

# 不同 CO<sub>2</sub> 浓度对 4 个桉木品系光合特性的影响\*

周小玲<sup>1,2</sup>, 田大伦<sup>1</sup>, 张旭东<sup>3</sup>, 许忠坤<sup>2</sup>, 徐清乾<sup>2</sup>

(1 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2 湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004; 3 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要: 对 H1、H12、J5 和 J10 4 个桉木品系苗期在不同 CO<sub>2</sub> 浓度条件下的光合生理生态特性进行了研究, 结果表明: 随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增加, 4 个桉木品系净光合速率呈上升趋势, 其 CO<sub>2</sub> 补偿点为 39~154 μmol·mol<sup>-1</sup>, CO<sub>2</sub> 饱和点为 800~2000 μmol·mol<sup>-1</sup>, 净光合速率最大值 P<sub>m</sub> 以 6 月份最高, 10 月份最低; 羧化效率 (CE) 介于 0.0015~0.0515 之间, H1、H12 在 7 月份有较大的 CE; 4 个桉木品系蒸腾速率 (Tr) 下降, 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 (C<sub>i</sub>) 上升, 气孔导度 (Cond) 下降, 光合特征值在 10 月份最低, 可能是 10 月初突然降温、秋天干旱等对桉木生长有影响; 叶面饱和蒸气压亏缺 (V<sub>p</sub>) 随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增加缓慢上升, 增加幅度不大。

关键词: CO<sub>2</sub> 浓度; 桉木品系; 光合特性

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

## Study on Photosynthetic Characteristics of Four *A. hus crumastogyne* Varieties under Different CO<sub>2</sub> Concentrations

ZHOU Xiao-ling<sup>1,2</sup>, TIAN Da-lun<sup>1</sup>, ZHANG Xu-dong<sup>3</sup>, XU Zhong-kun<sup>2</sup>, XU Qing-qian<sup>2</sup>

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004 Hunan China

2. Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004 Hunan China 3. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091 China)

**Abstract** In order to utilize the superior varieties of *A. hus crumastogyne* scientifically, the photosynthetic characteristics of four *A. hus crumastogyne* families H1, H12, J5 and J10 were studied under different CO<sub>2</sub> concentrations at seedling stage. The results were as follows: (1) With the increase of CO<sub>2</sub> concentration, the net photosynthetic rate of four *A. hus crumastogyne* varieties showed ascending trend, their CO<sub>2</sub> compensation point were from 39 μmol·mol<sup>-1</sup> to 154 μmol·mol<sup>-1</sup>, and their CO<sub>2</sub> saturation point were from 800 μmol·mol<sup>-1</sup> to 2000 μmol·mol<sup>-1</sup>. The highest value of P<sub>m</sub> showed in June, while the lowest in October; (2) With the increase of CO<sub>2</sub> concentration, the carboxylation efficiency (CE) of four *A. hus crumastogyne* varieties were between 0.0015 and 0.0515, and H1, H12 presented greater CE. So their high temperature tolerance ability was stronger than that of J5 and J10 while H12 showed stronger photosynthetic efficiency than H1; (3) With the increase of CO<sub>2</sub> concentration, the transpiration rate (Tr) and stomatal conductance (Cond) decreased while the intercellular CO<sub>2</sub> concentration (C<sub>i</sub>) increased. The lowest eigenvalue of Tr, C<sub>i</sub> and Cond showed in October, and the performance of H12 and J10 was rather greater than H1 and J5. So irrigation in Autumn and drought resistance variety selection played important role in growth of *A. hus crumastogyne*. (4) The vapor deficit at the leaf surface of *A. hus crumastogyne* varieties increased slowly with the increase of CO<sub>2</sub> concentration.

**Key words** CO<sub>2</sub> concentration; *A. hus crumastogyne* variety; photosynthetic characteristic

收稿日期: 2007-04-12

基金项目: 国家林业局“长江流域低山丘陵综合治理(2005长江-2)”湖南试验点研究内容

作者简介: 周小玲(1963-), 女, 研究员, 在读博士生, 主要从事植物生态与植物育种研究。

\* 湖南省林科院宋庆安、唐洁, 西南农业大学的喻武和中南林业科技大学的刘秀等同学参加了部份野外试验, 谨表感谢。

桉木 (*Ahus crumastogyne* Burkill) 属桦木科 (Betulaceae) 桉木属 (*Ahus* Mill), 原分布在四川、贵州北部、陕西南部、甘肃东南部等地, 生长迅速、喜光、喜温、耐水、耐瘠薄, 其根系富含根瘤, 具固氮功能等特点, 经近二三十年来广泛引种, 适生栽培区扩大到长江中下游地区<sup>[1]</sup>, 成为长江流域平原水网地区防护林、丘陵山区水土保持林和短周期工业用材林基地建设中的重要造林树种<sup>[2]</sup>, 现有栽培面积达 267 万 hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。湖南省 20 世纪 70 年代末从四川金堂、广汉等县引进桉木进行栽培, 取得成功, 现全省桉木栽培面积已达 2 万余 hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。

