



# 高产春大豆干物质积累与花荚形成的关系研究

傅积海<sup>1</sup>, 章建新<sup>1</sup>, 楚光红<sup>1</sup>, 王 聪<sup>1</sup>, 周芳芝<sup>2</sup>

(1. 新疆农业大学 农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院 墨玉农业试验站, 新疆 和田 848100)

**摘 要:**为探明高产春大豆花荚期干物质积累与花荚形成的关系,田间随机区组排列法研究 10 个高产大豆品种(系)的花期、花荚期干物质增量分别与开花数、成荚数、产量的关系。结果表明,产量在 4 527.4 ~ 5 734.2 kg·hm<sup>-2</sup> 的范围内,花期干物质增量与产量相关不显著,花荚期干物质增量与产量呈极显著正相关,总花数、总荚数均与产量呈显著正相关;花期干物质增量与开花数呈二次曲线关系,  $Y_1 = -0.050 3X_1^2 + 42.285X_1 - 5 312.2, R^2 = 0.673 9^*$ ; 花荚期的干物质增量与成荚数呈线性关系,  $Y_2 = 0.090 4X_5 + 419.47, R^2 = 0.719 4^{**}$ ; 开花期叶片干物质增量与开花数呈二次曲线关系,花荚期茎秆、叶片、叶柄干物质增量与成荚数均呈二次曲线关系。花期和花荚期过少或过多茎叶干物质积累量均不利于花、荚形成。花期茎叶稳健生长,荚期荚快速生长有利于增加开花数、成荚数。在花期、花荚期地上部干物质增量分别为 4 373.7 801 kg·hm<sup>-2</sup>、荚干重占 33.8%,总花数为  $3 773.3 \times 10^4$  朵·hm<sup>-2</sup>、总荚数为  $1 127.3 \times 10^4$  个·hm<sup>-2</sup>,产量可达 5 734.2 kg·hm<sup>-2</sup>,其干物质成花效率、成荚效率依次为 8.63 朵·g<sup>-1</sup>、1.45 个·g<sup>-1</sup>。

**关键词:**大豆; 高产; 干物质; 花荚; 关系

## Study on the Relationship Between Dry Matter Accumulation and Pod Formation in High-yielding Spring Soybean

FU Ji-hai<sup>1</sup>, ZHANG Jian-xin<sup>1</sup>, CHU Guang-hong<sup>1</sup>, WANG Cong<sup>1</sup>, ZHOU Fang-zhi<sup>2</sup>

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Moyu Test Station, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Hotan 848100, China)

**Abstract:** To explore the relationship between dry matter accumulation and pod formation in high-yielding spring soybean at flowering and pod stages. The relationships between the dry matter increment and flowering period of 10 high-yielding soybean varieties (lines) and the number of flowering, pod and yield in the field were studied. The results showed that there was no significant correlation between dry matter increment and yield at flowering stage in the range of 4 527.4 ~ 5 734.2 kg·ha<sup>-1</sup>. There was a significant positive correlation between dry matter increment and yield at pod stage, and there was a significant positive correlation between total number of flowers and pods and yield, too. There was a quadratic curve relationship between dry matter increment and number of flowers at flowering stage as  $Y_1 = -0.050 3X_1^2 + 42.285X_1 - 5 312.2, R^2 = 0.673 9^*$ , and a linear relationship between dry matter increment and number of pods at flowering and pod stage as  $Y_2 = 0.090 4X_5 + 419.47, R^2 = 0.719 4^{**}$ . The dry matter increment of leaves was quadratic with the number of flowers at flowering stage. The dry matter increment of stems, leaves and petioles were quadratic with the number of pods at flowering pod stage. Too little or too much dry matter accumulation in stems and leaves was not conducive to the formation of flowers and pods at flowering and pod stages. Stems and leaves grow steadily at flowering stage, and pods grow rapidly at pod stage, which was beneficial to increase the number of flowers and pods. The above-ground dry matter increment was 4 373 and 7 801 kg·ha<sup>-1</sup> respectively, and dry pod weight accounted for 33.8% at flowering and pod stages respectively. The total number of flowers was  $3 773.3 \times 10^4$ , and the total number of pods was  $1 127.3 \times 10^4$  pieces·ha<sup>-1</sup>, the yield was 5 734.2 kg·ha<sup>-1</sup>. The efficiency of dry matter flowering formation and dry matter pod formation was 8.63 and 1.45 g<sup>-1</sup>, respectively.

**Keywords:** Soybean; High yield; Dry matter; Flower pods; Relationship

干物质积累<sup>[1]</sup>和花、荚形成过程都是大豆产量形成的最重要过程<sup>[2]</sup>。成熟期高产大豆单位面积上干物质积累量大<sup>[3,4]</sup>、荚数和粒数多是超高产大豆的最显著特征之一<sup>[5,6]</sup>,同时荚数又决定于花数

和成荚率的高低<sup>[7]</sup>。大豆生长分为营养生长和生殖生长,干物质积累过程也相应地可分成营养生长、营养生长与生殖生长并进和生殖生长 3 个阶段。大豆营养生长与生殖生长并进时间长,在并进阶段

