



# 分期播种对黑农 84 农艺性状及适时性损失影响研究

乔金友, 张一铭, 孙 健, 赵宇博, 翟 彤, 陈海涛

(东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**为研究分期播种对大豆生长性状及适时性损失规律的影响,以确定大豆合理播种作业期和并优化大豆生产机器系统设计。以黑农 84 为供试大豆品种,采用随机区组试验法确定试验小区分布方案,在哈尔滨地区实施分期播种试验,在大豆不同生长期测试大豆株高、茎粗、产量等数据。采用最小显著性方法分析相关指标随播期的变化规律,采用回归分析方法分析大豆产量及适时性损失率随播种日期变化规律。结果表明:初苗期大豆株高、茎粗均与生长时间呈现正相关规律;在生长期中期,早期播种大豆发育速度减缓,中期播种大豆株高及茎粗显著高于其他播种处理;在收获期,早期播种的大豆株高、茎粗显著低于其他播种处理,发育极缓,单株荚数与单株粒数均随播种日期呈抛物线规律变化,大豆产量及适时性损失率规律均呈现二次函数规律变化。在本研究的试验条件下哈尔滨地区黑农 84 大豆最佳播种日期为 5 月 12 日。

**关键词:**大豆;分期播种;农艺性状;适时性损失;规律

## Effects of Sowing by Stages on Agronomic Characters and Timeliness Loss of Heinong 84

QIAO Jin-you, ZHANG Yi-ming, SUN Jian, ZHAO Yu-bo, ZHAI Tong, CHEN Hai-tao

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to study the effect of sowing by stages on soybean growth traits and the law of timely loss, determine the reasonable sowing time of soybean and optimize the design of soybean production machine system. The sowing dates experiment, using Heinong 84 soybean variety as the test material and according to the randomized group trial method to design the plots, was conducted in Harbin area. Data on soybean plant height, stem diameter and yield at different growth stages of soybean were tested. The experiment was designed to use the least significant difference to analyze the pattern of variation of relevant indicators with sowing date and to use the regression analysis to analyze the pattern of variation of soybean yield and loss of timeliness with sowing date. The results showed that both plant height and stem diameter at the early seedling stage showed a positive correlation with growth time. At mid-growth period, the growing speed of early sown soybean slowed down, and plant height and stem diameter of mid-date sown soybean were significantly higher than those of other sowing treatments. At harvest period, the height and stem diameter of early sown soybean were significantly lower than those of the other sowing treatments, and both the number of pods per plant and the number of seeds per plant showed a parabolic pattern, the soybean yield and the variation of the rate of timeliness loss both showed a quadratic curve. The proper sowing date of soybean Heinong 84 in Harbin area was May 12 under this test conditions.

**Keywords:** soybean; sowing by stages; agronomic characters; timeliness loss; regulation

据统计,截至 2020 年我国大豆产量较 2019 年增长 8.35%,但大豆自给率仅为 16%,仍不能满足我国对大豆的需求<sup>[1]</sup>。为提高大豆自给水平,2022 年中央一号文件中指出须重视大豆,并大力实施大豆和油料产能提升工程,在东北地区开展粮豆轮作。此举强化了豆科作物在北方种植结构中的比例和作用,大力推进大豆生产全程机械化,与此同时强调在进行大豆播种和收获作业时应考虑作业适时性损失的影响<sup>[2-3]</sup>。

大豆属于喜光、短日照、喜温作物,选择适宜播期可提供其生长发育所需足够的自然资源,以达到大豆高产优质的目标。已有研究认为大豆生长发

育与温度、水分、光照有关<sup>[4-5]</sup>,并明确了长春地区“小金黄一号”及“丰地黄”品种大豆的播期范围<sup>[4]</sup>。还有研究表明播期延迟致使出苗速度逐渐加快,株高、主茎节数、百粒重、单株荚数及单株粒数会呈现降低趋势,适期播种的大豆利用水热等气候资源程度最高<sup>[6-7]</sup>。小麦和燕麦分期播种试验结果也表明,适宜播期能够为作物提供最佳的生长起点及其生长所需外界环境,协调作物的营养和生殖发育,为作物高产提供有利条件<sup>[8-9]</sup>。

专家学者对适时性损失也进行了较多研究。李振卿<sup>[10]</sup>分析得到农业作业适时性损失包括农艺损失、自然损失、作业过程损失等,并建立了单、双

收稿日期:2022-09-15

基金项目:国家重点研发计划(2021YFD2000405-2);国家大豆产业技术体系专项资金(CARS-04-PS27)。

第一作者:乔金友(1969—),男,博士,教授,主要从事农业机械化生产与管理等方面的教学与科研工作。E-mail:qiaojinyou@163.com。

通讯作者:陈海涛(1962—),男,博士,教授,主要从事农业装备技术及生物质材料研究。E-mail:htchen@neau.edu.cn。

向适时性损失规律函数<sup>[11]</sup>,依据适时性费用初步确定了较佳作业期分布<sup>[12]</sup>。乔金友等<sup>[13-15]</sup>研究得到黑龙江省试验地区大豆播种和收获作业适时性损失规律,确定了该地区大豆关键作业的最佳作业日期。此外,学者还研究获得水稻<sup>[16]</sup>、小麦<sup>[17-18]</sup>及玉米<sup>[19]</sup>等作物在试验地区关键作业适时性损失规律,并建立基于适时性损失规律的非线性规划模型<sup>[17]</sup>、整数非线性规划模型<sup>[18]</sup>、混合整数线性规划模型及混合整数非线性规划模型<sup>[19]</sup>优化规模化作业区农业机器系统,使农机代耕企业与农户双方收益实现最大化。

