

## 不同密度下大豆单株和群体的光合特性

张晓艳<sup>1</sup>, 李建英<sup>2</sup>, 郑殿峰<sup>1</sup>, 杜吉到<sup>1</sup>, 冯乃杰<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省农业科学院 大庆分院, 黑龙江 大庆 163316)

**摘要:**以垦农4号为材料,测定了R5期大豆不同群体单株和冠层的光合速率、蒸腾速率及气孔导度,探讨了不同密度下大豆单株和群体的光合特性。结果表明:群体不同节位的光合速率低密度群体明显高于高密度群体;群体冠层光合速率、蒸腾速率及气孔导度从冠层顶部至底部呈逐渐降低的趋势,低密度群体上下冠层差异较小,高密度群体上下冠层差异较大,冠层中上部蒸腾速率、气孔导度均与光合速率呈显著正相关。

**关键词:**大豆;光合速率;蒸腾速率;气孔导度

**中图分类号:**S565.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2010)04-0638-03

## Photosynthetic Characteristics of Individual and Population of Soybean under Different Densities

ZHANG Xiao-yan<sup>1</sup>, LI Jian-ying<sup>2</sup>, ZHENG Dian-feng<sup>1</sup>, DU Ji-dao<sup>1</sup>, FENG Nai-jie<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing 163319, Heilongjiang; 2. Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, Heilongjiang, China)

**Abstract:** The experiment determined photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance of single-leaf and canopy at R5 stage. Kennong 4 (*Glycine max* L.) was selected as the experimental material. The objective of this study was to investigate photosynthetic characteristics of individual and population of soybean in different densities. The photosynthetic rate of different nodes in low density populations were higher than high density populations. The canopy photosynthetic rate, transpiration rate and stoma conductance of different soybean population gradually decreased from top to bottom canopy, the difference from top to bottom canopy was smaller at low density populations, and was larger at high density populations. There was positive correlation between photosynthetic rate, transpiration rate and stoma conductance in middle-upper layer of canopy.

**Key words:** Soybean; Photosynthetic rate; Transpiration rate; Stoma conductance

光合作用是决定作物产量的最重要因素,光合能力的大小直接影响作物产量的高低。大豆主要生育时期的平均光合速率与产量呈显著正相关<sup>[1]</sup>。Bhagsari 等认为,单叶光合速率与产量之间的关系不大,并且单叶的光合速率往往不能直接说明群体光合作用结果,甚至会得出相反的结论<sup>[2]</sup>。近 20 a 来,植物生理学家和农学家,从作物群体水平证明了光合速率与作物生产力呈正相关<sup>[3]</sup>。群体上、中、下层叶片对整体光合速率的贡献分别为 70.0%、24.2% 和 5.6%<sup>[4]</sup>。Jones 认为生殖生长期冠层的光合速率与产量显著正相关<sup>[5]</sup>。蒸腾是作物发育必不可少的生理过程,作物叶片依靠蒸腾作用,以汽化潜热方式消耗所吸收的大部分热量,有效地避免了植物体因温度过高而造成的伤害,使得作物能够维持在正常的温度范围。此外,蒸腾作用

导致的蒸腾拉力能促进根系营养物质和叶片光合产物的输送和分配<sup>[6-7]</sup>。研究已证实,大豆蒸腾速率与表观光合速率呈正相关,与气孔阻力和叶肉阻力呈负相关<sup>[8]</sup>。气孔是作物与外界环境进行水汽与 CO<sub>2</sub> 交换的通道,通过其开和闭调节着蒸腾和光合过程。相关研究证明,叶片光合速率与气导度具有很好的平行关系,随着供水量的下降,气孔阻力增加,光合速率降低<sup>[9-10]</sup>。该试验研究了不同大豆群体的光合速率、蒸腾速率及气孔导度的变化规律,旨在为提高大豆群体产量提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验设计