收稿日期: 2018-11-04

基金项目: 国家自然科学基金(31660367, 31460333)。

第一作者简介: 傅积海(1993 -),男,硕士,主要从事大豆高产栽培研究。E-mail: 1290158843@qq.com。

通讯作者: 章建新(1962 -),博士,教授,主要从事大豆高产栽培生理研究。E-mail: zjxin401@126.com。

开花、结荚过程与干物质快速积累过程同步。因此,干物质积累状况必然会影响单位面积上形成的花数、荚数。一方面,花荚期干物质积累是花荚形成的基础;另一方面,花荚营养器官干物质积累过快,茎叶徒长影响花、荚形成,降低产量<sup>[8-9]</sup>。因此,只有在花荚期协调两者的关系,才能形成高产大豆所需的总花数、总荚数。高产大豆花荚期的干物质积累与花荚形成的关系尚不清楚。探明两者的关系对于合理调控花荚形成期间大豆群体生长速度,增加单位面积总花数和荚数,提高大豆产量具有重要的意义。新疆是我国大豆高产区<sup>[10]</sup>,探明新疆地区大豆干物质积累与花荚形成的关系对我国大豆生产具有重要意义。本文在新疆高产条件下,研究了不同品种(系)干物质积累与花荚形成的关系,以期为提高大豆产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的 10 个高产春大豆品种(系)分别为 14-119、15-119、15-122、14-146、15-59、哈交 5337 号、九农 30、新大豆 27 号、14-195 和黑农 61。

1.2 试验地概况

试验于 2016 年在新疆伊宁县萨地克于孜乡农业科技示范园进行。试验地为壤土,前茬春玉米,秸秆全部还田。0~20 cm 土层土壤有机质含量为 17.8 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 58.3 mg·kg<sup>-1</sup>、有效磷 23.6 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 242 mg·kg<sup>-1</sup>、pH8.5。

1.3 试验设计

田间试验按随机区组排列,小区面积为 24 m<sup>2</sup> (2.4 m×10.0 m),行距为宽行 50 cm、窄行 30 cm,6 行区,3 次重复。耕地前机器撒施重过磷酸钙 300 kg·hm<sup>-2</sup>。4 月 11 日人工开沟条播,4 月 28 日出苗,第一三出复叶全展时定苗,理论留苗数 28×10<sup>4</sup> 株·hm<sup>-2</sup>。定苗后于窄行铺设毛管(1 管 2 行),毛管间距 80 cm。分别在 6 月 12 日、7 月 13 日、8 月 4 日、8 月 18 日进行滴水,前 3 次滴水量为 750 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,最后 1 次为 600 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;在第一、二次滴水,随水分别滴入尿素 150 kg·hm<sup>-2</sup>,累计滴尿素 300 kg·hm<sup>-2</sup>,8 月 25 日-9 月 1 日收获。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 干物质测定 分别在各品种(系)的 R1(始花期)、R3(始荚期)、R5(始粒期)每小区连续取具代表性的 6 株,将子叶节以下部位去除,将茎秆、叶片、叶柄,豆荚分开,将鲜样置于 105℃ 杀青 30 min,之后 80℃ 烘干至恒重,称重。

单株平均干物质质量(g) = 单株平均茎秆质量 +

叶片质量 + 叶柄质量 + 叶片质量 + 豆荚质量

干物质积累量(kg·hm<sup>-2</sup>) = 单株平均干物质质量(kg) × 单位面积株数

花期干物质积累增量(kg·hm<sup>-2</sup>) = 始荚期干物质质量 - 始花期干物质质量

花荚期干物质积累增量(kg·hm<sup>-2</sup>) = 始粒期干物质质量 - 始花期干物质质量

干物质成(花)荚效率(个·g<sup>-1</sup>) = 开花(成荚)数/花(荚)期干物质增量

1.4.2 观察开花和成荚过程 自始花期开始,各品种(系)分别具代表性的连续 6 株样本挂牌标记,每隔 1 d 记载开花数,直到开花终止;始荚期开始时,每隔 3 d 对植株荚数(荚长≥2 cm)记载成荚数,直到荚数停止增加。

1.4.3 产量及其构成测定 籽粒完熟时,各小区选取中间 4 行 4.8 m<sup>2</sup> (3 m×1.6 m) 实收,人工脱粒晾干,称重并计量百粒重,通过谷物水分测定仪测定含水量,计算 13.5% 的产量和百粒重。同时各小区选取具有群体代表性的连续 10 株植株,于室内逐节测定主茎荚数、粒数。

1.5 数据分析

用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 软件对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 花期及花荚期干物质积累量品种(系)差异

由表 1 可见,品种(系)间在花期和花荚期的干物质积累量差异达显著或极显著。在花期以九农 30 的总干物质增量最多,达 4 996.1 kg·hm<sup>-2</sup>,黑农 61 最少,仅 2 749.0 kg·hm<sup>-2</sup>,后者仅为前者的 55.0%;花期茎秆、叶片及叶柄的干物质增量均以九农 30 最多,黑农 61 和 15-119 最少;各品种(系)花期的干物质增量多表现为茎秆>叶片>叶柄。花期干物质增量主要是茎秆增量大的结果。在花荚期以 14-119 品系的总干物质增量最多,达 7 800.8 kg·hm<sup>-2</sup>,黑农 61 最少,仅 4 984.8 kg·hm<sup>-2</sup>,后者仅为前者的 62.6%;叶柄、豆荚的花荚期干物质增量均以 14-119 品系最多,其茎干物质积累量仅低于九农 30,黑农 61 茎秆、叶片、叶柄干物质增量最少;各品种(系)花荚期干物质增量多表现为豆荚(茎秆)>叶片>叶柄;14-119、15-119 品系花期茎秆干物质增量分别占花荚期茎秆干物质增量的 76.7% 和 95.0%。豆荚干物质增量以 14-119、14-146 品系较大,分别为 2 640.2 和 2 462.9 kg·hm<sup>-2</sup>,分别占总干物质增量的 33.8% 和 33.5%,且两品系荚干物质增量大于茎的增量。荚干物质积累仅在荚期完成,