综合上述成果发现,播期对大豆等作物农艺性状、产量影响较大,且不同区域不同作物最佳作业期有差异,适时性损失规律也不同,但关于哈尔滨地区大豆播种适时性损失方面的研究成果却鲜有报道。因此研究哈尔滨地区大豆播种时间对其农艺性状及产量的影响,进而确定播种适时性损失规律,可为确定该地区合理的大豆播种日期、建立科学的大豆栽培模式及优化大豆生产机器系统提供理论与技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验在哈尔滨市香坊区东北农业大学向阳基地(125°42' E,44°04' N,平均海拔 184 m)进行。试验地点属第一积温带,中温带大陆性季风气候,冬

季寒冷干燥,夏季温热多雨,年大于 10 °C 活动积温 2 700 °C 以上,年平均温度 3.5 ~ 4.5 °C,年降水量 400 ~ 600 mm,无霜期 135 d。土壤类型为典型黑土,土壤质地为粉质壤土(砂粒 5.3%,粉粒 68.5%,黏粒 28.9%)。

### 1.2 材料

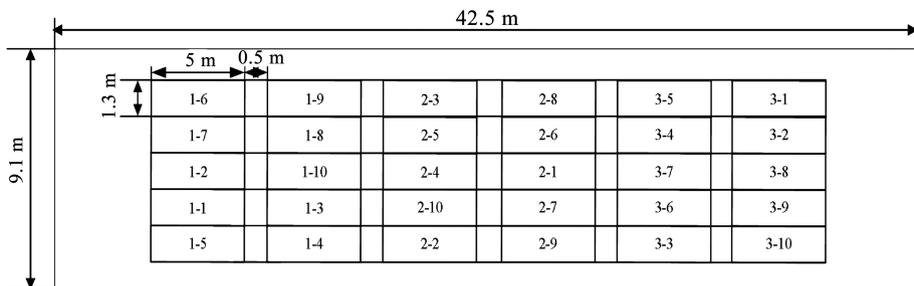
采用适宜在哈尔滨地区种植的黑农 84 大豆为供试品种,不同播期大豆均施用由鲁西化工集团股份有限公司生产的复合肥 12-18-15。

使用游标卡尺(精度 0.01 mm)测试大豆茎粗,使用钢卷尺(精度 1 mm)测试大豆株高,使用美国华智公司生产的 PTQ-A3 电子计重秤(精度 0.1 g)称量大豆籽粒质量,使用上海一恒科学仪器有限公司的 DHG-9030A 电热恒温鼓风干燥箱(精度 ±0.1 °C)烘干大豆籽粒,以计算大豆含水率。

### 1.3 试验设计

以供试品种黑农 84 在哈尔滨地区正常播种日期为基础,播期向两端延伸,确定试验于 2021 年 4 月 18 日至 5 月 24 日实施,设 10 个播期处理,每个播期日期间隔 3 d,每次播种设置 3 次重复。

共计 30 个试验小区,每个试验小区长 5 m、宽 1.3 m(两垄)。为去除边界效应,每个试验小区纵向间隔 0.5 m,试验区两端留 5 m、两侧留 1.3 m(两垄)。试验区长度 42.5 m、宽度 9.1 m,总面积 386.75 m<sup>2</sup>。依据随机区组试验原理,采用 MATLAB 编制程序确定各播期处理在试验区中的分布位置(图 1)。



注:试验小区内编号第一位数字代表试验重复次数,第二位数字代表播期序号。

Note: The first digit of the number in the test plot represents the number of test repetitions, and the second digit represents the serial number of sowing date.

图 1 大豆分期播种试验小区分布图

Fig. 1 Distribution of testing plots for soybean sowing experiment

采用垄上人工双行播种,种下施用复合肥 300 kg·hm<sup>-2</sup>,其他栽培措施及作业方式相同,确保播种日期为唯一变量。

### 1.4 测定项目及方法

1.4.1 株高、茎粗 因最晚播种日期为 5 月 24 日,为避免测试影响较晚播种大豆生长发育,确定第一次茎粗测试日期为 6 月 8 日,同时测试大豆株高;在

大豆开花结荚期后植株生长速度将变缓,故生长期大豆茎粗和株高测试结束日期为 7 月 27 日,测试起止日期内每隔 4 d 测试 1 次,若遇强降雨天气则测试日期向后顺延 1 ~ 2 d。大豆收获期(10 月 5 日)测产同时再次测定大豆株高、茎粗。为保证试验结果真实客观,每个试验小区大豆株高、茎粗重复测试 10 次。

1.4.2 产量及产量构成因素 在大豆收获期(10月5日),每个试验小区选取2 m<sup>2</sup>测试大豆产量,同时测取大豆每米成株数、单株荚数、单株粒数。为保证试验结果真实客观,每米成株数、单株荚数、单株粒数重复测试5次。测试时,待人工收割后将带荚茎秆及时装入标有对应编号网袋中,在干净坚实的地面上人工脱粒,须保证籽粒完全脱离茎秆和豆荚,脱后籽粒装入有对应编号的小网袋中。每一样本收割和脱粒后要及清理现场,保证各小区大豆籽粒不能有丢失、混淆。

