

## 不同栽培模式对大豆同化物积累和光合生理特性与产量形成的影响

林浩<sup>1,2</sup>, 刘丽君<sup>1</sup>, 吴俊江<sup>1</sup>, 钟鹏<sup>1</sup>, 林蔚刚<sup>1</sup>, 董德建<sup>1</sup>, 马岩松<sup>1</sup>, 刘鑫磊<sup>1</sup>, 程莉莉<sup>1,2</sup>, 魏峡<sup>1,2</sup>  
刘德生<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>黑龙江省农业科学院大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; <sup>2</sup>东北农业大学研究生学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; <sup>3</sup>黑龙江省海伦市农业技术推广中心, 黑龙江 海伦 152300)

**摘要:**以高产耐密品种黑农50为材料,在相同密度下,探讨5种不同栽培模式对大豆同化物积累和光合生理特性与产量形成的影响。结果表明:要获得高经济产量,大豆结荚期至鼓粒期必须要维持较高的叶面积指数,“45 cm 垄上双行”栽培模式叶面积峰值高,持续时间长,群体光合能力较强,“110 cm 垄上4行”栽培模式叶片净光合速率( $P_n$ ),胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ ),气孔导度( $Cond$ )都为各处理中最高,蒸腾速率( $Tr$ )也显著高于其余各处理,且两者净同化率较高,总的干物质积累量大,均显著高于“30 cm 垄上单行”,因而二者产量都表现较好。研究还表明产量与地上部干重、气孔导度、叶面积指数、根干重、胞间 $CO_2$ 浓度相关性较大。综合比较同化物积累,光合生理特性和产量性状,认为大豆的“45 cm 垄上双行”和“110 cm 垄上4行”是较为理想的高产栽培模式。

**关键词:**大豆;栽培模式;同化物积累;光合生理;产量

**中图分类号:**S565.1;S318

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2009)03-0456-05

## Effects of Different Cultivation Patterns on Assimilate Accumulation, Photosynthetic Characteristics and Yield Formation in Soybean

LIN Hao<sup>1,2</sup>, LIU Li-jun<sup>1</sup>, WU Jun-jiang<sup>1</sup>, ZHONG Peng<sup>1</sup>, LIN Wei-gang<sup>1</sup>, DONG De-jian<sup>1</sup>, MA Yan-song<sup>1</sup>, LIU Xin-lei<sup>1</sup>, CHENG Li-li<sup>1,2</sup>, WEI Lai<sup>1,2</sup>, LIU De-sheng<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang; <sup>2</sup>Northeast Agricultural University, Harbin 150086, Heilongjiang; <sup>3</sup>Hailun City Agrotechnology Extend Center, Hailun 152300, Heilongjiang, China)

**Abstract:** The objective of this study was to determine whether different planting patterns effect soybean dry matter accumulation and photosynthetic characteristics, and to determine which planting patterns produce the highest yield. These experiments were conducted in the field at Hailun city, Heilongjiang at a plant population of  $3.2 \times 10^5$  plants  $\cdot$  ha<sup>-1</sup>, using the dense-tolerant cultivar Heinong 50. Planting patterns including four rows on 110 cm ridge (T1), three rows on 70 cm ridge (T2), double rows on 70 cm ridge (T3), single row on 30 cm ridge (T4) and double rows on 45 cm ridge (T5), five treatments. The results indicated that (i) double rows on 45 cm ridge (T5) had higher leaf area index and longer leaf area duration, thus resulted in higher population photosynthetic ability; four rows on 110 cm ridge (T1) had highest net photosynthetic rate of the leaves ( $P_n$ ), intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ), stomatal conductance ( $Cond$ ) and transpiration rate ( $Tr$ ), (ii) yield had close correlation with shoot dry weight, intercellular  $CO_2$  concentration, leaf area index, root dry weight and intercellular  $CO_2$  concentration. Results suggest that double rows on 45 cm ridge (T5) and four rows on 110 cm ridge (T1) had better dry matter accumulation and photosynthetic traits, and should be the high-yield cultivation pattern for local soybean production.

