

# 春大豆根系生长与花荚形成的关系研究

李思忠, 章建新

(新疆农业大学 农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 2013—2014 年在新疆伊宁县科技示范园研究了中熟超高产大豆与高产品种(系)在根系伤流量、0~80 cm 土层根干重等方面的差异及其与开花、结荚数的关系。结果表明:在开花、结荚期形成近 80% 根量,超高产品种(系)在花、荚期根系伤流量、0~80 cm 土层总根干重、0~40 cm 根系活性、总花数、总腔数均明显高于高产品种(系);花期根干重增量、伤流势与总花数的相关系数分别为 0.970、0.898( $P < 0.05$ ),花荚期根干重增量、伤流势与总荚数的相关系数分别为 0.905、0.77( $P < 0.05$ );超高产品种(系)花、荚期根量大、活性高是其总花、荚数明显多于高产品种(系)的重要原因之一;中熟春大豆近 6 000 kg·hm<sup>-2</sup>产量在始粒期获得,0~80 cm 土层根系总干重为 125~142.3 g·m<sup>-2</sup>,总花数 3 448.4~3 695.7 × 10<sup>4</sup>朵·hm<sup>-2</sup>、总腔数 2 767.4~3 303.8 × 10<sup>4</sup>个·hm<sup>-2</sup>。

**关键词:** 大豆;根系;花;荚;超高产

**中图分类号:** S311 **文献标志码:** A

## Study on the relationship between root growth of spring soybean and flower pod formation

LI Si-zhong, ZHANG Jian-xin

(College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** To prove the growth of super high yield soybean, a field study to investigate the relationship between root and the formation of flower and pod was implemented during 2013—2014. The main purpose of the study was to explore the relationship among root bleaching quantities, and differences of root dry weight in the 0~80 cm soil and flowering-pod numbers. The results showed that nearly 80% of the root weight was formed during the flowering and pod-bearing stages. For super high-yielding variety (lines), its root bleaching quantity at the flowering-pod stage, total root dry weight in the 0~80 cm soil layer, root activity in 0~40 cm, total flowers, and total cavity number were all significantly higher than those of the high yield variety (lines). The correlation coefficients between root dry weight increment, and bleeding potential and total flowers at the flowering stage were 0.970, and 0.898 ( $P < 0.05$ ), respectively. The correlation coefficients between root dry weight increment, and bleeding potential and total flowers at the flowering-pod phase were 0.905, and 0.77 ( $P < 0.05$ ), respectively. The total flower-pod number of the super high-yielding variety (lines) was significantly higher than that of the high yield variety (lines) because of the large root volume and the high activity of the former. Yield of spring soybean with medium maturity was nearly 6 000 kg·hm<sup>-2</sup> at the R5 stage. Total root dry weight was 125~142.3 g·m<sup>-2</sup> in 0~80 cm soil. The total number of flowers were 3 448.4~3 695.7 × 10<sup>4</sup>·hm<sup>-2</sup>, and the total number of cavities were 2 767.4~3 303.8 × 10<sup>4</sup>·hm<sup>-2</sup>.

**Keywords:** spring soybean; super high yield; root; flower; pod

中黄 35 品种在新疆石河子创造了全国春大豆高产纪录<sup>[1-2]</sup>。以往对新疆超高产大豆的研究多集中在群体生理参数<sup>[3-4]</sup>和养分吸收<sup>[5]</sup>等方面。植物根系既是水分和养分吸收的主要器官,又是多种激素、有机酸和氨基酸合成的重要场所,其形态和生理

特性与地上部的生长发育、产量和品质形成均有密切的关系<sup>[6-7]</sup>。获得较高的生物产量是大豆高产稳产的物质基础,而根系生长状况很大程度上决定了生物产量的高低<sup>[8]</sup>。高产大豆根系具有一定的数量和较高的质量,85%根干重集中分布在 0~10 cm 土

层<sup>[9-10]</sup>。强大侧根增加大豆总根长,而总根长与籽粒产量呈正相关<sup>[11]</sup>。大豆根系性状在品种间存在显著差异<sup>[12]</sup>。大豆根系生长发育、空间分布状况与植株地上部生长、花荚形成和产量建成等密切相关<sup>[13]</sup>。以往有关大豆根系与产量关系的研究多仅限于某一生育时期根系性状与产量的相关分析<sup>[14]</sup>。花数、荚数和粒数多是超高产大豆品种的一个重要特征<sup>[15-16]</sup>。有关大豆根系生长与花荚形成的关系不清楚。生产上的增花、增荚措施具有盲目性。探明超高产大豆根系生长与花荚形成的关系对于实现大豆超高产具有重要意义。本试验在田间研究了超高产大豆黑农 61、新大豆 27 号、11-109 与高产品种(系)石大豆 2 号、13-96、13-139 在根系伤流量、0~80 cm 土层根干重差异及其与开花、结荚数差异的关系。为超高产大豆品种的选育提供理论依据。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验地概况及试验设计