国内关于桉木育苗与良种选育、造林技术等方面研究报导论文比较多<sup>[5-7]</sup>, 对其生理生态学特性, 特别是光合生态学特性研究很少, 卓仁英<sup>[8]</sup>对桉木、日本桉木 (*Ahus japonica* (Thunb.) Steud.)、台湾桉木 (*Ahus formosana* Makino) 等 5 种桉木属植物的光合速率与气孔导度变化进行过研究, 认为不同植物种间、不同叶位间的光合速率差异显著; 朱万泽等<sup>[9-11]</sup>研究了 2 年生桉木、台湾桉木苗的净光合速率日变化、季节变化, 光补偿点、光饱和点等生理特性以及台湾桉木的蒸腾速率、水分利用效率的日变化与季节变化等水分生理特性; 王树凤等<sup>[12]</sup>研究了土壤盐胁迫下桉木 8 个无性系 SOD 酶活性、丙二醛浓度的变化; 以上研究都仅限于不同树种间的讨论, 或没有测定一周整个生长期的数据, 很少涉及到树种内品系间的光合特性的差异分析。本文试图对已选的 2 个桉木优良品系和 2 个耐旱品系在不同 CO<sub>2</sub>浓度下苗期的光合生理生态特性进行研究, 分析掌握它们之间的差异, 为桉木早期选优和栽培区域选择提供科学依据。

## 1 试验地概况

试验地设在湖南长沙湖南省林业科学院内, 属亚热带湿润型气候, 年均气温 16.8℃, 极端最高温 40℃, 最低温 -10℃, 年降水量 1 600 mm, 雨量主要集中在春、夏季, 年均相对湿度 80%, 全年日照时数 1 560 h, 无霜期 274 d, 试验地土壤为黄棕壤, 苗木栽植密度 0.5 m × 0.5 m。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验材料

4 个桉木品系均系湖南省林业科学院院内实验地的 2 年生桉木苗, 种源来自四川金堂, 参试品系分别为 H1、H12、J5 和 J10。J5、J10 是湖南省林业科学院许忠坤、徐清乾等人从湖南省攸县桉木人工林林分中选择

的一般优树上采种育的优良品系苗, H1 和 H12 是他们从湖南攸县选择的耐旱优树上采穗条扦插繁育的桉木耐旱品系苗。

### 2.2 试验方法

在苗木生长的 4、6、7、8、9、10 和 11 等 7 个月, 选取苗木主枝的中上部 4~6 个 1 年生叶片进行定时、定位测定, 测定时间为每月上旬。

光合作用的 CO<sub>2</sub>响应曲线采用美国 Licor 公司生产的 Li-6400 便携式光合测定仪光合测定系统, 把红外气体分析仪配置的 CO<sub>2</sub>注射器安装到主机上, 利用可随意使用的 CO<sub>2</sub>存贮器, 将 CO<sub>2</sub>浓度在 0~2 000 μmol·mol<sup>-1</sup> 范围内设定 0、50、100、200、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600、1 800、2 000 μmol·mol<sup>-1</sup> 若干梯度, 仪器读数时间设定在 90~180 s, 3 株重复。测定净光合速率 (Pn), 气孔导度 (Cond), 胞间 CO<sub>2</sub>浓度 (Ci), 蒸腾速率 (Tr), 叶面水汽压亏缺 (Vp), 空气温度 (T<sub>air</sub>), 叶面温度 (T<sub>leaf</sub>), 样品室相对湿度 (RH), 光照强度 (PAR) 等。测定时叶片温度为 (25 ± 1)℃, 光合有效辐射为 (500 ± 1) μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 气体流速 500 μmol·s<sup>-1</sup>, 空气相对湿度 (80 ± 1)%。羧化效率 (CE) 是 0~400 μmol·mol<sup>-1</sup> 之间 Pn-Ci 回归直线方程的斜率。

### 2.3 数据统计分析

CO<sub>2</sub>补偿点: 0~400 μmol·mol<sup>-1</sup> 之间, Pn-Ci 回归直线方程与 X 轴的交点求得。CO<sub>2</sub>饱和点是光合速率不再增加时的环境 CO<sub>2</sub>浓度。

数据处理采用 Excel DPS 和光合分析软件处理分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 净光合速率对 CO<sub>2</sub>浓度升高的响应

3.1.1 4 个桉木品系净光合速率对 CO<sub>2</sub>浓度增加的响应 H1、H12、J5 和 J10 4 个桉木品系净光合速率 (Pn) 随着 CO<sub>2</sub>浓度增加而升高 (如图 1 由于篇幅所限, 仅以 4 月、8 月、9 月和 11 月为例)。当 CO<sub>2</sub>浓度在 0~400 μmol·mol<sup>-1</sup> 变幅内, 随着 CO<sub>2</sub>浓度的逐渐增高, Pn 增幅比较大, 两者呈直线相关, 通过线性回归求得 4 个桉木品系全年各月份的 CO<sub>2</sub>补偿点为 39~154 μmol·mol<sup>-1</sup> 及表观羧化效率为 0.001 5~0.051 5 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> (见表 1)。当 CO<sub>2</sub>浓度大于 400 μmol·mol<sup>-1</sup> 之后 Pn 增加幅度逐渐减少, 通过 Excel 软件拟合, Pn 值与 CO<sub>2</sub>浓度呈对数曲线关系 (J10 的 4 月份除外), CO<sub>2</sub>浓度在 800~2 000 μmol·