在实验室测取大豆籽粒含水率、产量及百粒重。采用电子计重秤测量大豆籽粒质量,采用电热恒温鼓风干燥箱烘干大豆,采用式(1)计算不同播期的大豆籽粒含水率,采用式(2)和式(3)计算标准含水率条件下试验小区大豆产量及百粒重。

$$F = 1 - \frac{m_g}{m_r} \quad (1)$$

式中: $F$ —收获大豆籽粒含水率(%); $m_g$ —大豆测试样品烘干后的质量(g); $m_r$ —大豆测试样品实际质量(g)。

$$Y = \frac{M(1-F)}{S(1-F_b)} \times 10^4 \quad (2)$$

式中: $Y$ —标准含水率下大豆产量(kg·hm<sup>-2</sup>); $M$ —大豆实际产量(kg); $S$ —试验小区测产面积( $S=2\text{ m}^2$ ); $F_b$ —大豆标准含水率(依照GB 1352-2009, $F_b=12\%$ )。

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{m_i(1-F)}{(1-F_b)} \quad (3)$$

式中: $m$ —标准含水率下大豆百粒重(g); $m_i$ —试验小区第*i*次测取的百粒重(g); $n$ —试验小区百粒重取样次数( $n=3$ )。

1.4.3 适时性损失率 某日作业适时性损失率是该作业日期适时性损失量占最佳作业期产量的百分比,而某作业日期适时性损失量为最佳作业期产量与该作业日期产量之差。采用式(4)计算各播种日期大豆适时性损失率。

$$LR_t(\%) = \frac{L_t}{Y_{\max}} \times 100 = \frac{Y_{\max} - Y_t}{Y_{\max}} \times 100 \quad (4)$$

式中: $LR_t$ —第*t*日播种大豆适时性损失率(%); $L_t$ —第*t*日播种大豆适时性损失量(kg); $Y_{\max}$ —最佳作业日期大豆产量(kg); $Y_t$ —第*t*日播种大豆产量(kg·hm<sup>-2</sup>)。

## 1.5 数据分析

采用最小显著性差异(Least Significant Difference, LSD)方法分析各播期处理大豆株高、茎粗、每米成株数、单株荚数、单株粒数、籽粒含水率、百粒重及

产量间的差异显著性。

根据大豆产量数据变化趋势,选择变化趋势相关度较高的对数函数、逆函数、二次函数和幂函数为待定模型,采用非线性回归分析方法研究大豆产量与适时性损失率随播种日期的变化规律,采用F检验方法检验回归模型( $P=0.01$ ),并选择拟合优度 $R^2$ 较大的函数为试验地区黑农84品种大豆产量变化最优拟合函数。

采用Matlab 2020a编制随机程序确定各播期处理试验小区位置及分布;采用Excel 2019整理不同播期处理的大豆株高、茎粗、产量及产量构成因素的测试数据;采用IBM SPSS Statistics 23软件对上述数据进行LSD分析及对产量、适时性损失率进行回归分析;采用Origin 2019b直观表现整理后的大豆株高和茎粗数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 播期对大豆株高和茎粗的影响

2.1.1 株高 不同播期处理黑农84大豆初苗期、生长中期和收获期株高如表1所示。6月21日初苗期,第2期和第3期播种的大豆株高显著高于其他播种期处理,第10期播种因生长期较短,大豆株高最低,为14.87 cm,仅为第3期播种大豆株高的51.37%,表明初苗期大豆株高与生长时间呈明显正相关规律。7月27日生长中期:第6期播种大豆株高为93.58 cm,显著高于其他播种期处理;第1期(4月18日)播种大豆株高为69.09 cm,显著低于其他播种处理;第10期播种的大豆株高为83.97 cm,与第4期、第5期和第9期播种大豆株高差异显著,与第6~8期播种大豆株高差异不大,第10期播种的大豆虽生长时间相对较短,但株高增长速度较快。10月5日收获期:各播种期处理大豆株高整体略低于生长中期大豆株高;第5~9期播种大豆株高较高且无显著差异;第1~4期播种的大豆株高相对较低,第1期播种的大豆株高仅为62.77 cm,显著低于其他播种处理;第10期播种株高达92.77 cm,显著高于其他播种处理。

在前述分析基础上,选择4月18日、4月30日、5月12日和5月24日4个较典型播种日期,进一步分析各播种期处理大豆株高随测试时间的连续变化规律。由图2可知,各播种处理大豆株高随生长期延长而增长。生长早期(6月8日至6月29日),第10期播种的大豆因生长期较短其株高一直处于较低状态,其他3种播种期处理大豆株高随生长期延长而增长,但差异不大。6月29日后,第1期播种大豆株高增速变缓,7月27日其株高值最低,