14-119、15-119 的花期干物质增量大,主要是茎秆和叶片增量大的结果;14-119 品系花荚期干物质增量大以茎干重增加为主,结荚期以荚重增加为主。

表 1 花期和花荚期干物质积累增量

Table. 1 Increment of dry matter accumulation at flowering stage and flowering-podding stage (kg·hm<sup>-2</sup>)

时期 Stage	品种(系) Variet( Lines)	干物质增量 Dry matter increament	茎秆增量 Increment of stem	叶片增量 Increment of leaves	叶柄增量 Increment of petiole	荚增量 Increment of pod
花期 Flower period	14-119	4377. 7 bB	1908. 0 cC	1459. 1 bB	1010. 6 aA	—
	15-119	4422. 7 bB	2118. 3 bB	1313. 5 cC	990. 8 aA	—
	15-122	3370. 4 dD	1453. 9 eE	1171. 2 dD	745. 3 cdCD	—
	14-146	3323. 5 dD	1470. 6 deD	1088. 7 eE	764. 3 cC	—
	15-59	2794. 0 fF	1169. 0 fF	973. 1 fF	651. 9 eE	—
	哈交 5337 Hajiao 5337	3231. 4 dD	1536. 0 dD	965. 7 fF	729. 7 cdCD	—
	九农 30 Jiunong 30	4996. 1 aA	2358. 8 aA	1600. 4 aA	1037. 2 aA	—
	新大豆 27 Xindadou 27	3026. 6 eE	1453. 6 eE	852. 7 gG	720. 3 dD	—
	14-195	3583. 7 cC	1513. 3 deD	1255. 6 cC	814. 8 bB	—
	黑农 61 Heinong 61	2749. 0 fF	1120. 7 fF	940. 1 fF	688. 1 dD	—
花荚期 Flower-pod period	14-119	7800. 8 aA	2487. 8 bB	1594. 7 bB	1078. 1 aA	2640. 2 aA
	15-119	7052. 1 bB	2228. 0 cC	1651. 2 abAB	1062. 0 aA	2107. 9 dD
	15-122	6357. 4 cC	1947. 5 eE	1402. 9 cdCD	862. 1 Cc	2144. 9 dD
	14-146	7341. 8 bAB	2451. 4 bB	1419. 3 cC	1008. 2 bB	2462. 9 bB
	15-59	6141. 3 cdCD	2084. 3 dD	1440. 6 cC	887. 9 cC	1728. 5 fF
	哈交 5337 Hajiao 5337	5968. 1 dD	1915. 1 eE	1215. 4 fF	847. 3 cC	1990. 2 eE
	九农 30 Jiunong 30	6329. 2 cC	2635. 9 aA	1688. 7 aA	1079. 0 aA	925. 6 gG
	新大豆 27 Xindadou 27	6253. 5 cdCD	1743. 4 fF	1342. 9 dD	873. 4 cC	2293. 8 cC
	14-195	6061. 7 cdCD	2149. 1 cdCD	1314. 9 dD	845. 2 cC	1752. 5 fF
	黑农 61 Heinong 61	4984. 8 eE	1468. 2 gG	1138. 5 gG	729. 8 dD	1648. 3 fF

不同大小写字母表示在  $P\leq 0.05$  水平和  $P\leq 0.01$  水平差异显著。下同。  
Different lowercase and capital indicates there is significant difference at  $P\leq 0.05$  and  $P\leq 0.01$  level. The same below.

2.2 品种(系)成花、成荚数及其效率差异

2.2.1 成花数及成花效率 由表 2 可知,各品种(系)单株花数、总花数差异达显著水平。以 14-119、15-119 品系的单位面积总花数最多,分别为  $3\,773.3\times 10^4$  和  $591.8\times 10^4$  朵·hm<sup>-2</sup>,单株花数也较多,分别为 137.7 和 133.0 朵;以黑农 61 的花数较少,仅为  $2\,424.6\times 10^4$  朵·hm<sup>-2</sup>,单株花数仅为 90.1 朵。因单位面积株数差异未达显著水平,故单位面积总花数差异是单株花数差异的结果。干物质成花效率以品系 15-59 较高为 10.91 朵·g<sup>-1</sup>,九农 30 较低为 6.24 朵·g<sup>-1</sup>,其余品种(系)介于两者之间。以 14-119、15-119 干物质成花效率较高,依

次为 8.63 和 8.12 朵·g<sup>-1</sup>。  
2.2.2 成荚率及成荚效率 由表 3 可知,各品种(系)单株荚数、总荚数差异达显著水平。以 14-119、15-119 品系的单位面积总荚数最多,分别为  $1\,127.3\times 10^4$ ,  $1\,051.7\times 10^4$  个·hm<sup>-2</sup>,单株荚数也最多,分别为 41.1 和 39.0 个;黑农 61 的总荚数最少,仅为  $815.4\times 10^4$  个·hm<sup>-2</sup>,单株荚数仅为 30.3 个。由于单位面积株数差异不显著,故单位面积总荚数多是单株荚数多的结果。干物质成荚效率以品系 15-59 较高,为 1.74 个·g<sup>-1</sup>,品系 14-146 较低,为 1.39 个·g<sup>-1</sup>,其余品种(系)介于两者之间。14-119、15-119 品系单位面积总成荚数较多,干物质成荚效率中等,依次为 1.45 和 1.49 个·g<sup>-1</sup>。