$\text{mol}^{-1}$ 时,  $P_n$ 值逐渐趋于稳定, 此时的净光合速率达到最大, 称净光合速率最大值 ( $P_m$ ), 这时的光合速率反映了光合能力的强弱, 此时环境中的  $\text{CO}_2$ 浓度则为该植物的  $\text{CO}_2$ 饱和点<sup>[13]</sup>, 4个桉木品系的  $\text{CO}_2$ 饱和点介于  $800\sim 2\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 之间。

3.1.2 4个桉木品系不同月份的净光合速率对  $\text{CO}_2$ 浓度增加的反应 不同品系以及同一品系在不同月份, 净光合速率对  $\text{CO}_2$ 浓度增加的反应是不一样的。将其不同月份随着  $\text{CO}_2$ 浓度增加达到的  $P_m$ 进行比较(表 2)。6月、8月与 11月份, 4个桉木品系的  $P_m$ 相近, 品系之间光合能力相差不大。H1和

H12在 4、6、8月份, J5和 J10的在 6、8、9月, 随着  $\text{CO}_2$ 浓度的增加, 植物的净光合速率增加较快, 光合作用较强, 植物的光合能力较强; 6月与 8月份, 4个桉木品系有较高的  $P_m$ 。6月份, H1、H12、J5和 J10的  $P_m$ 分别为  $26.9$ 、 $28.9$ 、 $25.4$ 和  $26.7\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 8月份分别为  $25.3$ 、 $23.9$ 、 $21.9$ 和  $25.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 4月份 H1、H12、J10的  $P_m$ 明显高于 J5的  $P_m$ , 7月份 4个桉木品系的  $P_m$ 略低于 4、6月份, 但 H1和 H12的  $P_m$ 明显大于 J5和 J10的, 表明 H1和 H12较 J5与 J10有较高的光合能力, 耐高温的能力较强, 在湖南可能有更大推广价值。