**Key words:** Soybean; Cultivation pattern; Assimilate accumulation; Photosynthetic Characteristics; Yield

大豆是重要的粮食、油料作物,也是人类食物、工业原料的主要来源。进入21世纪,随着人民生活质量的不断提高,对大豆的需求将越来越大。为此,在做好大豆新品种选育的同时,还要要加强新的配

套技术的研究、试验与示范,并搞好现有高产栽培技术的组装与推广应用,努力提高大豆单产水平<sup>[1]</sup>。东北春大豆主产区应继续推广“垄三”栽培、永常模式栽培、兴福模式栽培等比较成熟的技术,加强对窄

收稿日期:2008-12-29

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD21B01);黑龙江省科技攻关资助项目(GA06B101-2)。

作者简介:林浩(1984-),男,硕士研究生,研究方向为大豆栽培生理方向。E-mail:linhao1984@qq.com。

通讯作者:刘丽君,研究员。E-mail:nkyssbd@126.com

行密植技术及其衍生的大垄密、小垄密和平作窄行密植技术的研究与示范推广,栽培技术与良种相结合共同促进大豆生产的发展。

实现大豆产量的跳跃式快速增长,离不开高产配套且适宜的栽培模式,其对提高大豆产量,发挥群体优势,挖掘品种的产量潜力起着重要的作用。因此,很多学者根据区域气候、土壤条件、及生产力水平等多因素条件,研究提出了不同的栽培模式<sup>[2-7]</sup>。采用几种不同栽培模式,即:110 cm 垄上 4 行、70 cm 垄上 3 行、70 cm 垄上双行、30 cm 垄上单行、45 cm 垄上双行五种栽培模式,以高产耐密大豆新品种黑农 50 为材料,研究不同栽培模式对大豆同化物积累和光合生理特性对大豆产量形成的影响,以期为黑龙江省大豆生产提供理论依据和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2008 年在黑龙江省农业科学院与海伦市院市共建农业科技园区进行,前茬作物为圆葱,秋整地。

采用 5 种栽培模式,即:110 cm 垄上 4 行条播(T1);70 cm 垄上 3 行穴播(T2);70 cm 垄上双行条播(T3);30 cm 垄上单行条播(T4);45 cm 垄上双行条播(T5)。密度均为 32 万株·hm<sup>-2</sup>。8 行区,3 次重复,随机区组排列,正常田间管理。

供试大豆品种为黑农 50,5 月 5 日人工播种。施肥水平为:尿素 43 kg·hm<sup>-2</sup>,磷酸二铵 122 kg·hm<sup>-2</sup>,硫酸钾 40 kg·hm<sup>-2</sup>。采用化学药剂除草。秋季成熟后按小区实收测产。

### 1.2 取样和测定方法

分别于大豆花期、结荚期、鼓粒期测定叶面积(用比叶重法);在花期、结荚期、鼓粒期随机取整株(4 株)分别测定其各器官干重;对大豆花荚期光合作用主要参数进行测定,采用便携式光合系统测定仪 LI-6400(LI-COR Lincoln, USA),设定光强的光子数为 1 500 μmol·CO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、叶室温度 25℃、CO<sub>2</sub> 浓度为 350 μmol·mol<sup>-1</sup>,测定叶片净光合速率 Pn、蒸腾速率 Tr、细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度 Ci 及气孔导度 Cond 均取 9 片叶片分别进行测定,取平均值;计算水分利用率(叶片瞬时水分利用效率(LWUE)为叶片光合速率/叶片蒸腾速率);大豆成熟后,小区测定产量。

### 1.3 数据分析

数据方差分析用 DPS7.05 软件,表格用 EXCEL 绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同栽培模式对大豆叶面积指数与干物质积累的影响

2.1.1 叶面积指数 5 种栽培模式下大豆群体叶面积指数(LAI)均呈“单峰”曲线(图 1a),且均在结荚期达到最高,在花期差异较小,结荚后期至鼓粒期叶面积指数 LAI 能保持较高状态。然后随底部叶片衰老,养分向豆荚运输,致使叶面积指数下降。前人的研究证实<sup>[8]</sup>,要想获得 3 000 kg·hm<sup>-2</sup>左右的产量,最大叶面积指数维持在 4~5 之间或接近 6 的种植密度是比较适宜的,合理密植可以提高叶面积指数<sup>[9-10]</sup>,而且随着密度增加,从开花盛期到结荚鼓粒期叶面积指数剧增,鼓粒期至成熟期叶面积指数迅速下降<sup>[11]</sup>。本试验也证实了这一点,45 cm 垄上双行和 70 cm 垄上双行栽培模式在花期叶面积指数值较小,分别为 2.723 和 2.545,但至结荚期间其增幅较快,到结荚期 45 cm 垄上双行的叶面积指数最高(5.185),70 cm 垄上双行次之(4.99),可能由于 45 cm 垄上双行和 70 cm 垄上双行处理花期时株间距较小,通风透光能力较一般,单株个体发育较为缓慢,生长到结荚期依靠单位面积的群体效应,两种模式改善了群体结构,叶面积指数增长较快,并在结荚期至鼓粒期维持较高的叶面积指数。

