

文章编号: 1003-8701(2015)03-0008-06

# 大豆叶片光合作用与光强及二氧化碳的关系

张瑞朋<sup>1</sup>, 付连舜<sup>1\*</sup>, 佟斌<sup>2</sup>, 吴晓秋<sup>2</sup>, 朱海荣<sup>1</sup>, 孙国伟<sup>1</sup>

(1. 铁岭市农业科学院, 辽宁 铁岭 112616; 2. 辽宁职业学院, 辽宁 铁岭 112099)

**摘要:**在大田条件下以不同来源的12个亚有限结荚习性大豆品种为材料,利用LI-6400光合作用测定系统在盛花期测定了光响应曲线和二氧化碳响应曲线。结果表明:不同大豆品种对于光强和二氧化碳反应不同,但趋势是一致的。在较低光强时,大豆叶片的净光合速率随着光强的增加而增大,当光强超过一定范围时,大豆叶片的净光合速率增加缓慢,并且有降低的趋势;二氧化碳浓度在一定范围时,大豆叶片的净光合速率随着二氧化碳浓度增加而增加,二氧化碳浓度超过 $1000\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时,不同来源大豆品种的叶片净光合速率都有降低的趋势。

**关键词:**大豆;光合作用;光强;二氧化碳

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.16423/j.cnki.1003-8701.2015.03.003

## The Relationship of Soybean Leaf Photosynthesis with Light Intensity and Carbon Dioxide

ZHANG Rui-peng<sup>1</sup>, FU Lian-shun<sup>1\*</sup>, TONG Bin<sup>2</sup>, WU Xiao-qiu<sup>2</sup>,  
ZHU Hai-rong<sup>1</sup>, SUN Guo-wei<sup>1</sup>,

(1. Tieling Academy of Agricultural Sciences, Tieling 112616; 2. Liaoning Vocational College, Tieling 112099, China)

**Abstract:** This experiment was carried out by using twelve soybean cultivars from different regions in field conditions. We measured light response curves and carbon dioxide response curve using LI-6400 Photosynthesis System at flowering stage. The results showed that the reaction of different soybean cultivars was different to light and carbon dioxide, but the trend is consistent. In low light intensity, the net photosynthetic rate of soybean increased with increasing of light intensity. When the light intensity exceeds a certain range, the net photosynthetic rate of soybean leaves increased slowly, and there was decreased trend. The net photosynthetic rate of soybean increased with increasing of concentrations of carbon dioxide in a certain range. The net photosynthetic rate of soybean varieties from different sources decreased when carbon dioxide concentrations over  $1000\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

**Key words:** Soybean; Photosynthesis; Light; Carbon dioxide

植物生长发育及其生态特性,主要受光、温、水、肥及 $\text{CO}_2$ 浓度等因子的影响<sup>[1]</sup>。作物光合性能是产量的基础,因而在栽培生理研究中占有重要位置<sup>[2]</sup>。

光既是光合作用的能量来源,又是质体分化、叶绿素形成的重要条件,对部分光合酶活性也有很大影响,还能调节气孔开度,从而影响外界 $\text{CO}_2$ 进入叶

片,因此光是影响光合作用的最重要的因素<sup>[3-4]</sup>。在强光照下,大豆叶片光合作用受光抑制;光抑制除受光强、 $\text{CO}_2$ 浓度、N、P用量、土壤水分、叶片结构及叶片倾角等因素的影响外,还受高光强照射时间的影响<sup>[5]</sup>。满为群等研究得出大豆叶片光合速率的光饱和点为 $1188\sim 1360\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1[6]}$ 。

由于人类活动的影响,大气 $\text{CO}_2$ 浓度以每年 $1\sim 2\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 的速度增加,已经从工业革命前的 $280\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 迅速增加到今天大约 $365\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,估计到21世纪末将达到 $700\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1[7]}$ 。目前 $\text{CO}_2$ 浓度升高将引起温室效应,势必给全球生态环境和气候带来深刻的变化<sup>[8-9]</sup>。 $\text{CO}_2$ 浓度升高将对植物光合作用及其有关的生理生化过程产生直