试验于 2013—2014 年在新疆伊宁县科技示范园区(萨地克于孜乡)进行。2013 年试验地为砂土,20 cm 土层土壤有机质为  $21.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 碱解氮  $35.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $15.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $183.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。前茬为甜菜。翻地前施磷酸二铵  $150.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。供试品种(系)新大豆 27 号、11-109、黑农 61、石大豆 2 号。田间按随机区组排列,重复 3 次。小区面积  $16 \text{ m}^2$ (长 5 m、宽 3.2 m,8 行区)。2013 年 4 月 13 日抢墒人工按 50 cm + 30 cm 宽、窄行播种。4 月 30 日出苗,第一复叶全展时定苗,理论保苗  $3.2 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。6 月 7 日喷施 15% 多效唑可湿性粉剂  $0.225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,6 月 15 日再次喷施  $0.42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。采用 1 管 2 行布管滴灌,毛管分布于窄行间,6 月 20 日、7 月 4 日、7 月 20 日分别滴水  $750.0 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,8 月 6 日滴水  $600.0 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,共滴水  $2775 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。分别在 6 月 20 日、7 月 4 日随水各滴施尿素  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,累计滴施尿素  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;9 月 4~12 日收获。

2014 年试验地为砂土,0~20 cm 土层土壤含有有机质 1.22%、碱解氮  $72.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷  $18.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾  $75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,前茬为玉米。供试材料为新大豆 27 号、黑农 61、品种(系)、11-109、13-96、13-139 品种(系)。田间排列、重复次数及小区面积等与 2013 年相同。4 月 5 日人工开沟条播,4 月 28 日出苗。理论保苗  $3 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。6 月 19 日、7 月 4 日、7 月 19 日各滴水  $900 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,8 月 19 日滴水  $675 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,累计灌水  $3375 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在 6 月

19 日、7 月 4 日分别随水滴施尿素  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,累计滴施尿素  $350 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。9 月 3 日—18 日完熟时收获。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 根系性状测定 于 2013 年(2014 年)分别在 6 月 8 日(6 月 5 日)、6 月 28 日、7 月 28 日、8 月 16 日(8 月 24 日)采用沟壕法分层取 4 次样测定各材料 0~80 cm 土层根系干重变化。取样体积 20 cm(行长方向)×40 cm(窄行中点与宽行中点距离)×20 cm(深),共分 4 层。分别捡取根样,洗净去杂后,将根于  $105^\circ\text{C}$  杀青 30 min, $80^\circ\text{C}$  烘至恒重后称重。

1.2.2 根系伤流量及根活性测定 分别在取根样前 1 d 天晚 20 时,选取具代表性连续 5 株,将植株从子叶节处剪断,把装有脱脂棉的已知重量试管与主茎切口套牢,并设置对照,次日 8 时对已采集伤流液试管用感量 0.1 mg 的电子天平称重,计算伤流量。伤流势( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ) =  $1/2(L_1 + L_2) \times (t_2 - t_1)$ ,式中, $L_1$  和  $L_2$  为前后 2 次测定的伤流量, $t_1$  和  $t_2$  为前、后 2 次的测定时间。

1.2.3 花数及荚数的测定 自大豆开花期开始,分别选取各品系生长整齐连续 8 株挂牌,每隔 1 d 调查其开花数、结荚数,直至成熟。

1.2.4 产量及其垂直分布测定 成熟期分别实收各小区中间 4 行  $4.8 \text{ m}^2$ ,人工脱粒称重后,随即称取 100 g 烘干测定含水量,以各品种(系)3 次重复平均值计算折合籽粒产量(含水量 13.5%)。连续取各处理具代表性 20 株,逐株测定主茎各节的总腔数(粒数 + 空腔数)、粒数、结实率(粒数 ÷ 总腔数 × 100% 粒数)、百粒重等。根花比(单位面积总花数 ÷ 单位面积终花期根干重)、根腔比(单位面积总腔数 ÷ 单位面积始粒期根干重)

### 1.3 数据统计及分析

采用 SPSS 19.0 及 Sigmaplot 12.0 软件进行数据分析及绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同大豆品种(系)根干重及根干重密度动态变化