表 2 不同品种(系)花数及其构成

Table 2 The number and composition of different varieties (lines) flowers

品种(系) Variety( line)	株数 Plant number /( × 10 <sup>4</sup> 株·hm <sup>-2</sup> )	单株花数 Number of flowers per plant	总花数 Total number of flowers /( × 10 <sup>4</sup> 朵·hm <sup>-2</sup> )	成花效率 Flowering formation efficiency/( 朵·g <sup>-1</sup> )
14-119	27.4 aA	137.7 aA	3773.3 aA	8.63 cdCD
15-119	27.0 aA	133.0 aA	3591.8 abAB	8.12 dD
15-122	27.2 aA	122.2 bB	3325.0 cC	9.87 bB
14-146	26.9 aA	105.1 dD	2827.2 eE	8.51 dD
15-59	27.1 aA	112.5 cC	3048.4 eD	10.91 aA
哈交 5337 Hajiao 5337	27.0 aA	109.2 cdCD	2947.4 eE	9.13 cC
九农 30 Jiunong 30	27.8 aA	112.1 cC	3115.8 dD	6.24 eE
新大豆 27 Xindadou 27	27.1 aA	95.3 eE	2581.4 fF	8.53 dD
14-195	27.1 aA	131.6 aA	3565.7 bB	9.95 bB
黑农 61 Heinong 61	26.9 aA	90.1 fF	2424.6 gG	8.82 cdCD

表 3 各品种(系)荚数及其构成

Table 3 The number and composition of different varieties (lines) pods

品种(系) Variety( line)	株数 Plant number /( × 10 <sup>4</sup> 株·hm <sup>-2</sup> )	单株荚数 Number of pods per plant	总荚数 Total number of pods /( × 10 <sup>4</sup> 个·hm <sup>-2</sup> )	成荚效率 Pod formation efficiency/( 个·g <sup>-1</sup> )
14-119	27.4 aA	41.1 aA	1127.3 aA	1.45 cdCD
15-119	27.0 aA	39.0 abAB	1051.7 bB	1.49 cC
15-122	27.2 aA	38.1 bB	1035.5 bcBC	1.63 bB
14-146	26.9 aA	38.0 bB	1021.2 bcBC	1.39 dD
15-59	27.1 aA	39.4 abAB	1067.0 abAB	1.74 aA
哈交 5337 Hajiao 5337	27.0 aA	34.7 cC	937.0 cC	1.57 bB
九农 30 Jiunong 30	27.8 aA	35.3 cC	981.0 cC	1.55 bB
新大豆 27 Xindadou 27	27.1 aA	37.1 cB	1004.7 bcBC	1.61 bB
14-195	27.1 aA	35.8 cC	969.0 cC	1.60 bB
黑农 61 Heinong 61	26.9 aA	30.3 dD	815.4 dD	1.64 bB

2.3 花数、荚数与花期、花荚期干物质积累的关系

2.3.1 花数与开花期干物质积累的关系 由图 1 可知,花期干物质积累增量( $X_1$ )与开花数( $Y_1$ )呈二次函数关系,拟合方程为  $Y_1 = -0.050\ 3X_1^2 + 42.285X_1 - 5\ 312.2$ ,  $R^2 = 0.673\ 9^*$ ,即随着花期干物质增量增大,单位面积成花数呈现先增后降的变化趋势,花期总干物质积累增量为  $4\ 203.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,开花数达峰值 ( $3\ 373.3 \times 10^4$  朵·hm<sup>-2</sup>);花期茎秆( $X_2$ )及叶柄( $X_4$ )干物质积累增量与单位面积开花数( $Y_1$ )呈二次函数关系,未达显著水平;花期叶片干物质增量( $X_3$ )与开花数关系( $Y_1$ )可用二次方程拟合为  $Y_1 = -0.421\ 5\ X_3^2 + 115.62X_3 - 4\ 397.2$ ,  $R^2 = 0.749\ ^{**}$ ,达显著水平,既随着叶片干物质增量增大,开花数呈先增后降的变化趋势。大豆花期总干

物质增量与开花数呈二次曲线关系,其中,叶片干物质增量与开花数呈二次曲线关系。

2.3.2 荚数与花荚期干物质积累的关系 由图 2 可知,花荚期干物质增量( $X_5$ )与成荚数( $Y_2$ )呈线性关系,可拟合方程为  $Y_2 = 0.090\ 4X_5 + 419.47$ ,  $R^2 = 0.719\ 4^{**}$ ,当花荚期干物质增量达  $7\ 988.8\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,成荚数达最大 ( $1\ 127.3 \times 10^4$  个·hm<sup>-2</sup>);成荚数分别与花荚期茎秆( $X_6$ )、叶片( $X_7$ )、叶柄( $X_8$ )的干物质积累增量均呈二次函数关系,分别可拟合方程  $Y_2 = -0.030\ 9X_5^2 + 14.309X_5 - 604.53$  ( $R^2 = 0.630\ 4^*$ )、 $Y_2 = -0.165\ 5X_6^2 + 50.561X_6 - 2\ 793.1$  ( $R^2 = 0.860\ 8^{**}$ )、 $Y_2 = -0.334\ 3X_7^2 + 67.015X_7 - 2\ 295.1$ ,  $R^2 = 0.712\ 3^*$ 。花荚期总干物质增量与总成荚数呈线性关系,其中,成荚数分别与茎秆、叶片、叶柄干物质增量呈二次曲线关系。