收稿日期:2015-01-26

**基金项目:**辽宁省自然科学基金(2013020065);国家大豆产业技术体系(CARS-04);辽宁省科技厅科技攻关项目(201401677-2)

**作者简介:**张瑞朋(1979-),男,副研究员,博士,主要从事大豆遗传育种与栽培技术研究。

**通讯作者:**傅连舜,男,研究员,E-mail: fulianshun@sina.com

接或间接的影响<sup>[10]</sup>。CO<sub>2</sub>浓度升高能够提高植物的光合速率,减少蒸腾作用,抑制植物的呼吸作用,显著提高植物的水分利用效率,增强植物抗逆性,并能明显促进植物的生长,增加生物量<sup>[11]</sup>。

CO<sub>2</sub>是绿色植物光合作用的原料之一,同时当前大气CO<sub>2</sub>含量又是植物光合作用的限制因子之一,对植物生长有制约作用<sup>[12]</sup>。CO<sub>2</sub>浓度升高不仅为光合作用提供了较多的原料,而且提高了1,5-二磷酸核酮糖(RuBP)羧化酶的活性,增强了对CO<sub>2</sub>的固定能力;同时抑制了RuBP加氧酶的活性,减少了光呼吸底物乙醇酸的生成,降低了植物的光呼吸强度,从而提高了光合作用效率<sup>[13]</sup>。短期内CO<sub>2</sub>含量升高会刺激光合效率,增加作物干物质合成,利于提高作物产量<sup>[14]</sup>。

本论文研究了不同来源的12个大豆品种叶片光合作用与光强及二氧化碳的关系,得出了一些有益的结果,为进一步研究光合作用与光强及二氧化碳的关系具有一定意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

采用美国俄亥俄州立大学育成的当代品种4

个:HS93-4118、OhioFG1、Darby、Kottman;辽宁省当代育成品种4个:辽豆11号、辽豆12号、沈农94-11、沈豆4号;辽宁省20世纪20年代老品种4个:Shingto、Mukden、Harbinsoy、Boone。共计12个亚有限结荚习性的品种。

### 1.2 试验设计

试验于2012年在铁岭市农业科学院大豆试验田进行,5月1日播种,田间管理按常规进行。采用随机区组设计方案,3次重复。小区行长5 m,行距60 cm,6行区,小区面积为18 m<sup>2</sup>,密度15万株/hm<sup>2</sup>,株距11 cm。

### 1.3 测定指标及方法

采用美国LI-6400光合作用测定系统在盛花期进行测定。利用红蓝光源用来设置不同的光照强度测定光响应曲线;利用二氧化碳钢瓶来供应不同浓度的二氧化碳测定二氧化碳响应曲线,光源也是利用红蓝光源。测定部位为完全展开的上数第三片叶,每个处理测定3片叶,测定结果取其平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 光合作用与光照强度的关系