由图 1A(2013 年)和 1a(2014 年)根系总干重可见,各材料自始花期开始迅速增加至始粒期达峰值后下降,始花期至始粒期根系干重积累量分别占始粒期根干重的 70.35%~86.4%,且 2014 年较 2013 年总根干重略高。自始荚期后不同品种(系)之间根系干重差异显著,2013 年新大豆 27 号、黑农 61 始粒期根干重分别比石大豆 2 号增加 41.5%、22.4%,

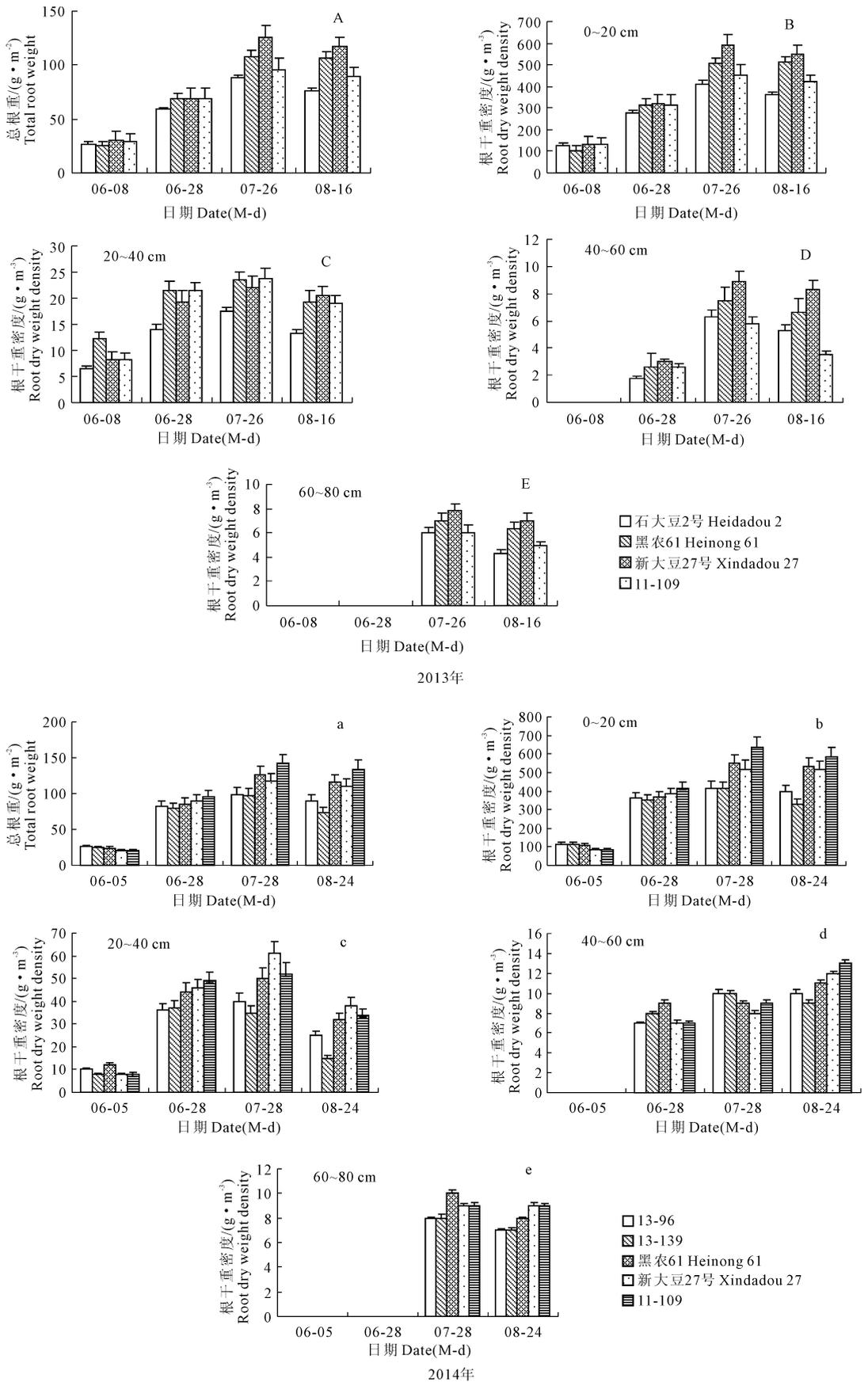


图1 大豆不同品种根干重动态变化

Fig.1 Dynamic variations in root dry weight for different soybean varieties

2014 年 11-109、黑农 61 始粒期根干重分别比 13-96 和 13-139 的平均值增加 44.7%、27.9%。由图 1B 和 1b 0~20 cm 土层根干重密度可见,不同品种(系)之间差异显著,2013 年新大豆 27 号、黑农 61 始粒期的根干重密度分别比石大豆 2 号增加 46.6%~22.3%,2014 年 11-109、黑农 61 始粒期的根干重密度分别比 13-96 和 13-139 的平均值增加 50.2%、31.6%。由图 C、c(20~40 cm)、D、d(40~60 cm)、E、e(60~80 cm)根密度可见,不同品种(系)之间存在显著差异。2013 年、2014 年始粒期 0~20 cm 土层根系干重分别占总干重的 92.7%~94.0%、85.5%~89.9%,2013 年略高于 2014 年,2013 年各品种(系)最大根系干重(88.4~125.1 g·m<sup>-2</sup>)略低于 2014 年最大根系干重(99.2~142.3 g·m<sup>-2</sup>)。上述品种(系)近 80% 的根系在始花至始粒期形成,新