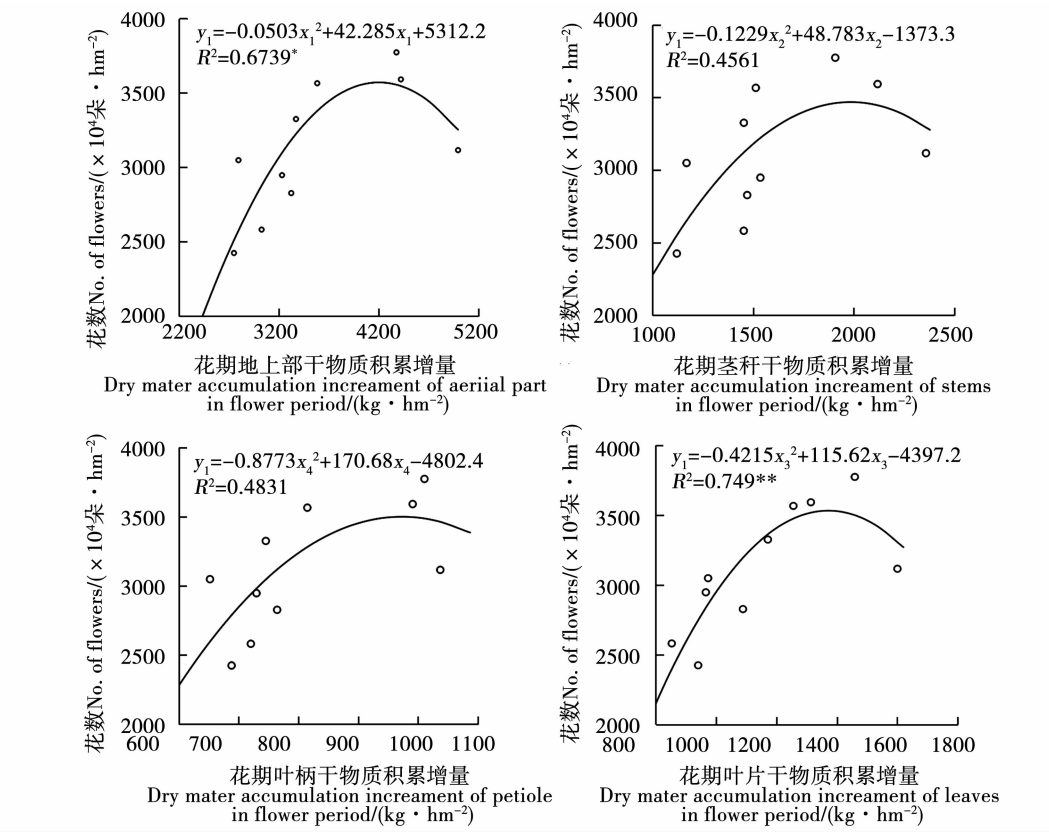


图 1 花期干物质积累增量与花数的关系

Fig. 1 The relationship of dry matter accumulation increment between flowers in flowering stage

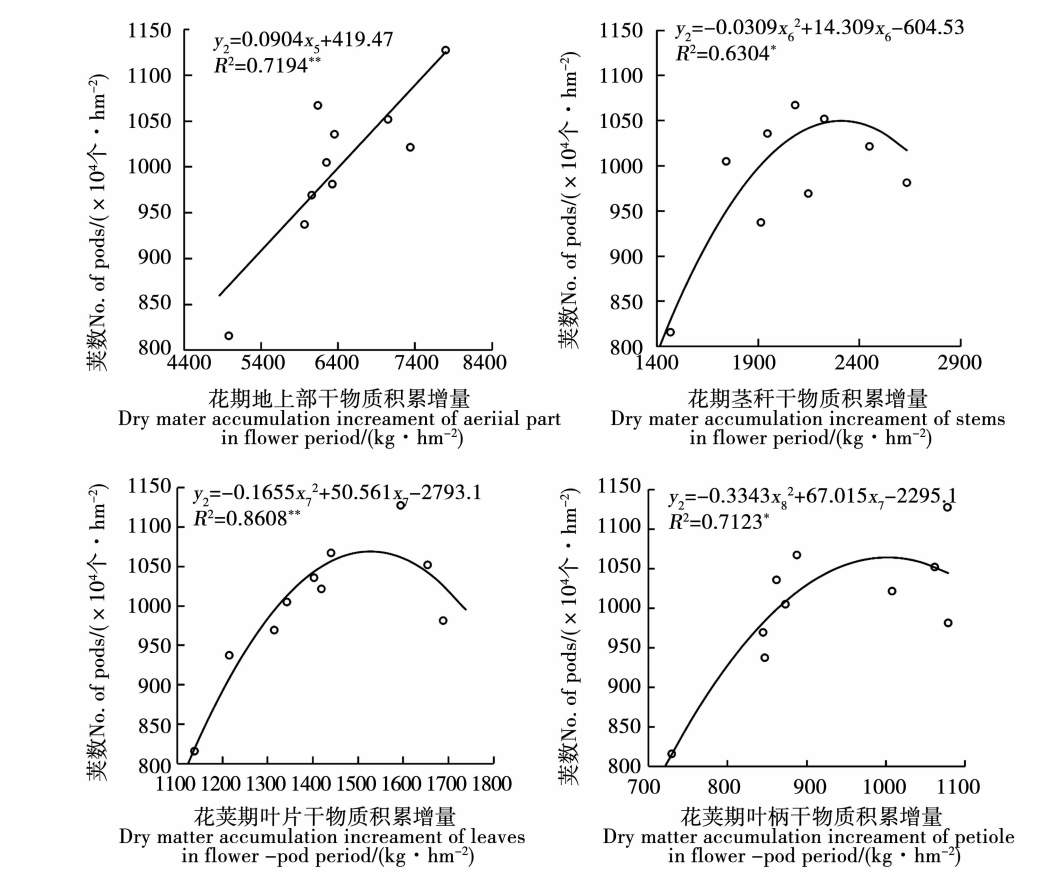


图 2 花荚期干物质积累增量与荚数的关系

Fig. 2 The relationship of dry matter accumulation increment between pods in flowering-podding stage