试验于 2006 年在林甸县黑龙江八一农垦大学

收稿日期:2009-10-21

基金项目:国家“十五”科技攻关资助项目(2004BA907A26—0206)。

第一作者简介:张晓艳(1980-),女,在读博士,研究方向为大豆产量和品质生理生态。E-mail:zhangxylabin@163.com。

通讯作者:郑殿峰,教授,博士。E-mail:zhengdianfeng@hlau.cn。

大豆试验田进行,供试品种为垦农 4 号。试验地平整,肥力均匀,土壤类型为草甸黑钙土;试验设 12、24、36、48、60 万株 $\cdot$ hm $^{-2}$  5 个密度,分别用 D1、D2、D3、D4、D5 表示。随机区组排列,3 次重复。采用垄作方式,10 行区,垄宽 0.65 m,行长 8 m。5 月 13 日播种,10 月 1 日收获。播前施肥,人工精量点播,正常田间管理。

## 1.2 测定项目与方法

单株光合速率:在 R5(8 月 9 日)期采用 ECA 光合测定仪,挂牌测定由冠层顶部至底部每一节位完全展开叶的光合速率,每处理测定 5 株。

群体冠层光合速率:在 R5(8 月 9 日)期采用 ECA 光合测定仪,按植株平均高度将冠层分为上、中、下 3 层,测定植株叶片光合速率、蒸腾速率及气孔导度,每处理测定 10 株;冠层平均光合速率是冠层上、中、下层光合速率的平均值;冠层单叶光合速率是植株功能叶片倒 3 叶的光合速率;冠层平均及单叶蒸腾速率和气孔导度与光合速率的算法相同。

以上指标均在上午 9:00~10:00 时天气晴朗时测定。

## 1.3 数据分析

用 Excel 进行数据处理及图表的绘制,用 DPS v3.01 进行统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 光合速率

#### 2.1.1 单株不同节位光合速率的变化

如图 1 所示,R5 期不同大豆群体不同节位光合速率 D1、D3、D4、D5 群体从倒 1 节至倒 4 节呈上升的趋势,从倒 4 节至倒 13 节呈下降的趋势;D2 群体从倒 1 节至倒 3 节呈上升的趋势,倒 3 节至倒 10 节呈下降的趋势。D2 群体的最大光合速率出现在倒 3 节,其它群体的最大值均出现在倒 4 节。在不同密度条件下,D1、D2、D3 群体不同节位的光合速率高于 D4、D5 群体。此外 D1 群体底部叶片的寿命明显长于其它群体,这可能与稀植群体的通风透光条件有关。

2.1.2 群体冠层光合速率的变化 由图 2 可知,R5 期大豆不同群体冠层光合速率有明显的差异,不论密度高低,均表现为从冠层顶部至底部逐渐降低的趋势,低密度群体下降的幅度高于高密度群体,由此说明低密度群体在此时期全冠层的光合速率

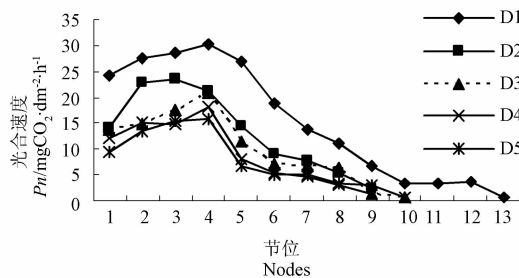


图 1 单株不同节位光合速率的变化

Fig. 1 Change of photosynthetic rate in different nodes of per plant

较高,冠层顶部和底部差异较小,而高密度群体从冠层顶部至底部变化的幅度则较大。群体单叶及冠层平均光合速率由低密度至高密度群体呈下降趋势,且群体冠层平均光合速率显著的低于单叶的光合速率。

