

# 剑豆光合生理研究

周玮, 刘明骞, 陈晓阳, 丁美美\* (华南农业大学林学院, 广东广州 510642)

**摘要** [目的]对剑豆光合生理进行初步研究。[方法]采用 Li-6400 光合测定系统,以春季种植的剑豆(*Canavalia ensiformis*)为研究对象,探讨其光合特性。借助光合助手软件,对剑豆的实测光响应数据进行拟合。[结果]剑豆的光补偿点为  $106.40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,光饱和点为  $1976.80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。剑豆净光合速率日变化为双峰曲线,第1个峰出现在 10:00,为  $25.48 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,13:00 出现波谷,即“光合午休”现象,14:00 出现当日第2个峰值( $15.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )。剑豆净光合速率的大小与气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、胞外  $\text{CO}_2$  浓度、光合有效辐射、温度、蒸腾速率和空气湿度均存在一定的关系。[结论]光合有效辐射对剑豆净光合速率日变的直接效应最大。气孔导度、气温与净光合速率的日变化的直接效应呈负相关。

**关键词** 剑豆;光响应;光合日变化;通径系数

**中图分类号** S634.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)26-10575-02

## Study on Photosynthetic Physiology of *Canavalia ensiformis*

ZHOU Wei et al (College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

**Abstract** [Objective] To study the photosynthetic physiology of *Canavalia ensiformis*. [Method] To determine the photosynthetic characteristics of *Canavalia ensiformis*, a Li-6400 photosynthetic system analyzer was used in the condition of natural light. Using photosynthesis assistant software, models of light-response curve for *Canavalia ensiformis* was set up. [Result] The results showed that the light compensation point (LCP) of *Canavalia ensiformis* was  $106.40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , and the light saturation point (LSP) was  $1976.80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , respectively. The diurnal variation of net photosynthesis rate in sunshine day showed as asymmetric double-peak curve. The first peak value appeared at about 10:00 am, it was  $25.48 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , and then the wave trough turned up at 13:00 showing midday depression. The second peak value appeared at about 14:00 pm, it was  $15.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . The net photosynthesis rate of *Canavalia ensiformis* was related with Cond, Ci, Ca, PAR, Ta, Tr and RH. [Conclusion] Hemagogenic and correlation analysis indicated that PAR was the most important factor to the daily net photosynthesis rate, and Cond and Ta was negative correlated with net photosynthesis rate.

**Key words** *Canavalia ensiformis*; Response to light intensity; Diurnal variation of photosynthesis; Path coefficient

刀豆属(*Canavalia*)为豆科植物,有 50 余个种<sup>[1-2]</sup>,其中剑豆为栽培较广的多年生藤本植物。据记载,该种最早起源于南美洲,现广泛分布于美国西南部、拉丁美洲、非洲、印度西部等地区<sup>[3-4]</sup>,因其具有蛋白含量高、饲料产量高等特点,现作为高蛋白食品和饲料植物在热带、亚热带地区栽培。

光合作用是植物产生物质的基础。植物在进行光合作用的同时会表现出相应的特性,即光合特性。测定剑豆的光合作用参数,对于了解其产量和制订合理的栽培技术措施具有十分重要的意义。到目前为止,国内对其光合特性的研究未见报道。研究剑豆的光合特性,不仅可以了解它的生理生态特性,而且对掌握剑豆的光合生产力等问题具有重要的意义,也可对剑豆的人工栽培和资源开发利用提供参考。

## 1 材料与方 法

**1.1 试验材料** 试验在华南农业大学林学院启林北试验基地(23°9'50"N,113°21'60"E)进行。以当年春季种植且处于盛花期的剑豆植株作为试验材料。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 剑豆光响应曲线。**利用 Li-6400 型便携式光合仪,选择晴朗天气(2010 年 9 月 19 日),从早上 9:00 开始测定剑豆叶片净光合速率(Net photo synthetic rate, *Pn*)对光强的响应参数。测定时,使用开放气路,  $\text{CO}_2$  浓度保持在  $360$

