

# 钩栗种源间幼苗生长状况和光合特性比较研究

王佩兰<sup>1</sup>, 许德禄<sup>2</sup>, 张 斌<sup>1</sup>, 李志辉<sup>1</sup>

(1. 中南林业科技大学 林学院, 湖南 长沙 410004; 2. 汨罗市玉池国有林场, 湖南 汨罗 414400)

**摘 要:**以福建建瓯、湖北恩施、湖南浏阳、桑植、永顺等 5 个不同地理种源的钩栗 1 a 生幼苗为试材,测定了幼苗高、地径和单片叶面积等生长指标;同时以不同种源的钩栗幼苗叶片为试材,动态监测了幼苗叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、叶绿素含量等光合特性指标,比较分析了不同钩栗种源间生长和光合特性差异,以期为钩栗苗木培育和优良种源的选择和保护提供理论依据。结果表明:5 个种源钩栗苗高、地径与单片叶面积存在显著差异,恩施种源地的各指标存在明显优势;钩栗净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)、叶绿素总量(Ct)、叶绿素 a/b 值(Chl a/b)在不同种源间均存在显著差异;经纬度和年无霜期是制约光合特征参数地理变异的主导因子;钩栗幼苗的净光合速率地理变异为纬度上的南-北变异;综合各方面因素,湖北恩施种源为所选种源中的最优种源。

**关键词:**钩栗;种源;幼苗生长;光合特性

**中图分类号:**S 792.17 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)05-0020-06

钩栗(*Castanopsis tibetana* Hance)属壳斗科栲属高大乔木,又名钩栲,高可达 30 m,胸径可达 150 cm。生于

**第一作者简介:**王佩兰(1990-),女,湖南双峰人,硕士研究生,研究方向为森林培育学。E-mail:956886999@qq.com.

**责任作者:**李志辉(1957-),男,湖南安化人,博士,教授,博士生导师,现主要从事森林培育等教学与科研工作。E-mail:lzh1957@126.com.

**基金项目:**国家林业公益性行业科研资助项目(201204405)。

**收稿日期:**2013-12-10

海拔 200~1 600 m 的阔叶林中,主要分布于安徽、浙江、江西、福建、湖北、湖南以及广东、广西等省。其果实富含淀粉,味香甜,可食用。为亚热带常绿阔叶树种,树形优美,是一种优良的园林绿化树种<sup>[1]</sup>。目前,国内外对钩栗的研究较少,多停留在种群生命过程和育苗试验等方面<sup>[2-3]</sup>。

光合作用是指绿色植物吸收光能,把 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 转化成有机物,并且释放 O<sub>2</sub> 的过程<sup>[4]</sup>。早在 1772 年,人们就发现了植物的光合作用,后来许多学者对不同种源

## Effect of Laxogenin C on Seed Germination and Seedlings Growth of Radish, Black Bean and Etchling

MA Hui-ling<sup>1</sup>, YE Zhan-yang<sup>2</sup>, SHANG Xiao-jiao<sup>2</sup>, SHEN Wei<sup>1</sup>, LI Wei-ni<sup>3</sup>

(1. College of Life Sciences, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Forestry, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Collgeg of Food Science and Engineering, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Using radish seed, black bean seed, etchling seed as experimental materials, effect of different concentration of Laxogenin C (LG-C) 0.001, 0.005, 0.010, 0.050, 0.100, 0.500 mg/L on seed germination and seedlings growth of radish, black bean and etchling were studied. The results showed that 0.005, 0.500 mg/L treatment significantly increased germination rate of etchling seed, but each treatment had no significant influence on seedling height. 0.050 mg/L of LG-C was the most favorable to seedlings growth of radish and increased its overground biomass and the content of Vitamin C was higher than that of other treatments; 0.001 mg/L of LG-C particularly increased the overground biomass and the content of Vitamin C of black bean seedling; 0.001 mg/L of LG-C had an obvious inhibition to the root length and the growth of fibrous roots but a obvious promoting effect to the growth of seedling diameter and root diameter of etchling and the concentration of 0.005 mg/L of LG-C particularly increased its overground biological yield; At the same time, increased the content of Vitamin C effectively. It showed that the suitable concentration of LG-C had a certain application value in the production of sprout vegetable.