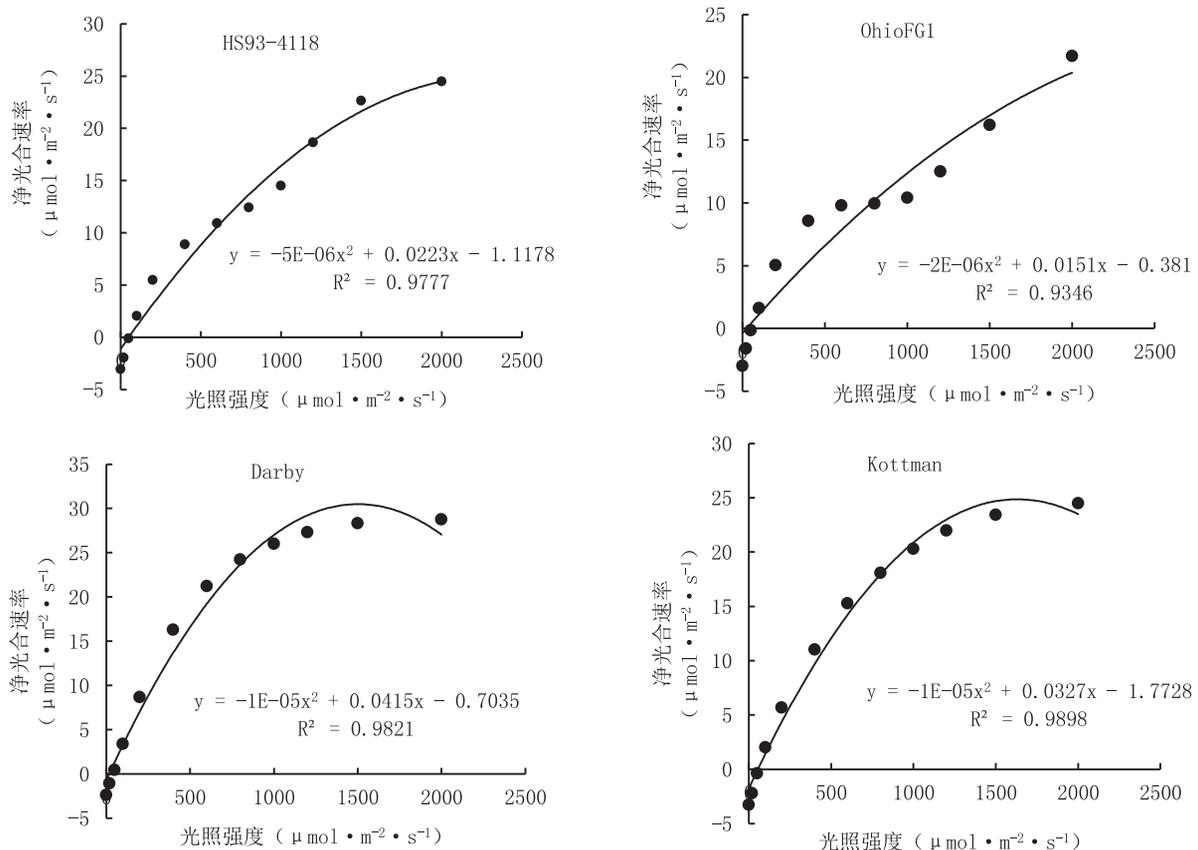


图1 俄亥俄州当代大豆品种叶片净光合速率与光强的关系

利用LI-6400光合作用测定系统的红蓝光源测定了不同光照强度下不同品种大豆叶片的净光合速率。并且得出了一元二次多项式的拟合曲线,并且 $R^2$ 都大于0.93,拟合效果良好。

从图1可知,Darby和Kottman两品种,当光强在 $0 \sim 1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内,净光合速率随着光强的增加而迅速增加,当光强继续升高时,光

合速率增加缓慢,并且净光合速率有降低的趋势;而HS93-4118和OhioFG1两个品种,当光强在 $0 \sim 2000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内,净光合速率一直迅速增加,并没有降低的趋势。其中,当光强为 $2000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,Darby叶片的净光合速率达到了 $28.77 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