大豆 27 号、黑农 61 根系总干重明显高于石大豆 2 号和 13-96、13-139,主要是 0~20 cm 土层的根干重差异所致,并且年份间差异大。

## 2.2 根系活性及伤流量的动态变化

由图 2(A)可见,各品种根伤流势随生育进程的推移逐渐降低,6 月 18 至 6 月 28 日达最低值后缓慢上升。根系伤流量品种间差异显著,始花期多表现为 11-109(新大豆 27 号、黑农 61、新大豆 27 号) > 13-96(13-139)。0~20、20~40 cm 土层根系活力品种(系)间差异显著,多表现为 11-109(新大豆 27 号、黑农 61) > 13-96(13-139)(见图 2(B)、图 2(C)),40~60 cm 土层根系活力差异不显著(见图 2(D))。新大豆 27 号、黑农 61、11-109 花、荚期根系的伤流量和 0~40 cm 土层根系活力明显高于 13-96、13-139。

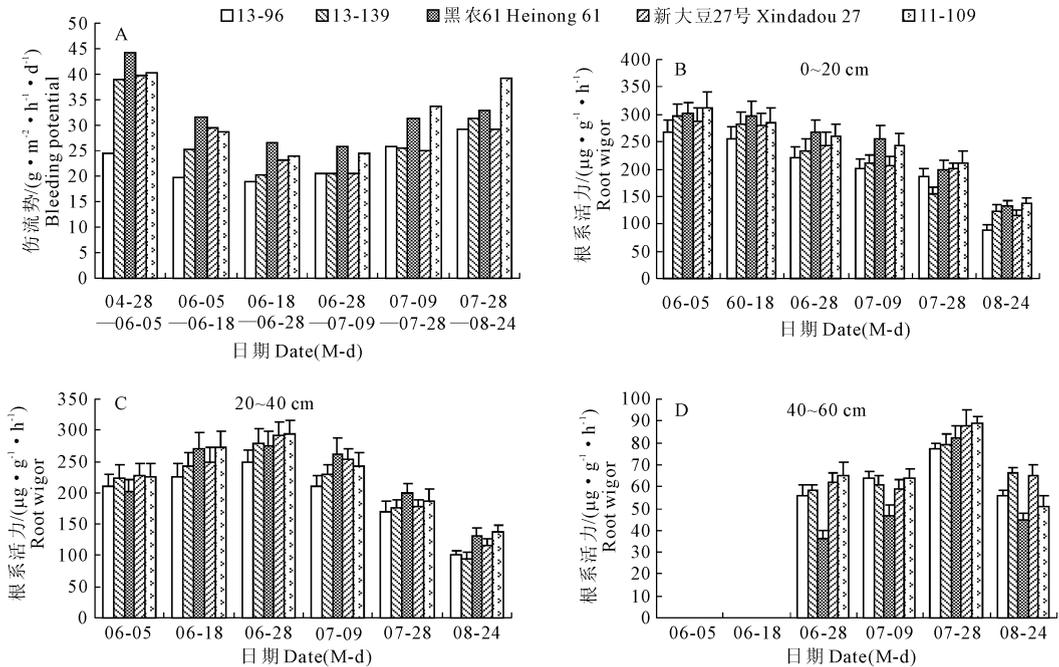


图 2 大豆不同品种伤流量与根系活力空间分布

Fig. 2 Bleaching quantities and spatial distributions of root activities for different soybean varieties

## 2.3 品种(系)间花、荚数和开花、结荚过程的差异

由表 1 可见,两年试验的品种(系)间单株花数和总花数、单株荚数和总荚数差异均达显著水平。2013 年单株花数和总花数分别表现为新大豆 27 号(黑农 61) > 11-109 > 石大豆 2 号、新大豆 27 号 > 黑农 61(11-109) > 石大豆 2 号,2014 年单株花数和总花数分别表现为 11-109(新大豆 27 号、黑农 61) > 13-139 > 13-96,2013 年最高总花数  $3\ 695.7 \times 10^4$  朵·hm<sup>-2</sup>(新大豆 27 号)明显高于 2014 年最高总花数  $3\ 448.4 \times 10^4$  朵·hm<sup>-2</sup>(11-109);2013 年单株荚数和总荚数均表现为新大豆 27 号(黑农 61) > 石