2.4 春大豆品种(系)产量及其与干物质增量和花数荚数的关系

由表4可知,参试品种系的产量差异达显著水平。以14-119、15-119品系的产量较高,分别为5 734.2 kg·hm<sup>-2</sup>、5 611.6 kg·hm<sup>-2</sup>,以黑农61产量较低,为4 627.46 kg·hm<sup>-2</sup>,其余品种(系)介于两者之间。单株粒数、百粒重的品种(系)间差异也达显著水平。单株粒数以14-119、15-119、15-122品系较

高,分别为93.0、91.4、90.0,黑农61较低(66.3);百粒重以黑农61最高(25.8 g),14-195品系最低(21.1 g);其余品种(系)的单株粒数和百粒重介于两者之间。14-119和15-119品系的产量较高的主要原因是其单株粒数高于其余品种(系)。如表5所示,花期干物质增量与产量无显著相关,花荚期干物质增量与产量呈极显著正相关;总花数、总荚数均与产量呈显著正相关。

表4 产量及其构成因素  
Table 4 Yield and its components

品种(系) Variet(lines)	收获株数 Plant number/( ×10 <sup>4</sup> 株·hm <sup>-2</sup> )	单株粒数 Grains per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/( kg·hm <sup>-2</sup> )
14-119	27.4 aA	93.0 aA	22.5 bB	5734.2 aA
15-119	27.0 aA	91.4 abAB	22.8 bB	5611.6 aA
15-122	27.2 aA	90.0 abAB	22.3 bcBC	5448.2 abAB
14-146	26.9 aA	79.8 cC	24.7 aA	5308.9 bB
15-59	27.1 aA	89.3 abAB	21.9 bB	5308.6 bB
哈交 5337 Hajiao 5337	27.0 aA	78.0 cC	24.8 aA	5225.9 bcBC
九农 30 Jiunong 30	27.8 aA	87.3 bB	21.2 cC	5155.6 bcBC
新大豆 27 Xindadou 27	27.1 aA	85.4 bB	22.3 bcBC	5155.0 bcBC
14-195	27.1 aA	87.5 bB	21.1 cC	4996.6 cC
黑农 61 Heinong 61	26.9 aA	66.3 dD	25.8 aA	4627.4 dD

表5 干物质增量及花荚与产量的相关系数  
Table 5 Dry matter increment and correlation coefficient between pod and yield

	花期干物质增量 Increment of aerial part in flower period	花荚期干物质增量 Increment of aerial part in flower-pod period	总花数 Total number of flowers	总荚数 Total number of pods
产量 Yield	0.482	0.869 **	0.703 *	0.915 **

\* 和 \*\* 表示在  $P \leq 0.05$  水平和  $P \leq 0.01$  水平相关显著。  
\* and \*\* show there is significant correlation at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$  level.

3 讨 论

作物产量主要由花后干物质积累能力决定<sup>[11]</sup>。大豆不同时期干物质积累量与产量形成有着不同程度的相关性<sup>[12]</sup>。大豆R5期植株干物质的积累是产量的主要决定因素<sup>[13-14]</sup>。R3、R5期生物量与籽粒产量的相关系数分别为0.89和0.94<sup>[15]</sup>。R1、R5期生物量累积分别超过2 000和6 000 kg·hm<sup>-2</sup>的品种,产量并不随生物量增加而增加<sup>[16-18]</sup>。夏大豆地上部生物量与产量显著相关,随生长进程,相关系数逐渐增加,至鼓粒期(R5~R6期)相关系数达到最大, $R^2$ 分别约0.76和0.79<sup>[19]</sup>。在开花结荚期,光合作用上大致减少38%可使产量降低17%<sup>[20]</sup>。高产春大豆干物质最大积累速率出现在结荚期(出苗期后72~85 d),开花结荚期干物质积累量占总干物质的55.6~65.1%,始粒至成熟期间干物质积

累量占总干物质质量的30~35.1%<sup>[21]</sup>。大豆干物质积累最快时期出现在出苗后80 d左右,产量5 521.5 kg·hm<sup>-2</sup>的最大干物质积累速率为36.6 g·m<sup>-2</sup>,低于产量为4 666.5 kg·hm<sup>-2</sup>(39.9 g·m<sup>-2</sup>)<sup>[3]</sup>。本研究表明,在产量为4 627.4~5 734.2 kg·hm<sup>-2</sup>的范围内,花期、荚期的干物质积累增量分别在2 749.0~4 996.1和4 984.8~7 800.8 kg·hm<sup>-2</sup>的范围内,花期干物质增量与产量相关不显著( $P=0.482$ ),花荚期干物质增量与产量呈极显著正相关( $P=0.869^{**}$ ),这与前人研究结果相似。花数、荚数与产量的相关系数分别为0.703\*和0.915\*\*,较多的花数、荚数是大豆获得高产的前提条件。本研究获得最高产量为5 734.2 kg·hm<sup>-2</sup>,其相应的总花数、总荚数分别为3 773.3 × 10<sup>4</sup>朵·hm<sup>-2</sup>、1 127.3 × 10<sup>4</sup>个·hm<sup>-2</sup>。