**Key words:** Laxogenin C (LG-C); soaking of seeds; seed germination; seedling growth

地植物的光合特性做了比较全面的研究<sup>[5-11]</sup>。但关于钩栗的光合特性差异的研究尚鲜见报道。该试验以福建建瓯,湖北恩施,湖南浏阳、桑植、永顺等5个不同种源钩栗1 a生幼苗为试材,测定了幼苗的苗高、地径、叶面积等生长指标,同时动态监测了幼苗叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、胞间CO<sub>2</sub>浓度等光合特性指标,比较分析了钩栗种源间生长和光合特性差异,以期对钩栗优良种源的苗木培育和优良种源的选择与保护提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2012年11月,分别于福建建瓯、湖北恩施、湖南浏阳、桑植、永顺采集钩栗种子,用青苔湿藏,任其自由萌发,无任何层积处理;2013年2月,取出所有萌芽种子进行容器育苗;2013年7月,选取生长较为一致的健壮苗木,测定相应指标。钩栗不同种源地理位置及气候概况见表1。

表1 不同种源钩栗地理位置及气候概况

Table 1 Geographic and climate general situation of different provenances of *Castanopsis tibetana*

种源地 Provenances	东经 East longitude	北纬 North latitude	年均降水量 Average annual rainfall/mm	年均温度 Average annual temperature/℃	无霜期 Frostless period/d
湖北恩施 Enshi in Hubei	108°56'	30°18'	1 457	16.7	232
福建建瓯 Jian'ou in Fujian	118°20'	27°03'	1 748	19.3	286
湖南浏阳 Liuyang in Hunan	114°03'	28°16'	1 534	17.3	228
湖南桑植 Sangzhi in Hunan	110°16'	29°38'	1 689	13.5	210
湖南永顺 Yongshun in Hunan	110°13'	28°32'	1 420	15.8	240

### 1.2 试验方法

1.2.1 幼苗生长情况测定 各种源随机选择50株,采用钢卷尺测定苗高;用电子游标卡尺测量地径。每株取大、中、小各1片叶,采用YMJ-A叶面积测定仪测量叶片面积,3次重复,并对每株苗木的叶片数进行计数。

1.2.2 幼苗叶片叶绿素含量测定 每个种源分别取健康叶3~5片,去掉主脉剪碎,称取0.1 g,放入研钵中,加入少量石英砂和80%的丙酮研磨提取。将研磨液离心后稀释,再用紫外分光光度法分别在663、645 nm波长下,用80%丙酮做空白对照,测定吸光值,每处理3次重复,依据公式计算叶绿素a、叶绿素b含量<sup>[12]</sup>。

1.2.3 叶片光合日变化与光响应曲线的测定 利用Li-6400便携式光合仪于2013年9月11日对各种源钩栗幼树进行光合指标测定。每个植株分东、南、西、北4个方向各选择长势较好,健康完好的1片叶进行测定,

光合日变化分别在8:00、10:00、12:00、14:00、16:00 5个时段各测定1次。测定叶片的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)、胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)等参数。光响应曲线测定采用开放式气路,光合有效辐射(PAR)设置梯度为2 000、1 800、1 500、1 200、900、600、300、200、150、100、75、50、25、0  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,并计算光补偿点,整个过程设定CO<sub>2</sub>浓度为400  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,空气流速为400 mol/s。

### 1.3 数据分析

运用Excel进行数据统计和处理,采用SPSS 17.0软件对测定的数据进行方差分析和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种源钩栗幼苗生长状况比较

播种后55 d,钩栗幼苗开始出土,发芽率达到71.8%。经苗期观察发现,5月20日左右长出第1片真叶,真叶先表现为红色,其后逐渐转为绿色。

苗高和地径是判断苗木质量的重要指标,由表2可知,恩施种源苗最高,为15.22 cm,浏阳种源苗最矮,为12.88 cm,二者比值为1.18;桑植种源的地径最大,为3.17 cm,建瓯种源的地径最小,为2.61 cm,二者比值为1.21。方差分析结果表明,种源间幼苗的地径有差异,但未达差异显著水平。