大豆 2 号(11-109),2014 年单株荚数和总荚数分别表现为 11-109(黑农 61、13-139) > 新大豆 27 号(13-96),2013 年最高总荚数  $3\ 303.8 \times 10^4$  个·hm<sup>-2</sup>(13-139)明显高于 2014 年最高总荚数  $2\ 843.5 \times 10^4$  个·hm<sup>-2</sup>(13-139);由图 3 可知,2013 年各品种(系)在 6 月 6 日至 7 月 4 日开花,黑农 61、11-109 在 6 月 20 日左右,石大豆 2 号、新大豆 27 号 6 月 26 日左右达日开花数高峰期,在 6 月 16 日至 7 月 17 日期间结荚,黑农 61 在 6 月 26 日左右、新大豆 27 号和 11-109 在 7 月 5 日左右、石大豆 2 号在 7 月 12 日左右达日成荚高峰期;2014 年各品种(系)在 6

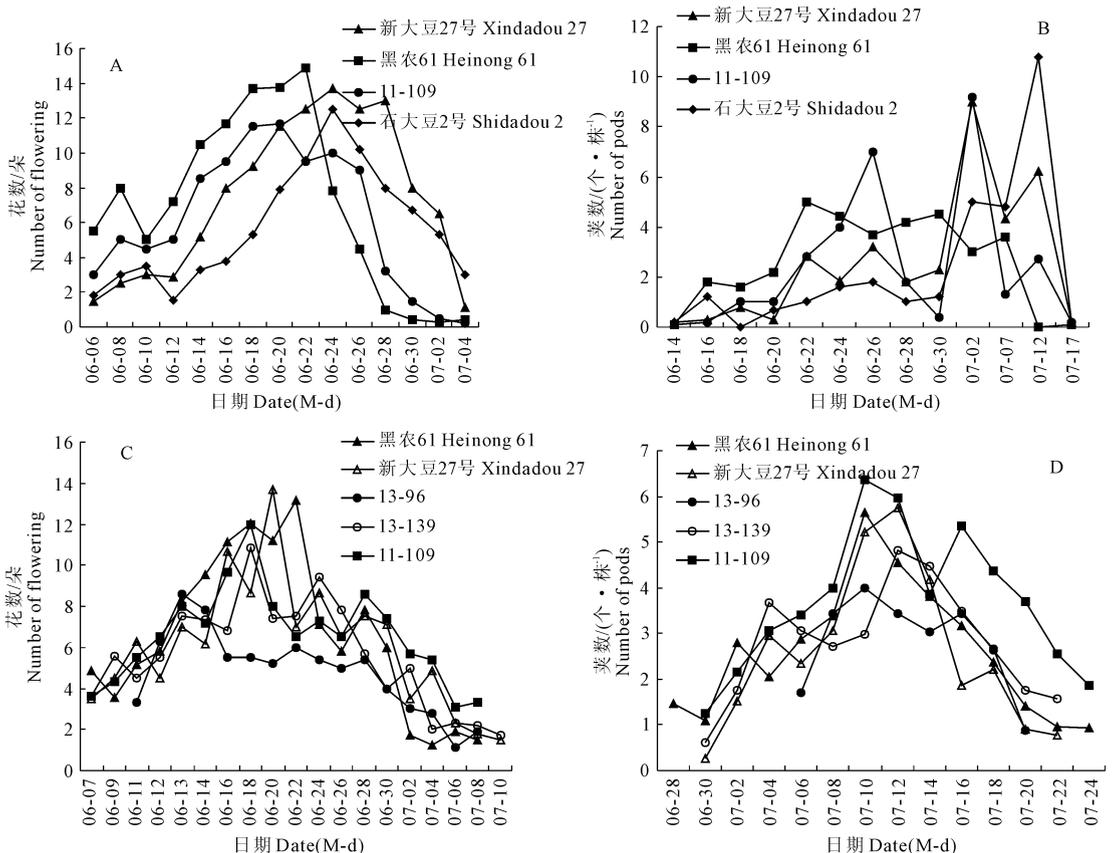
月 7 日至 7 月 10 日开花,日开花数高峰期多在 6 月 20 日左右,在 6 月 28 日至 7 月 24 日期间结荚,黑农 61、新大豆 27 号、11-109、13-96、13-139 的日结荚数高峰期在 7 月 10 日左右,11-109 在 7 月 16 日出现二次日结荚高峰。与 2013 年相比,2014 年花期