2.1.2 干物质积累 花期 45 cm 垄上双行和 70 cm 垄上双行处理由于其株间距较小,通风透光性差,根系发育较差,其单株根系干重较低(图 1b),分别只有 1.211 g 和 1.244 g,但两者增幅较快,在结荚期达到 3.746 g 和 3.857 g,结荚期五种栽培模式条件下群体叶面积指数达到最高峰后,五种栽培模式条件下大豆群体根系发育都较为缓慢,110 cm 垄上 4 行、70 cm 垄上双行、30 cm 垄上单行栽培模式增幅趋于一致。

地上部干重在花期差异较小(图 1c),结荚期 70 cm 垄上双行和 45 cm 垄上双行地上部干重最大,显著高于其它处理,达到了 30.600 g 和 30.316 g,而 30 cm 垄上单行处理和 70 cm 垄上 3 行都处于较低水平,地上部干重只有 22.282 g 和 22.104 g。这与叶面积指数的变化刚好吻合,此时 30 cm 垄上单行和 70 cm 垄上 3 行

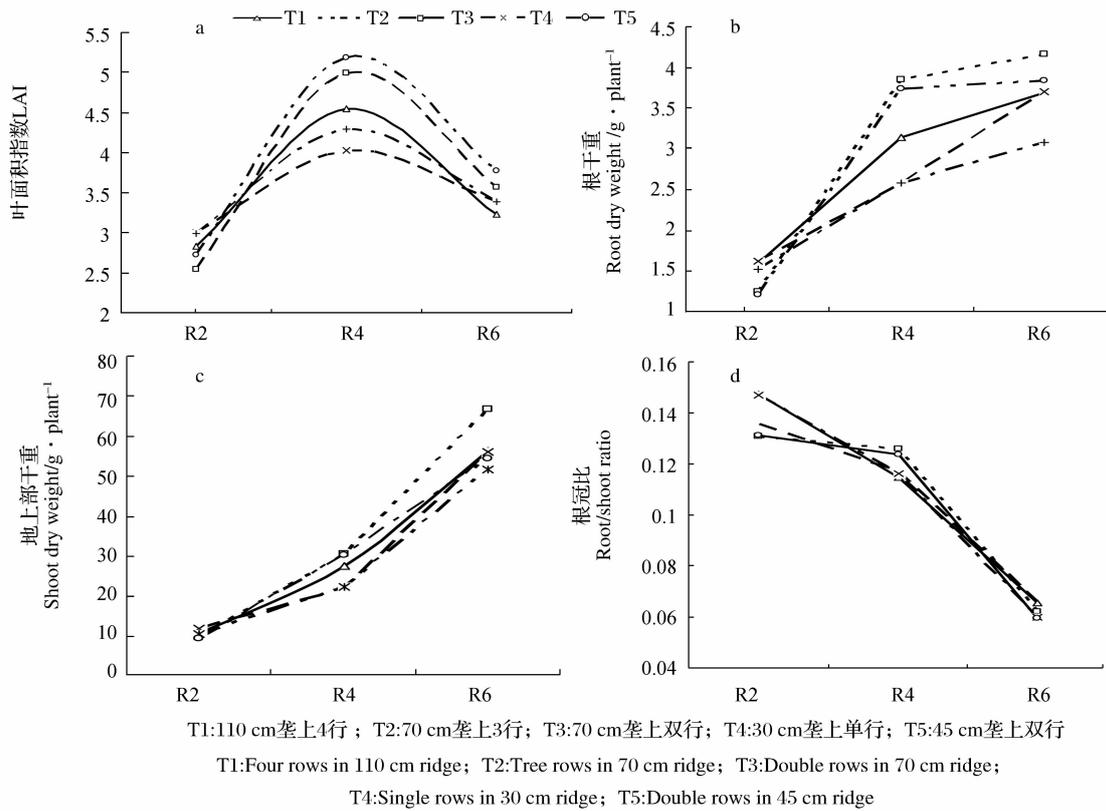


图1 大豆关键时期叶面积指数和干物质积累的变化趋势

Fig.1 Changes trend of LAI and dry matter accumulation in important periods in soybean