第4期与第7期播种大豆株高稳定增加,第7期播种的大豆株高增加幅度最大,增幅为287%。此阶

段第10期播种的大豆株高增加速度明显加快,7月27日其株高为83.97 cm。

表1 播期对大豆株高的影响

Table 1 Effects of sowing date on soybean plant height

单位:cm

序号 No.	播种日期/(月-日) Sowing date/(month-day)	测试日期/(月-日) Test date/(month-day)		
		06-21	07-27	10-05
1	04-18	23.63 ± 0.33 d	69.09 ± 0.84 g	62.77 ± 6.02 d
2	04-22	30.51 ± 0.22 a	72.14 ± 0.38 f	76.53 ± 1.48 c
3	04-26	30.58 ± 0.78 a	81.60 ± 0.54 e	70.14 ± 6.20 cd
4	04-30	25.09 ± 0.77 c	83.31 ± 0.63 d	77.02 ± 3.73 c
5	05-04	27.05 ± 0.42 b	84.36 ± 0.38 c	78.77 ± 5.85 bc
6	05-08	23.74 ± 0.39 d	93.85 ± 0.60 a	82.67 ± 7.45 bc
7	05-12	22.23 ± 0.29 e	86.11 ± 0.05 b	85.20 ± 1.31 ab
8	05-16	21.50 ± 0.33 e	85.68 ± 0.56 b	85.00 ± 3.70 b
9	05-20	18.73 ± 0.24 f	84.45 ± 0.76 c	88.53 ± 1.92 ab
10	05-24	14.87 ± 0.16 g	83.97 ± 0.20 cd	92.77 ± 2.75 a

注:不同小写字母表示处理间在P=0.05水平下差异显著。下同。

Note: Different lowercase indicate significant difference (P=0.05) between treatments. The same below.

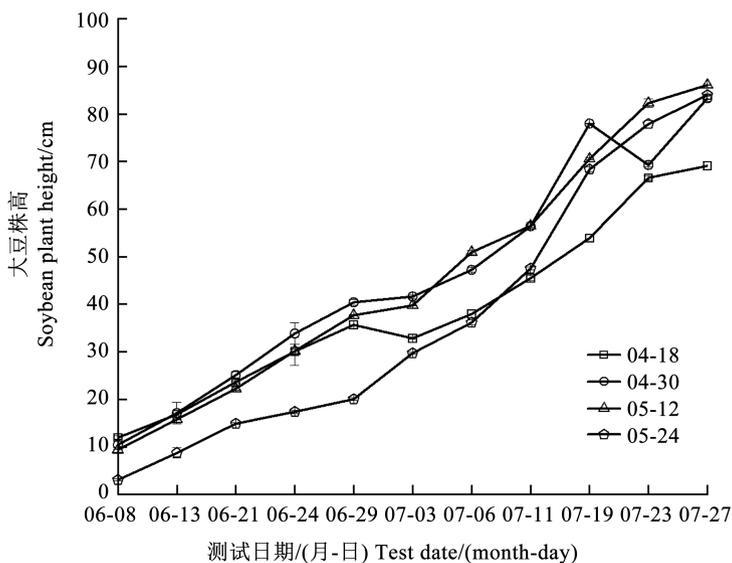


图2 大豆株高随生长日期连续变化曲线

Fig. 2 Continuous variation of soybean plant height with growing date

2.1.2 茎粗 不同播期大豆在初苗期、生长中期和收获期茎粗变化如表2所示。6月21日初苗期:第4期播种的大豆茎粗为5.56 mm,显著高于其他播种处理;第10期播种的大豆因生长期较短,茎粗为3.27 mm,仅是第4期播种大豆茎粗的58.81%,表明初苗期大豆茎粗与生长时间呈正相关。7月27日生长中期:第5期播种大豆茎粗值最大,为8.35 mm,显著高于其他播种处理;第10期播种大豆茎粗值仍最小,为6.97 mm,是初苗期茎粗的2.13倍。10月5日收获期:第4期播种的茎粗值最大,为8.86 mm,与第2期、第5期、第6期播种的大豆茎粗无显著性差异;第1期播种茎粗值最小,为6.59 mm;第7~10

期播种大豆茎粗亦相对较小,为6.78~7.55 mm。

选择4月18日、4月30日、5月12日和5月24日4个典型播种日期处理,分析各播种处理大豆茎粗随生长时间延长的连续变化规律。由图3可知,各播期处理大豆茎粗随生长日期延长而增加。生长早期(6月8日至6月29日),第10期播种大豆茎粗增速最快,其他播种处理增长缓慢。6月29日后,第1期、第7期与第10期播种的大豆增加幅度达到最大,而后增速缓慢,在7月23日测试时,第4期播种的大豆茎粗最大,为8.47 mm,第1期播种的大豆茎粗最小,为6.85 mm。

表 2 播期对大豆茎粗的影响

Table 2 Effects of sowing date on soybean stem diameter

单位:mm

序号 No.	播种日期/(月-日) Sowing date/(month-day)	测试日期/(月-日) Test date/(month-day)		
		06-21	07-27	10-05
1	04-18	4.47 ± 0.15 e	7.38 ± 0.07 cd	6.59 ± 0.91 d
2	04-22	5.11 ± 0.02 b	7.80 ± 0.16 b	8.17 ± 0.21 ab
3	04-26	4.88 ± 0.01 c	7.44 ± 0.15 c	6.97 ± 0.42 bcd
4	04-30	5.56 ± 0.11 a	7.93 ± 0.26 b	8.86 ± 0.10 a
5	05-04	4.53 ± 0.17 de	8.35 ± 0.08 a	8.40 ± 0.19 ab
6	05-08	4.68 ± 0.06 d	7.14 ± 0.10 de	8.06 ± 0.62 ab
7	05-12	4.86 ± 0.02 c	7.96 ± 0.14 b	7.55 ± 0.08 bc
8	05-16	4.11 ± 0.03 f	7.36 ± 0.04 cd	6.78 ± 0.16 cd
9	05-20	4.05 ± 0.05 f	8.33 ± 0.16 a	7.68 ± 0.13 b
10	05-24	3.27 ± 0.08 g	6.97 ± 0.24 e	7.52 ± 0.92 bc