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,光强由强到弱,依次设定光合有效辐射强度(PAR)2 800、2 500、2 200、2 000、1 800、1 500、1 200、1 000、800、600、400、200、100、80、50、30、20、10、0  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,测定时在每个光照强度下平衡 3 min,得到叶片净光合速率。采用光合助手软件 Photosyn Assistant 1.1.2 得出光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、最大净光合速(*Pnmax*)以及表观量子效率(EAQ)。

**1.2.2 剑豆光合日变化。**利用 Li-6400 型便携式光合仪,选择晴朗天气(2010 年 9 月 16~18 日)对剑豆光合日变化进行测定,测定时段为 7:00~18:00,每隔 1 h 测定 1 次。测定时,选取植株由顶端向下第 1 片完全展开叶,每个叶片在每个时段读取 5 个值,计算平均值后用于分析。试验中泵流量(Flow)采用仪器默认值  $500 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。测定指标有叶片净光合速率、气孔导度(*Cd*)、蒸腾速率(*Tr*)、胞间  $\text{CO}_2$  浓度(*Ci*)、大气  $\text{CO}_2$  浓度(*Ca*)、光合有效辐射(PAR)、大气温度(*Ta*)、大气相对湿度(RH)。

**1.2.3 数据处理。**采用 Excel 2003 对试验数据进行统计处理,利用 Origin 8.0 绘图,采用 SPSS13.0 对主要气候因子进行统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 剑豆光响应曲线** 光响应曲线反映植物光合速率随光照强度改变而变化的规律。由图 1 可知,当光合有效辐射低于  $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,随着光强的增加,净光合速率迅速增加;当光合有效辐射高于  $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  后,净光合速率缓慢上升,并且逐渐平稳,后略有下降趋势,表现出光抑制现象。

**基金项目** 农业部 948 项目(2011-Z50);广州市科技计划项目(2010Z1-E241)。

**作者简介** 周玮(1986-),女,湖北当阳人,硕士,从事木本饲料植物方面的研究。\*通讯作者,副教授,博士,硕士生导师,从事木本饲料植物方面的研究,E-mail:mmding@scau.edu.cn。

**收稿日期** 2013-07-08

利用光合助手软件,可得剑豆光合特性参数。研究表明,当外界光强为  $106.40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,剑豆叶片的光合作用和呼吸作用处于平衡状态,光合作用合成的物质等于呼吸作用所需要消耗的能量。当光强超过光补偿点后,在其他环境条件满足的条件下,剑豆的光合作用超过呼吸作用,开始积累有机物质,为剑豆的生长发育提供物质保障。当外界光强达到  $1976.80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,叶片的光合作用达到最大值( $33.16 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ),此时即使光强继续增加,净光合速率将不再增大。

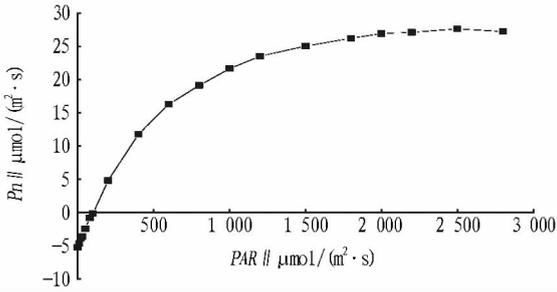


图1 剑豆光合光响应曲线

**2.2 剑豆光合日变化** 由图2可知,剑豆净光合速率日变化为双峰曲线。随着太阳辐射的逐渐增强,叶片的净光合速率逐渐增加,10:00出现第1个峰值( $25.48 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ );在13:00出现波谷,而到14:00出现当日第2个峰值( $15.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )。

光合作用日变化有一个浅浅的低谷,说明剑豆存在着“光合午休”现象<sup>[5-6]</sup>。这可能与中午强光照、高温、空气湿度低等因素导致气孔部分关闭有关。与此相对应,13:00左右气温接近当天最高值,光合有效辐射也在谷底,胞间  $\text{CO}_2$  浓度相对较低,蒸腾作用达到最高值,导致气孔导度相对8:00~10:00有所下降,也进一步证明各生态因子的综合变化,导致气孔部分关闭,进而影响剑豆的光合作用。