叶面积指数较低,同化物积累率较低。

合理的根冠比是大豆高产的必要条件,根冠比常常作为植物抗水分胁迫的一个重要指标,有研究表明:“植物冠部对水分胁迫比根系敏感,水分胁迫使冠部比根系生长量降低严重,R/S通常增大。”2008年海伦实验园区试验点大豆生育期内雨水调和,植物受水分胁迫影响较少,结荚期至鼓粒期内各处理根冠比下降趋于一致(图1d)。地上部干物质积累幅度相当。

## 2.2 不同栽培模式对大豆荚粒期光合性能指标的影响

### 2.2.1 净光合速率( $P_n$ ) 在5种栽培模式下,大

豆叶片净光合速率表现差异不明显(表1)。其中110 cm 垄上4行的  $P_n$  值最大,达到  $24.13 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而45 cm 垄上双行的  $P_n$  最小,为  $22.90 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。说明不同栽培模式下,净光合速率  $P_n$  变化的程度不同,110 cm 垄上4行处理下光合能力最强,70 cm 垄上双行和70 cm 垄上3行处理下光合能力一般,30 cm 垄上单行、45 cm 垄上双行下光合能力相对较弱。

### 2.2.2 气孔导度( $Cond$ ) 在五种栽培模式下,气孔导度变化表现不明显,其强弱排列顺序为:110 cm 垄上4行 > 70 cm 垄上3行 > 45 cm 垄上双行 > 30 cm 垄上单行 > 70 cm 垄上双行。其中110 cm 垄上

表1 五种栽培模式对大豆光合性能指标的影响(R5期)

Table1 Effects of five cultivation patterns on photosynthesis indicators at R5 in soybean

处理 Treatment	叶片净光合速率 $P_n$ $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔导度 $Cond$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1}$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $C_i$ $\text{mmolCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$	蒸腾速率 $Tr$ $\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	水分利用率 $P_n/Tr$
T1	24.1333 a A	0.7806a A	254.5556 a A	4.7956 aA	5.0323b B
T2	23.3909 a A	0.6951a A	249.8182 ab AB	4.8373 aA	4.8355bB
T3	23.7000 a A	0.6164a A	236.4286 c B	4.3131 bA	5.4949aA
T4	22.9889 a A	0.6299a A	241.7778 bc AB	4.4067 abA	5.2168abAB
T5	22.9000 a A	0.6603a A	244.0000 bc AB	4.3644 abA	5.2470abAB

表中标明不同大写字母的值差异达0.01显著水平,小写字母的值差异达0.05显著水平。

Values followed by a different caption and small letter are significant different at the 0.01 and 0.05 probability level, respectively.

4 行的  $Cond$  值最大,达到  $0.7806 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而 70 cm 垄上双行的  $Cond$  值最小,为  $0.6164 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由此知 70 cm 垄上 3 行、45 cm 垄上双行、30 cm 垄上单行、70 cm 垄上双行分别较 110 cm 垄上 4 行、 $Cond$  值相对下降值依次为: 0.1081、0.1541、0.1930、0.2231。表明在不同栽培模式下,气孔导度  $Cond$  变化的程度不同,110 cm 垄上 4 行处理下气孔导度最大,70 cm 垄上 3 行、45 cm 垄上双行、30 cm 垄上单行、70 cm 垄上双行四种模式间,方差分析其相对差异不显著。

**2.2.3 胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ )** 在五种栽培模式下,大豆群体叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度变化差异显著,个别处理差异达极显著,其值从强到弱依次为:110 cm 垄上 4 行 > 70 cm 垄上 3 行 > 45 cm 垄上双行 > 30 cm 垄上单行 > 70 cm 垄上双行,其中 110 cm 垄上 4 行的  $C_i$  值最大,达到了  $254.5556 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,而 70 cm 垄上双行的  $C_i$  值最小,为  $236.4286 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,70 cm 垄上 3 行、45 cm 垄上双行、30 cm 垄上单行、70 cm 垄上双行分别较 110 cm 垄上 4 行相对下降依次为: 1.86%、4.14%、5.02%、7.12%。