延长,结荚期推迟。大豆开花、结荚动态的品种(系)及年份间差异大,单株花、腔数的差异是导致单位面积总花、腔数差异主要原因,增加花数是增加荚腔数的重要途径。

表 1 不同品种(系)的花数、荚数

Table 1 Comparisons on the flower and pod numbers of different varieties (lines)

年份 Year	品种(系) Varieties(Lines)	单株花数/朵 Flowers pre plant	总花数/(万朵·hm <sup>-2</sup> ) Total flowers	单株腔数/个 Pods pre plant	总腔数/(万个·hm <sup>-2</sup> ) Total pods
2013	石大豆 2 号 Shidadou 2	86.6cB	2813.4cC	90.0bB	2925.0bB
	新大豆 27 号 Xindadou 27	110.7aA	3695.7aA	102.0aA	3303.8aA
	黑农 61 Heinnong 61	103.5aA	3239.6aAB	103.3aA	3232.7aA
	11-109	93.4bB	3008.4bB	89.0bB	2864.4bB
	13-96	76.8cC	2281.0cC	84.0cB	2494.8cC
2014	13-139	106.7bB	3190.3bB	95.1aA	2843.5aA
	黑农 61 Heinnong 61	117.9aA	3442.7aA	96.8aA	2826.6aA
	新大豆 27 号 Xindadou 27	115.7aA	3401.6aAB	88.7bB	2607.8bB
	11-109	118.5aA	3448.4aA	95.1aA	2767.4aAB



注:A、B 为 2013 年数据,C、D 为 2014 年数据。 Note: A and B stand for the data from 2013. C and D stand for the data from 2014.

图 3 不同品种(系)开花、结荚动态

Fig.3 Dynamics in flowering and podding of different soybean varieties

2.4 根系干重和伤流势与花、荚形成的关系

由图 4(2014 年数据)可见,花期根干重增量和

伤流势与总花数呈显著正相关,相关系数分别为 0.970\*、0.898\* ;花荚期根干重增量和伤流势与总

荚数呈显著正相关, 相关系数分别为 0.905\*、0.77\*。根系干重和根系伤流势与花、荚形成的关

系密切, 促进花荚期根系生长, 增加花荚期根干重和伤流势是提高总花数、总荚数的重要途径。

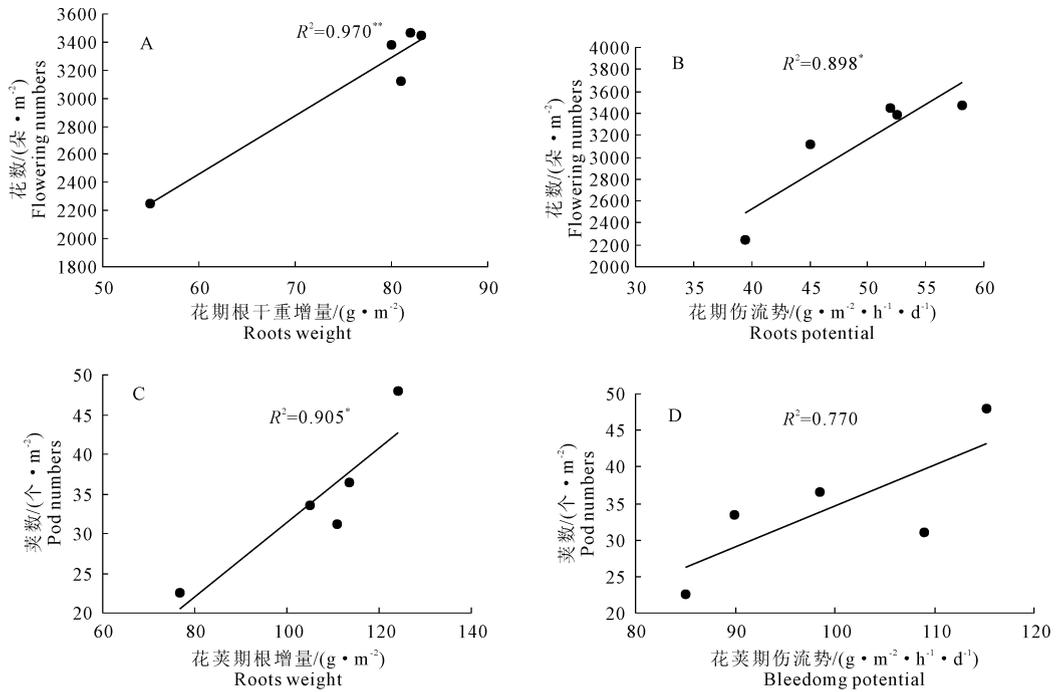


图 4 花、荚期根干重增量及伤流势与总花数、总荚数的关系

Fig. 4 Increments of root dry weight and relationship between bleaching activity and total flower and pod numbers at the flowering-podding stage

