



## 播期推迟对棉花根系生长发育特征及产量的影响

张超<sup>1</sup>, 张鹏<sup>1</sup>, 杨喆<sup>2</sup>, 孙红春<sup>1</sup>, 祝令晓<sup>1</sup>, 张科<sup>1</sup>, 张永江<sup>1</sup>,白志英<sup>1</sup>, 刘连涛<sup>1\*</sup>, 李存东<sup>1\*</sup>

(1. 省部共建华北作物改良与调控国家重点实验室/农业农村部华北节水农业重点实验室/河北省作物生长调控实验室/河北农业大学农学院, 河北保定 071001; 2. 保定市农业农村局种子工作站, 河北保定 071001)

**摘要:**【目的】研究推迟播期对棉花根系生长发育特征和产量的影响,为黄河流域棉区棉花适期播种提供依据。

【方法】2022–2023年在河北农业大学威县试验站开展田间试验,设置常规播期(4月15日)和推迟播期(5月1日)2个处理,分析推迟播期对棉花品种冀农大23号的根系分布、根系生长速率、根冠比、干物质积累量和产量等的影响。【结果】与常规播期相比,推迟播期条件下,棉花根系长度和生物量的最大增长速率分别增加 $2.92\sim 5.35\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.40\sim 0.76\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ ;深层土壤中棉花根系占比提高,其中30~60 cm土层根系长度占比和根系生物量占比分别增加2.99~3.55个百分点和3.94~4.42个百分点;生育后期棉株地上部干物质积累量和根冠比无明显差异;根系载荷能力显著降低6.43%~17.69%;2022年籽棉产量无显著差异,2023年单位面积铃数和籽棉产量分别显著增加9.72%和7.66%。相关分析表明,0~60 cm土层根长密度、0~60 cm土层根系生物量密度、根系生物量最大增长速率和30~60 cm土层根系长度占比均与籽棉产量极显著正相关。【结论】黄河流域棉区推迟播期(5月1日)可通过提高棉花根系生长速率、深层土壤中根系长度和根系生物量的占比,增强根系吸收功能以保障地上部干物质的积累,促进棉花高产。

**关键词:**棉花;推迟播种;根系;根长;生物量;根冠比;产量

## Effect of delayed sowing on root growth and development characteristics and yield in cotton

Zhang Chao<sup>1</sup>, Zhang Peng<sup>1</sup>, Yang Zhe<sup>2</sup>, Sun Hongchun<sup>1</sup>, Zhu Lingxiao<sup>1</sup>, Zhang Ke<sup>1</sup>, Zhang Yongjiang<sup>1</sup>, Bai Zhiying<sup>1</sup>, Liu Liantao<sup>1\*</sup>, Li Cundong<sup>1\*</sup>

(1. State Key Laboratory of North China Crop Improvement and Regulation/Key Laboratory of North China Water-saving Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Crop Growth Regulation of Hebei Province/College of Agronomy, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China; 2. Seed Workstation, Baoding Agriculture and Rural Affairs Bureau, Baoding, Hebei 071001, China)

**Abstract:** [Objective] This research aims to study the effects of delayed sowing on cotton root growth and development characteristics and yield, so as to provide a basis for the timely sowing of cotton in the cotton planting area of the Yellow River Basin. [Methods] A field experiment was carried out at Weixian Experimental Station of Hebei Agricultural University from 2022 to 2023. Two treatments were set as conventional sowing date (15 April) and delayed sowing date (1 May). And the effects of delayed sowing on the root distribution, root growth rate, root-shoot ratio, dry matter accumulation, and yield of a cotton variety Jinongda 23 were analyzed. [Results] Compared with the conventional sowing date, under the delayed sowing condition, the maximum growth rate of cotton root length and root biomass increased by  $2.92\sim 5.35\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$  and  $0.40\sim 0.76\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ , respectively. The proportion of cotton roots in deep soil increased, with root length and biomass in the 30–60 cm soil layer increased by 2.99–3.55 percentage points and 3.94–4.42 percentage points, respectively. There was no obvious difference in aboveground biomass and root-shoot ratio in the late growth stage of cotton. The boll capacity of root system significantly decreased by 6.43%–17.69%. There was no significant difference in seed cotton yield in 2022. In 2023, the number of bolls per

收稿日期: 2024-02-19 第一作者简介: 张超(1998–),男,硕士研究生,18733902790@163.com。\*通信作者: 刘连涛, liultday@126.com; 李存东, nxyld@hebau.edu.cn

基金项目: 河北省现代棉花产业技术体系(HBCT2023070207); 国家自然科学基金(32272220; 32172120)

unit area and seed cotton yield increased significantly by 9.72% and 7.66%, respectively. Correlation analysis showed that root length density in 0-60 cm soil layer, root biomass density in 0-60 cm soil layer, maximum growth rate of root length, and the proportion of root length in 30-60 cm soil layer are extremely significantly correlated with seed cotton yield. [Conclusion] Delaying the sowing date (1 May) in cotton planting area of the Yellow River Basin can enhance the absorption function of cotton roots by increasing the growth rate of roots, the proportion of root length and biomass in deep soil layers, so as to ensure the accumulation of aboveground dry matter and promote the high yield of cotton.

**Keywords:** cotton; delayed sowing; root system; root length; biomass; root-shoot ratio; yield

棉花广泛种植于 150 多个国家<sup>[1]</sup>,是世界上重要的经济作物。适宜的播期是其免受灾害、充分利用光热资源的关键<sup>[2]</sup>。黄河流域棉区多采用适当早播促发的传统栽培模式,但棉花易遭遇倒春寒等灾害,危害种子萌发,影响棉苗长势。根系是植物吸收、转运水分和营养物质的重要器官<sup>[3]</sup>,影响地上部性状及产量<sup>[4]</sup>。在推迟播期条件下,温度较高,利于培育壮苗,促进棉花生长发育,不降低籽棉产量<sup>[5]</sup>,这可能与根系发育密切相关。

合理的播期通过改变棉花生长的光温环境,有效调控棉花生长发育,实现稳产高产<sup>[6-8]</sup>。目前,黄河流域传统的播期一般为 4 月中旬,此条件下虽然可以延长棉花的生育期,促进棉株更加充分地利用光温资源,但同时棉苗易受低温危害,造成缺苗及弱苗现象<sup>[9]</sup>,严重影响棉花的正常生长发育,不利于棉花高产。适当推迟播期可使棉花处于更加有利的生长环境中,有效避免低温对棉苗的伤害,但不可过晚。董灵艳等<sup>[10]</sup>在黄河流域的研究表明,播期推迟到 5 月 12 日,棉花因不能有效利用光温资源,从而引起产量下降。黄河流域棉区的其他研究表明,播期从 4 月 22 日推迟到 4 月 30 日棉花产量并未显著下降,说明适当推迟播期并不是必然导致产量降低,这主要是因为推迟播期改善了群体冠层结构,增加了第一果枝节位高度,利于增强棉株下部通风透光性,减少烂铃<sup>[11]</sup>,同时还能延缓叶片衰老<sup>[3]</sup>,延长光合作用时间,为棉铃和纤维发育提供更多的光合产物<sup>[12]</sup>,利于稳定产量;另外,推迟播期条件下的温度变化可能会影响根系的生长发育,根系作为植物与土壤“交流”的介质<sup>[13]</sup>,其在土壤中的数量和分布直接决定作物的生产能力。不同的播期条件下,棉花所处的光温环境有所不同,根系直径、根系表面积以及根系生物量和根长密度在土壤中的分布也会发生改变<sup>[14]</sup>。因此,探究不同播期条件下根