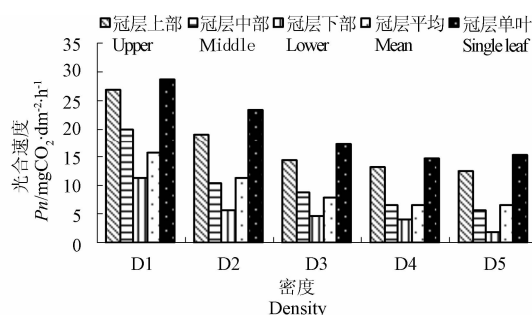


图 2 大豆群体冠层光合速率的变化

Fig. 2 Change of canopy photosynthetic rate in soybean population

### 2.2 群体冠层蒸腾速率

由图 3 可知,随着种植密度的增加,冠层上部叶片蒸腾速率变化较小,中部和下部叶片变化较大,个别差值达  $3.72 \text{ mgH}_2\text{O} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。而且低密度群体的变化幅度大于高密度群体。同一群体冠层内蒸腾速率又表现为冠层顶部 > 冠层中部 > 冠层底部,这可能是由于叶片的发育特性决定的。不同大豆群体冠层平均蒸腾速率随着密度的降低而升高,到 D1 群体达到高峰,从高密度至低密度群体冠层平均蒸腾速率变化的范围分别是  $0.71 \sim 4.05 \text{ mgH}_2\text{O} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ;大豆群体单叶蒸腾速率由高密度到低密度群体呈上升趋势,即  $D5 < D4 < D3 < D2 < D1$ ,此外冠层单叶蒸腾速率显著的高于冠层上、中、下及冠层平均蒸腾速率。

### 2.3 群体冠层气孔导度

由图 4 可知,不同大豆群体冠层内气孔导度的变化为冠层上部 > 冠层中部 > 冠层下部,且中

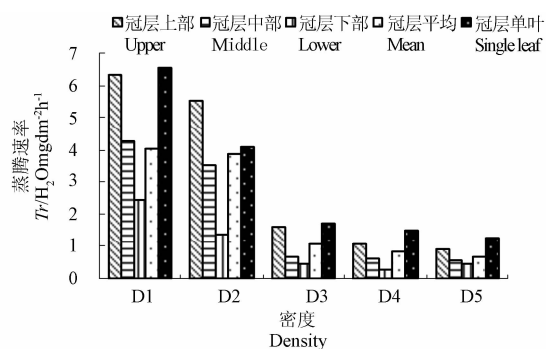


图3 大豆群体冠层蒸腾速率的变化

Fig.3 Change of canopy transpiration rate in soybean population

密度和高密度群体的上、中、下3层叶片的气孔导度差别较小,低密度群体的差别较大。在相同密度下气孔导度的差别有降低的趋势。不同大豆群体单叶的气孔导度也存在一定差异,气孔导度的变化与蒸腾速率相似,均是随着密度的增加呈下降的趋势。

表1 R5期蒸腾速率及气孔导度与光合速率的相关性

Table 1 Coefficients of correlation between transpiration rate, stomatal conductance and photosynthetic rate at R5 stage

项目 Items	冠层上部 Top canopy		冠层中部 Middle canopy		冠层下部 Bottom canopy	
	蒸腾速率 Transpiration rate	气孔导度 Stomatal conductance	蒸腾速率 Transpiration rate	气孔导度 Stomatal conductance	蒸腾速率 Transpiration rate	气孔导度 Stomatal conductance
	光合速率 Photosynthetic rate					
	0.9620 **	0.9420 *	0.9030 *	0.9510 *	0.8680	0.8160

### 3 讨论

群体中的单株各节完全展开叶片平均光合速率中上部节位最大,基部和顶部节位最小<sup>[11]</sup>。研究表明,群体不同节位的光合速率低密度群体明显高于高密度群体;群体冠层的光合速率由冠层上部至底部呈降低趋势,且同一冠层由低密度至高度群体也呈下降的变化趋势。

叶片的蒸腾作用在植株蒸腾中占较大比重<sup>[12]</sup>。冠层中部叶片的蒸腾速率大于上部和下部叶片<sup>[13]</sup>。气孔是作物与外界环境进行水汽与CO<sub>2</sub>交换的通道,通过其开和闭调节着蒸腾和光合过程。气孔阻力的大小直接影响细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度,从而影响光合速率<sup>[14]</sup>。研究已证实,光合速率、蒸腾速率和气孔导度之间的关系极为密切<sup>[15]</sup>。同群体冠层内光合速率,气孔导度与蒸腾速率均表现为冠层顶部>冠层中部>冠层底部。在冠层顶部、中部及底部蒸腾速率、气孔导度均与光合速率呈正相关。因此,