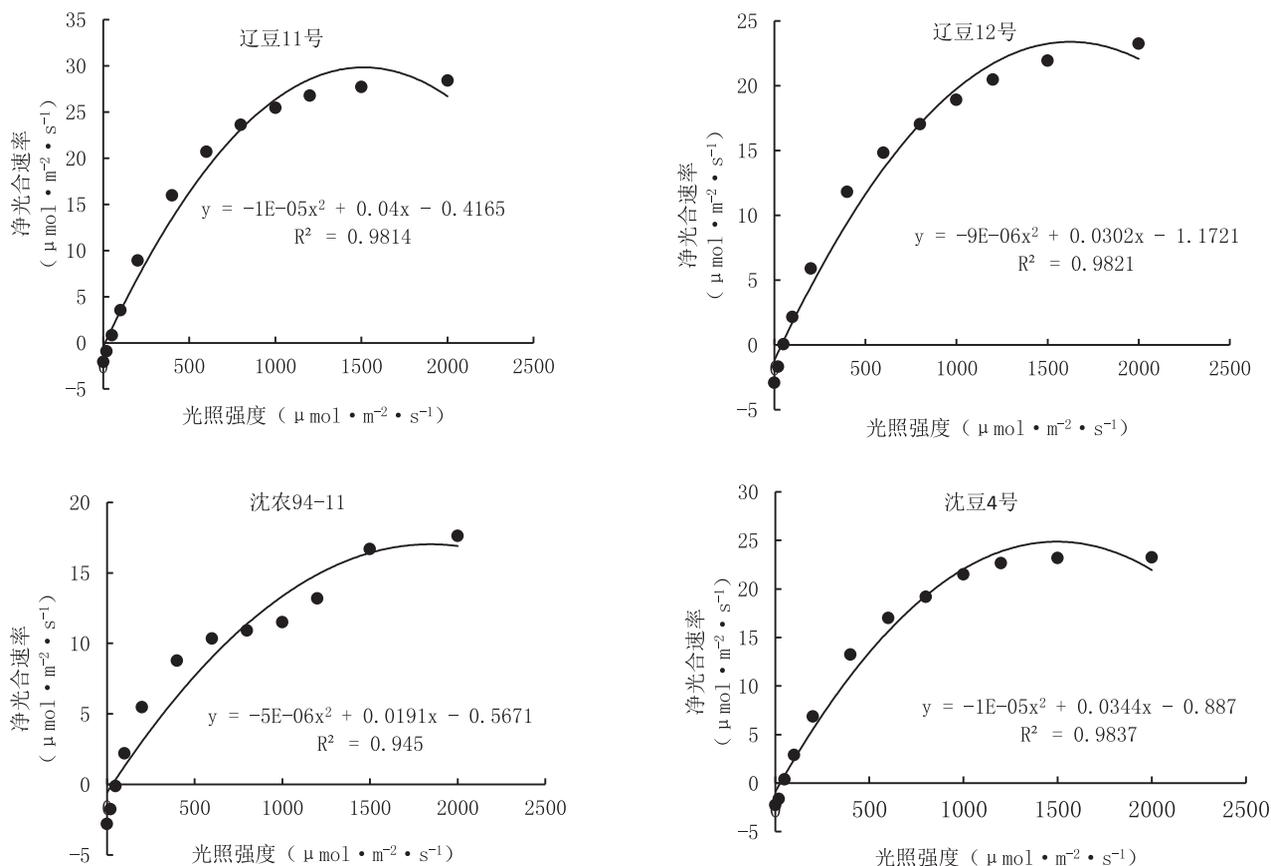
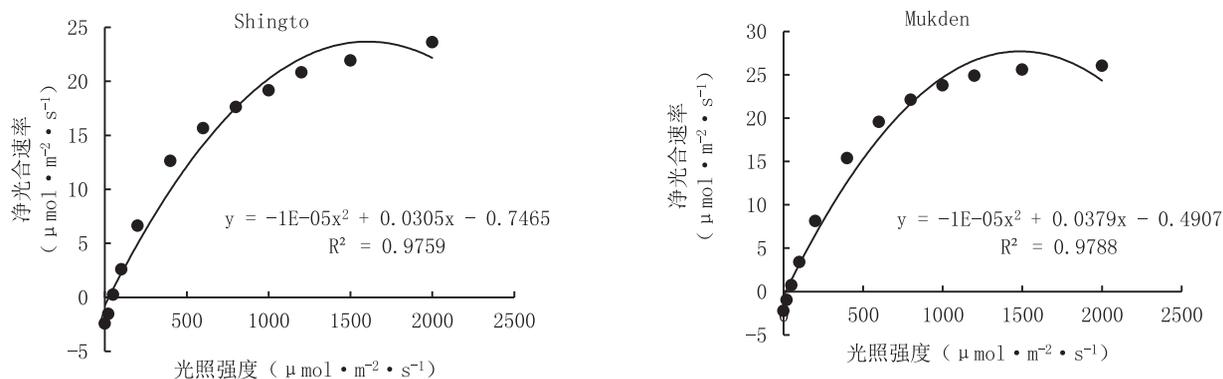


图2 辽宁当代大豆品种叶片净光合速率与光强的关系

从图2可知,辽豆11号和沈豆4号两品种,当光强在 $0 \sim 1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内,净光合速率随着光强的增加而迅速提高,光强继续增加时净光合速率增加缓慢并有降低的趋势;辽豆12号和沈农94-11两品种,当光强在 $0 \sim 1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

范围内,净光合速率随着光强的增加而迅速提高,光强继续增加时净光合速率增加缓慢。其中,当光强为 $2000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,辽豆11号叶片的净光合速率达到了 $28.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。