大豆花期、荚期的干物质积累影响花荚形成,

进而影响产量的。大豆花期、花荚期 0 ~ 80 cm 土层根干质量增量分别与花数、荚数的关系均可用直线回归方程模拟,相关系数分别为 0.970 和 0.900 1 ( $P < 0.05$ )<sup>[22]</sup>。本研究结果表明,在大豆产量为 4 627.4 ~ 5 734.2 kg·hm<sup>-2</sup> 的范围内,大豆花期地上部干物质增量与开花数呈二次曲线关系、花荚期干物质增量与成荚数呈线性关系,决定系数  $R^2$  分别为 0.673 9\* 和 0.719 4\*\*。一方面,由于花期、花荚期干物质积累是花、荚形成的物质基础<sup>[23-24]</sup>,适量干物质积累能促进花、荚形成,增加单位面积的花数、荚数;另一方面,花期干物质积累过多主要是茎叶徒长的结果<sup>[25]</sup>,反而会减少花数、增加花和幼荚脱落,减少荚数、粒数,降低鼓粒期干物质积累量和产量。这可能是大豆产量不随花期的干物质积累量增加而增加<sup>[12]</sup>的主要原因。

花期茎秆、叶片、叶柄干物质增量也与成花数呈二次曲线关系,花荚期茎秆、叶片、叶柄干物质增量与成荚数呈二次曲线关系,表明要形成较多的花荚数,花荚期需要适宜的茎叶干物质积累量,茎叶干物质质量过大、过少均不利于花荚形成。花期地上部各营养器官干物质增量大小顺序为茎 > 叶片 > 叶柄,花荚期则为茎(荚) > 叶片 > 叶柄。故花期干物质增量主要是茎秆和叶片增量大的结果,花荚期干物质增量则主要是茎、荚干重增量大的结果。由于茎干重的绝大部分增量是花期完成的。因此,荚期荚的干物质增量对于花荚期总干物质质量大小起决定性作用。花期的干物质积累量过大,是茎中、下部节间过度伸长,茎过高、群体叶面积指数过大的结果,因而不利于花荚的形成;而花荚期干物质积累量大,主要是荚期茎和荚干物质积累量大的结果。而荚期茎的生长主要是上部节间的伸长和充实,干物质积累量大对上部节的花、荚形成和鼓粒有利。可见,花期控制茎叶稳健生长、积累适量干物质,结荚期促进茎荚快速生长,干物质积累量大是大豆超高产的干物质积累特点。花期、荚期干物质增量分别 4 377 和 7 800 kg·hm<sup>-2</sup>,茎分别占 44%、32%,可获得近 6 000 kg·hm<sup>-2</sup> 的产量。花期稳健生长、荚期荚快速生长,荚干物质积累量大、单位面积花、荚数多是超高产品种的基本特征。栽培上花期采取控肥水、化控等措施控茎叶稳健生长,结荚期适量水肥齐攻,促荚快速生长,增加花、荚数、实现高产高效。本试验结果由于受到试验材料和气候条件的局限性,超高产大豆干物质与花荚的关系有待进一步研究。

4 结 论

在大豆产量为 4 627.4 ~ 5 734.2 kg·hm<sup>-2</sup> 的范

围内,花期的干物质增量与开花数呈二次曲线关系、花荚期的干物质增量与成荚数呈线性关系。花期干物质积累适中,结荚期干物质积累量大,茎约占 31%,有利于高产。在花期、花荚期地上部干物质增量分别为 4 373 和 7 801 kg·hm<sup>-2</sup>,获得产量为 5 734.2 kg·hm<sup>-2</sup>,其相应的总花数、总荚数分别为  $3\,773.3 \times 10^4$  朵·hm<sup>-2</sup>、 $1\,127.3 \times 10^4$  个·hm<sup>-2</sup>;花数、荚数与对应花期、花荚期的干物质增量比值依次为 8.63 朵·g<sup>-1</sup>、1.45 个·g<sup>-1</sup>。

参考文献

[1] 赵团结, 盖钧镒, 李海旺, 等. 超高产大豆育种研究的进展与讨论[J]. 中国农业科学, 2006, 39(1):29-37. (Zhao T J, Gai J Y, Li H W, et al. Advances in breeding for super high-yielding soybean cultivars[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(1): 29-37. )

[2] 宋书宏, 董钻. 不同大豆品种开花结荚习性比较[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11):1420-1423. (Song S H, Dong Z. Comparative study on blooming sequence and podding habit of soybean [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(11):1420- 1423. )

[3] 魏建军, 罗赓彤, 张力, 等. 中黄 35 超高产大豆群体的生理参数[J]. 作物学报, 2009, 35(3):506-511. (Wei J J, Luo G T, Zhang L, et al. Physiological parameters of super-high yielding soybean cultivar Zhonghuang 35 [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(3): 506-511. )

[4] 王维俊, 章建新. 滴水量对中熟大豆超高产田干物质积累和产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(1):60-64. (Wang W J, Zhang J X. Effect of different quantities of drip irrigation on dry matter accumulation and yield of mid-mature soybean for super-high-yielding production [J]. Soybean Science, 2015, 34 ( 1 ): 60-64. )

[5] 章建新, 周婷, 贾珂珂. 超高产大豆品种花荚形成及其时空分布[J]. 大豆科学, 2012, 31(5):739-743. (Zhang J X, Zhou T, Jia K K. Formation and space-time distribution of flowers and pods for super-high-yielding soybeans [J]. Soybean Science, 2012, 31(5):739-743. )

[6] 赵双进, 唐晓东, 赵鑫, 等. 大豆开花落花及时空分布的观察研究[J]. 中国农业科学, 2013, 46(8):1543-1554. (Zhao S J, Tang X D, Zhao X, et al. Observation and research on the temporal and spatial distribution of flowering and flower dropping of soybean [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46 ( 8 ): 1543-1554 )