系的生长发育特征,对于黄河流域棉区确定合理的播期具有重要参考意义。

前人研究发现,黄河流域棉花播期推迟至 4 月底或 5 月初不会导致产量降低,并探索了植株地上部发育特性对播期推迟的响应特征<sup>[5]</sup>,但对推迟播期条件下棉花根系的变化特征则较少关注。因此,本研究从根系分布特征、变化规律及根冠关系入手,探究推迟播种对棉花根系发育特征和产量的影响。针对黄河流域的常规栽培模式,我们设置了常规播期(4 月 15 日)和推迟播期(5 月 1 日)处理,探索棉花生长发育过程中根系的分布特征及变化规律,解析根系变化特征对棉株发育及产量的影响,为黄河流域棉区棉花适期播种提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2022—2023 年在河北农业大学威县试验站(115°27'E, 36°56'N)进行。该地区为温带季风气候区。2022 年和 2023 年棉花生长季(4 月 15 日—10 月 15 日)的降水量分别为 530.0 mm 和 586.1 mm,2 年棉花生长季内的日平均气温和降水量见图 1(气象数据来自当地气象站)。土壤质地为壤土,中等肥力,含全氮 0.88 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 61.62 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 18.7 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 144.66 mg·kg<sup>-1</sup>、有机质 9.3 g·kg<sup>-1</sup>。

试验品种选用冀农大 23 号。采用随机区组试验,设置常规播期(4 月 15 日, S<sub>4/15</sub>)和推迟播期(5 月 1 日, S<sub>5/1</sub>)2 个处理。8 行区,76 cm 等行距种植,每个小区长 10 m。种植密度为 9 万株·hm<sup>-2</sup>。各处理施纯氮 240 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 105 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 105 kg·hm<sup>-2</sup>,其中氮肥分 2 次施入(基施 60%,初花期追施 40%),磷肥和钾肥一次性基施。每个小区重复 3 次,其他田间管理措施同当

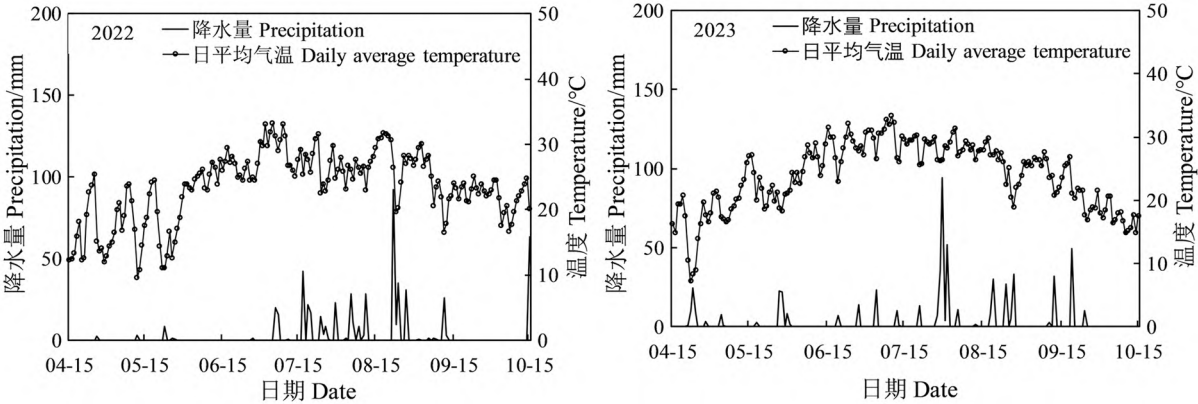


图 1 2022 年和 2023 年棉花生长季的日平均气温和降水量

Fig. 1 Daily average temperature and precipitation during cotton growing seasons in 2022 and 2023

地高产棉田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 根系长度和生物量及其密度。在播种后 30 d、50 d、70 d、90 d 和 120 d,在每个小区选取 5 株代表性的棉株进行根系取样。在距离主茎植株 10 cm(行间)的位置使用根钻(直径 7 cm)进行取样<sup>[15]</sup>,垂直方向上最大深度为 60 cm,每层 10 cm(图 2)。将取回的根样冲洗擦干后,使用扫描仪(EPSON Expression 10000XL)成像,用根系分析软件(WinRhizo REG 2009,加拿大)获取根系表型信息(根系长度),并进一步计算根长密度。将扫描后的根系于 80 °C 烘箱中烘干至质量恒定,测定根系生物量(干物质质量),计算根系生物量密度,公式如下。

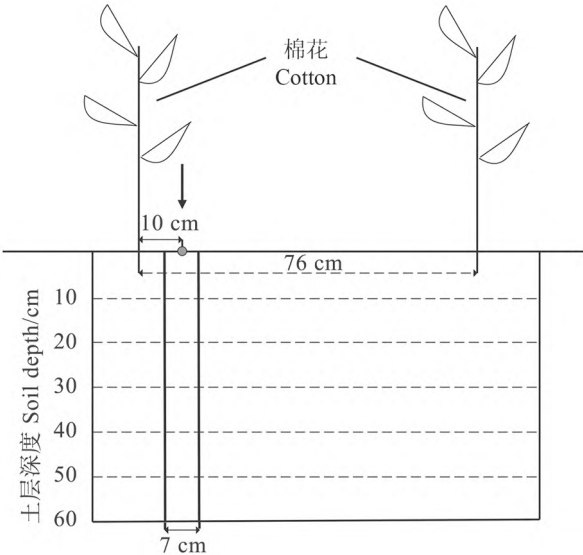


图 2 棉田根系取样空间分布

Fig. 2 Spatial layout of cotton root sampling in the field

根长密度( $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ )= $\frac{\text{根系长度}}{\text{土壤体积}}$  (1)

根系生物量密度( $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$ )= $\frac{\text{根系生物量}}{\text{土壤体积}}$  (2)

1.2.2 根系长度和生物量的动态。使用逻辑斯谛(logistic)模型模拟 0~60 cm 土层棉花根系长度和根系生物量的动态变化:

$$Y=\frac{K}{1+ae^{-bt}}$$
 (3)

式中, $t$  (d) 是播种后天数, $Y$  是  $t$  时的根系长度(cm)或根系生物量(mg), $K$  是根系长度或根系生物量的理论最大值, $a$  和  $b$  是常数。

$$V_m=Kb/4$$
 (4)

$$t_1=\frac{a-\ln(2+\sqrt{3})}{-b}$$
 (5)

$$t_2=\frac{a+\ln(2+\sqrt{3})}{-b}$$
 (6)

$$\Delta t=t_2-t_1$$
 (7)

式中, $V_m$  是根系长度或根系生物量增长的最大速率, $t_1$  和  $t_2$  分别是根系长度或根系生物量快速增长的开始时间和结束时间, $\Delta t$ (d)为根系长度或根系生物量快速增长期的持续时间。

1.2.3 干物质积累量、根冠比和根系载荷能力。 $S_{4/15}$  处理在 5 月 15 日、6 月 4 日、6 月 24 日、7 月 14 日、7 月 30 日、8 月 13 日和 8 月 29 日, $S_{5/1}$  处理处理在 5 月 31 日、6 月 20 日、7 月 10 日、7 月 30 日、8 月 13 日和 8 月 29 日,每个小区选取 5 株具有代表性的植株,于子叶节处分为地上部和地下部,地上部又分为营养器官和生殖器官



(蕾花铃),分别装入牛皮纸袋,于 105 ℃烘箱中杀青 30 min 后,在 80 ℃条件下烘干至质量恒定,测定干物质质量。以地下部干物质质量与地上部干物质质量之比计算根冠比,并计算根系载荷能力。

$$\text{根系载荷能力} = \frac{\text{单位面积生殖器官生物量}}{\text{单位面积根系生物量}} \quad (8)$$

**1.2.4 产量及其构成因素。**棉花完全吐絮后,每个小区选取中间 2 行(长 10 m)的全部棉株,记录铃数,计算单位面积铃数。将收获的棉花风干至含水量小于 12%时测定铃重。随后进行轧花,计算衣分。根据单位面积铃数和铃重计算籽棉产量。

### 1.3 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2019 整理数据,每个数

据以 5 个重复的平均值表示。采用 SPSS 22 软件进行统计分析,所有数据均采用单因素方差分析,用邓肯氏新复极差法进行差异显著性分析。使用 DPS 7.05 拟合 logistic 方程。采用 Origin 2021 绘制等高线图、折线图、柱状图和相关性热图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同播期处理下棉花生长季内日平均气温的变化

推迟播期处理下棉花生长季内日平均气温的平均值比常规播期高(表 1)。2022 年推迟播期( $S_{5/1}$ )处理下,日平均气温的平均值较常规播期( $S_{4/15}$ )处理提高 0.7 ℃,气温变异系数降低 2.66 百分点;2023 年推迟播期处理下,日平均气温的最低值和日平均气温的平均值分别提高 7.6 ℃和 0.8 ℃,气温变异系数降低 3.46 百分点。