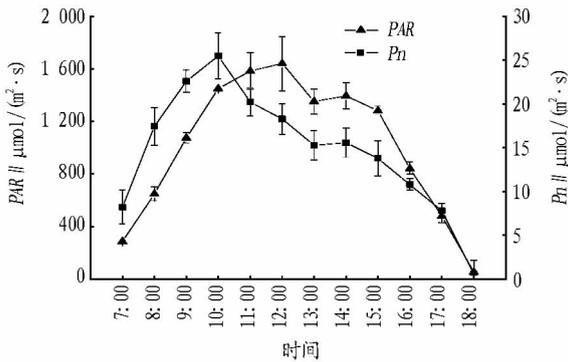


图2 剑豆光合有效辐射和净光合速率的日变化

由图3可知,室外气温随日出后逐渐上升,14:00达到最高温度( $42.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ),然后逐渐下降;相对湿度在7:00时有最大值(74.5%),随着室外气温的上升,空气中的湿度逐渐下降,在14:00降到最低,为39.9%,14:00之后随着气温降低而逐渐上升;光合有效辐射为双峰曲线,在12:00和14:00出现最大值,分别为  $1641.2$  和  $1393.9 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由图4可知,室外  $\text{CO}_2$  浓度由7:00的最高值开始下降,7:00~11:00

下降较迅速,11:00~15:00保持平稳状态,15:00迅速上升,18:00达到最大。剑豆胞间  $\text{CO}_2$  浓度与空气中的变化趋势基本一致(图3);剑豆的气孔导度在测量当日出现双峰,10:00达到第一个高峰( $0.73 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ),11:00出现波谷,随后在12:00又有所上升,虽然气孔导度在13:00较8:00~10:00低,但是蒸腾速率达到最大值( $12.6 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) (图5)。这是因为影响蒸腾速率的因素除气孔导度外,还包括辐射、风速、饱和水汽压差等。

