

# 杜仲四倍体与二倍体光合特性比较

李 蕾<sup>1</sup>, 张伟超<sup>1</sup>, 郭 婧<sup>2</sup>, 郭宝林<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071001; 2. 河北农业大学 农学院, 河北 保定 071001)

**摘 要:**采用 Li-6400 便携式光合测定系统对杜仲四倍体和二倍体植株进行光合速率日变化、季节变化、光响应曲线和 CO<sub>2</sub> 响应曲线测定。结果表明:杜仲四倍体和二倍体净光合速率的日变化呈双峰曲线,中午存在明显的光合“午休”现象。杜仲四倍体的全天最大净光合速率显著高于二倍体。四倍体与二倍体的光合速率季节变化呈双峰曲线,峰值分别出现在 6 月和 8 月。四倍体与二倍体的 LCP 在 18.00~27.78  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间, LSP 在 1 216.67~1 240.00  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间。CCP 在 72.50~117.75  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ , CSP 在 1 347.47~1 397.48  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  之间。杜仲四倍体的光合性能优于二倍体。

**关键词:**杜仲;四倍体;二倍体;光合特性

**中图分类号:**S 567.1<sup>+</sup>9 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2012)06-0035-04

光合作用是植物生产力构成的最主要因素,叶片光合速率的高低直接影响林木的生长和产量。因此有关光合特性方面的研究较多<sup>[1-5]</sup>。河北农业大学培育出来了优良杜仲四倍体植株,并对诱变植株进行了细胞学、DNA 含量及形态特征等系统鉴定,其叶片大小、叶片宽度、厚度和叶面积均大于二倍体,植株生长健壮<sup>[6]</sup>。四倍体杜仲叶片中绿原酸含量显著高于二倍体<sup>[7]</sup>。但是对四倍体杜仲的光合生理和光合特性的研究还未见报道。现对杜仲四倍体和二倍体的光合特性进行对比研究,从光合生理角度揭示杜仲四倍体的光合作用规律,为杜仲四倍体的选优和栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在河北农业大学标本园进行,选用具有代表性的 3 a 生杜仲四倍体和二倍体植株为试材。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 光合速率日变化测定** 于 2011 年 5 月中旬进行,选择晴天(7:00~19:00),采用 Li-6400 光合仪测定功能叶的净光合速率日变化。每株选树体南侧生长一致的 3 个新梢,每个新梢选中上部第 4~6 片功能叶片进行测定,每片叶记录 3 个观测值,结果取平均值。每隔 2 h

测定 1 次。仪器同时记录净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)和光照强度(PAR)等指标。5~10 月份,每月选择晴天(7:00~19:00),测定杜仲四倍体与二倍体的光合速率季节变化。

**1.2.2 光响应曲线测定** 晴天上午 8:30~11:30,用 Li-6400 光合仪进行光响应曲线测定。设定光合有效辐射梯度为:0、30、60、100、150、200、300、400、500、600、800、1 000、1 200、1 600、2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,设定 CO<sub>2</sub> 浓度为当前大气 CO<sub>2</sub> 浓度(当前大气 CO<sub>2</sub> 浓度 $\pm 20 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ),叶温为(25 $\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,叶室内相对湿度为(50 $\pm 10$ )%。根据回归方程计算光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)和表观量子效率(a)等指标。

**1.2.3 CO<sub>2</sub> 响应曲线测定** 晴天上午 8:30~11:30,设定系列 CO<sub>2</sub> 浓度:0、30、60、80、100、150、200、250、300、350、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600、1 800、2 000  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,用 Li-6400 光合仪进行 CO<sub>2</sub> 浓度响应测定。设定光合有效辐射(PAR)为 1 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,叶温为(25 $\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,叶室内相对湿度为(50 $\pm 10$ )%。根据回归方程求出 CO<sub>2</sub> 补偿点(CCP)、CO<sub>2</sub> 饱和点(CSP)和羧化效率(CE)等指标。

## 2 结果与分析

### 2.1 杜仲四倍体与二倍体的光合速率日变化

杜仲四倍体和二倍体的净光合速率日变化均呈双峰曲线。由图 1 可知,杜仲四倍体和二倍体光合速率的 2 个峰值分别出现在上午 11:00 左右和下午 15:00 左右,且第 1 个峰值高于第 2 个峰值。可能是因为叶片在经受较高的温度和强光后,自身的保护功能会使气孔适度关闭,导致进入叶肉细胞的 CO<sub>2</sub> 减少,光合速率降低。