表2 不同种源钩栗幼苗生长状况的比较

Table 2 Comparison of growth status of *Castanopsis tibetana* seedlings from different provenance

种源 Provenances	苗高 Seedling height/cm	地径 Seedling diameter /cm	叶片数 Leaf number /片	单片叶面积 Single leaf area/cm <sup>2</sup>
湖北恩施 Enshi in Hubei	15.22±3.15b	2.94±0.74ab	3.81±0.52a	32.28±10.58bc
福建建瓯 Jian'ou in Fujian	14.56±2.94b	2.61±0.76b	3.15±0.47a	25.58±6.54c
湖南浏阳 Liuyang in Hunan	12.88±2.62a	2.83±0.70ab	3.73±0.51b	29.19±9.85ab
湖南桑植 Sangzhi in Hunan	13.76±2.76a	3.17±0.73b	3.67±0.56a	26.79±9.28a
湖南永顺 Yongshun in Hunan	14.48±3.78b	2.70±0.60b	3.29±0.45b	33.29±8.89bc

注:表中数据为平均值±标准方差(LSD值);同列不同小写字母表示 $P<0.05$ 显著差异。以下同。

Note: Values are means±SD. Values within a column followed by the different normal letters are significantly different at  $P<0.05$ . The same as below.

叶面积的大小与质量直接关系到植物的光合作用,光合叶面积越大,制造的有机养分就越多,提供幼苗生长的养分就越多,幼苗质量就越高。通过方差分析可知,不同种源间单片叶面积差异显著,叶片数则无显著差异。其中,永顺种源的单片叶面积最大,为33.29 cm<sup>2</sup>,建瓯种源最小,为25.58 cm<sup>2</sup>,二者比值为1.30。

为研究不同钩栗幼苗生长差异显著的原因,将当年

生钩栗的苗高、地径等指标与各种源的地理气候因子进行了相关分析。从表 3 可以看出,苗高与年无霜期呈显著正相关,说明年无霜期是制约苗高地理变异的主导因子;地径与年均降水量呈显著正相关,说明年降水量是制约地径生长的主导因子;单片叶面积与纬度、年均温度、年无霜期均呈正相关,与经度呈负相关,说明经纬度、年均温度和年无霜期均是制约单片叶面积地理主导因子。总体而言,钩栗单片叶面积从南到北、从东到西逐渐减小,即单片叶面积地理变异表现为经纬双向变异,但主要还是以南-北变异为主,而苗高、地径则无规律性地理变异。

表 3 钩栗苗高、地径与地理气候的相关性分析

Table 3 Correlation of ground diameter and seedling height of *Castanopsis tibetana* with geographic site

	纬度 Latitude	经度 Longitude	年平均降水量 Average annual rainfall	年均温度 Average annual temperature	无霜期 Frostless period
苗高 Seedling height	0.214	-0.220	0.211	0.396	0.721*
地径 Seedling diameter	0.291	-0.182	0.781*	-0.360	-0.133
单片叶面积 Single leaf area	0.525*	-0.822*	0.175	0.430*	0.642*

注: \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: \* and \*\* correlation coefficient among the leaf photosynthetic parameters are significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively.

表 4 不同种源钩栗叶片叶绿素含量差异

Table 4 Difference in chlorophyll content among different provenance of *Castanopsis tibetana*

种源 Provenances	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content/mg · g <sup>-1</sup>	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content/mg · g <sup>-1</sup>	总叶绿素含量 Total chlorophyll content/mg · g <sup>-1</sup>	叶绿素 a/叶绿素 b Chlorophyll a/Chlorophyll b
湖北恩施 Enshi in Hubei	2.0480±0.2032a	1.0197±0.2383a	3.0678±0.4414a	2.0409±0.2777a
福建建瓯 Jian'ou in Fujian	1.2200±0.1392b	0.6368±0.8512b	1.8569±0.1966b	1.9299±0.2588a
湖南浏阳 LiuYang in Hunan	0.9044±0.1363b	0.5952±0.2026b	1.4996±0.3340b	1.5810±0.2776b
湖南桑植 Sangzhi in Hunan	2.1345±0.3858a	1.0170±0.0697a	3.1515±0.4554a	2.0908±0.2362a
湖南永顺 Yongshun in Hunan	2.1716±0.2021a	0.9618±0.1079b	3.1334±0.3093a	2.2615±0.0571a