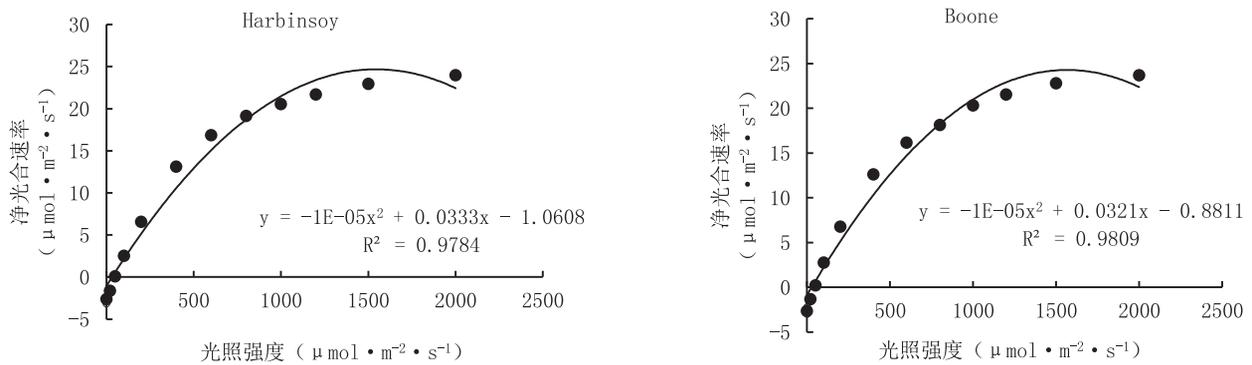


图3 辽宁20世纪20年代大豆品种叶片净光合速率与光强的关系

从图3可知,当光强在 $0 \sim 1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围时,Shingto和Mukden两品种叶片的净光合速率随着光强的增加而迅速提高,光强继续增加时,叶片的净光合速率增加缓慢;而Harbinsoy和Boone两品种,当光强在 $0 \sim 1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围时,叶片的净光合速率迅速增加,当光强继续增加时净光合速率增加缓慢并且有降低的趋势。其中,当光强为 $2000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,Mukden叶片的净光合速率达到了 $26.02 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

## 2.2 光合作用与二氧化碳的关系

从图4可知,HS93-4118、OhioFG1、Darby 3个

品种当二氧化碳浓度在 $0 \sim 800 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围内,叶片的净光合速率随二氧化碳浓度升高而迅速增加,继续提高二氧化碳浓度时,叶片的净光合速率升高缓慢,甚至有降低的趋势。而Kottman二氧化碳浓度在 $0 \sim 1000 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围内,叶片净光合速率随二氧化碳浓度增加而迅速增加,二氧化碳浓度达到 $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 时,叶片的净光合速率增加缓慢。其中,当二氧化碳浓度为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 时,OhioFG1的叶片净光合速率达到了 $41.13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