**第一作者简介:**李蕾(1984-),女,河北承德人,在读硕士,研究方向为经济林栽培生理。E-mail:li.lei09@163.com。

**责任作者:**郭宝林(1954-),男,硕士,教授,现主要从事经济林栽培生理研究工作。E-mail:guobaolin1012@163.com。

**基金项目:**河北省林业科学基金资助项目(1115408)。

**收稿日期:**2011-12-26

二倍体和四倍体 1、2 号植株的净光合速率最高值分别为 11.07、13.84、12.34  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其中,四倍体 1 号植株的净光合速率最高,能充分利用上午的有利环境条件进行光合生产,四倍体 2 号在下午的光合速率相对较高,能充分利用下午的时间进行光合生产。杜仲四倍体与二倍体的光合速率由强到弱为:四倍体 1 号>四倍体 2 号>二倍体。

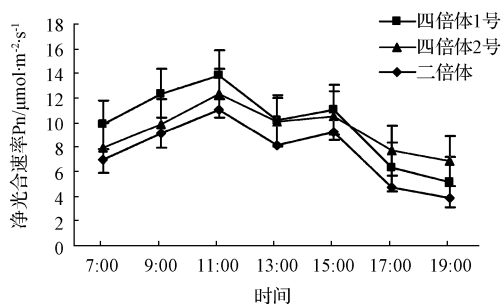


图 1 杜仲四倍体与二倍体光合速率(Pn)日变化

## 2.2 杜仲四倍体与二倍体的光合速率与生理因子的相关性分析

光合速率的日变化受环境因子和生理因子的综合影响。各因子对光合速率的影响也存在差异。由表 1 可知,杜仲四倍体与二倍体的光合速率与光合有效辐射、气孔导度和蒸腾速率呈显著正相关关系,而与胞间  $\text{CO}_2$  浓度呈显著负相关关系。

表 1 杜仲的光合速率与生理因子的相关性分析

	光合有效辐射 (PAR)	气孔导度 (Gs)	蒸腾速率 (Tr)	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 (Ci)
四倍体 1 号(Pn)	0.8148aA	0.8336aA	0.7622aA	-0.6768aA
四倍体 2 号(Pn)	0.7494bB	0.8035bAB	0.7244bAB	-0.7913bA
二倍体(Pn)	0.7675bB	0.7842bB	0.6857cB	-0.7089cB

注:同一列中小写字母代表 0.05 水平差异显著;大写字母代表 0.01 水平差异显著。表 2 同。

## 2.3 杜仲四倍体与二倍体光合速率季节变化

在生长季节期间,杜仲四倍体与二倍体的光合速率季节变化呈双峰曲线。由图 2 可知,第 1 峰值出现在 6 月份,四倍体 1、2 号与二倍体的光合速率分别为 15.87、

14.93、13.21  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,第 2 峰值出现在 8 月份,光合速率分别为 14.07、13.12、11.34  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。9、10 月,光合速率逐渐下降。生长季盛期的光合速率均明显高于生长季末期,这是因为生长季盛期叶片已成熟,生理活性高,对环境条件适应能力强,光合速率较高,但随着叶片的衰老以及环境因子的季节性变化,叶片的生理活性降低,同化  $\text{CO}_2$  的能力也随之下降,光合速率降低。结果表明,在生长季中,四倍体与二倍体的光合速率高低顺序为四倍体 1 号> 四倍体 2 号>二倍体。

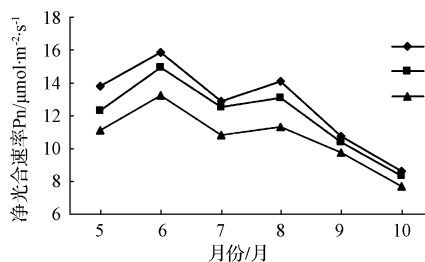


图 2 杜仲四倍体与二倍体光合速率季节变化

## 2.4 杜仲四倍体与二倍体植株叶片的光响应曲线

杜仲四倍体与二倍叶片的光响应曲线变化呈相似的二次曲线关系(图 3-A)。由表 2 可知,杜仲四倍体与二倍体的 LCP 在 18.00~27.78  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间;LSP 在 1216.67~1240.00  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间,其中四倍体 1 号的 LSP 最高;四倍体与二倍体的 a 在 0.03~0.05 之间。杜仲四倍体对光能的利用能力优于二倍体。