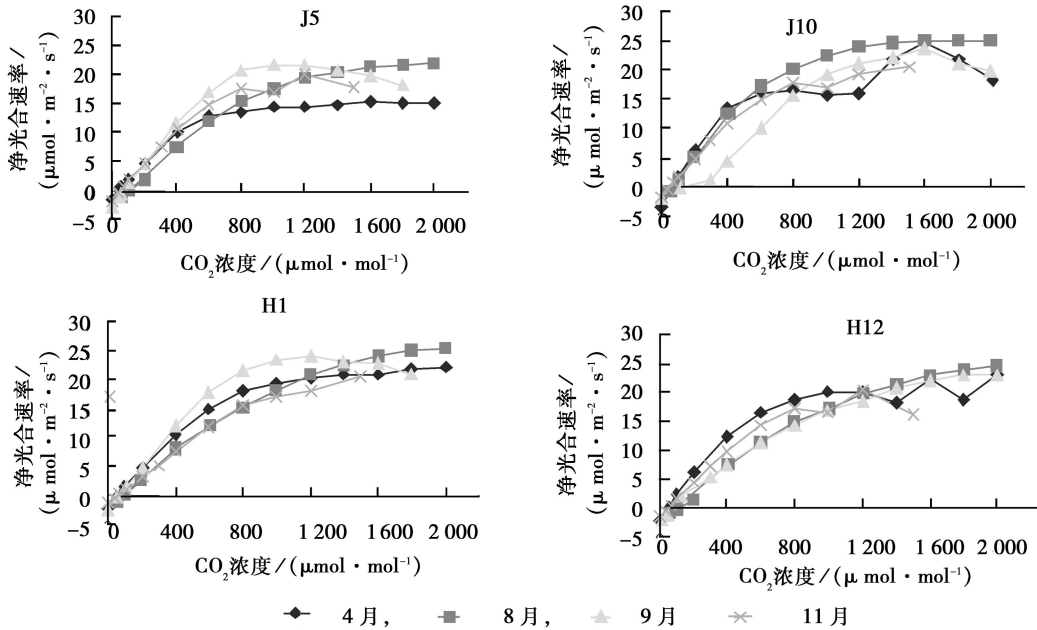


图 1 4个桉木品系不同月份净光合速率对  $\text{CO}_2$ 浓度增加的反应

表 1 4个桉木品系  $\text{CO}_2$ 补偿点、饱和点和羧化效率

时间	H1				H12			
	$\text{CO}_2$ 补偿点 / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	$\text{CO}_2$ 饱和点 / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	羧化效率	相关系数 $R^2$	$\text{CO}_2$ 补偿点 / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	$\text{CO}_2$ 饱和点 / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	羧化效率	相关系数 $R^2$
4月	59.315	1400	0.0311	0.9982	48.461	1200	0.0360	0.9930
6月	67.368	1200	0.0449	0.9956	78.948	1200	0.0515	0.9942
7月	59.328	1500	0.0305	0.9970	53.992	1000	0.0356	0.9913
8月	93.837	2000	0.0251	0.9993	100.191	2000	0.0241	0.9853
9月	61.781	1800	0.0352	0.9995	67.814	2000	0.0231	0.9763
11月	59.468	1000	0.0216	0.9969	50.748	800	0.0282	0.9989
时间	J5				J10			
	$\text{CO}_2$ 补偿点 / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	$\text{CO}_2$ 饱和点 / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	羧化效率	相关系数 $R^2$	$\text{CO}_2$ 补偿点 / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	$\text{CO}_2$ 饱和点 / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	羧化效率	相关系数 $R^2$
4月	39.473	1600	0.0281	0.9954	65.866	800	0.0410	0.9954
6月	80.674	2000	0.0313	0.9998	71.378	1000	0.0487	0.9935
7月	138.978	1500	0.0094	0.9794	153.369	1600	0.0065	0.9588
8月	106.436	2000	0.0202	0.9963	67.099	2000	0.0345	0.9948
9月	72.186	1000	0.0360	0.9988	62.669	2000	0.0302	0.9999
11月	50.056	800	0.0304	0.9979	47.149	800	0.0303	0.9983

表 2 4 个桉木品系不同月份 Pm 变化

时间	品系			
	H1	H12	J5	J10
4月	21.0	20.2	15.3	24.4
6月	26.9	28.9	25.4	26.7
7月	19.8	21.3	9.26	10.5
8月	25.3	23.0	21.9	25.0
9月	24.0	16.6	21.7	23.6
11月	17.1	17.3	17.6	17.9

3.2 蒸腾速率的变化趋势

3.2.1 蒸腾速率对 CO<sub>2</sub>浓度增加的响应 如图 2 所示,随着 CO<sub>2</sub>浓度的增加,4 个桉木品系的蒸腾速率在不同月份均呈下降趋势(由于篇幅所限,仅以 4 月、8 月、9 月和 11 月为例),但变化幅度不大。H1、H12 和 J10 在 4 月份有较高蒸腾速率, J5、H1、H12

在 11 月份有较低的蒸腾速率。

3.2.2 4 个桉木品系不同月份蒸腾速率对 CO<sub>2</sub>浓度增加的响应 为了更进一步了解一年中不同月份 4 个桉木品系随着 CO<sub>2</sub>浓度的增加蒸腾速率的变化情况,将蒸腾速率最大与最小值列表比较(表 3),从表 3 可看出,4 个桉木品系蒸腾速率及其最大值变化有明显差异, H1、H12 和 J10 蒸腾速率最高值以 6 月份为高, J5 是 9 月份的最高,分别为 4.33、6.52、5.37 和 2.68 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>;蒸腾速率随着 CO<sub>2</sub>浓度的增加变化幅度较大(蒸腾速率最大值与最小值的差)的也是 6 月份,分别达到 0.76、0.55、1.10 和 0.6 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,蒸腾速率变化幅度较小的是 10、11 月份,此时 4 个桉木品系的蒸腾速率均明显低于其它月份。