表 5 不同种源钩栗的叶片气体交换参数差异

Table 5 Difference in gas exchange parameters of different provenances of *Castanopsis tibetana*

种源 Provenances	净光合速率 Net photosynthetic rate /μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup>	蒸腾速率 Transpiration rate /mmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup>	气孔导度 Stomatal conductance /mmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup>	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration /μmol · mol <sup>-1</sup>
湖北恩施 Enshi in Hubei	3.9190±0.7143a	0.9347±0.1361a	0.0478±0.0075a	251.6±15.72a
福建建瓯 Jian'ou in Fujian	4.9923±0.4545b	1.1560±0.1966b	0.0607±0.0114b	247.7±13.80b
湖南浏阳 LiuYang in Hunan	4.2637±0.7615c	0.8855±0.1383b	0.0455±0.0075c	234.1±17.24b
湖南桑植 Sangzhi in Hunan	4.6830±0.5556d	1.0702±0.1437c	0.0551±0.0080c	245.7±10.45c
湖南永顺 Yongshun in Hunan	3.5940±0.3538e	0.6909±0.1407d	0.0358±0.0070c	222.9±17.29d

2.2 不同种源钩栗叶片叶绿素含量比较

叶片的叶绿素含量可以反映植物叶片光合能力大小。由表 4 可知,5 个种源钩栗叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量和叶绿素 a/b 值均呈显著差异( $P<0.05$ )。其中,叶绿素含量最高的是湖南桑植种源,为  $3.1515\pm0.4554$  mg/g;叶绿素 a 含量最高的是湖南永顺种源,为  $2.1716\pm0.2021$  mg/g,叶绿素 b 含量最高的是湖北恩施种源,为  $1.0197\pm0.2383$  mg/g,表明在相同环境条件下,不同种源间钩栗叶片的捕光能力有差异。且叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量种源间差异同步,都是湖北恩施、湖南桑植和永顺叶绿素含量较高,与福建建瓯、湖南浏阳叶绿素含量差异显著,叶绿素 a/b 值除了湖南 3 个种源间有差异外,其余种源间差异不显著。5 个种源钩栗叶片的叶绿素 a 含量均比叶绿素 b 含量要高,整体叶绿素 a/b 值在 1.5~2.3 之间,在孙小玲等<sup>[13]</sup>报道的阴生植物的叶绿素 a/b 为  $2.59\pm0.11$  的范围内。该试验表明,钩栗属于阴生植物。

2.3 不同种源钩栗叶片气体交换参数差异

从表 5 可以看出,钩栗叶片的气体交换参数 Pn、Tr、Gs 在种源间差异显著( $P<0.05$ ),说明钩栗不同种源间的光合特性有差异。其中,建瓯种源的 Pn 值( $4.9923\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、Tr 值( $1.1560\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )和 Gs 值( $0.0607\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )均为最大;建瓯种源的 Pn 值是 Pn 值最小的永顺种源

( $3.5940 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )的 1.39 倍,Tr 值是 Tr 值最小的永顺种源( $0.6909 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )的 1.67 倍,Gs 值是 Gs 值最小的浏阳种源 ( $0.0455 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )的 1.33 倍;Ci 值最高的是恩施种源,Ci 值在种源间差异不显著。从整体看来,建瓯和桑植的 Pn、Tr、Gs 值均比较高。净光合速率越大,光合积累的有机物产物就越多,植物生长就越快,长势也越强。这 2 个种源的净光合速率和蒸腾速率都比其它种源强,因此属于具有较高光合生产力潜力的优良钩栗种源。

为了研究钩栗幼苗光合特性差异显著的原因,将钩

表 6 钩栗光合参数与地理、气候的相关性分析

Table 6 Correlation of photosynthetic parameters of *Castanopsis tibetana* with geographic and climate