表 1 不同播期处理下棉花生长季内的日平均气温

Table 1 Mean daily air temperature during cotton growing season under different sowing dates

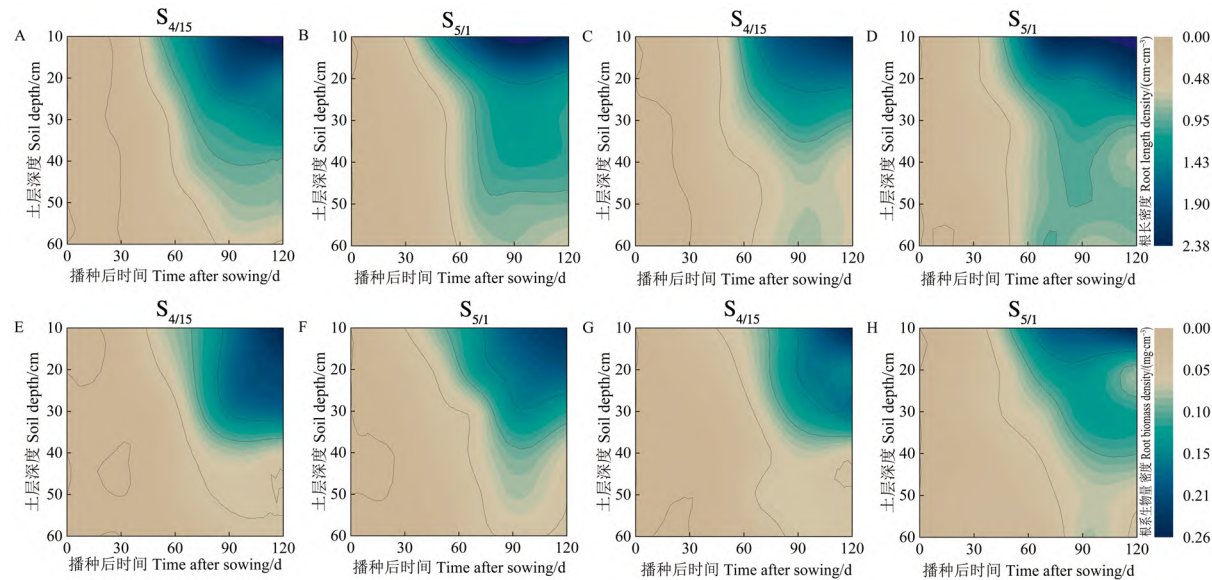
年份 Year	处理 Treatment	最大值 Maximum/℃	最小值 Minimum/℃	平均值 Mean/℃	变异系数 Coefficient of variation/%
2022	$S_{4/15}$	33.3	9.6	23.5	22.56
	$S_{5/1}$	33.3	9.6	24.2	19.90
2023	$S_{4/15}$	33.4	7.2	23.9	22.11
	$S_{5/1}$	33.4	14.8	24.7	18.65

### 2.2 推迟播种对棉花根长密度和根系生物量密度分布的影响

推迟播种增加了深层土壤中的根长密度和根系生物量密度(图 3)。2022 年  $S_{4/15}$  处理下根系长度主要分布在 0~50 cm 土层,50~60 cm 土层的根系长度分布较少; $S_{5/1}$  处理下根系长度在 50~60 cm 土层中的分布较  $S_{4/15}$  处理有所增加(图 3A~B)。2023 年根系长度分布与 2022 年略有不同, $S_{4/15}$  处理下根系长度主要分布在 0~40 cm 土层, $S_{5/1}$  处理的根系长度在 40~60 cm 土层中的分布较  $S_{4/15}$  处理明显增加(图 3C~D)。此外,2022 年和 2023 年  $S_{4/15}$  处理下根系生物量主要分布在 0~40 cm 土层,40~60 cm 土层分布较少, $S_{5/1}$  处理下 40~60 cm 土层的根系生物量密度较  $S_{4/15}$  处理明显增加(图 3E~H)。

推迟播种增加了较深土层中的根系长度占

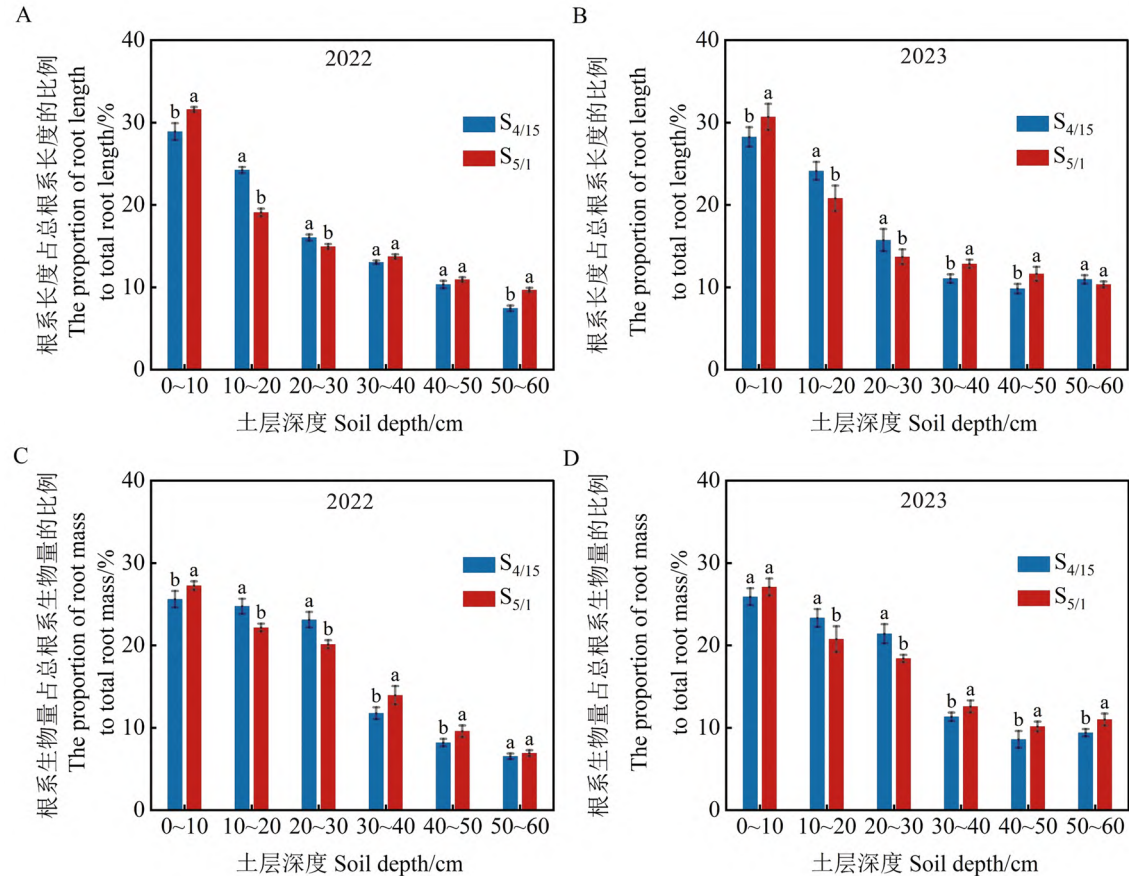
比和根系生物量占比(图 4)。当根系长度达到最大时,2022 年和 2023 年  $S_{5/1}$  处理的总根系长度较  $S_{4/15}$  处理分别增加 6.89%( $P<0.05$ ) 和 6.33% ( $P<0.05$ )。同时播期还显著影响不同土层棉花根系长度占比。2022 年,与  $S_{4/15}$  处理相比, $S_{5/1}$  处理 0~10 cm 土层的根系长度占比显著增加 2.70 百分点;10~20 cm、20~30 cm 土层的根系长度占比分别显著降低 5.15 百分点和 1.09 百分点;50~60 cm 土层根系长度占比显著增加 2.24 百分点。2023 年的结果与 2022 年略有不同,与  $S_{4/15}$  处理相比, $S_{5/1}$  处理 0~10 cm 土层的根系长度占比显著增加 2.44 百分点;10~20 cm、20~30 cm 土层的根系长度占比分别显著降低 3.34 百分点和 2.03 百分点;30~40 cm 和 40~50 cm 土层根系长度占比分别显著增加 1.79 百分点和 1.80 百分点。总体来看,2022 年和 2023 年, $S_{5/1}$  处理下



A, B, E 和 F 为 2022 年; C, D, G 和 H 为 2023 年。A~D 为根长密度; E~H 为根系生物量密度。  
A, B, E and F for 2022; C, D, G and H for 2023. A-D are the root length density; E-H are the root biomass density.