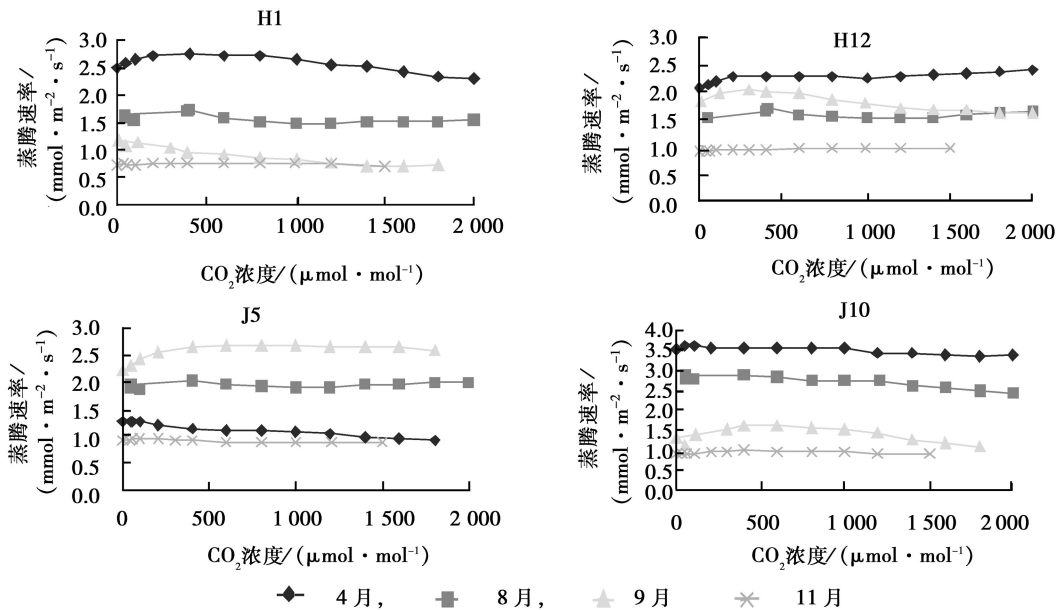


图 2 4 个桉木品系不同月份蒸腾速率对 CO<sub>2</sub>浓度增加的响应

表 3 4 个桉木品系不同月份蒸腾速率最大值与最小值比较

时间	蒸腾速率最大值				蒸腾速率最小值			
	J10	J5	H12	H1	J10	J5	H12	H1
4月	3.61	1.27	2.36	2.74	3.34	0.92	2.06	2.29
6月	5.37	2.11	6.52	4.33	4.61	1.56	5.42	3.73
7月	0.93	1.46	4.60	1.23	0.75	0.67	2.02	0.36
8月	2.87	2.03	1.65	1.69	2.44	1.91	1.52	1.47
9月	1.59	2.68	2.04	2.06	1.08	2.21	1.62	1.77
10月	0.25	0.22	0.50	0.12	0.22	0.10	0.21	0.10
11月	0.99	0.94	0.98	0.77	0.91	0.89	0.09	0.73

### 3.3 胞间 $\text{CO}_2$ 浓度与气孔导度对 $\text{CO}_2$ 浓度增加的响应

3.3.1 胞间  $\text{CO}_2$  浓度的变化趋势 H1、H12、J5 和 J10 4 个桉木品系胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 随着外界  $\text{CO}_2$  浓度的增加, 其变化趋势与净光合速率的变化趋势是一致的, 呈上升趋势 (仅以 4 月、9 月为代表, 如图 3)。通过 Excel 软件拟合, 4 个桉木品种的  $C_i$  与  $\text{CO}_2$  浓度呈直线正相关, 即为缓慢增加的趋势。但 J10 在 9 月份当  $\text{CO}_2$  浓度增加至  $1\ 600\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  时  $C_i$  有下降现象。

3.3.2 气孔导度的变化趋势 气孔是植物与外界气体交流的通道, 对  $C_i$  的变化很敏感,  $C_i$  的增加常引起气孔关闭, 气孔导度 (Cond) 逐渐变小。随着  $\text{CO}_2$  浓度的增加, 4 个桉木品系 Cond 变化趋势与净

光合速率的变化是相反的, 呈下降趋势。但由于植物体内与外界环境的综合影响, 不同品系不同月份气孔导度对  $\text{CO}_2$  浓度增加的响应呈现出下降、先升后降、先升后降再升和升降交替等几种不同的变化形式 (仅以 4 月、9 月为例, 见图 4)。J10 在 4 月份 Cond 随着  $\text{CO}_2$  浓度增加而降低; H1 和 J5 在 4 月、9 月份, H12、J10 在 9 月份的 Cond 变化是先升高而后降低, 在低  $\text{CO}_2$  浓度低时 ( $0\sim 400\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), 随着浓度增加, 叶片光合作用所消耗的  $\text{CO}_2$  量增加不多, 导致  $C_i$  的增大, 之后为保持胞间  $\text{CO}_2$  分压始终低于系统中  $\text{CO}_2$  分压, 植物通过调节气孔开闭程度来降低  $C_i$  [14]。但 H12 的 Cond 值在 4 月份是缓慢上升, 由  $0.165\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  增加到  $0.195\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

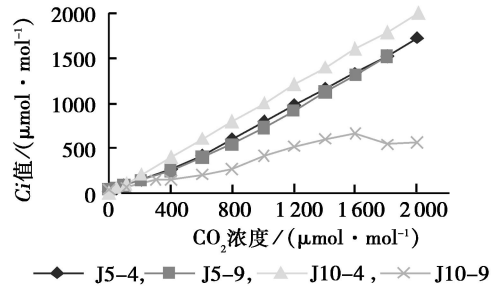
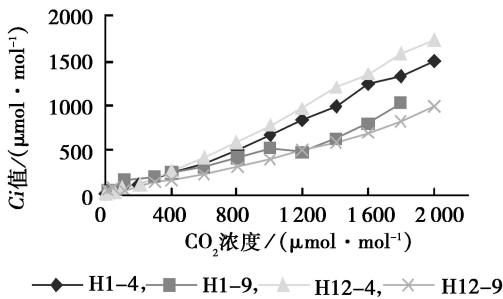