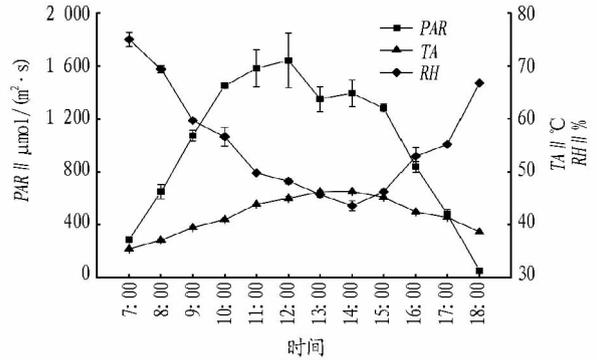


图3 光合有效辐射、气温和湿度的日变化

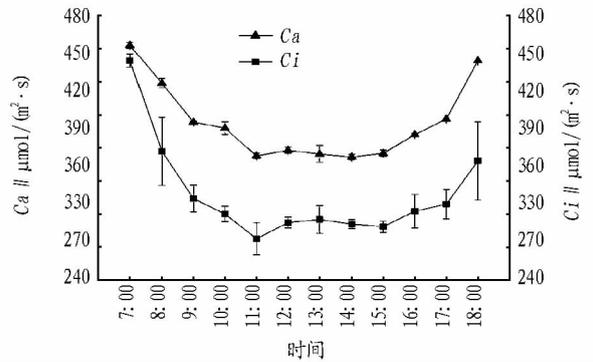


图4 胞外  $\text{CO}_2$  浓度和胞间  $\text{CO}_2$  浓度的日变化

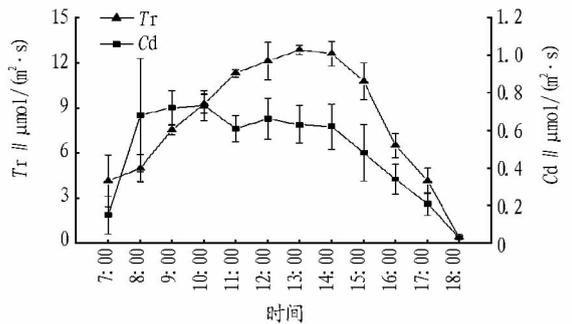


图5 蒸腾速率和气孔导度的日变化

**2.3 剑豆光合速率与气候生态因子的关系** 由表1可知,剑豆净光合速率与气孔导度、光合有效辐射、温度、蒸腾速率呈正相关,与胞间  $\text{CO}_2$  浓度、胞外  $\text{CO}_2$  浓度、蒸腾速率呈负相关。其中,与光合有效辐射的相关系数为0.606,相关性在0.01水平显著;与气孔导度的相关系数为0.545,相关性在0.05水平显著。光合作用受气候生态因子的影响,首先光合有效辐射是剑豆光合作用的有效保障,另外气候生态因子影响剑豆植物气

(下转第10589页)

和果台数。DPC 化控对棉种生殖性状的影响是多方面的,具有种间复杂性,这也与棉属生殖特性的复杂性有关(无限生长特性、果枝类型复杂、生殖生长时期长等)。

(3)4 大棉种对 DPC 化控具有不同的敏感性。非洲棉反应最敏感;亚洲棉的反应主要表现在茎、枝、叶的生长;海岛棉体现在综合效果上,化控对其具有较大影响;陆地棉的反应最弱,此为生产实际中可以利用 DPC 化控提供理论依据。

### 参考文献

- [1] 周运刚,王俊刚,马天文,等.不同 DPC(缩节胺)处理对棉花生理生化特性的影响[J].新疆农业科学,2010,47(6):1142-1146.  
[2] 张巨松,徐骞,马雪梅.化学调控对海岛棉株型和产量的影响[J].新疆

农业大学学报,2003,26(4):13-15.

- [3] GENCSOYLU I. Effect of plant growth regulators on agronomic characteristics, lint quality, pests, and predators in cotton[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2009, 28: 147-153.  
[4] WANG X J, LI R S, LI S J, et al. Studies on salinity-resistant selection of cucumber during germination[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science), 2000, 31(1): 71-73.  
[5] 刘燕,原保忠,张献龙,等.缩节胺调控棉花生长依据概述[J].中国棉花,2012,39(1):9-11.  
[6] 张巨松,陈冰,周仰强,等.DPC 对棉花群体发育调控效应的研究[J].新疆农业大学学报,1999,22(1):19-23.  
[7] 陈冠文.新疆棉田缩节胺的施用技术与药害防治[J].新疆农业科技,2012(7):42-43.

(上接第 10576 页)

孔的开张,气孔阻力首先随光强增大而减小,这样空气中的 CO<sub>2</sub> 更易于扩散进入植物气孔,使得光合作用增大,在较适宜的气温、湿度范围内气温和湿度对气孔阻力的影响较小,但是湿度很低或很高均不利于气孔开张,使得光合作用减弱。

由表 2 可知,气候生态因子中对剑豆净光合速率日变化的直接效应最大的是光合有效辐射,通径系数为 1.117,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气温与净光合速率日变化的直接效应呈负相关。光合有效辐射通过胞间 CO<sub>2</sub> 浓度对剑豆净光合速率的间接作用较大,其间接通径系数为 0.648。

表 1 光合速率与主要气候生态因子的相关系数

项目	相关系数	Sig.
<i>Cd</i>	0.545*	0.014
<i>Ci</i>	-0.333	0.131
<i>Ca</i>	-0.303	0.170
<i>PAR</i>	0.606**	0.006
<i>Ta</i>	0.121	0.583
<i>Tr</i>	0.364	0.100
<i>RH</i>	-0.061	0.784

表 2 光合速率与主要气候生态因子的通径系数

气候因子	通径系数	间接通径系数		
		<i>Ci</i>	<i>PAR</i>	<i>Ta</i>
<i>Ci</i>	-0.736	-	-0.983	1.181
<i>PAR</i>	1.117	0.648	-	-0.973
<i>Ta</i>	-1.275	0.682	0.852	-