	纬度 Latitude	经度 Longitude	年均降水量 Average annual rainfall	年均温度 Average annual temperature	无霜期 Frostless period
净光合速率 Net photosynthetic rate	-0.303 **	0.516 **	-0.080	-0.221 **	-0.351 **
蒸腾速率 Transpiration rate	-0.185 *	0.451 **	0.074	-0.114	-0.193 **
气孔导度 Stomatal conductance	0.184 *	0.037	0.356 **	0.140	0.162 **
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration	-0.160	0.436 **	0.113	-0.111	-0.186 *
叶绿素含量 Content of total chlorophyll	0.097	-0.261 **	0.421 **	-0.257 **	0.263 **

注: \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, \*\* 在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

Note: \* and \*\* correlation coefficient among the leaf photosynthetic parameters are significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.4 净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度等参数在种源间的变异

蒸腾速率是决定不同树种耗水潜力的主要因素。由图 1-a 可知,蒸腾速率种源间差异比较大,并且与净光合速率在种源间的变化规律基本保持一致。蒸腾速率高时净光合速率也变高,反之亦然。蒸腾速率种源内变异幅度最大的是永顺种源,而净光合速率种源内变异幅度最大的是恩施种源。同蒸腾速率一样,气孔导度与净

栗的 4 个主要光合参数与各种源的地理气候因子进行相关分析。由表 6 可知,净光合速率与年均温度、无霜期、纬度呈极显著负相关,与经度呈极显著正相关;蒸腾速率与无霜期呈极显著负相关,与经度呈极显著正相关,与纬度呈显著负相关;胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与经度呈极显著正相关,与无霜期呈显著负相关;气孔导度与纬度呈显著正相关,与年均降水量、无霜期呈极显著正相关。说明经度、纬度和年无霜期是制约光合特征参数地理变异的主导因子。总体而言,钩栗幼苗的净光合速率从南到北逐渐减小,即净光合速率地理变异为纬度上的南北变异。

光合速率在种源间的变化规律也大体一致,永顺种源保持最大的变异幅度。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度在种源间差异不大,这可能是由于胞间 CO<sub>2</sub> 浓度受诸多外界因素影响的原因。

高等植物中的叶绿素吸收太阳光,把光能转化成化学能储备于植物体,为整个生物圈提供能量。叶绿素含量是个体生存中非常重要的参数之一。由图 1-d 可知,种源间叶绿素含量的差异较大,尤其是浏阳种源的含量