## 2.5 杜仲四倍体与二倍体植株的 $\text{CO}_2$ 响应曲线

杜仲四倍体与二倍体的  $\text{CO}_2$  响应曲线变化呈相似的二次曲线关系(图 3-B)。由表 2 可知,杜仲四倍体与二倍体的 CCP 在 72.50~117.75  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  之间;CSP 在 1347.47~1397.47  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  之间,四倍体的光补偿点显著高于二倍体;四倍体与二倍体的 CE 在 0.03~0.06 之间;Pmax 在 27.84~35.15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间。四倍体 1 号的 CSP 和 CE 均较高。因此,四倍体 1 号的光合能力较强,四倍体 2 号次之,二倍体的光合能力相对较弱。

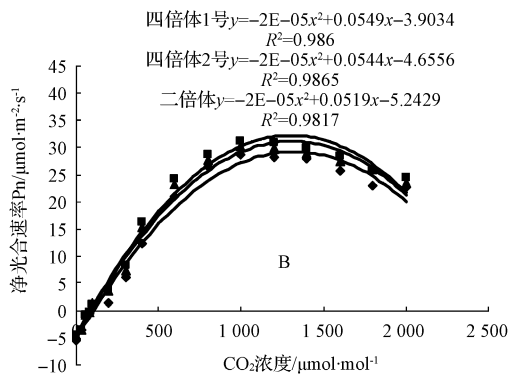
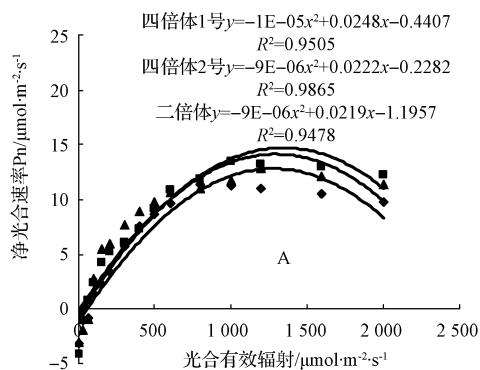


图 3 不同光照环境杜仲四倍体与二倍体的净光合速率对光合有效辐射和  $\text{CO}_2$  浓度的响应

表 2

杜仲四倍体与二倍体的光合特性

	光强/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		光合量子效率	$\text{CO}_2/\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$		羧化效率	最大光合速率/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
	LCP	LSP	a	CCP	CSP	CE	
四倍体 1 号	18.00bB	1 240.00aA	0.0482aA	72.50aA	1 397.48 aA	0.0547a	35.15aA
四倍体 2 号	10.56cC	1 233.33bB	0.0388bB	88.50bB	1 360.00 bB	0.0419a	32.33bA
二倍体	27.78aA	1 216.67cC	0.0362cC	117.75cC	1 347.47 cC	0.0343a	27.84cB

### 3 结论与讨论

光合速率的高低受叶片自身的生理因素和环境因素的综合作用。杜仲四倍体与二倍体的光合速率与光合有效辐射、气孔导度和蒸腾速率呈显著正相关关系,而与胞间  $\text{CO}_2$  浓度呈显著负相关关系。

光合速率的日变化呈双峰曲线,存在明显的“午休”现象。这一结果与郭连旺等<sup>[5]</sup>研究的杜仲光合速率日变化一致。四倍体与二倍体  $P_n$  第 1 峰值的出现的时间在 11:00 左右,可能是由于光合有效辐射不断增强,气温升高,气孔导度增加,净光合速率也随之升高。四倍体与二倍体的光合速率由大到小顺序为:四倍体 1 号>四倍体 2 号>二倍体。该试验观测到杜仲光合速率降低时,  $G_s$  和  $C_i$  降低,因此,杜仲的光合“午休”现象主要是气孔限制因素。出现光合“午休”现象可能是由于中午光合机构吸收的光能超过光合作用所能利用的量时,过剩的光能会导致光抑制的发生<sup>[8-9]</sup>。

杜仲四倍体与二倍体叶片在 5~10 月份的净光合速率季节变化呈双峰曲线,2 个峰值分别出现在 6 月和 8 月。6 月份杜仲的光合速率高于 8 月的光合速率。杜仲四倍体与二倍体的光合速率季节变化由大到小顺序为:四倍体 1 号>四倍体 2 号>二倍体。