## 2.5 品种(系)间产量及产量构成差异

由表 2 可见, 两年试验的品种(系)间产量、单株荚数、单株粒数和结实率差异均达显著水平。2013 年、2014 年产量分别表现为新大豆 27 号(黑农 61) > 11-109 > 石大豆 2 号、新大豆 27 号(黑农 61) > 11-109(黑农 61、新大豆 27) > 13-96(13-139), 2013 年新大豆 27 号(6 202.8 kg·hm<sup>-2</sup>)比石大豆 2

号增产 30.2%, 2014 年 11-109(5 648.5 kg·hm<sup>-2</sup>)比 13-96 增产, 14.7%; 因 2014 年发生倒伏, 导致产量明显低于 2013 年。两年试验品种(系)间单株荚、粒数、结实率的差异均达显著水平, 百粒重 2013 年品种(系)间差异显著、2014 年差异不显著。品种(系)间产量的差异主要是单株荚数和单株粒数差异所导致。

表 2 产量及其构成因素

Table 2 Yields and their composition indexes

年份 Years	处理 Treatment	收获株数 Plant number (×10 <sup>4</sup> 株·hm <sup>-2</sup> )	单株荚数 Pods per plant /(个·株 <sup>-1</sup> )	单株粒数 Grains per plant /(粒·株 <sup>-1</sup> )	百粒重/g 100-seed weight	结实率/% Seed setting rate	产量 Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
2013	石大豆 2 号 Shidadou 2	32.5aA	29.2cC	66.6bB	22.1bB	74.0bB	4762.5cC
	新大豆 27 号 Xindadou 27	32.4aA	32.8bB	82.9aA	22.4bA	81.36aA	6202.8aA
	黑农 61 Heinong 61	31.3aA	35.8aA	78.7aA	23.9aA	76.2AbB	5871.5aA
	11-109	32.2aA	31.5bB	70.1bB	23.5aAbB	78.8aAbB	5224.0bB
	13-96	29.7aA	22.5dC	71.2cB	23.2aA	84.8bBC	4924.5cB
2014	13-139	29.9aA	33.5bcB	75.5bB	23.0aA	78.9cC	5160.0bB
	黑农 61 Heinong 61	29.2aA	36.5bB	82.1aA	23.3aA	84.8bBC	5587.5aA
	新大豆 27 号 Xindadou 27	29.4aA	31.1cB	82.0aA	22.1aA	92.4aA	5325.6bAB
	11-109	29.1aA	47.9aA	84.0aA	23.1aA	88.3aAB	5648.5aA

注: 大、小写字母分别表示在 1% 和 5% 水平上差异显著。

Note: Values followed by different letters are significantly different at 1% (capital letter) and 5% (small letter) levels.

### 3 讨论与结论

#### 3.1 关于大豆根系生长与产量的关系

根系生长发育<sup>[17]</sup>、形态构型<sup>[18]</sup>、生理特性<sup>[19]</sup>在很大程度上影响植株所获得有限资源的多少和吸收利用能力,进而影响植株地上部分的生长发育和产量建成。根系性状因不同施肥量而异,造成根系对地上部的供养能力不同,最终影响籽粒产量<sup>[18]</sup>。超高产大豆品种根系活力、根系伤流量、根系干重在 $V_3$ 期较低,但在 $R_1$ — $R_6$ 期极显著高于普通大豆品种<sup>[14]</sup>。本研究表明,产量在 $4\ 762.5 \sim 6\ 202.8\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的范围内,在同一年份内单位面积根系干重与产量呈正相关关系。2013年新大豆27号产量( $6\ 202.8\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),始粒期根干重( $125.1\ \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )明显低于2014年产量( $5\ 648.5\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )和11—109根干重( $142.3\ \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )。这可能是由于2014年花荚期温度明显低于2013年的原因,推迟参试材料的生育进程,导致新大豆27号在7月25日(结荚末期)发生严重倒伏,产量明显低于2013年。根系与产量的关系可能与因品种特性不同,并受年份间气候条件的影响而发生变化,有待进一步研究。