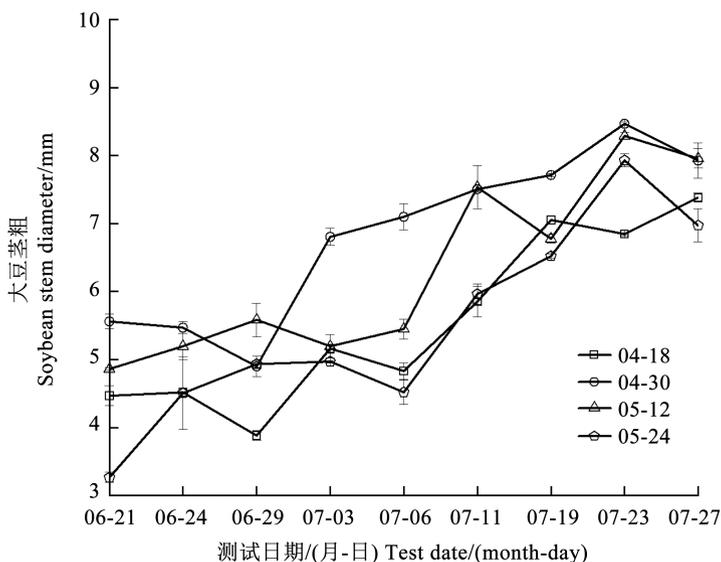


图 3 大豆茎粗随生长日期连续变化曲线

Fig. 3 Continuous variation of soybean stem diameter with growing date

## 2.2 播期对大豆产量构成因素及产量的影响

2.2.1 每米成株数 收获期大豆每米成株数是指收获期每垄 1 m 长度内平均存留的大豆株数。由表 3 可见,第 8 期播种大豆每米成株数最高,平均 25.56 株,与第 9 期、第 10 期播种大豆每米成株数均无显著性差异。除上述 3 期外其他播种期大豆每米成株数均小于 21 株,且彼此间无显著性差异。

2.2.2 单株荚数 单株荚数是决定产量的重要性状。由表 3 可见,早期和晚期播种的大豆单株荚数均低于适时播种大豆,大豆单株荚数随播种日期呈抛物线形变化。第 4 期播种的单株荚数最多,平均为 43.6 荚,与第 1 期、第 2 期及第 5 期播种的大豆单株荚数无显著性差异,其余 6 期播种的单株荚数较少,均少于 33 荚,第 8 期播种的单株荚数最低,为 23.47 荚,且彼此间无显著性差异。

2.2.3 单株粒数 由表 3 可见,第 5 期播种大豆收获期单株粒数值最大,平均为 88.53 粒,与第 2 期、第 4 期、第 7 期及第 9 期播种大豆单株粒数无显著性差

异,其余 5 期播种处理的单株粒数较少且无显著性差异,第 6 期播种大豆的单株粒数最少,为 57.60 粒。

2.2.4 籽粒含水率 由表 3 可见,第 10 期播种的大豆籽粒含水率最高,为 14.98%,与其余 9 期播种大豆的含水率具差异显著;第 5 期播种含水率最低,为 11.25%,与第 10 期播种外的其他播种期大豆籽粒含水率均无显著性差异。

2.2.5 百粒重 由表 3 可见,第 10 期播种的大豆百粒重最大,为 20.39 g,其次是第 9 期和第 6 期播种,三者之间无显著性差异;第 2 期播种的大豆百粒重最小,为 18.06 g,与第 1 期、第 4 期、第 5 期、第 7 期及第 8 期播种大豆百粒重间无显著性差异。

2.2.6 产量 由表 3 可见,第 9 期播种的大豆产量最高,为 2 855.72 kg·hm<sup>-2</sup>,与第 1 期播种外的其他播种期处理大豆产量无显著性差异;第 1 期播种产量最低,为 1 781.67 kg·hm<sup>-2</sup>,显著小于除第 1 期播种外的其余 9 期播种处理。

表3 播期对大豆产量构成因素的影响

Table 3 Effects of sowing date on yield components of soybean

序号 No.	播种日期/ (月-日) Sowing date/ (month-day)	测试项目 Test item					产量 Yield/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
		每米成株数 Plants number per meter	单株荚数 Number of pods per plant	单株粒数 Number of seeds per plant	籽粒含水率 Seed moisture content/%	百粒重 100-seed weight/g	
1	04-18	17.67 ± 2.08 de	34.33 ± 11.34 ab	61.93 ± 8.74 c	11.86 ± 0.43 b	18.57 ± 0.42 cde	1781.67 ± 389.07 b
2	04-22	18.22 ± 1.71 de	37.47 ± 7.39 ab	85.93 ± 5.78 ab	11.44 ± 0.53 b	18.06 ± 0.54 e	2423.24 ± 107.51 a
3	04-26	19.00 ± 2.60 cde	29.47 ± 5.32 bc	65.00 ± 5.39 c	11.55 ± 0.21 b	19.19 ± 0.85 abed	2510.45 ± 269.51 a
4	04-30	15.22 ± 0.19 e	43.60 ± 5.03 a	85.73 ± 5.68 ab	11.51 ± 0.61 b	18.31 ± 0.72 de	2490.44 ± 566.27 a
5	05-04	19.67 ± 2.33 cd	37.20 ± 3.90 ab	88.53 ± 12.32 a	11.25 ± 0.26 b	18.32 ± 0.40 de	2633.96 ± 153.87 a
6	05-08	19.22 ± 2.04 cd	31.33 ± 3.61 bc	57.60 ± 20.64 c	11.40 ± 0.60 b	19.37 ± 0.73 abc	2659.91 ± 360.15 a
7	05-12	21.00 ± 1.20 bcd	32.33 ± 6.69 bc	73.40 ± 19.23 abc	11.84 ± 0.51 b	18.74 ± 0.32 bcde	2791.69 ± 77.63 a
8	05-16	25.56 ± 5.01 a	23.47 ± 1.01 c	67.40 ± 10.35 bc	11.80 ± 0.09 b	18.63 ± 0.59 bcde	2822.27 ± 322.52 a
9	05-20	22.78 ± 1.02 abc	31.07 ± 2.32 bc	72.00 ± 6.16 abc	12.43 ± 0.85 b	19.58 ± 0.26 ab	2855.72 ± 252.27 a
10	05-24	23.56 ± 0.38 ab	31.20 ± 5.74 bc	65.33 ± 11.79 c	14.98 ± 1.59 a	20.39 ± 1.08 a	2454.19 ± 372.73 a