[7] 章建新, 贾珂珂, 艾红玉. 中熟超高产大豆品种的花荚形成及时空分布[J]. 大豆科学, 2013, 32(3):316-320. (Zhang J X, Jia K K, Ai H Y. Formation and space-time distribution of flowers and pods for mid-mature super-high-yielding soybeans [J]. Soybean Science, 2013, 32(3):316-320. )

[8] 石连旋, 刘立侠, 朱长甫, 等. 不同株型大豆形态与花荚脱落率的研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2005, 37(3):81-84. (Shi L X, Liu L X, Zhu C F, et al. Studies on morpho, flower and pod abscission rate of different soybean plant-types [J]. Journal of Northeast Normal University, 2005, 37(3):81-84. )

[9] 蒋利, 雍太文, 张群, 等. 种植模式和施氮水平对大豆花荚脱落及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(5):843-849. (Jiang L, Yong T W, Zhang Q, et al. Effect of different planting patterns and N application rates on abscission of flower and pod of soybean and yield [J]. Soybean Science, 2015, 34(5):843-849.)

[10] 王连铮, 罗庚彤, 王岚, 等. 北疆春大豆中黄 35 公顷产量超 6 吨的栽培技术创建[J]. 大豆科学, 2012, 31(2):217-223. (Wang L Z, Luo G T, Wang L, et al. Development of soybean cultivation technology with the yield over 6 tonnes per hectare for soybean cultivar Zhonghuang 35 in northern Xinjiang province[J]. Soybean Science, 2012, 31(2):217-223.)

[11] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海, 上海科学技术出版社, 2000: 42-210. (Lin Q H. Crop population quality[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2000: 42-210.)

[12] 黄中文, 赵团结, 盖钧镒. 大豆不同产量水平生物量积累与分配的动态分析[J]. 作物学报, 2009, 35(8):1483-1490. (Huang Z W, Zhao T J, Gai J Y. Dynamic analysis of biomass accumulation and partition in soybean with different yield levels [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(8):1483-1490.)

[13] Egli D B, Guffy R D, Heitholt J J. Factors associated with reduced yields of delayed plantings of soybean[J]. Journal of Agronomy & Crop Science, 1987, 159(3):176-185.

[14] 孙贵荒, 刘晓丽, 董丽杰, 等. 高产大豆干物质积累与产量关系的研究[J]. 大豆科学, 2002, 21(3):199-202. (Sun G H, Liu X L, Dong L J, et al. Studies on the relationship between yield and dry matter accumulation in high yield potential soybean [J]. Soybean Science, 2002, 21(3):199-202.)

[15] 张晓艳, 杜吉到, 郑殿峰, 等. 大豆不同群体叶面积指数及干物质积累与产量的关系[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11):161-163. (Zhang X Y, Du J D, Zheng D F, et al. Studies on the relationship between yield and leaf area index and their dry matter accumulation dynamic on the different population [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11):161-163.)

[16] Board J E, Modali H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean [J]. Crop Science, 2005, 45(5):1790-1799.

[17] 才艳, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 氮肥施用量对大豆生长动态及干物质积累的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2007, 19(2):13-16. (Cai Y, Zheng D F, Feng N J, et al. Effect of nitrogen fertilizer on growth tendency, dry matter accumulation and distribution in soybean[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2007, 19(2):13-16.)

[18] 闫春娟, 韩晓增, 王守宇, 等. 水钾耦合对大豆干物质积累和产量的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(6):862-867. (Yan C J, Han X Z, Wang S Y, et al. Effect of water-potassium coupling on dry matter accumulation and yield of soybean [J]. Soybean Science, 2007, 26(6):862-867.)

[19] 李远明, 刘丽君, 祖伟, 等. 不同基因型大豆品种干物质积累与产量形成的关系[J]. 东北农业大学学报, 1999, 30(4):13-17. (Li Y M, Liu L J, Zu W, et al. The relationship between dry matter accumulation and yield among different genotypes of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1999, 30(4):13-17.)

[20] Christy A L, Porter C A. 14: - Canopy photosynthesis and yield in soybean[J]. Photosynthesis, 1982, 70(3):499-511.

[21] 李思忠, 章建新, 李春艳, 等. 滴灌大豆干物质积累、分配及产量分布特性研究[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(7):21-28. (Li S Z, Zhang J X, Li C Y, et al. Characteristics of dry matter accumulation, distribution and yield of high-yield soybean [J]. Journal of China Agricultural University, 2016, 21(7):21-28.)

[22] 李春艳, 李思忠, 楚光红, 等. 不同滴水量处理下大豆根系生长与花荚形成的关系[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(2):198-204. (Li C Y, Li S Y, Chu G H, et al. Relationship of soybean root growth and flower-pod formation under different irrigation quantities[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016, 39(2):198-204.)

[23] Heitholt J J. Characteristics of reproductive abortion in soybean [J]. Crop Science, 1986, 26(3):589-595.

[24] Heitholt J J, Egli D B, Leggett J E, et al. Role of assimilate and carbon-14 photosynthate partitioning in soybean reproductive abortion[J]. Crop Science, 1986, 26(5):999-1004.

[25] 宋微微, 杜吉到, 郑殿峰, 等. 大豆干物质积累、分配规律的研究进展[J]. 大豆学, 2008, 27(6):1062-1066. (Song W W, Du J D, Zheng D F, et al. Research progress on dry matter accumulation and distribution rules of soybean population[J]. Soybean Science, 2008, 27(6):1062-1066.)