图 3 2022 年和 2023 年不同处理下根长密度和根系生物量密度的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of root length density and root biomass density under different treatments in 2022 and 2023



同一土层不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Different lowercase letters in the same soil layer indicate significant difference between different treatments ( $P < 0.05$ ).

图 4 2022 年和 2023 年不同土层根系长度和根系生物量占比

Fig. 4 Proportion of root length and root biomass in different soil layers of cotton in 2022 and 2023

30~60 cm 土层的根系长度占比较  $S_{4/15}$  处理分别增加 3.55 百分点和 2.99 百分点 ( $P<0.05$ )。

当根系生物量达到最大时,2022 年和 2023 年  $S_{5/1}$  处理下 0~60 cm 土层根系总生物量较  $S_{4/15}$  处理分别增加 28.81% ( $P<0.05$ ) 和 16.75% ( $P<0.05$ )。不同土层的棉花根系生物量占比也受播期的显著影响。2022 年,与  $S_{4/15}$  处理相比, $S_{5/1}$  处理下 0~10 cm 土层的根系生物量占比显著增加 1.65 百分点;10~20 cm 和 20~30 cm 土层的根系生物量占比分别显著降低 2.59 百分点和 2.99 百分点;30~40 cm 和 40~50 cm 土层根系生物量占比分别显著增加 2.18 百分点和 1.38 百分点。2023 年的结果与 2022 年略有不同,与  $S_{4/15}$  处理相比, $S_{5/1}$  处理 10~20 cm、20~30 cm 土层的根系生物量占比分别显著降低 2.58 百分点和 3.01 百分点;30~40 cm、40~50 cm 和 50~60 cm 土层根系生物量占比分别显著增加 1.25 百分点、1.57 百分点和 1.60 百分点。综上,2022 年和 2023 年, $S_{5/1}$  处理下 30~60 cm 土层的根系生物量占比

分别较  $S_{4/15}$  处理增加 3.94 百分点和 4.42 百分点。

### 2.3 推迟播种条件下棉花根系长度和根系生物量的动态变化

播期影响棉花根系长度和根系生物量的变化规律。随着生育进程的推进,0~60 cm 土层根系长度呈“慢-快-慢”的增长变化趋势,棉花生长发育前期不同播期处理下根系长度差异较为明显。 $S_{4/15}$  处理下播种时间较早,根系长度增加的起始时间较早,在 7 月中旬之前其根系长度均大于  $S_{5/1}$  处理;但因  $S_{5/1}$  处理根系长度增长速率较快,随生育进程的推进,2 个处理间根系长度的差距逐渐缩小,在 7 月下旬  $S_{4/15}$  处理和  $S_{5/1}$  处理的根系长度相近均趋于稳定(图 5A~B)。 $S_{5/1}$  处理下,较晚的播期导致 0~60 cm 土层根系生物量增长的起始时间推迟,在 7 月之前根系生物量略低于  $S_{4/15}$  处理;但因  $S_{5/1}$  处理较高的根系生物量积累速率,7 月中上旬前后 2 个处理的根系生物量相近,8 月中下旬均趋于平缓(图 5C~D)。

用 logistic 模型拟合棉花根系长度随生育进

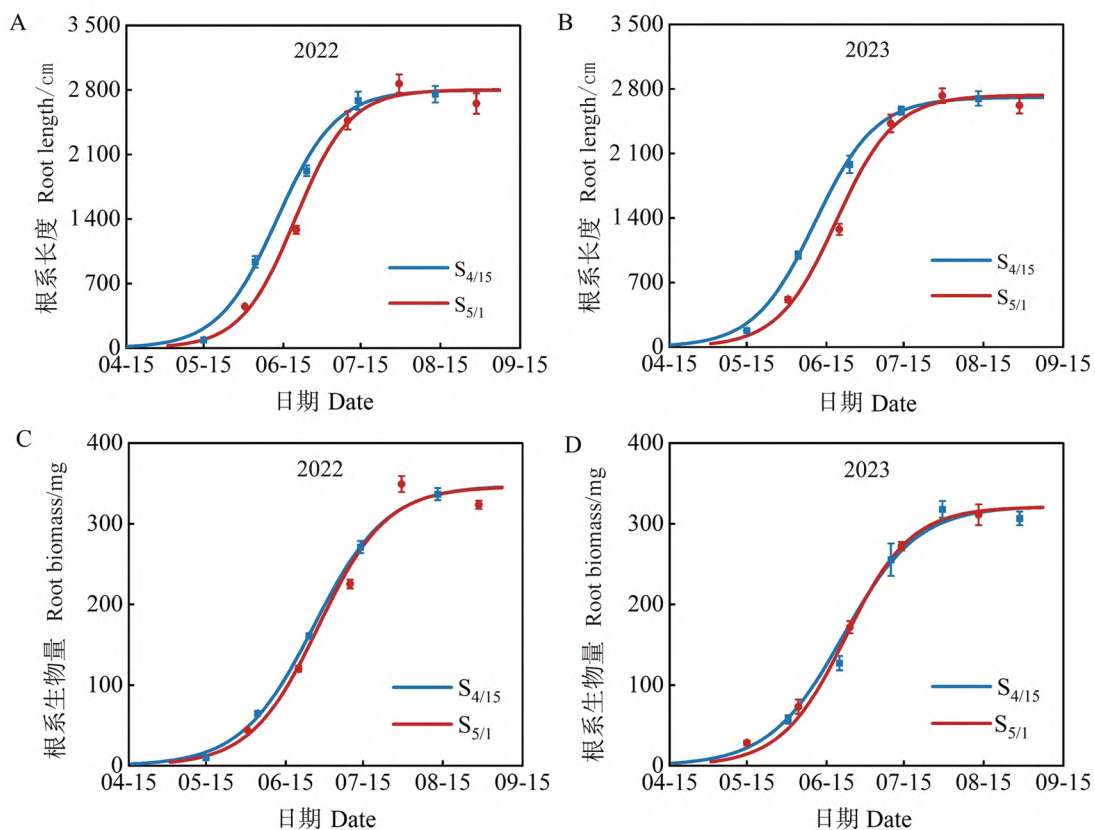


图 5 2022 年和 2023 年不同播期下 0~60 cm 土层棉花总根系长度和根系生物量的动态变化

Fig. 5 Dynamic changes of cotton total root length and root biomass in 0-60 cm soil layer under different sowing dates in 2022 and 2023





程的动态变化。2022 年,与 S<sub>4/15</sub> 处理相比,S<sub>5/1</sub> 处理下 t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 分别提前了 7.7 d 和 10.1 d,V<sub>m</sub> 增加了 5.35 cm·d<sup>-1</sup>,虽然 Δt 缩短了 2.4 d,但根系长度的理论最大值反而略有增长。2023 年与 2022

年的结果相似,S<sub>5/1</sub> 处理下 t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 分别提前 6.9 d 和 8.2 d,V<sub>m</sub> 增加 2.92 cm·d<sup>-1</sup>,Δt 缩短 1.3 d,但 S<sub>5/1</sub> 处理与 S<sub>4/15</sub> 处理的根系长度的理论最大值没有明显差异(表 2)。

表 2 Logistic 模型拟合棉花根系长度动态变化的特征值  
Table 2 Characteristic values of the dynamic change of cotton root length using the logistic model