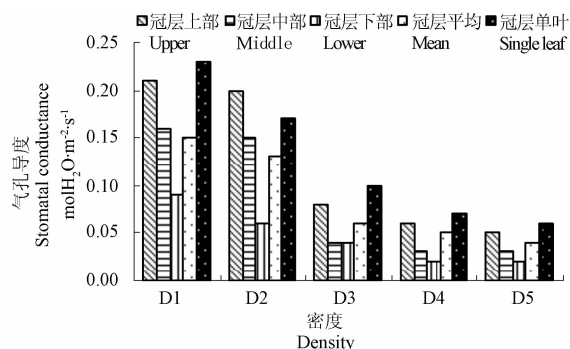


图4 大豆群体冠层气孔导度的变化

Fig.4 Change of canopy stomatal conductance in soybean population

### 2.4 不同大豆群体 R5 期冠层蒸腾速率及气孔导度与光合速率的关系

如表1所示,群体冠层上部、中部、底部蒸腾速率及气孔导度与光合速率呈正相关。冠层上部及中部光合速率与蒸腾速率呈显著和极显著正相关;冠层上部及中部光合速率与气孔导度显著正相关。

冠层内蒸腾速率的大小与光合生产能力有直接的联系,改善群体冠层结构不仅可提高蒸腾作用,而且还可改善光合作用。

### 参考文献

- [1] 康建宏,周续莲,郭瑞英.春大豆三个品种光合速率的初步研究[J].宁夏农学院学报,2000,21(3):25-28. (Kang J H, Zhou X L, Guo R Y. The preliminary study of photosynthetic rate at three varieties spring soybeans[J]. Journal of Ningxia Agricultural College, 2000, 21(3): 25-28.)
- [2] Bhagsari A S, Shley D A, Brown R H, et al. Leaf photosynthetic characters of determinate soybean cultivars [J]. Crop Science, 1977, 17: 929-932.
- [3] Bruening W P, Egli D B. Relationship between photosynthesis and seed number at phloem isolated nodes in soybean[J]. Crop Science, 1999, 39: 1768-1774.
- [4] 傅金民.夏大豆群体光合特性的研究[J].大豆科学,1994,13(1):17-21. (Fu J M. Study on the photosynthetic characters of summer soybean population [J]. Soybean Science, 1994, 13(1): 17-21.)

(下转第644页)

