侠, 王曾桢, 杜世勇. 涝害和高温下棉花苗期的生长生理代谢特征. *农业工程学报*, 2015, 31(22): 98-104.
- YANG W, ZHU J Q, WU Q X, WANG Z Z, DU S Y. Growth and physiological metabolism characteristic of cotton seedlings under combination of waterlogging and heat stress. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(22): 98-104. (in Chinese)
- [25] 卢合全, 代建龙, 李振怀, 李维江, 徐士振, 唐薇, 张冬梅, 孔祥强, 罗振, 辛承松, 董合忠. 出苗期遇雨对不同播种方式棉花出苗及产量的影响. *中国农业科学*, 2018, 51(1): 60-70.
- LU H Q, DAI J L, LI Z H, LI W J, XU S Z, TANG W, ZHANG D M, KONG X Q, LUO Z, XIN C S, DONG H Z. Effects of rainfall at emergence on stand establishment and yield of cotton under different seeding patterns. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(1): 60-70. (in Chinese)
- [26] 陈冠文, 张旺峰, 郑德明, 毕显杰, 杨仁碧, 刘梅, 马丽. 棉花超高产理论与苗情诊断指标的初步研究. *新疆农垦科技*, 2007(3): 18-20.
- CHEN G W, ZHANG W F, ZHENG D M, BI X J, YANG R B, LIU M, MA L. A preliminary study on the theory of cotton super high yield and the index of seedling diagnosis. *Xinjiang Farmland Science and Technology*, 2007(3): 18-20. (in Chinese)
- [27] WRATHER J A, PHIPPS B J, STEVENS W E, PHILLIPS A S, VORIES E D. Cotton planting date and plant population effects on yield and fiber quality in the Mississippi delta. *Journal of Cotton Science*, 2008, 12(1): 1-7.

(责任编辑 杨鑫浩)