年份 Year	处理 Treatment	方程 Equation	V <sub>m</sub> / (cm·d <sup>-1</sup> )	t <sub>1</sub> /d	t <sub>2</sub> /d	Δt/d	R <sup>2</sup>
2022	S <sub>4/15</sub>	Y=2 798.446 8/(1+5.190 2e <sup>-0.087 210x</sup> )	61.01	44.4	74.6	30.2	0.994 3
	S <sub>5/1</sub>	Y=2 803.068 5/(1+4.790 0e <sup>-0.094 703x</sup> )	66.36	36.7	64.5	27.8	0.986 5
2023	S <sub>4/15</sub>	Y=2 709.467 3/(1+4.846 1e <sup>-0.084 545x</sup> )	57.27	41.7	72.9	31.2	0.998 2
	S <sub>5/1</sub>	Y=2 733.281 1/(1+4.383 2e <sup>-0.088 086x</sup> )	60.19	34.8	64.7	29.9	0.987 8

用 logistic 模型拟合棉花根系生物量随生育进程的动态变化(表 3)。2022 年,与 S<sub>4/15</sub> 处理相比,S<sub>5/1</sub> 处理下 t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 分别提前 12.0 d 和 14.5 d,V<sub>m</sub> 增加 0.40 mg·d<sup>-1</sup>,虽然 Δt 缩短 2.5 d,但 S<sub>5/1</sub>

处理下根系生物量的理论最大值并未明显降低。2023 年与 2022 年的结果相似,S<sub>5/1</sub> 处理下 t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 分别提前 11.5 d 和 16.2 d,V<sub>m</sub> 增加 0.76 mg·d<sup>-1</sup>,Δt 缩短 4.7 d,但 S<sub>5/1</sub> 处理与 S<sub>4/15</sub> 处理的根系生物

表 3 Logistic 模型拟合棉花根系生物量动态变化的特征值  
Table 3 Characteristic values of the dynamic change of cotton root biomass using the logistic model

年份 Year	处理 Treatment	方程 Equation	V <sub>m</sub> / (mg·d <sup>-1</sup> )	t <sub>1</sub> /d	t <sub>2</sub> /d	Δt/d	R <sup>2</sup>
2022	S <sub>4/15</sub>	Y=347.583 4/(1+5.085 8e <sup>-0.070 704x</sup> )	6.14	53.3	90.6	37.3	0.999 1
	S <sub>5/1</sub>	Y=346.254 1/(1+4.439 1e <sup>-0.075 608x</sup> )	6.54	41.3	76.1	34.8	0.973 1
2023	S <sub>4/15</sub>	Y=322.011 1/(1+4.679 9e <sup>-0.069 455x</sup> )	5.59	48.4	86.3	37.9	0.998 5
	S <sub>5/1</sub>	Y=320.866 3/(1+4.236 3e <sup>-0.079 180x</sup> )	6.35	36.9	70.1	33.2	0.987 2

量的理论最大值无明显差异。

2.4 推迟播种对棉花地上部干物质积累量的影响

播期影响棉花地上部干物质积累量,但 2022 年和 2023 年的结果略有不同。2022 年,S<sub>4/15</sub> 处理下地上部干物质积累起始时间较早,7 月下旬之前其干物质积累量均高于 S<sub>5/1</sub> 处理;但因 S<sub>5/1</sub> 处理具有较大的地上部干物质积累速率,7 月下旬后表现为 S<sub>5/1</sub> 处理的地上部干物质积累量略高于 S<sub>4/15</sub> 处理。2023 年 7 月下旬之前 2 个处理的地上部干物质积累规律与 2022 年一致,但后期 2 个处理的地上部干物质积累量没有明显差异(图6)。

2.5 推迟播种对棉花根冠比和根系载荷能力的影响

推迟播种影响棉花的根冠比。5 月中旬 S<sub>4/15</sub> 处

理的根冠比较高,但随着生育进程的推进根冠比呈先快速下降后缓慢下降的趋势;6 月初至 8 月中旬,S<sub>5/1</sub> 处理的根冠比略高于 S<sub>4/15</sub> 处理;8 月之后 S<sub>4/15</sub> 处理和 S<sub>5/1</sub> 处理的根冠比趋于一致(图 7A~B)。

推迟播种显著降低棉花根系载荷能力。2022 年 7 月 30 日、8 月 13 日和 8 月 29 日 S<sub>5/1</sub> 处理的根系载荷能力较 S<sub>4/15</sub> 处理分别显著降低 17.69%、11.55 %和 8.98%。2023 年 7 月 30 日、8 月 13 日和 8 月 29 日 S<sub>5/1</sub> 处理的根系载荷能力较 S<sub>4/15</sub> 处理分别显著降低 16.25%、11.45%和 6.43%(图 7C~D)。

2.6 棉花产量及构成因素对播期的响应

播期影响棉花产量及其构成因素,但 2022 年和 2023 年播期对棉花产量及其构成因素的影响程度不同。2022 年,S<sub>5/1</sub> 处理下单位面积铃数及

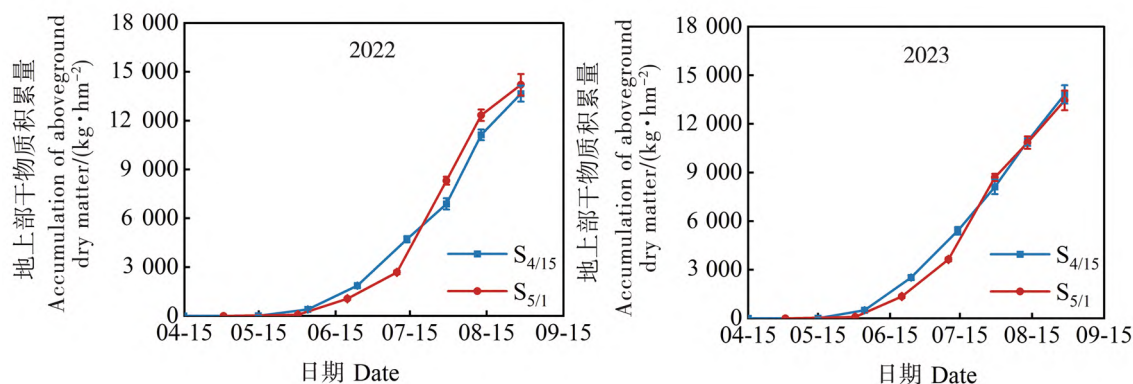
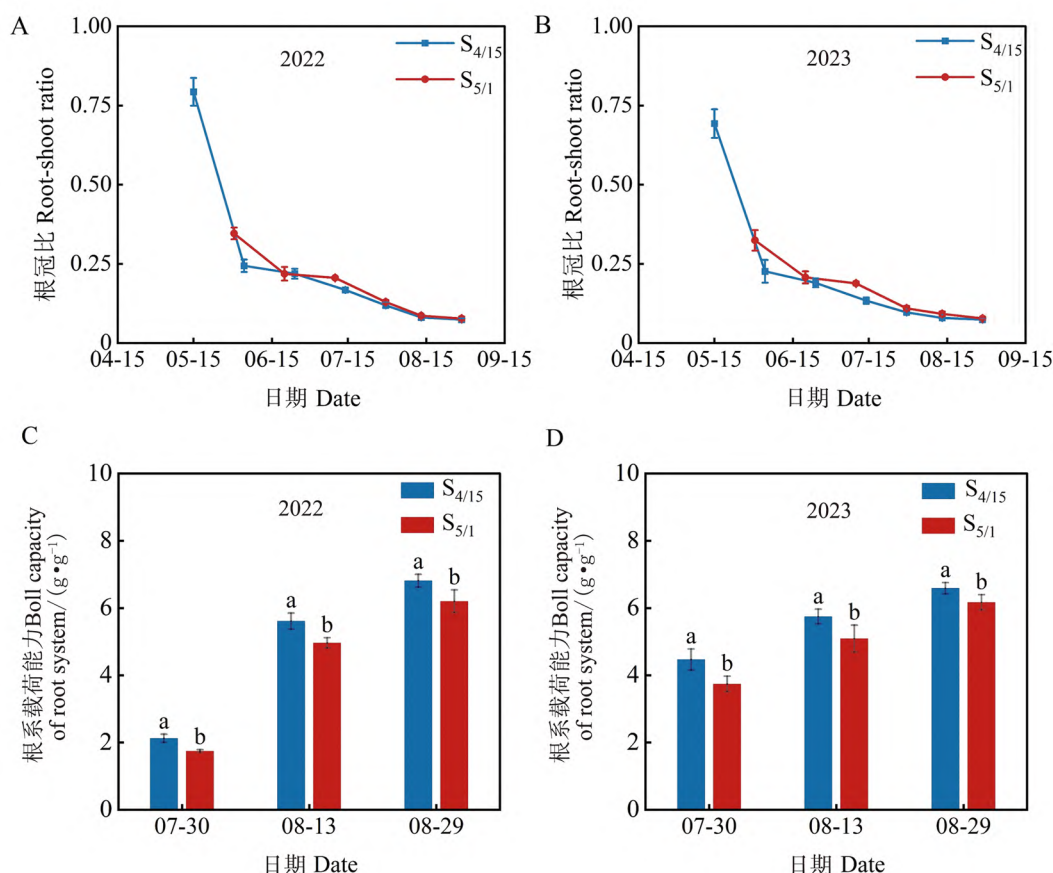