#### 3.2 根系生长与花荚形成的关系

超高产大豆的最重要特征是单位面积上形成比高产品种更多花数、荚数和粒数,并具有较强的开花期和结荚期和较高的日开花、结荚数<sup>[15,21]</sup>。大豆生殖生长期根系性状与产量间有很好的正相关<sup>[19]</sup>。在于大豆根系对产量的影响是通过花、荚、粒(数量和质量)形成过程的影响逐步实现的。本试验结果表明,春大豆中熟品种(产量为 $4\ 762.5 \sim 6\ 202.8\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )根系的近80%是在开花、结荚期形成的,伴随着大豆根量增大和分布加深,主茎各节上花、荚大体按自下而上的先后顺序形成;花、荚期根系干重和伤流势与开花、结荚数呈显著的正相关关系。新大豆27号(2013年)、11—109(2014年)花、荚期根系生长速度快,根量大,是其总花、荚数明显多于石大豆2号(2013年)、13—96(2014年)的重要原因。超高产品种在花、荚期具有比高产品种更强大的生理功能,能吸收更多的养分,从而形成比高产品种更多的花、荚数,为超高产奠定基础。选择花、荚期根系生长速度快,根量大的材料可能是增加单位面积总花、荚数,进一步提高产量的重要途径。有关大豆花、荚形成与根系生长的关系有待进一步深入研究。

在开花、结荚期形成近80%大豆的根量;超高产品种(系)在花、荚期的根系伤流量、0~80 cm土层总根干重、0~40 cm土层根系活性、总花数、总腔

数明显高于高产品种(系);花期根干重增量和根系伤流势与总花数的相关系数分别为 $0.970^*$ 、 $0.898^*$ ,花荚期根干重增量和伤流势与总荚数的相关系数分别为 $0.905^*$ 、 $0.77^*$ 。超高产品种(系)花、荚期根量大、活性高是其总花、荚数明显多于高产品种(系)的重要原因。

#### 参考文献:

- [1] 王连铮,罗庚彤,王 岚,等.北疆春大豆中黄35公顷产量6吨的栽培技术创建[J].大豆科学,2012,31(2):217-223.
- [2] 孙君明,韩天富,王连铮.研究员荣获2012年度何梁何利奖[J].大豆科学,2012,31(6):992.
- [3] 魏建军,罗庚彤,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.
- [4] 王晓光,赵念力,魏建军,等.中黄35大豆超高产实例分析[J].大豆科学,2010,36(6):1051-1053.
- [5] 魏建军,杨相昆,张占琴.土壤主要养分变化和超高产大豆养分吸收之间关系的研究[J].大豆科学,2010,29(5):791-795.
- [6] Fitter A. Characteristics and functions of root systems[C]//Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U. Plant Roots, the Hidden Half. New York: Marcel Dekker Inc., 2002:15-32.
- [7] Fitter A H. Roots as dynamic systems: the developmental ecology of roots and root systems[C]//Press M C, Scholes J D, Barker M G. Plant Physiological Ecology. London: Blackwell Scientific, 1999:115-131.
- [8] 晁毛妮,郝德荣,印志同,等.大豆生物量与产量组间的相关及关联分析[J].作物学报,2014,40(1):7-16.
- [9] 金 剑,王光华,刘晓冰,等.东北黑土区高产大豆R5期根系分布特征[J].中国油料作物学报,2007,29(3):266-271.
- [10] 孙广玉,张荣华,黄忠文.大豆根系在土层中分布特点的研究[J].中国油料作物学报,2002,24(1):45-47.
- [11] Roder W, Mason S C, Clegg M D, et al. Crop root distribution as influenced by grain sorghum-soybean rotation and fertilization[J]. Soil science society of America Journal, 1989, 53:1464-1470.
- [12] 杨秀红,吴宗璞,张国栋.不同年代大豆品种根系性状演化的研究[J].中国农业科学,2001,34(3):292-295.
- [13] 杨秀红,吴宗璞,张国栋.大豆品种根系性状与地上部性状的相关性研究[J].作物学报,2002,28(1):72-75.
- [14] 杨 光,张惠君,宋书宏,等.超高产大豆根系相关性状的比较研究[J].大豆科学,2013,32(2):176-181.
- [15] 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.
- [16] 章建新,朱倩倩,王维俊.不同滴水量对大豆根系生长和花荚形成的影响[J].大豆科学,2013,32(5):609-613.
- [17] 张 伟,邱 强,赵 婧,等.杂交大豆根系形态生理特性与产量的关系[J].大豆科学,2014,33(3):347-352.
- [18] Mayaki W C, Trare I D, Stone L R. Top and root growth of irrigated and nonirrigated soybeans[J]. Crop Science, 1976, 16(1):92-94.
- [19] 金 剑,刘晓冰,王光华,等.大豆生殖生长期根系形态性状与产量关系研究[J].大豆科学,2004,23(4):253-257.
- [20] 张含彬,任万军,杨文钰,等.不同施氮量对套作大豆根系形态与生理特性的影响[J].作物学报,2007,33(1):107-112.
- [21] 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.