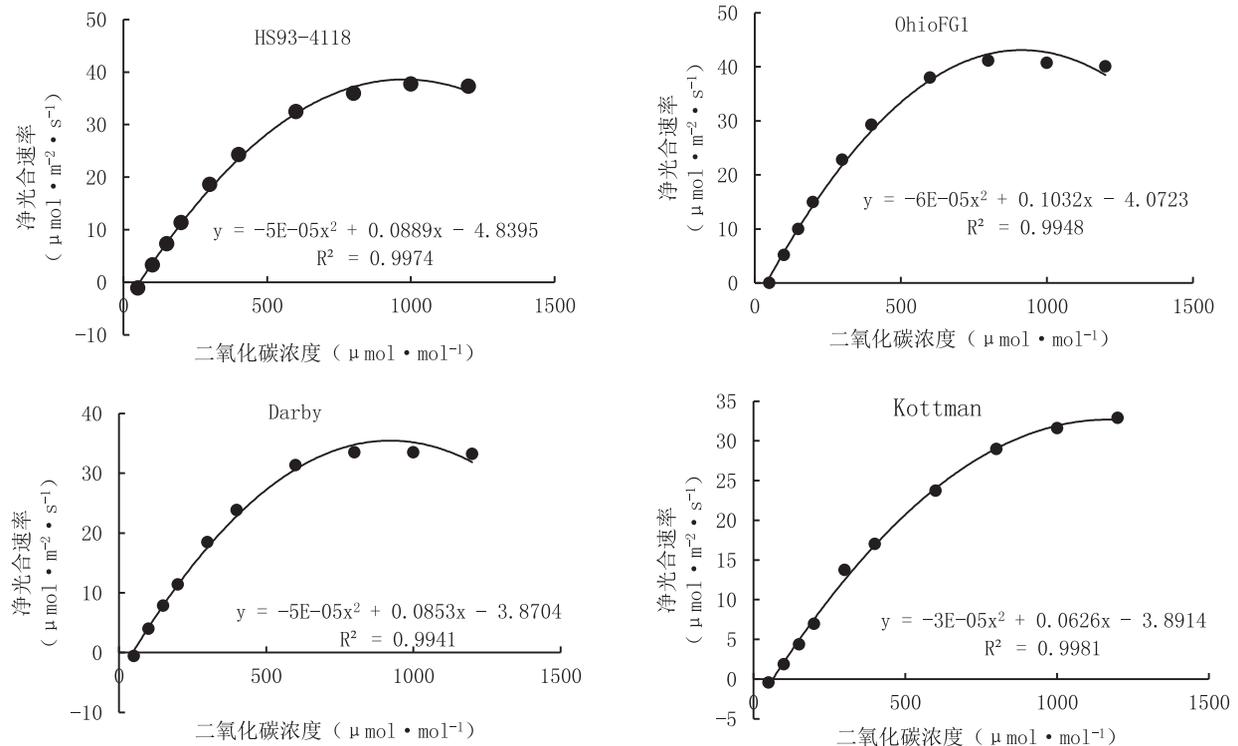


图4 俄亥俄州当代大豆品种叶片净光合速率与二氧化碳浓度的关系

从图5可知,辽豆11号、辽豆12号两个品种当二氧化碳浓度在 $0 \sim 600 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围内,叶片的净光合速率随二氧化碳浓度增加而迅速提

高,当二氧化碳浓度继续增加时,叶片的净光合速率增加缓慢并且有降低的趋势;而沈农94-11和沈豆4号两个品种,当二氧化碳浓度在 $0 \sim$

800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 范围内,叶片的净光合速率随二氧化碳浓度增加而迅速提高,当二氧化碳浓度继续增加时,叶片的净光合速率略有降低的趋势。其

中辽豆12号和沈豆4号当二氧化碳浓度为800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时叶片的净光合速率分别达到了40.87 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和39.27 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

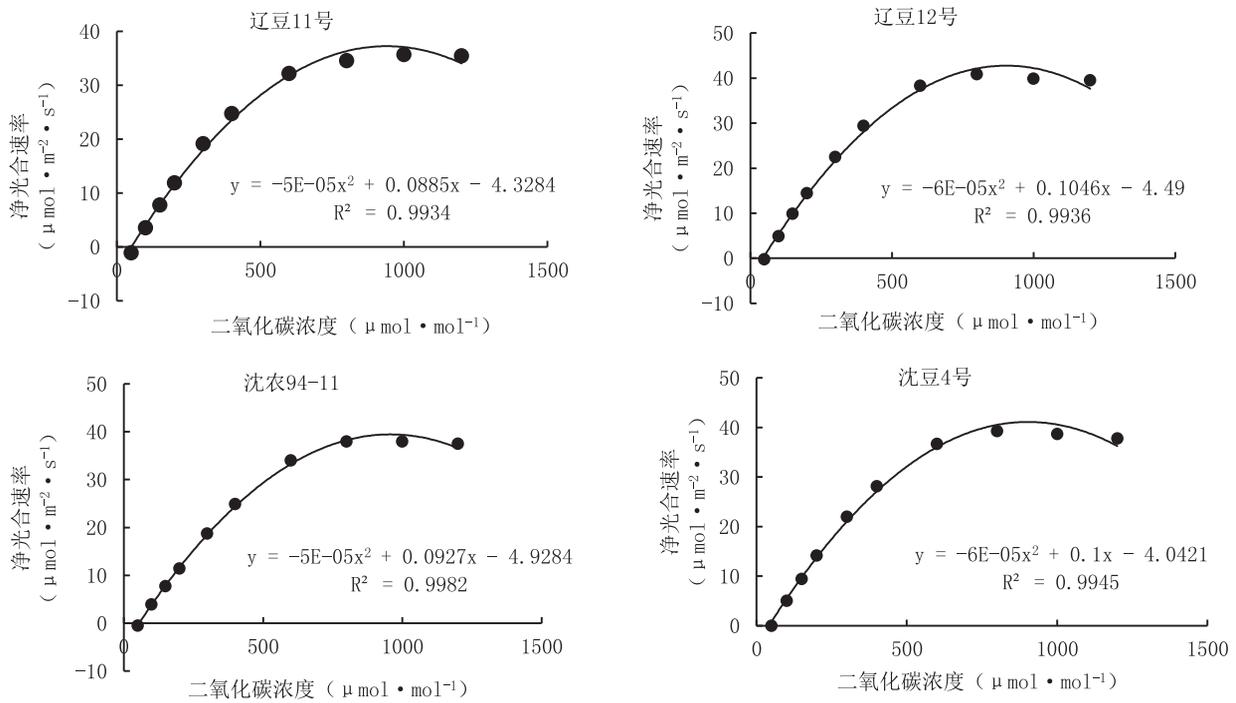


图5 辽宁当代大豆品种叶片净光合速率与二氧化碳浓度的关系

从图6可知, Shingto、Mukden、Harbinsoy、Boone 4个品种当二氧化碳浓度在0~800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 范围内,叶片的净光合速率随二氧化碳浓度增加而迅速提高,当二氧化碳浓度继续增加时,叶