图6 播期对棉花地上部干物质积累量的影响

Fig. 6 Effect of sowing date on accumulation of aboveground dry matter of cotton



同一时期不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters at the same date indicate significant difference between different treatments ( $P < 0.05$ ).

图7 2022年和2023年播期对棉花根冠比和根系载荷能力的影响

Fig. 7 Effect of sowing dates on cotton root-shoot ratio and boll capacity of root system in 2022 and 2023

籽棉产量略高于  $S_{4/15}$  处理,但差异不显著。2023年, $S_{5/1}$  处理下单位面积铃数及籽棉产量较  $S_{4/15}$  处理分别显著提高 9.72%和7.66%。2022年和2023年播期对铃重和衣分均无显著影响(表4)。

## 2.7 测定指标的相关分析

日平均气温(average daily temperature, ADT)

与 30~60 cm 土层根系长度占比 (the proportion of cotton root length in 30 - 60 cm soil layer, PRL60) 和 30~60 cm 土层根系生物量占比 (the proportion of cotton root biomass in 30-60 cm soil layer, PRM60)呈极显著正相关关系;根系长度最大增长速率 (maximum growth rate of root





length, MRL)、根系生物量最大积累速率(maximum growth rate of root biomass, MRM)、0~60 cm 土层根系生物量密度(root biomass density in 0-60 cm soil layer, RMD60)及PRL60 均与地上部干物质积累量(accumulation of aboveground dry

matter, ADM)呈极显著正相关关系;ADT 和 0~60 cm 土层根长密度(root length density in 0-60 cm soil layer, RLD60)均与ADM 呈显著正相关关系;RLD60、ADM 与单位面积铃数(boll number per unit area, BN)呈极显著正相关关系,

表 4 2022 年和 2023 年播期对棉花产量及构成因素的影响

Table 4 Effects of sowing dates on cotton yield and its components in 2022 and 2023

年份 Year	处理 Treatment	籽棉产量 Seed cotton yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )	每平方米铃数 Number of bolls per m <sup>2</sup>	铃重 Boll weight/g	衣分 Lint percentage/%
2022	S <sub>4/15</sub>	4 491.76 ± 114.36 a	83.49 ± 4.36 a	5.38 ± 0.18 a	37.52 ± 0.14 a
	S <sub>5/1</sub>	4 608.18 ± 99.68 a	86.62 ± 4.33 a	5.32 ± 0.26 a	37.43 ± 0.12 a
2023	S <sub>4/15</sub>	4 314.91 ± 154.54 b	81.26 ± 4.22 b	5.31 ± 0.14 a	36.59 ± 1.20 a
	S <sub>5/1</sub>	4 645.24 ± 124.68 a	89.16 ± 3.74 a	5.21 ± 0.12 a	36.44 ± 0.14 a

注:数据为平均值±标准差。同列不同小写字母表示同一年份不同处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Data is mean ± standard deviation. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different treatments in the same year (P < 0.05).

MRM、RMD60 和 PRL60 均与 BN 呈显著正相关关系;MRM、RLD60、RMD60、PRL60、ADM 和 BN 均与籽棉产量呈极显著正相关关系,MRL 与籽棉产量呈显著正相关关系(图8)。

3 讨论

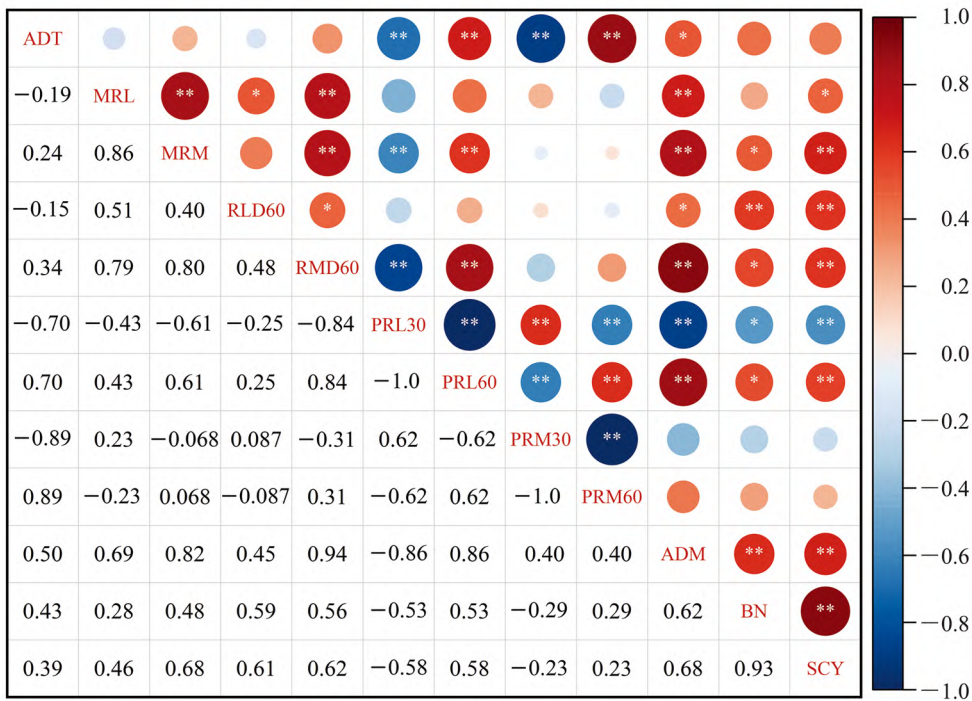
合理的播期可以调节棉花的生长发育进程,使之与适宜的季节同步,充分发挥品种优质、高产潜能,是栽培管理中的关键技术。较早播种虽然可以使棉花更加充分地利用光热资源及土壤中的水分和养分<sup>[12, 16]</sup>,但早播加大了植株遭受低温和病虫害的风险。适当推迟播期可解决上述问题。有学者认为,推迟播期可能会导致棉花生育进程不完全,不能充分利用光温资源,引起棉花产量下降<sup>[17]</sup>;但 Dong<sup>[5]</sup>和 Wang 等<sup>[11]</sup>在黄河流域的试验表明,播期从 4 月中旬推迟到 4 月底或 5 月上旬,棉花产量并没有显著降低。本试验结果也表明,播期推迟至 5 月 1 日没有降低籽棉产量,且 2023 年籽棉产量还显著提高。推迟播种条件下棉花生育期内的日平均气温的平均值高于常规播期,气温更稳定(变异系数较低),表明棉花生育期内较高且更加稳定的温度可能与产量的稳定密切相关。