**2.2.4 蒸腾速率 ( $Tr$ )** 五种栽培模式下,大豆叶片蒸腾速率出现了明显差异,由强到弱依次分别为: 70 cm 垄上 3 行 > 110 cm 垄上 4 行 > 30 cm 垄上单行 > 45 cm 垄上双行 > 70 cm 垄上双行,其中 70 cm 垄上 3 行蒸腾速率最大,达到了  $4.8373 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,70 cm 垄上双行的蒸腾速率最小,为  $4.3131 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而 110 cm 垄上 4 行、30 cm 垄上单行、45 cm 垄上双行、70 cm 垄上双行分别较 70 cm 垄上 3 行相对下降依次为: 0.86%、8.90%、9.77%、10.84%。

### 2.3 不同栽培模式下大豆叶片瞬时水分利用效率 (LWUE) 的变化

叶片瞬时水分利用效率 = 叶片光合速率 / 叶片

蒸腾速率,可见 70 cm 垄上双行和 45 cm 垄上双行能更好的利用水分(表 1),气孔是作物叶片与外界进行气体交换的通道,株间距较密的条件下,其拥有较大的群体叶面积指数,植株可以更好地进行光合作用吸收水分。

### 2.4 不同栽培模式下大豆的产量表现

不同栽培模式下大豆产量表现见图 2。产量由大到小依次为:45cm 垄上双行 > 110 cm 垄上 4 行 > 70 cm 垄上 3 行 > 70 cm 垄上双行 > 30 cm 垄上单行,45cm 垄上双行产量最高达  $3728.295 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,相对其余各栽培模式增产分别为:1.68%、15.28%、16.26%、26.19%。45 cm 垄上双行和 110 cm 垄上 4 行产量均显著高于 30 cm 垄上单行 ( $P = 0.05$ ),45 cm 垄上双行和 110 cm 垄上 4 行两者产量相当,可把这五种模式按产量可分为:高产模式(45 cm 垄上双行和 110 cm 垄上 4 行),中产模式(70 m 垄上 3 行和 70 cm 垄上双行),低产模式(30 cm 垄上单行处理)。

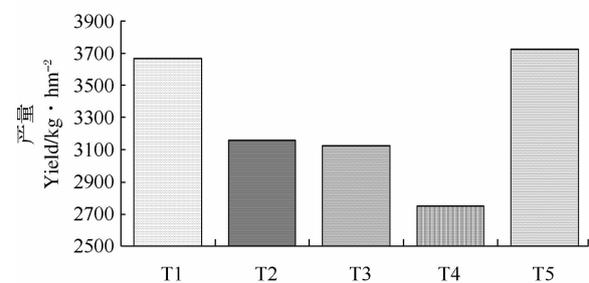


图 2 五种栽培模式下大豆产量

Fig. 2 Soybean yield under five cultivation patterns

### 2.5 大豆产量与荚粒期干物质积累和光合重要指标的相关性分析

在不同栽培模式下,大豆产量与荚粒期干物质积累和光合重要指标均未达到显著性相关,综合来看(表 3),产量与地上部干重、气孔导度、叶面积指数、根干重、胞间  $\text{CO}_2$  浓度相关性较大,相关系数  $r$  值依次分别为:0.61、0.6、0.53、0.52、0.49。

表 3 大豆产量与荚粒期干物质积累和光合重要指标的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between yield and some important indicators at R5 in soybean

	叶面积指数 LAI	根干重 Dry weight of root	地上部干重 Shoot dry weight	净光合速率 $P_n$	气孔导度 $Cond$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $C_i$	蒸腾速率 $Tr$
与产量相关性系数 $r$	0.53	0.52	0.61	0.27	0.6	0.49	0.22

### 3 讨论

通过5种栽培模式下各处理间叶面积指数差异可以看出,花期差异较小,结荚期叶面积指数达到最大值后趋于下降,但是要想获得高经济产量,结荚期至鼓粒期必须要维持较高的叶面积指数<sup>[12]</sup>,45 cm 垄上双行叶面积指数峰值高,持续时间长,群体光合能力较强,净同化率较高,总的干物质积累量大,要显著高于30 cm 垄上单行,因而产量表现较好(3 728.295 kg·hm<sup>-2</sup>)。