### 2.3 大豆播种适时性损失规律研究

2.3.1 大豆产量随播种日期变化规律 由表4可见,所列4种回归方程的显著性水平均小于0.01,

说明选用的4种函数差异性极显著,满足统计学要求;选择 $R^2$ 较大的二次函数为大豆产量与播种日期之间最佳回归模型( $P=0.002 < 0.01, R^2=0.83$ )。

表4 大豆产量随播种时间变化拟合函数参数表

Table 4 Parameters for fitting functions of soybean yield changing with sowing date

拟合函数 Fitting function	常量项 Constant	一次项系数 Monomial coefficient	二次项系数 Quadratic coefficient	拟合优度 $R^2$	显著性水平 Level of significance test
对数函数 Logarithmic function	1900.512	245.140	-1.594	0.749	0.001
逆函数 Inverse function	2687.455	-928.358		0.789	0.001
二次函数 Quadratic function	1853.577	77.309		0.830	0.002
幂函数 Power function	1899.662	0.108		0.765	0.001

拟合曲线如图4所示,该品种大豆产量随播种时间变化的拟合函数表达式为 $Y_t = -1.594t^2 + 77.309t + 1853.578$ ,式中, $Y_t$ —第 $t$ 天播种大豆产量(kg·hm<sup>-2</sup>), $t$ —播种天数(d)。试验条件下哈尔滨地区黑农84品种大豆最佳播种时间为5月12日。

2.3.2 大豆适时性损失率随播种日期变化规律 采用IBM SPSS Statistics 23软件进行非线性回归分析,并依据前述拟合模型优选原则确定本试验条件下该品种大豆适时性损失率随播种日期变化的函数关系式为 $LR_t = 0.054t^2 - 2.251t + 23.411$ 。

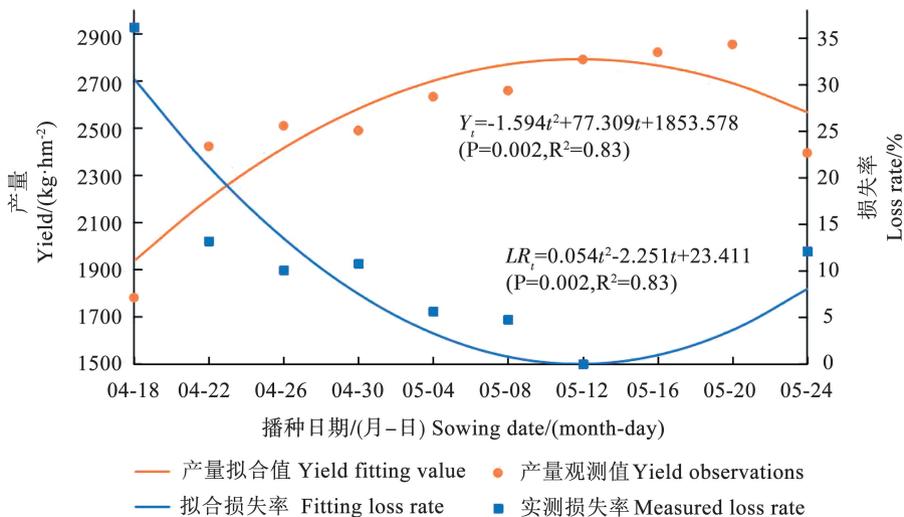


图4 大豆产量、适时性损失率随播种日期变化拟合曲线

Fig. 4 Fitted curves of soybean production and timeliness loss rate with sowing date

该品种大豆适时性损失率随播种日期的变化曲线如图 4 所示,试验条件下黑农 84 品种大豆播种适时性损失率随播种日期呈二次函数关系变化,适时性损失率最小值对应日期为 5 月 12 日,过早和过晚播种均会增加大豆适时性损失。