播期影响棉花生物量积累速率<sup>[18]</sup>。本研究发

现,推迟播期处理下棉花地上部的生长速率更快,表现为生物量积累速率增加,使其在较短时间内获得与常规播期处理相同水平的生物量,这可能与根系的快速生长密切相关。根系与地上部是统一的整体<sup>[19]</sup>,根冠比可以反映二者的协调关系<sup>[20]</sup>。温度升高会促进根系对养分和水分的吸收,降低植株对根系生物量投入的比例,导致根冠比降低<sup>[21]</sup>。本试验结果表明,常规播期(4 月 15 日)条件下生育前期棉花的根冠比较高,说明前期较低的温度导致地上部发育缓慢<sup>[22-23]</sup>,使根冠比提高;推迟播期(5 月 1 日)处理下,播种后 30 d 根冠比明显降低,说明较高的环境温度提高了根系吸收水分和养分的能力<sup>[24]</sup>,有效促进了地上部的发育<sup>[25]</sup>。根系载荷能力可以反映根系生长与蕾铃发育的关系<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,推迟播期显著降低了根系载荷能力,这主要是因为常规播期条件下棉花在盛铃期和吐絮期根系生长减慢,而推迟播期条件下由于深层土壤根系分布的增加延缓了棉株衰老<sup>[27]</sup>,使得根系在后期仍有一定的生长,根系载荷能力有所降低。

不同播期导致的作物生育期内温度变化显著影响根系干物质积累<sup>[28-30]</sup>。低温显著降低了花椰菜幼苗的根系干物质积累量和生长速率<sup>[31]</sup>。本试验表明,推迟播期提高了根系长度增长的最大





数据为相关系数。ADT:日平均气温;MRL:根系长度最大增长速率;MRM:根系生物量最大积累速率;RLD60:0~60 cm 土层根长密度;RMD60:0~60 cm 土层根系生物量密度;PRL30:0~30 cm 土层根系长度占比;PRL60:30~60 cm 土层根系长度占比;PRM30:0~30 cm 土层根系生物量占比;PRM60:30~60 cm 土层根系生物量占比;ADM:地上部干物质积累量;BN:单位面积铃数;SCY:籽棉产量。\* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关。

The data is correlation coefficient. ADT: average daily temperature; MRL: maximum growth rate of root length; MRM: maximum growth rate of root biomass; RLD60: root length density in 0-60 cm soil layer; RMD60: root biomass density in 0-60 cm soil layer; PRL30: the proportion of cotton root length in 0-30 cm soil layer; PRL60: the proportion of cotton root length in 30-60 cm soil layer; PRM30: the proportion of cotton root biomass in 0-30 cm soil layer; PRM60: the proportion of cotton root biomass in 30-60 cm soil layer; ADM: accumulation of aboveground dry matter; BN: boll number per unit area; SCY: seed cotton yield. \* and \*\* indicate significant correlation at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

图 8 测定指标的相关分析

Fig. 8 Correlation analysis of measured indexes

速率及根系生物量增长的最大速率,弥补了快速增长期持续时间缩短带来的不足。相关分析结果显示,根系生物量最大积累速率、0~60 cm 土层根长密度和 0~60 cm 土层根系生物量密度均与单位面积铃数及籽棉产量呈显著或极显著正相关关系,这表明推迟播期处理下,较大的根系生物量增长速率、0~60 cm 土层更大的根系长度及根系生物量密度是提高单位面积铃数及籽棉产量的关键。

根系分布与土壤环境密切相关<sup>[32]</sup>。水分分布影响根系分布,在干旱土壤中根系下扎更深,深层根系分布增多<sup>[33-34]</sup>,以进一步利用深层土壤贮水,缓解水分亏缺<sup>[35]</sup>。播期也影响作物的根系分布<sup>[36]</sup>。Turman 等<sup>[37]</sup>研究发现,播期从 4 月 15 日推

迟至 5 月 19 日,大豆的最大根长显著增加,但其产量未受到显著影响。Stalham 等<sup>[38]</sup>的试验表明,推迟播期增加了马铃薯的最大生根深度。本研究发现,推迟播种显著提高了 0~60 cm 土层棉花根系总长度和总生物量,同时 30~60 cm 土层的根系长度占比、根系生物量占比均增加。这可能是因为播期推迟条件下较高的温度使得 0~10 cm 土层根系长度占比和根系生物量占比提高,增强了棉花根系在表层土壤中的竞争,促使根系下扎,以增强对深层水分和养分的吸收<sup>[39]</sup>。

根系的分布特征及增长规律直接影响棉花产量。本研究结果表明,推迟播期条件下籽棉产量较常规播期并未明显下降,这可能与根系的发育密切相关。推迟播期条件下,较高的温度提高

了根系增长速率,增加了 30~60 cm 土层的根系分布,有利于棉花对深层土壤中水分和养分的吸收利用,同时有利于协调棉花的营养生长和生殖生长以维持产量。但该试验主要针对黄河流域棉区且仅选取了 1 个供试棉花品种,推迟播期对其他棉花品种根系生长发育、产量和纤维品质的具体影响尚不明确,有待进一步研究。

#### 4 结论

本试验条件下,与正常播期(4月15日)相比,播期推迟至5月1日可提高棉花根系的生长速率,补偿根系快速增长时间缩短的不利影响;促进根系下扎,增加 30~60 cm 土层中的根系长度和根系生物量的占比,利于植株获取深层土壤中的水分和养分,促进地上部的发育,维持地上部生物量;降低根系载荷能力以协调营养器官和生殖器官的发育,最终改善了根系性状及根冠关系,促进棉花高产。

#### 参考文献:

- [1] Deeba F, Pandey A K, Ranjan S, et al. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress[J/OL]. Plant Physiology and Biochemistry, 2012, 53: 6-18[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.01.002>.
- [2] 张友昌, 黄晓莉, 胡爱兵, 等. 长江流域麦/油后直播棉花播种时间下限研究[J/OL]. 棉花学报, 2021, 33(2): 155-168[2024-02-01]. <https://doi.org/10.11963/1002-7807.zycygz.20210310>. Zhang Youchang, Huang Xiaoli, Hu Aibing, et al. Study on the limitation of late sowing date on cotton planted after wheat/rape in the Yangtze River Basin[J/OL]. Cotton Science, 2021, 33(2): 155-168[2024-02-01]. <https://doi.org/10.11963/1002-7807.zycygz.20210310>.
- [3] Boursiac Y, Protto V, Rishmawi L, et al. Experimental and conceptual approaches to root water transport[J/OL]. Plant and Soil, 2022, 478(1): 349-370[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05427-z>.
- [4] Lynch J P. Roots of the second green revolution[J/OL]. Australian Journal of Botany, 2007, 55(5): 493-512[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1071/BT06118>.
- [5] Dong H Z, Li W J, Tang W, et al. Yield, quality and leaf senescence of cotton grown at varying planting dates and plant densities in the Yellow River Valley of China[J/OL]. Field Crops Research, 2006, 98(2/3): 106-115[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.008>.
- [6] Khan A, Najeed U, Wang L S, et al. Planting density and sowing date strongly influence growth and lint yield of cotton crops[J/OL]. Field Crops Research, 2017, 209: 129-135[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.019>.
- [7] Min W, Guo H J, Zhou G W, et al. Root distribution and growth of cotton as affected by drip irrigation with saline water[J/OL]. Field Crops Research, 2014, 169: 1-10[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.002>.
- [8] McMichael B L, Upchurch D R, Burke J J. Soil temperature derived prediction of root density in cotton[J/OL]. Environmental and Experimental Botany, 1996, 36(3): 303-312[2024-02-01]. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(96\)01015-5](https://doi.org/10.1016/0098-8472(96)01015-5).
- [9] 董建李, 李霞, 代建龙, 等. 适于机械收获的棉花“晚密简”栽培技术[J/OL]. 中国棉花, 2016, 43(7): 36-38[2024-02-01]. <https://doi.org/10.11963/issn.1000-632X.201607013>. Dong Jianjun, Li Xia, Dai Jianlong, et al. A cotton cultivation system of "late planting, high plant density and simplified management" suitable for mechanical harvesting[J/OL]. China Cotton, 2016, 43(7): 36-38[2024-02-01]. <https://doi.org/10.11963/issn.1000-632X.201607013>.
- [10] 董灵艳, 史加亮, 赵文超, 等. 裸地直播下播期对德棉 16 号产量和品质的影响[J/OL]. 安徽农业科学, 2023, 51(4): 35-37[2024-02-01]. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0517-6611.2023.04.008>. Dong Lingyan, Shi Jialiang, Zhao Wenchao, et al. Effects of sowing date on yield and quality of Demian 16 with direct seeding cultivation in bare land[J/OL]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(4): 35-37[2024-02-01]. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0517-6611.2023.04.008>.
- [11] Wang X R, Hou Y R, Du M W, et al. Effect of planting date and plant density on cotton traits as relating to mechanical harvesting in the Yellow River valley region of China[J/OL]. Field Crops Research, 2016, 198: 112-121[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.010>.
- [12] Bauer P J, Frederick J R, Bradow J M, et al. Canopy photosynthesis and fiber properties of normal- and late-planted cotton[J/OL]. Agronomy Journal, 2000, 92(3): 518-523[2024-02-01]. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.923518x>.
- [13] Sun S M, Han B, Chen L, et al. Root system architecture analysis and genome-wide association study of root system architecture related traits in cotton[J/OL]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(5): 1081-1090[2024-02-01]. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2022.14067>.
- [14] Fan J L, Mcconkey B, Wang H, et al. Root distribution by depth for temperate agricultural crops[J/OL]. Field Crops Research, 2016, 189: 68-74[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.013>.