图 3 4 个桉木品系  $C_i$  对  $\text{CO}_2$  浓度增加的响应

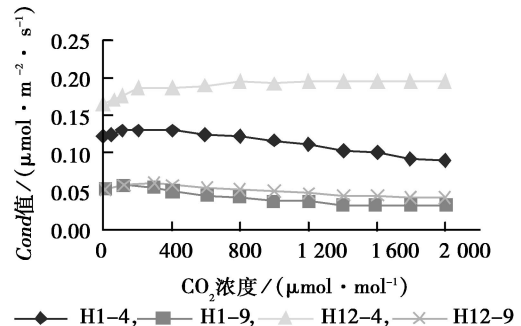
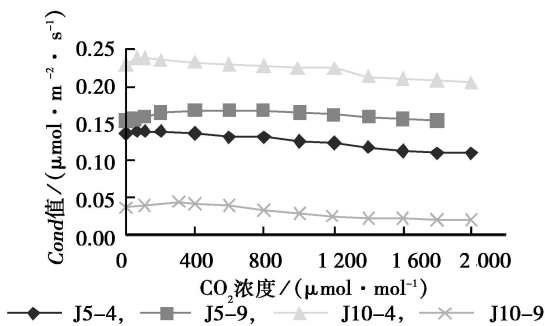


图 4 4 个桉木品系气孔导度 (Cond) 对  $\text{CO}_2$  浓度增加的响应

### 3.4 叶面饱和蒸气压亏缺变化

3.4.1 叶面饱和蒸气压亏缺 ( $V_p$ ) 对  $\text{CO}_2$  浓度增加的响应 叶面饱和蒸气压亏缺 ( $V_p$ ) 受叶面小环境水蒸气变动的影 响, 它与植物叶片失水关系密切 [15]。随着  $\text{CO}_2$  浓度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度的增加, 气孔导度与蒸腾速率的降低, 叶片蒸腾失水减少, 周围小环境水蒸汽压减少, 叶细胞到大气的饱和蒸气压亏缺逐渐增大,  $V_p$  增大 [16]。4 个桉木品系的  $V_p$  随着  $\text{CO}_2$  浓度的升高、 $C_i$  增加, Cond 和蒸腾速率的减少而

呈上升趋势 (以 4 月、7 月、9 月和 11 月为例, 见图 5), 但上升幅度不大; 也有少数时间出现异常现象, J5 在 4 月份随着  $\text{CO}_2$  浓度的升高其叶面饱和蒸气压亏缺减少, 其原因可能是当  $\text{CO}_2$  浓度较低时, 蒸腾速率增加, 随着  $\text{CO}_2$  浓度的升高蒸腾速率减少, 导致叶面饱和蒸气压亏缺减少 8%。H1 在 6 月份与 7 月份、J10、H12 在 7 月份的叶面饱和蒸气压亏缺随着  $\text{CO}_2$  浓度的升高, 蒸腾速率的减少, 略有下降, 分别由  $1.56$ 、 $1.37$ 、 $4.74$ 、 $2.56$  kPa 降到  $1.53$ 、 $1.12$ 、

4 36 2.36 kPa 降幅分别为 1.9%、18.2%、8.01% 和 7.8%。这可能是由于 6 月份与 7 月份湖南降水集中,强度大,空气湿度很大,随着 CO<sub>2</sub>浓度、胞间 CO<sub>2</sub>浓度的增加,气孔导度与蒸腾速率降低,叶片蒸腾失水减少,但周围小环境的水蒸气压却是增大的, H1 和 H12 的叶细胞到大气的饱和蒸气压亏缺降低,导致 V<sub>p</sub> 减小。

3.4.2 4 个品系不同月份叶面饱和蒸气压亏缺最高值变化 不同品系在不同月份随着 CO<sub>2</sub>浓度的增加叶面饱和蒸气压亏缺最高值变化有差异,比较列表 4。J5 与 J10 以 6 月份的叶面饱和蒸气压亏缺值最高, H12 是 9 月份的叶面饱和蒸气压亏缺值为高,

H1 则以 4 月份的为高;叶面饱和蒸气压亏缺最高值 J5(5.31 kPa) > J10(4.74 kPa) > H12(3.68 kPa) > H1(2.56 kPa); 不同品系在同一月份的叶面饱和蒸气压亏缺值 (V<sub>p</sub>) 也有明显不同, H1、H12 在 7 月份随着 CO<sub>2</sub>浓度的增加,叶面饱和蒸气压亏缺值 (V<sub>p</sub>) 明显小于 J5 和 J10 的 V<sub>p</sub> 值,只有 J5 和 J10 V<sub>p</sub> 值的 26% ~ 54%, 9 月份 H1、H12 的 V<sub>p</sub> 值比 J5、J10 的值大,前者是后者的 1.27 ~ 2.23 倍。6 月、7 月和 8 月以 J5 的 V<sub>p</sub> 值最大,分别为 2.25、3.1 和 2.31 kPa。4 月、10 月和 11 月份则是 H1 的 V<sub>p</sub> 值最大,分别达到 2.56、1.38 和 1.25 kPa (见表 4)。