杜仲四倍体与二倍体植株光合作用的 LCP 在  $18.00 \sim 27.78 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间,四倍体 1 号的光补偿点较低,对弱光的利用能力强;光合作用的 LSP 在  $1 216.67 \sim 1 240.00 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间。不同倍性杜仲对光强的利用范围不同,四倍体 1 号植株对光强的利用范围最宽,四倍体 2 号植株次之,二倍体植株对光强的利用范围较窄。杜仲属于喜光树种,对光照的需求较高,在栽培生产中应选择光照充足的地方建园。

$\text{CO}_2$  浓度是光合作用的限制因子,在一定的  $\text{CO}_2$  浓度范围内,增加  $\text{CO}_2$  浓度时,杜仲四倍体与二倍体的光合速率均升高,原因是  $\text{CO}_2$  浓度的升高增加了 RuBPCase 的底

物浓度,并促进其活性,抑制 Rubisco 的加氧酶活性,使光呼吸降低,净光合速率升高。四倍体的 CE 较高,对低浓度  $\text{CO}_2$  利用率大,RuBP 再生速率较高,光合能力强于二倍体。有研究表明,随着植物在较高  $\text{CO}_2$  浓度下生长时间延长,其光合速率会恢复到原来的水平甚至下降到更低程度<sup>[10]</sup>;高浓度  $\text{CO}_2$  对植物光合作用的影响表现为短期效应和长期效应,短时间内供给高浓度的  $\text{CO}_2$  对杜仲四倍体与二倍体的光合作用有促进作用,而长时间高浓度  $\text{CO}_2$  对杜仲光合生理生态特性的影响还有待深入研究。

### 参考文献

- [1] 张志华,高仪,王文江,等. 核桃光合特性的研究[J]. 园艺学报,1993,20(4):319-323.
- [2] 刘庆忠,董合敏,刘鹏,等. 板栗的光合特性研究[J]. 果树学报,2005,22(4):335-338.
- [3] 李国栋,张汝民,高岩. 几种园林树种光合特性的研究[J]. 内蒙古农业大学学报,2008(6):185-189.
- [4] 吴承祯,侯智勇,洪伟,等. 桉树无性系光合光响应研究[J]. 福建林学院学报,2008,28(3):198-202.
- [5] 郭连旺,沈允钢,武海,等. 杜仲光合特性的研究[J]. 植物学报,1996,38(4):283-286.
- [6] 张海凤,郭宝林,张成合,等. 杜仲四倍体的诱导与鉴定[J]. 园艺学报,2008,35(7):1047-1052.
- [7] 赵静,杨俊霞,焦永康,等. 不同基因型杜仲叶片中绿原酸含量的检测[J]. 安徽农业科学,2011,39(4):2103-2104.
- [8] Muraoka H, Tang Y, Terashimai, et al. Contributions of diffusional limitation, photoinhibition and photorespiration to midday depression of photosynthesis in *Arisaema heterophyllum* in natural light [J]. Plant, Cell and Environment, 2000, 23:235-250.
- [9] Winter K, Schrommmj. Analysis of stomatal and nonstomatal components in the environmental control of  $\text{CO}_2$  exchanges in leaves of *welwitschia mirabilis* [J]. Plant Physiol, 1986, 82:173-178.
- [10] Gunderson C A, Norby R J, Wullschlegel S D. Foliar gas exchange response of two deciduous hardwoods during three years of growth in elevated  $\text{CO}_2$ : No loss of photosynthetic enhancement [J]. Plant, Cell and Environment, 1993, 15:797-807.

## Photosynthetic Characteristics of Tetraploid and Diploid *Eucommia ulmoides*

LI Lei<sup>1</sup>, ZHANG Wei-chao<sup>1</sup>, GUO Jing<sup>2</sup>, GUO Bao-lin<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001; 2. College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001)

**Abstract:** Diurnal variation of photosynthesis, light response curve and  $\text{CO}_2$  response curve were investigated leaves of tetraploid and diploid *Eucommia ulmoides*. by using Li-6400 portable photosynthesis analyzer system. The results showed