片的净光合速率增加缓慢并且有降低的趋势。其中,当二氧化碳浓度为1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时, Mukden和Boone两品种的叶片净光合速率分别达到了39.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和37.1 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

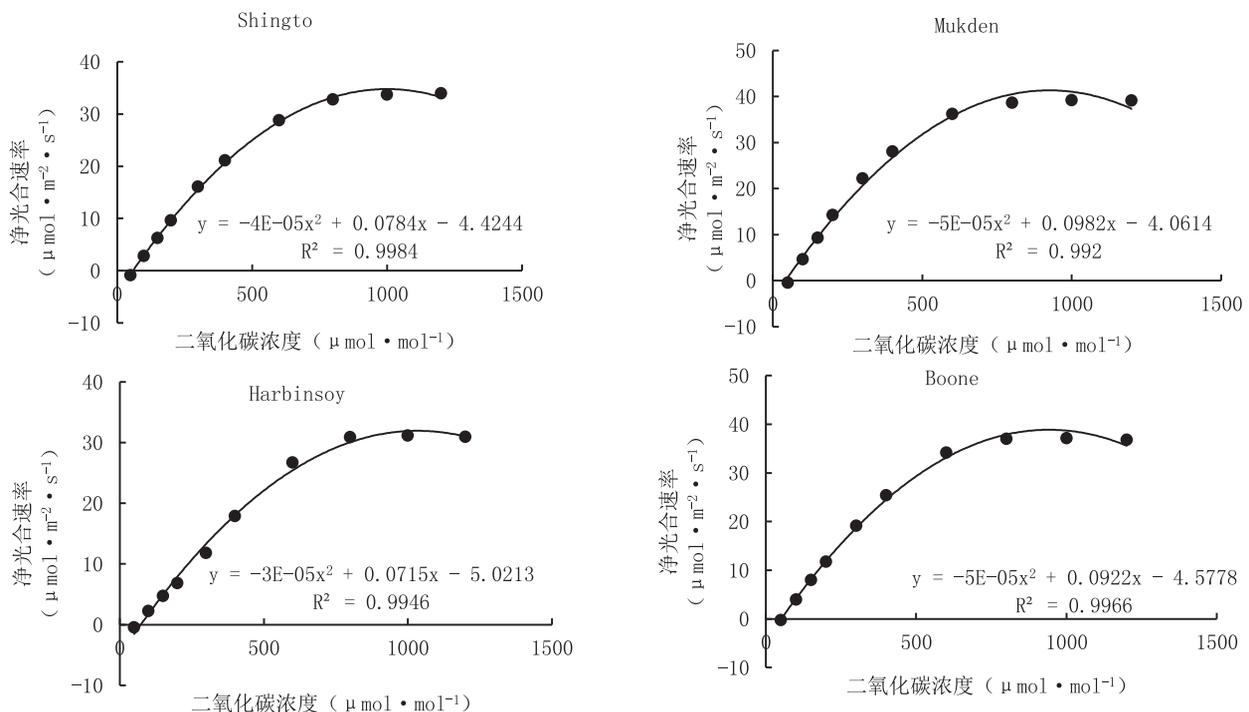


图6 辽宁20世纪20年代大豆品种叶片净光合速率与二氧化碳浓度的关系

### 3 结论与讨论

3.1 Hirata M等指出,大豆在 $2700\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下持续照射2 h就表现出显著的光抑制;在 $1760\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下照射6 h未表现出光抑制,照射12 h才表现出显著的光抑制;并指出,在通常大气条件下,大豆叶片具有相当强的抗御光抑制的能力<sup>[15]</sup>。Vidal R等指出,高光强处理8 h后大豆表现出光抑制<sup>[16]</sup>。戈巧英等研究表明,在 $1750\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下,大豆品种75-54光抑制为1.1%,诱处4号为7.7%,京黄3号为15.3%<sup>[17]</sup>。本研究证明虽然不同品种对于光强的反应不同,但是当光强达到光饱和点时,不同大豆品种的净光合速率有降低的趋势。