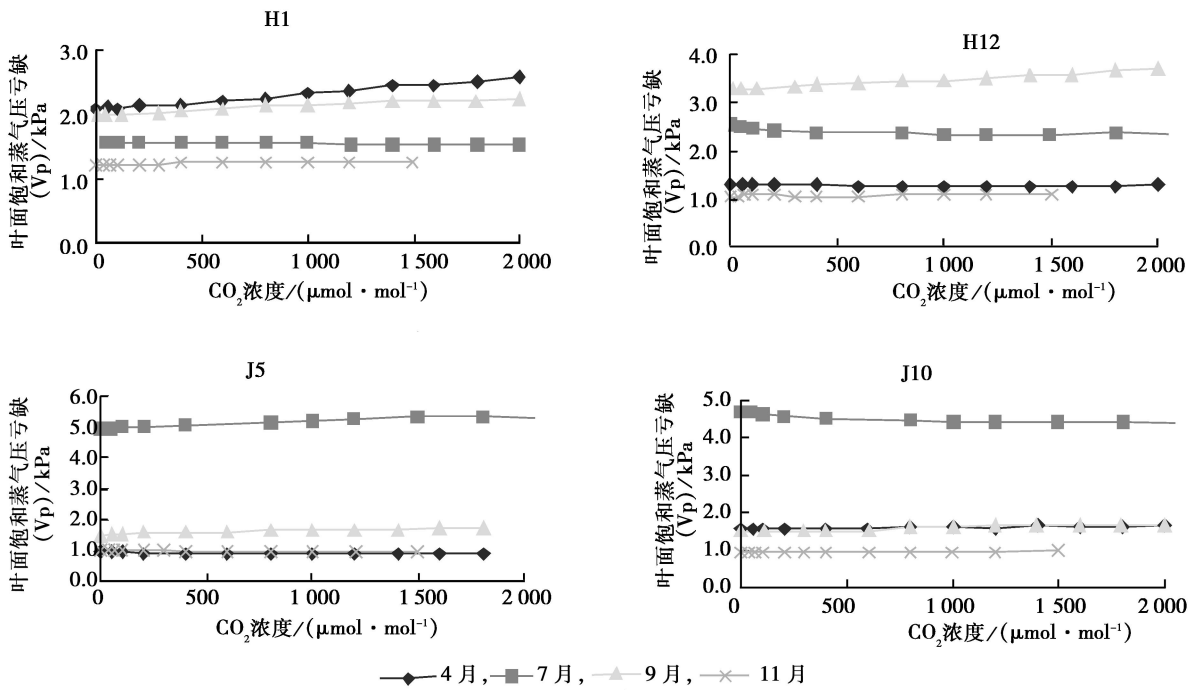


图 5 4 个桉木品系不同月份叶面饱和蒸气压亏缺 (V<sub>p</sub>) 对 CO<sub>2</sub> 浓度升高的响应

表 4 4 个桉木品系不同月份 V<sub>p</sub> 最高值 kPa

时间	J10	J5	H12	H1
4月	1.70	0.96	1.28	2.56
6月	1.61	2.20	1.29	1.56
7月	4.74	5.31	2.56	1.37
8月	1.63	2.31	2.14	2.20
9月	1.65	1.70	3.68	2.19
10月	1.09	0.96	1.11	1.48
11月	0.97	1.01	1.10	1.25

## 4 结论与讨论

### 4.1 光合能力的差异

随着 CO<sub>2</sub>浓度的增加,达到 CO<sub>2</sub>饱和点时的最

大净光合速率 (P<sub>m</sub>) 反映了植物的光合能力<sup>[14]</sup>。4 个桉木品系之间以及同一品系在不同月份,净光合速率对 CO<sub>2</sub>浓度增加的反应是不一样的,即光合能力有差异。4—9 月份是桉木生长最旺盛时期,各项光合特征值较高,4 个桉木品系 P<sub>m</sub> 以 6 月份最高,即光合能力最强,7 月份极端高温影响,4 个桉木品系 P<sub>m</sub> 略低于其它月份, J5、J10 两个品系的反应较 H1、H12 强烈; 10—11 月份随着桉木体内生理活动的减弱和外界环境的综合影响,光合能力较弱。湖南 6 月份温度、湿度和光照等环境条件最适合桉木的生长,其光合速率最大,光合电子传递和光合磷酸化的活性较高,光合能力也高; 10 月份桉木生理活

动减弱,外界骤然降温与秋天久干无雨,水份亏缺等多种环境因素综合影响,致使 4 个桉木品系的  $P_n$  为一年中的最小值,此时的光合能力最弱。

4 个桉木品系  $CO_2$  补偿点在  $39 \sim 154 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 在 8—11 月份是降低的; J5 J10 的  $CO_2$  补偿点在 4—7 月份是增加的;  $CO_2$  饱和点  $800 \sim 2\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。4 个桉木品系  $CO_2$  饱和点在 8 月最高。