区和不同年份的试验资料对研究结果做进一步的证实,以提高监测模型的可靠性。

## 参考文献

- [1] Blackmer T M, Schepers J S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1994, 25: 1791-1800.
  - [2] Blackmer T M, Schepers J S, Varvel G E, et al. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies[J]. *Agronomy Journal*, 1996, 88: 1-5.
  - [3] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 等. 基于冠层反射光谱的水稻群体叶片氮素状况监测[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(7): 807-812. (Xue L H, Cao W X, Luo W H, et al. Diagnosis of nitrogen status in rice leaves with the canopy spectral reflectance [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(7): 807-812.)
  - [4] 刘占宇, 黄敬峰, 王福民, 等. 估算水稻叶面积指数的调节型归一化植被指数[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3350-3356. (Liu Z J, Huang J F, Wang F M, et al. Adjusted-normalized difference vegetation index for estimating leaf area index of rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3350-3356.)
  - [5] 冯伟, 姚霞, 田永超, 等. 小麦籽粒蛋白质含量高光谱预测模型研究[J]. *作物学报*, 2007, 33(12): 1935-1942. (Feng W, Yao X, Tian Y C, et al. Predicting grain protein content with canopy hyperspectral remote sensing in wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(12): 1935-1942.)
  - [6] 姚霞, 朱艳, 田永超, 等. 小麦叶层氮含量估测的最佳高光谱参数研究[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2716-2725. (Yao X, Zhu Y, Tian Y C, et al. Research of the optimum hyperspectral vegetation indices on monitoring the nitrogen content in wheat leaves [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2716-2725.)
  - [7] 宋开山, 张柏, 王宗明, 等. 大豆叶绿素含量高光谱反演模型研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(8): 16-21. (Song K S, Zhang B, Wang Z M, et al. Inverse model for estimating soybean chlorophyll concentration using in-situ collected canopy hyperspectral data [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8): 16-21.)
  - [8] 宋开山, 张柏, 王宗明, 等. 基于人工神经网络的大豆叶面积高光谱反演研究[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(6): 1138-1145. (Song K S, Zhang B, Wang Z M, et al. Soybean LAI estimation with in-situ collected hyperspectral data based on BP neural networks [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(6): 1138-1145.)
  - [9] 吴华兵, 朱艳, 田永超, 等. 棉花冠层高光谱指数与叶片氮积累量的定量关系[J]. *作物学报*, 2007, 33(3): 518-522. (Wu H B, Zhu Y, Tian Y C, et al. Relationship between canopy hyperspectral index and leaf nitrogen accumulation in cotton [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(3): 518-522.)
  - [10] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 等. 小麦叶片氮素状况与光谱特性的相关性研究[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(2): 172-177. (Xue L H, Cao W X, Luo W H, et al. Correlation between leaf nitrogen status and canopy spectral characteristics in wheat [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(2): 172-177.)
- 
- (上接第 640 页)
- [5] Ones P, Allen L A, Jones J W, et al. Soybean canopy growth photosynthesis and transpiration responses to whole-season carbon dioxide enrichment[J]. *Agronomy Journal*, 1984, 76: 633-637.
  - [6] 刘昌明, 王会肖. 土壤-作物-大气界面水分过程和节水调控[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 60-91. (Liu C M, Wang H X. Soil-crop-water interface of atmospheric processes and water-saving regulation and control [M]. Beijing: Science Press, 1999: 60-91.)
  - [7] 潘瑞炽, 董愚得. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979: 13-20. (Pan Z R, Dong Y D. Plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 1979: 13-20.)
  - [8] Dornhoff G M, Shibles R M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves [J]. *Crop Science*, 1970, 10: 42-45.
  - [9] 梁宗锁. 节水灌溉条件下夏玉米气孔导度与光合速度的关系[J]. *干旱地区农业研究*, 1996, 14(1): 101-105. (Liang Z X. Relationship between stomatal conductance and photosynthetic rate of summer maize under water saving irrigation [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1996, 14(1): 101-105.)
  - [10] 孙广玉. 大豆光合速率和气孔导度对水分胁迫的响应[J]. *植物学报*, 1991, 33(1): 43-49. (Sun G Y. Soybean photosynthetic rate and stomatal conductance responses to water stress [J]. *Bulletin of Botany*, 1991, 33(1): 43-49.)
  - [11] 邹冬生. 几种作物叶片主要生理特性的比较研究[J]. *作物研究*, 1991, 5(1): 20-22. (Zhou D S. Comparative study of the main physiological characteristics on several crops of leaves [J]. *Crop Research*, 1991, 5(1): 20-22.)
  - [12] 潘瑞炽, 董愚得. 植物生理学(二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983: 17-24. (Pan Z R, Dong Y D. Plant Physiology (Second Edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 1983: 17-24.)
  - [13] 姜彦秋, 黄峻, 苗以农. 大豆叶片表面结构与蒸腾的关系[J]. *作物学报*, 1991, 17(1): 43-46. (Jiang Y Q, Huang J, Miao Y N. The relationship between transpiration and soybean leaf surface structure [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1991, 17(1): 43-46.)
  - [14] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. *植物生理学通讯*, 1997, 33(4): 241-244. (Xu D Q. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis [J]. *Plant Physiology Communications*, 1997, 33(4): 241-244.)
  - [15] 高辉远, 邹琦, 陈敬锋. 大豆光合午休原因的分析[J]. *作物学报*, 1994, 20(5): 357-361. (Gao H Y, Zhou Q, Chen J F. Analysis of cause of midday depression of photosynthesis in soybean leaves [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1994, 20(5): 357-361.)