### 3 讨论

研究结果表明,在哈尔滨地区黑农 84 初苗期株高和茎粗与生长时间呈明显正相关规律,此结果与李灿东等<sup>[6]</sup>的研究结论一致。由于受过早播种低温高湿等因素影响,第 1 期播种大豆在生长中期的生长速度变慢,株高显著降低;第 5 期播种大豆茎粗显著高于其他播期处理,而第 10 期播种大豆茎粗虽为其初苗期茎粗的 2.13 倍,但其值仍最小,此结果与靳路真等<sup>[20]</sup>在开花结荚期大豆茎粗发育减缓的结果一致。收获期,大豆株高较生长中期低是因为成熟期大豆茎秆脱水变黄变干,部分茎秆顶部会有脱落;适时播种大豆茎粗要比早期播种和晚期播种大豆茎粗大,反映了非适宜时间播种大豆不利于大豆茎粗发育,适时播期范围内播种可充分利用自然资源,促进大豆株高、茎粗发育,这与张志国等<sup>[7]</sup>、郭小英等<sup>[21]</sup>及林太赞等<sup>[22]</sup>的结论一致。

本研究中较早播种大豆显著低于适时范围内较晚播种大豆的每米成株数,缘于研究区域哈尔滨市春季寒冷干燥的天气特征,过早播种时低温及过晚播种时高温会影响大豆的出苗率,与张东升等<sup>[23]</sup>的结论一致。大豆单株荚数、单株粒数随播种时间呈先增加后减少的趋势,会随播期的延迟持续降低,与李灿东等<sup>[6]</sup>、林太赞等<sup>[22]</sup>及李诚永等<sup>[24]</sup>的研究结果一致。在第 10 期(5 月 24 日)播种大豆时大豆籽粒含水率最高,这是由于较晚播种大豆未达到完全成熟状态,使其籽粒含水率显著高于其他时间播种大豆。适期播种大豆能够充分利用光气水热等气候资源,生长发育受到促进,与杜亚敏等<sup>[25]</sup>的研究结论一致。

本研究中黑农 84 品种大豆产量与适时性损失率均与播种日期变化呈二次函数关系,与前人在海伦市<sup>[13]</sup>和北安市<sup>[26]</sup>的大豆播种适时性损失试验规律相近,过早和过晚播种均会增加大豆适时性损失,最佳产量与最小适时性损失率值对应日期为 5 月 12 日,此结果与张志国等<sup>[7]</sup>的结论相近。

### 4 结论

播期对大豆农艺性状均有较大影响,过早播种大豆的株高后期增长受阻;过晚播种由于生长日期较短,致使大豆发育前期茎粗值较小,非适宜时间

播种会对大豆茎粗产生抑制作用。

不同播种处理使得收获期时大豆产量构成因素出现显著性差异。过早播种大豆时产量及产量构成因素均显著低于其他播期处理,大豆单株荚数、单株粒数随播种日期呈抛物线规律变化,在中后期播种的大豆每米成株数、籽粒含水率及百粒重增速变快。

哈尔滨地区供试大豆产量和适时性损失率均随播种时间呈二次函数规律变化,试验条件下黑农 84 品种大豆最佳播种时间为 5 月 12 日。研究结果为合理确定大豆播期提供支撑,为哈尔滨及生产条件相近地区大豆生产机器系统优化提供理论依据。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021. (National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.)
- [2] 高云才, 常钦, 李晓晴. 全面推进乡村振兴加快农业农村现代化—2021 年中央一号文件解读[J]. 共产党员(河北), 2021(6): 14-16. (GAO Y C, CHANG Q, LI X Q. Comprehensively promoting rural revitalization and accelerating the modernization of agriculture and rural areas--Interpretation of the No. 1 Document of the Central Government in 2021 [J]. Communist Party Member (Hebei), 2021(6): 14-16.)
- [3] 王建国, 张佳蕾, 郭峰, 等. 强化豆科作物在北方现代农业结构中的作用[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(5): 663-669. (WANG J G, ZHANG J L, GUO F, et al. Strengthening the proportion and role of leguminous crops in the modern agricultural structure of northern China [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(5): 663-669.)
- [4] 郭午, 张维久, 牛裕洲. 长春地区大豆播种期的研究[J]. 吉林农业科学, 1965(2): 65-71. (GUO W, ZHANG W J, NIU Y Z. Study on the sowing period of soybean in Changchun area [J]. Jilin Agricultural Science, 1965(2): 65-71.)
- [5] 陈康帝. 冬大豆适宜播种期的研究[J]. 中国油料, 1985(1): 47-50. (CHEN K D. Research on the suitable sowing period of winter soybean [J]. Oil Crops of China, 1985(1): 47-50.)
- [6] 李灿东, 窦亚南, 郭泰, 等. 播种期对北方春早熟大豆生育进程及产量相关性状的影响[J]. 作物杂志, 2015(6): 112-116. (LI C D, DOU Y N, GUO T, et al. Effects of sowing date on development process and yield agronomic characters of early-maturing spring soybean in northeast China [J]. Crops, 2015(6): 112-116.)
- [7] 张志国, 高峰, 高永刚, 等. 播期对大豆生长状况及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(7): 22-26. (ZHANG Z G, GAO F, GAO Y G, et al. Effect of sowing date on soybean growth and yield [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(7): 22-26.)
- [8] 吴强, 张永平, 韦炳奇, 等. 不同播期对小麦套种向日葵生长发育及产量构成的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2019, 40(6): 18-23. (WU Q, ZHANG Y P, WEI B Q, et