#### 4.2 羧化效率 (CE) 差别

羧化效率 (CE) 反应植物在较低  $CO_2$  浓度下的光合速率,  $CO_2$  的羧化效率大则 Rbisco 的羧化效率高<sup>[12]</sup>, 植物在较低的  $CO_2$  浓度下有较高的光合速率。4 个桉木品系的羧化效率大多数介于  $0.0015 \sim 0.0515$  之间, 与朱万泽等人<sup>[10]</sup> 研究结果有异。H1、H12 和 J10 的羧化效率以 6 月份最大, 此时植物的光合速率也最高,  $P_n$  也最大; 在 7 月份, J5、J10 的羧化效率分别为  $0.0094$ 、 $0.0065$ , 远小于 H1 与 H12 的, 说明 J5、J10 2 个品系耐高温能力比 H1 与 H12 这 2 个耐旱品系弱, CE 较低; H12 在 4 月、6 月、7 月、10 月和 11 月份, 其羧化效率明显高于 H1 的; 此时 H12 的净光合速率也较高, 有较高的光合速率, 则 H12 的生长势可能优于 H1, 而实际调查 4 个桉木苗期生长量, 其结果是 H12 比 H1 具有明显的生长优势, 与试验结论相吻合。

4 个桉木品系的羧化效率以 10 月份最小, 介于  $0.0015 \sim 0.0063$  之间, 可能是此时的季节交替, 湖南省 10 月初骤然降温、秋季干旱等因素对桉木的光合速率造成的影响, 表现出低的羧化效率, 即低的光合速率。J5、J10 在 7 月份受极端高温影响有较低的 CE, 分别为  $0.0094$ 、 $0.0065$ 。

#### 4.3 蒸腾速率 ( $T_r$ )、胞间 $CO_2$ 浓度 ( $C_i$ ) 和气孔导度 ( $Cond$ ) 的变化

随着  $CO_2$  浓度的增加, 4 个桉木品系的蒸腾速率 ( $T_r$ ) 降低,  $C_i$  增加,  $Cond$  降低。4 月、6 月是桉木生长最旺盛时期, 光合效率较高的时期, H1、H12 和 J10 的  $T_r$ 、 $C_i$  和  $Cond$  都表现出较高的特征值, 而 10 月份随着  $CO_2$  浓度的增加各项光合特征值较低, J5 各项光合特征值则以 4 月份与 9 月份的为高, 7 月和 10 月份较低。J10 在 9 月份当  $CO_2$  浓度增加至  $1\,600 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  时  $C_i$  有下降现象; H12 的  $Cond$  值在 4

月份是缓慢上升。

#### 4.4 叶面饱和蒸气压亏缺变化

4 个桉木品系的叶面饱和蒸气压亏缺 ( $V_p$ ) 随着  $CO_2$  浓度的增加缓慢上升, 增加幅度不大。J5 在 4 月份, H1 在 6 月份与 7 月份, J10、H12 在 7 月份的叶面饱和蒸气压亏缺随着  $CO_2$  浓度的升高, 蒸腾速率的减少, 略有下降。

#### 参考文献:

- [1] 王军辉, 顾万春, 夏良放, 等. 桉木种源(群体)品系材性性状的遗传变异[J]. 林业科学研究, 2001, 14(4): 362~368
- [2] 许忠坤, 徐清乾. 桉木造纸材遗传改良前景. 见: 南方林木遗传育种研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 159~161
- [3] 周永丽, 刘福云. 四川桉木木材材性初步研究[J]. 四川林业科技, 2003(1): 75~76
- [4] 李邀夫, 吴际友. 四川桉木的丰产性能及栽培技术[J]. 湖南林业科技, 2004, 31(1): 8~19
- [5] 吴际友, 童方平, 龙应忠, 等. 四川桉木秋季嫩枝扦插效应分析[J]. 湖南林业科技, 2004, 31(5): 4~6
- [6] 吴际友, 龙应忠, 童方平. 桉木优树选择[J]. 湖南林业科技, 2004, 31(6): 10~12
- [7] 李少伟. 桉木育苗技术试验[J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2003, 9(2): 107~109
- [8] 卓仁英, 陈益泰. 五种桉木属植物的光合特性初步研究[J]. 浙江林业科技, 2004, 24(6): 1~4
- [9] 朱万泽, 王金锡, 薛建辉, 等. 台湾桉木引种的光合生理特性研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(11): 2012~2019
- [10] 朱万泽, 王金锡, 薛建辉, 等. 四川桉木光合生理特性研究[J]. 西南林学院学报, 2001(4): 196~204
- [11] 朱万泽, 王金锡. 引种台湾桉木的蒸腾特性及其影响因子[J]. 四川林业科技, 2005(1): 9~14
- [12] 赵广琦, 张利权, 梁霞. 芦苇与入侵植物互花米草的光合特性比较[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1604~1611
- [13] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 169~171
- [14] Morse S R, Bazzaz F A. Elevated  $CO_2$  and temperature alter recruitment and size hierarchies in  $C_3$  and  $C_4$  annuals[J]. Ecology, 1994, 75: 966~975
- [15] Yu Qing, Wang T D. Simulation of the physiological responses of  $C_3$  plant leaves to environmental factors by a model which combines stomatal conductance, photosynthesis and transpiration[J]. Acta Botanica Sinica, 1998, 40: 740~754
- [16] 孙伟, 王德利, 王立, 等. 狗尾草蒸腾特性与水分利用效率对模拟光辐射增强和  $CO_2$  浓度升高的响应[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 448~453