3.2 光合作用是植物对高浓度 $\text{CO}_2$ 响应最直接最敏感的指标之一。几乎在所有短期实验中,植物光合能力随 $\text{CO}_2$ 浓度升高而升高,但因植物品种不同尤其是光合途径不同而有差异<sup>[9]</sup>。大气 $\text{CO}_2$ 浓度的升高,促进了大豆光合作用,但随着环境高 $\text{CO}_2$ 浓度持续时间的延长,其效应有递减的趋势。其他作物也有相似表现<sup>[18]</sup>。在大豆分枝期,二种高 $\text{CO}_2$ 浓度使净光合速率提高19.9%和33.1%,开花期为14.2%和27.7%,到了鼓粒期仅为3.7%和11.6%。这是由于大豆叶片对长时间高 $\text{CO}_2$ 浓度产生了光合适应现象。其发生原因一般认为是由于源库平衡关系破坏造成的产物积累反馈抑制<sup>[19]</sup>。本研究表明:在较低二氧化碳浓度范围内,大豆叶片的净光合速率随着二氧化碳浓度的提高而增加,当二氧化碳浓度超过 $1000\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时,不同来源大豆品种的叶片净光合速率都有降低的趋势。

#### 参考文献:

- [1] 王修兰,徐师华.  $\text{CO}_2$ 浓度倍增对大豆各生育期阶段的光合作用及干物质积累的影响[J]. 作物学报, 1994, 20(5): 520-527.
- [2] 邹琦,孙广玉,程炳嵩,等. 小粒大豆与普通大豆光合对光、温度、 $\text{CO}_2$ 响应特性的比较研究[J]. 山东农业大学学报, 1991, 22(4): 311-317.
- [3] 覃鹏,曾淑华,刘飞虎,等. 光强对K326盛花期光合作用的影响[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2003, 25(增刊): 97-100.
- [4] 张小全,徐德应. 18年生杉木不同部位和叶龄针叶光响应研究[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 409-414.
- [5] 徐冉,陈存来,邵历,等. 夏大豆叶片光合作用与光强的关系[J]. 作物学报, 2005, 31(8): 1080-1085.
- [6] 满为群,杜维广,张桂茹,等. 高光效大豆几项光合生理指标的研究[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 697-700.
- [7] 孙谷畴,赵平,饶兴权,等. 供氮和增温对倍增二氧化碳浓度下荫香叶片光合作用的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1399-1404.
- [8] 王精明,李永华,黄胜琴,等.  $\text{CO}_2$ 浓度升高对凤梨叶片生长和光合特性的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(6): 511-514.
- [9] 欧志英,彭长连. 高浓度二氧化碳对植物影响的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(2): 190-196.
- [10] 项文化,田大伦,闫文德,等. 白栎光合特性对二氧化碳浓度增加和温度升高的响应[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(3): 247-253.
- [11] 张彤,王磊,杨俊兴.  $\text{CO}_2$ 倍增对干旱胁迫下大豆光合效应的影响[J]. 河南农业科学, 2005(8): 47-50.
- [12] 蒋跃林,张庆国,岳伟,等. 大豆光合特性对大气 $\text{CO}_2$ 浓度升高的响应[J]. 中国农学通报, 2005, 21(3): 290-293.
- [13] 陈平平. 大气二氧化碳浓度升高对植物的影响[J]. 生物学通报, 2002, 37(3): 20-22.
- [14] 谢立勇,林而达,孙芳,等. 全生育期二氧化碳与温度处理对水稻生理性状的影响初报[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(1): 17-21.
- [15] Hirata M. Photoinhibition of photosynthesis in soybean(*Glycine max* cv. Enrei) leaves. I. Effects of different intensities and duration's of light irradiation on light response curve of photosynthesis[J]. Journal of Crop Science, 1983, 52(2): 314-318.
- [16] Vichl R. Short-term effects of high intensities on soybean nodule activity and photosynthesis[J]. Environmental and Experimental Botany, 1996, 36(3): 349-357.
- [17] 戈巧英,张其德,郝乃斌. 高光效大豆光合特性的研究 V. 不同大豆品种光合作用的光抑制[J]. 大豆科学, 1994, 13(1): 85-91.
- [18] 林伟宏. 植物光合作用对大气 $\text{CO}_2$ 浓度升高的反应[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 529-535.
- [19] 蒋高明,韩兴目. 大气 $\text{CO}_2$ 浓度升高对植物的直接影响[J]. 植物生态学报, 1997, 21(6): 489-502.