不同栽培模式下,净光合速率值差异均未达到显著水平,分析可能由于光合性能指标受遗传因素影响大于环境因素,但相对来说110 cm 垄上4行的净光合速率( $P_n$ ),胞间CO<sub>2</sub>浓度( $C_i$ ),气孔导度( $Cond$ )和蒸腾速率( $Tr$ )都为各处理中最高,也显著高于其余各处理,110 cm 垄上4行处理下群体光合能力要强于其余各处理,产量表现较好(3 665.565 kg·hm<sup>-2</sup>)。

在不同栽培模式下,由大豆产量与荚期干物质积累和光合各重要指标的相关性分析,可以看出产量与地上部干重、气孔导度、叶面积指数、根干重相关性较大(相关系数都大于0.5)由此可见,在荚粒期以上指标对产量起着重要作用。

综上所述,要想有良好的产量表现,要合理密植,改善群体通风条件,增加群体叶面积指数,使其在结荚期达到较高水平(5左右),结荚期至鼓粒期维持较高的叶面积指数,群体叶片缓慢衰老是使光能同化物充分向籽粒运输的保证。不同栽培模式下,良好的群体光合能力也是获得高产的重要因素。此外,要注意将栽培模式与秆强耐密的大豆品种相结合,在营养生长前期,合理控制水肥条件,防止植株徒长,以致在生殖生长期发生倒伏,影响群体叶面积指数和光合能力,进而影响产量。45 cm 垄上双行和110 cm 垄上4行综合表现为理想的高产栽培模式。

### 参考文献

- [1] 朱洪德,朱贵英.大豆超高产及品质改良理论与实践研究进展[J].中国农学通报,2005,21(12):154-159. (Zhu H D, Zhu G Y. Progress of research on theory and practice for superhigh yield and quality improvement in soybean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(12): 154-159.)
- [2] Cooper R L. Breeding semidwarf soybean[J]. Plant Breeding Reviews, 1985, 3: 289-311.
- [3] Cooper R L. Influence of early lodging on yield of soybean [*Glycine max.* (L.) Merr.] Agronomy Journal, 1971, 63: 449-450.
- [4] Cooper R L. Influence of soybean production practices on lodging and seed yield in highly production environments[J]. Agronomy - Journal, 1971, 63: 490-493.
- [5] Cooper R L. Development of short - statured soybean cultivars [J]. Crop Science, 1981, 21: 127-131.
- [6] Cooper R L. Use of nitrogen stress to demonstrate the of yield limiting factors on the yield response of soybean to narrow row systems [J]. Agronomy Journal, 1984, 76: 257-259.
- [7] 刘忠堂.大豆窄行密植高产栽培技术的研究[J].大豆科学, 2002, 21(2): 117-121. (Liu Z T. Study on technology for high yield of solid-seeded soybean [J]. Soybean Science, 2002, 21(2): 117-121.)
- [8] 魏建军,罗庚彤,张力,等.超高产大豆主要群体生理参数与经济产量关系的研究[J].中国油料作物学报,2007,29(3): 272-276. (Wei J J, Luo G T, Zhang L, et al. A study of relation between canopy physiological parameter and seed yield in super high-yield soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2007, 29(3): 272-276.)
- [9] 董钻.大豆产量生理[M].北京:中国农业出版社,2001: 46-49. (Dong Z. Soybean yield physiology [M]. Beijing: Agricultural Press, 2001: 46-49.)
- [10] Boquet D J. Plant population density and row spacing effects on soybean at post-optimal planting dates [J]. Agronomy Journal, 1990, 82: 59-64.
- [11] 王晓梅,崔坤,房正.大豆不同密度对群体结构的影响[J].吉林农业科学,1996(4): 39-42. (Wang X M, Cui K, Fang Z. The Effect of different densities on population structure in soybean [J]. Jilin Agricultural Sciences, 1996, (4): 39-42.)
- [12] 刘丽君,祖伟,张瑞忠.大豆窄行平播密植条件下的干物质积累规律[J].东北农业大学学报,2000,31(1): 26-31. (Liu L J, Zu W, Zhang R Z. Dry matter accumulation of soybean under the condition of warrow row solid seeding [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2000, 31(1): 26-31.)