- [15] Chen J, Liu L T, Wang Z B, et al. Nitrogen fertilization increases root growth and coordinates the root-shoot relationship in cotton [J/OL]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 880[2024-02-01]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00880>.
- [16] Davidonis G H, Johnson A S, Landivar J A, et al. Cotton fiber quality is related to boll location and planting date[J/OL]. *Agronomy Journal*, 2004, 96(1): 42-47[2024-02-01]. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.4200>.
- [17] Ali H, Afzal M N, Ahmad S, et al. Effect of cultivars and sowing dates on yield and quality of *Gossypium hirsutum* L. crop [J/OL]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2009, 7 (3/4): 244-247[2024-02-01]. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-92-7-3543>.
- [18] Khan A, Najeeb U, Wang L S, et al. Planting density and sowing date strongly influence growth and lint yield of cotton crops [J/OL]. *Field Crops Research*, 2017, 209: 129-135[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.019>.
- [19] Gregory P J, Eastham J. Growth of shoots and roots, and interception of radiation by wheat and lupin crops on a shallow, duplex soil in response to time of sowing[J/OL]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1996, 47(3): 427-447[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1071/ar9960427>.
- [20] Lloret F, Casanovas C, Penuelas J. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root: shoot ratio, seed size and water and nitrogen use[J/OL]. *Functional Ecology*, 1999, 13(2): 210-216[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00309.x>.
- [21] Garkoti S C, Singh S P. Variation in net primary productivity and biomass of forests in the high mountains of Central Himalaya[J/OL]. *Journal of Vegetation Science*, 1995, 6(1): 23-28[2024-02-01]. <https://doi.org/10.2307/3236252>.
- [22] Zhu J, Zhang K X, Wang W S, et al. Low temperature inhibits root growth by reducing auxin accumulation via *ARR1/12* [J/OL]. *Plant and Cell Physiology*, 2015, 56(4): 727-736[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu217>.
- [23] Poire R, Schneider H, Thorpe M R, et al. Root cooling strongly affects diel leaf growth dynamics, water and carbohydrate relations in *Ricinus communis*[J/OL]. *Plant, Cell & Environment*, 2010, 33(3): 408-417[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02090.x>.
- [24] Adebooye O C, Schmitz-Eiberger M, Lankes C, et al. Inhibitory effects of sub-optimal root zone temperature on leaf bioactive components, photosystem II (PS II) and minerals uptake in *Trichosanthes cucumerina* L. Cucurbitaceae [J/OL]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2010, 32(1): 67-73[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0379-z>.
- [25] Reddy K R, Brand D, Wijewardana C, et al. Temperature effects on cotton seedling emergence, growth, and development [J/OL]. *Agronomy Journal*, 2017, 109(4): 1379-1387[2024-02-01]. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.07.0439>.
- [26] 吴云康, 戴敬, 陈德华. 氮肥对棉花根系载铃量的效应研究[J]. *棉花学报*, 1992(2): 52-58.
- Wu Yunkang, Dai Jing, Chen Dehua. Studies on the effect of nitrogen fertilizer on boll carrying capacity of cotton roots[J]. *Cotton Science*, 1992(2): 52-58.
- [27] 王素芳, 薛惠云, 张志勇, 等. 棉花根系生长与叶片衰老的协调性[J/OL]. *作物学报*, 2020, 46(1): 93-101[2024-02-01]. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2020.94043>.
- Wang Sufang, Xue Huiyun, Zhang Zhiyong, et al. Coordination of root growth and leaf senescence in cotton[J/OL]. *Acta Agonomica Sinica*, 2020, 46(1): 93-101[2024-02-01]. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2020.94043>.
- [28] Shibasaki K, Uemura M, Tsurumi S, et al. Auxin response in *Arabidopsis* under cold stress: underlying molecular mechanisms[J/OL]. *The Plant Cell*, 2009, 21(12): 3823-3838[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1105/tpc.109.069906>.
- [29] Kiet H V, Nose A. Effects of temperature on growth and photosynthesis in the seedling stage of the sheath blight-resistant rice genotype 32R[J/OL]. *Plant Production Science*, 2016, 19(2): 246-256[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128108>.
- [30] Walne C H, Reddy K R. Temperature effects on the shoot and root growth, development, and biomass accumulation of corn (*Zea mays* L.) [J/OL]. *Agriculture*, 2022, 12(4): 443[2024-02-01]. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040443>.
- [31] Kuci H, Tafaj I, Bici B, et al. Effects of cold treatment on morphological characteristics and growth rate of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) seedlings[J/OL]. *Acta Horticulturae*, 2012(960): 219-223[2024-02-01]. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.-2012.960.31>.
- [32] Peng Y F, Yu P, Zhang Y, et al. Temporal and spatial dynamics in root length density of field-grown maize and NPK in the soil profile[J/OL]. *Field Crops Research*, 2012, 131: 9-16[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.003>.
- [33] Yasrab R, Atkinson J A, Wells D M, et al. RootNav 2.0: Deep learning for automatic navigation of complex plant root architectures[J/OL]. *GigaScience*, 2019, 8(11): giz123[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giz123>.
- [34] Seethepalli A, Guo H C, Liu X W, et al. RhizoVision Crown: an integrated hardware and software platform for root crown phenotyping[J/OL]. *Plant Phenomics*, 2020, 2020: 3074916[2024-02-01]. <https://doi.org/10.34133/2020/3074916>.
- [35] Rasmussen C R, Thorup-Kristensen K, Dresboll D B. Uptake of subsoil water below 2 m fails to alleviate drought response in deep-rooted chicory (*Cichorium intybus* L.) [J/OL]. *Plant and Soil*, 2020, 446(1): 275-290[2024-02-01]. <https://doi.org/10.1007/s11138-009-0379-z>.

- 1007/s11104-019-04349-7.
- [36] Turman P C, Wiebold W J, Wrather J A, et al. Effect of planting date and tillage system on soybean root growth[J/OL]. Journal of Plant Nutrition, 1995, 18(12): 2579-2594 [2024-02-01]. <https://doi.org/10.1080/01904169509365086>.
- [37] Turman P C, Wiebold W J, Wrather J A, et al. Cultivar and planting date effects on soybean root growth[J/OL]. Plant and Soil, 1995, 176(2): 235-241 [2024-02-01]. <https://doi.org/10.1007/bf00011787>.
- [38] Stalham M A, Allen E J. Effect of variety, irrigation regime and planting date on depth, rate, duration and density of root growth in the potato (*Solanum tuberosum*) crop[J/OL]. The Journal of Agricultural Science, 2001, 137(3): 251-270 [2024-02-01]. <https://doi.org/10.1017/S0021859601001332>.
- [39] Pierret A, Maeght J L, Clement C, et al. Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research[J/OL]. Annals of Botany, 2016, 118(4): 621-635 [2024-02-01]. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw130>.
- (责任编辑:王小璐 □ 责任校对:秦凡)

## 著作权使用说明

本刊已许可中国知网、万方数据、重庆维普、中国农业期刊集成服务平台、龙源创新数字传媒、北京世纪超星、博看期刊等数据库以数字化方式复制、汇编、发行、翻译及信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述数据库的著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议,请在投稿时说明,本刊将按作者说明处理。

《棉花学报》编辑部