# 日光温室杏树物候期与温度变化观察研究

刘 慧, 张 宏 辉

(杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**采用实地观察和分析的方法,研究日光温室栽培杏树的物候期对温度变化的影响。结果表明:日光温室内杏树物候期与露地相比发生了明显变化,生长前期同一物候期比露地延长,到果实硬核期后,同一物候期则明显缩短。1月份日光温室内气温可达到10.2~11.4℃,温室内杏树萌芽、开花、新梢生长几乎同时进行,而此时地温(20 cm)为5.8~10.2℃,根系未进入快速生长期,落花现象较重。日光温室内杏树在果实着色期及成熟期时温差较室外小,分别为10.5~12.0℃,不利优质果品生产。

**关键词:**日光温室;杏树;物候期;温度

**中图分类号:**S 662.228 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2012)06-0038-03

杏是广大消费者十分喜爱的果品,通过日光温室集约栽培进行反季节生产,使其果实提前上市,可取得较高的经济效益<sup>[1-3]</sup>。杨恒等<sup>[4-5]</sup>对日光温室内与露地栽培的“金太阳”杏花期物候、花型、落花落果规律进行了观察与分析,还研究了日光温室杏果实发育规律研究;孙山等<sup>[6]</sup>研究了低温弱光胁迫对日光温室栽培杏树光系统功能的影响;班明辉等<sup>[7]</sup>研究了日光温室杏叶片净光合速率;牛自勉等<sup>[8-9]</sup>研究了杏树设施栽培的有关技术;刘中华<sup>[10]</sup>总结了日光温室杏高密度栽植早期丰产经验;李月英等<sup>[11]</sup>研究了日光温室杏棚小气候。到目前为止对日光温室栽培杏树的各个物候期与温度变化规律还未见报道。

物候期是杏树不同生长发育阶段的外观特征,是由温度的变化引起的,掌握日光温室栽培杏树的物候期与气温变化规律是实施各种栽培技术的关键。该试验采

用实地观察和分析的方法<sup>[12-13]</sup>,探讨了日光温室栽培杏树的物候期与温度之间的关系,可为陕西关中地区进行日光温室杏树栽培提供必要的理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 日光温室的结构与生产情况

试验设在陕西省杨陵区大寨乡新绿公司设施果树示范基地内。日光温室东西走向,长50.0 m,宽10.0 m,顶高5.0 m,每棚500 m<sup>2</sup>。骨架材料为直径30 mm钢管,三面砖墙厚0.5 m,墙体中夹有0.05 m的泡沫板。棚膜为聚乙烯紫光无滴膜,厚度为0.6 mm。主栽杏品种“凯特”。

2004年春定植,株行距1.0 m×2.0 m,小冠层形整技术。2005年开始挂果,供试日光温室分别于扣棚前20 d、花后、果实膨大期灌透水,露地油桃同时灌等量水。自然降雨后,给日光温室内灌或洒相应量的水。1~5月于12:00前后分别通风1、2、3、4、5 h。2008、2009年产量分别为24 210、24 235 kg/hm<sup>2</sup>。12月25日扣棚膜。

### 1.2 试验方法

1.2.1 测定仪器 温度观测采用的仪器为温度湿度干湿表、曲管地温计。

**第一作者简介:**刘慧(1963-),女,本科,副教授,现主要从事经济林与果树栽培技术教学与研究。E-mail:zhangy\_s@163.com。

**基金项目:**陕西省杨凌示范区杨凌农业科技推广基金项目(YLTG2006-2-26)。

**收稿日期:**2012-01-06

that diurnal change in net photosynthetic rate (Pn) of *Eucommia ulmoides* was a bimodal curve, the phenomenon of midday depression of photosynthesis were observed in the tetraploid and diploid. The maximum net photosynthetic rate (Pmax) of the tetraploid was significantly higher than that of the diploid during the whole daytime period, the annual photosynthetic rates (Pn) of mature *Eucommia ulmoides* leaves presented a bimodal curve, the maximum Pn appeared in June and August. The light compensation point of different *Eucommia ulmoides* was 18.00~27.78  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , light saturation point (LSP) was 1 216.67~1 240.00  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . The CO<sub>2</sub> compensation point (CCP) was 72.50~117.75  $\mu\text{mol/mol}$ , and the CO<sub>2</sub> saturation point (CSP) was 1 347.47~1 397.48  $\mu\text{mol/mol}$ . The photosynthesis of the tetraploid *Eucommia ulmoides* was more active than that of the diploid.

**Key words:** *Eucommia ulmoides*; tetraploid; diploid; photosynthetic characteristics