### 3 讨论

光补偿点、光饱和点和表观量子效率是指示植物光响应的重要标志。光补偿点越低,对弱光的适应能力越强;饱和点越高,利用强光的能力越强;表观量子效率则反映叶片对光能的吸收效率<sup>[7]</sup>。该研究表明,剑豆的光补偿点远远高于一般阴生植物的光饱和点<sup>[8-10]</sup>,说明剑豆利用强光能力强,其表观量子效率为 0.051,也进一步表明剑豆较强的光利用能力,符合热带亚热带植物对强光需求的生长特性<sup>[11]</sup>。

光合作用日变化是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要手段。在晴朗的天气,植物光合作用日变化一般为双峰型曲线<sup>[12-13]</sup>,但存在单峰型曲线和三峰型曲线的情况。

单峰型曲线一般出现在阴天,这类植物在中午的光合速率最高<sup>[14]</sup>,而光合作用日变化出现三峰型曲线的植物一般为热带亚热带植物,高温对其光合作用的影响较小,具有较大的光合作用潜力<sup>[11]</sup>。该研究中的剑豆光合作用日变化曲线是一个典型的双峰型曲线,峰值分别出现在 10:00 和 14:00,13:00 出现“光合午休”现象。原因可能是高温使得剑豆叶片气孔关闭,直接导致胞间 CO<sub>2</sub> 浓度降低,光合速率因底物不足而受到限制。

植物光合速率受各种环境因素的影响<sup>[13-15]</sup>。研究中,光合有效辐射对剑豆净光合速率日变化的直接效应最大,且与其相关性最显著。但是,剑豆光合有效辐射和净光合速率的日变化曲线表明,当光合有效辐射最强时,剑豆净光合速率不在最高点,间接地证明剑豆的光合速率受环境因素的综合影响。

### 参考文献

- [1] SMARTT J. Grain Legumes: Evolution and Genetic Resources [M]. Britain: Cambridge, 1990: 301-309.  
[2] SRIDHAR K, SEENA S. Nutrition and antinutritional significance of four unconventional legumes of the genus *Canavalia*-A comparative study [J]. Food Chemistry, 2006, 99: 267-288.  
[3] SMARTT J. Evolution of grain legumes II. Old and new world pulses of lesser economic importance [J]. Experimental Agriculture, 1985, 21: 1-18.  
[4] BELMARL R, NAVA-MONTERO R, SANDOVAL-CASTRO C, et al. Jack bean (*Canavalia ensiformis* L. DC.) in poultry diets: Antinutritional factors and detoxification studies-a review [J]. World Poultry, 1999, 55: 37-59.  
[5] 朱广廉,钟海文,张爱琴.植物生理学实验[M].北京:北京大学出版社,1990:164.  
[6] 潘瑞炽.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2001:94-95.  
[7] 孟陈,徐明策,李俊祥,等.栲树冠层光合生理特性的空间异质性[J].应用生态学报,2007,18(9):1932-1936.  
[8] 张利阳,温国胜,王圣杰,等.毛竹光响应模型适用性分析[J].浙江农林大学学报,2011,28(2):187-193.  
[9] 郭运雪,蒋文伟,戴锋,等.3 种金鸡菊的光合特性比较[J].浙江农林大学学报,2012,29(5):755-761.  
[10] 张晓琳,臧德奎,丁旭升,等.早银桂光合作用日变化的研究[J].山东林业科技,2010,40(3):30-32.  
[11] 刘娟,梁军生,王健敏,等.思茅松干季光合生理日动态及光响应特征分析[J].林业科学研究,2009,22(5):677-682.  
[12] 李建栋,刘岩,高春雨,等.苦碟子光合作用日变化及其与环境因子关系的研究[J].人参研究,2008(2):12-15.  
[13] 甘肖梅,杨红兰,李军伟,等.互花米草成熟期光合作用日变化特征研究[J].安徽农业科学,2010,38(1):143-145,149.  
[14] 王锐,刘露,沈建锋,等.温室与露地条件下西瓜光合作用的日变化比较[J].甘肃农业大学学报,2010,45(4):80-84.  
[15] 张玉洁.香椿幼树光合作用及其影响因子研究[J].林业科学研究,2002,15(4):432-436.