- al. Effects of different sowing dates on growth and yield components of wheat interplanting sunflower[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University ( Natural Science Edition ), 2019, 40(6): 18-23.)
- [9] 马祥, 贾志锋, 刘勇. 播期对青燕1号燕麦产量、光合及生物学特性的影响[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2021, 57(3): 83-89. (MA X, JIA Z F, LIU Y. Effect of sowing date on growth characteristics of oat[J]. Journal of Northwest Normal University(Natural Science), 2021, 57(3): 83-89.)
- [10] 李振卿. 作业适时性损失的分析与计算及作业的适时性优化(一)[J]. 东北农学院学报, 1985(3): 74-80. (LI Z Q. Analysis, calculation and optimization of field operation's timeliness loss ( I ) [ J ]. Journal of Northeast Agricultural College, 1985(3): 74-80.)
- [11] 李振卿. 作业适时性损失的分析与计算及作业期的适时性优化(二)[J]. 东北农学院学报, 1985(4): 102-112. (LI Z Q. Analysis, calculation and optimization of field operation's timeliness loss ( II ) [ J ]. Journal of Northeast Agricultural College, 1985(4): 102-112.)
- [12] 李振卿. 作业的适时性函数及作业期较佳分布的确定[J]. 农业机械学报, 1986(4): 69-77. (LI Z Q. Function of operation's timeliness and determination of proper distribution of operations' duration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1986(4): 69-76.)
- [13] 乔金友, 孙健, 田园园, 等. 北安地区大豆收获适时性损失规律研究[J]. 大豆科学, 2017, 36(5): 803-807. (QIAO J Y, SUN J, TIAN Y Y, et al. Experiments on the regularities of timeliness loss changing with soybean harvesting date in Beian [J]. Soybean Science, 2017, 36(5): 803-807.)
- [14] 乔金友, 孙健, 曲烽毓, 等. 大豆收获适时性损失规律试验研究[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(6): 76-81. (QIAO J Y, SUN J, QU F Y, et al. Study on regularities of timeliness loss changing with soybean harvesting date [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2017, 48(6): 76-81.)
- [15] 乔金友, 衣佳忠, 李传磊. 农田作业期最佳分布问题研究[J]. 东北农业大学学报, 2016, 47(9): 72-76. (QIAO J Y, YI J Z, LI C L. Study on the optimum distribution problem of agricultural operation period [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2016, 47(9): 72-76.)
- [16] 王金武. 三江平原地区水稻收获期适时性损失的研究[J]. 农业机械学报, 2004, 35(2): 175-177. (WANG J W. Study on the rice harvest in Sanjiang plain timeliness loss [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(2): 175-177.)
- [17] 张静. 新疆玉米主产区农机系统优化配置与规模经营的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014. (ZHANG J. Studies on configuration optimization of agricultural machinery system and scale operation in the main corn zone of Xinjiang [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2014.)
- [18] 马力, 王福林, 吴昌友, 等. 基于整数非线性规划的农机系统优化配备研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(8): 11-15. (MA L, WANG F L, WU C Y, et al. Study of farm machinery system optimization based on integration nonlinear program method [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(8): 11-15.)
- [19] 孙健. 基于适时性损失和 MIP 的农业机器系统优化模型及应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019. (SUN J. Optimization model and application of agricultural machinery system based on timeliness loss and MIP [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019.)
- [20] 靳路真, 王洋, 张伟, 等. 大豆品种(系)耐热性鉴定及分级评鉴[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(1): 77-87. (JIN L Z, WANG Y, ZHANG W, et al. Grading evaluation on heat-tolerance in soybean and identification of heat-tolerant cultivars [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2016, 38(1): 77-87.)
- [21] 郭小英, 郭秀卿, 韩娜娜, 等. 不同播种期对大豆生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(19): 4210-4213. (GUO X Y, GUO X Q, HAN N N, et al. Impact of different seeding dates on growth and development of soybean [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(19): 4210-4213.)
- [22] 林太赞, 张胜, 刘伟明. 秋大豆不同播种期与种植密度对植株生长及其产量的关系模型[J]. 科技通报, 2016, 32(4): 84-86, 91. (LIN T Y, ZHANG S, LIU W M. The relationship model of sowing date and planting density on growth and yield of autumn soybean [J]. Bulletin of Science and Technology, 2016, 32(4): 84-86, 91.)
- [23] 张东升, 张大明, 路开梅, 等. 气候变暖情况下大豆播期极限研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(14): 38-39. (ZHANG D S, ZHANG D M, LU K M, et al. Study on soybean sowing period limit in the condition of climate warming case [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(14): 38-39.)
- [24] 李诚永, 袁敏良, 李韵, 等. 不同播种期和播种密度对鲜食秋大豆产量及农艺性状的影响[J]. 分子植物育种, 2022, 20(13): 4506-4512. (LI C Y, YUAN M L, LI Y, et al. Effects of different sowing dates and densities on yield and agronomic traits in autumn vegetable soybean [J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(13): 4506-4512.)
- [25] 杜亚敏, 高阳, 章建新. 播期对新疆高产春大豆产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2018, 37(1): 87-91. (DU Y M, GAO Y, ZHANG J X. Effect of sowing date on yield and quality of high-yield spring soybean in Xinjiang [J]. Soybean Science, 2018, 37(1): 87-91.)
- [26] 乔金友, 李传磊, 韩兆楨, 等. 大豆播种适时性损失规律试验研究[J]. 大豆科学, 2016, 35(1): 70-73. (QIAO J Y, LI C L, HAN Z Z, et al. Study on the regularity of timeliness loss changing with soybean sowing date [J]. Soybean Science, 2016, 35(1): 70-73.)