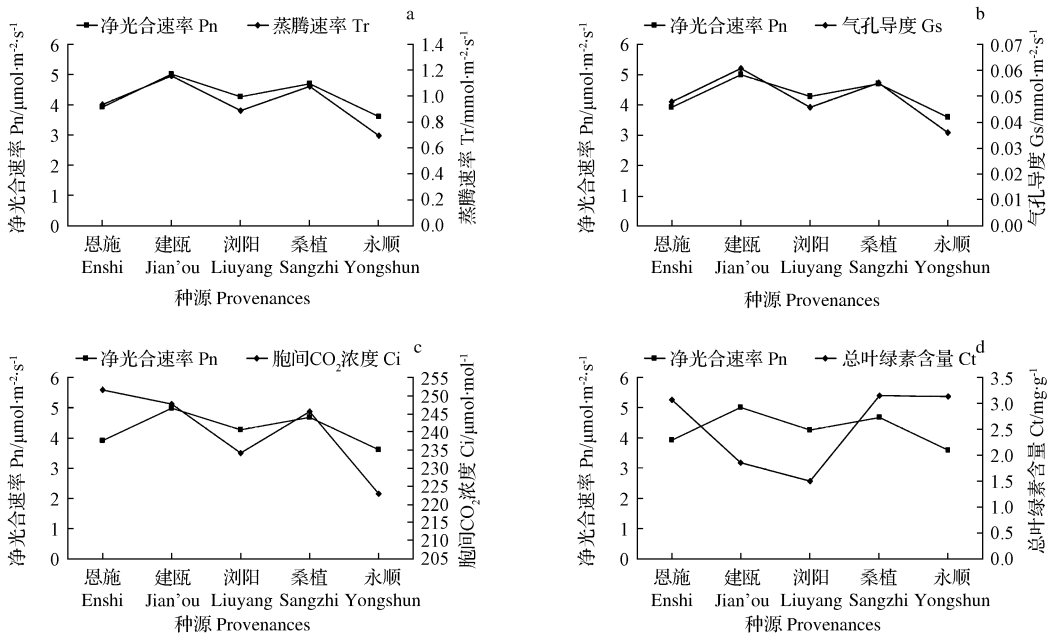


图 1 净光合速率与蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和总叶绿素含量的种源间变化趋势

Fig. 1 Variable trend of Pn and Tr, Gs, Ci, Ct among provenances



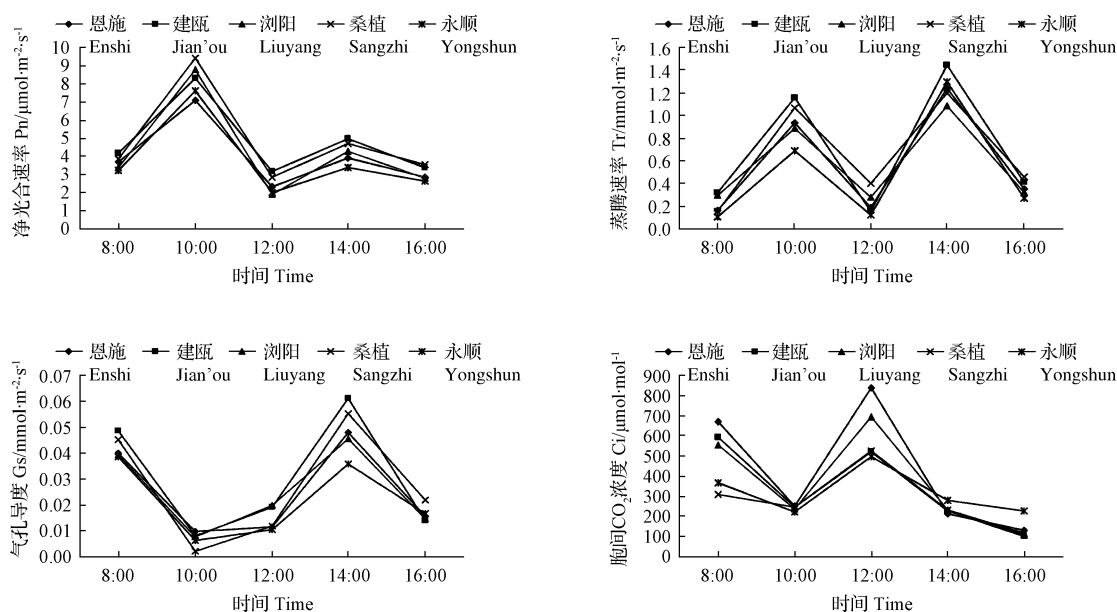


图2 不同种源钩栗光合特征参数日变化

Fig. 2 The photosynthetic parameters diurnal variation curves in leaves of different provenances of *Castanopsis tibetana*

最低,仅为含量最高的桑植种源的0.5倍。叶绿素含量与净光合速率在种源间的变化规律完全不一致,这表明叶片中叶绿素含量的高低与叶片进行光合作用能力的强弱没有明显的相关性。

### 2.5 不同种源钩栗叶片光合特征参数日变化比较

在9月中旬的晴天条件下,动态监测了不同种源钩栗叶片光合特征参数Pn、Tr、Gs、Ci的日变化规律。由图2可知,不同种源钩栗叶片Pn日变化均为不对称的双峰曲线,且变化趋势完全一致。最高峰均出现在10时,12时出现第1个低谷,16时出现最低峰。由于叶片的“午休”现象,导致12时出现1个午间低值。14时后又开始上升,出现第2个高峰,此后随着阳光的减弱,又开始逐渐降低,直到16时下降到最低值。

各种源钩栗蒸腾速率曲线走势与净光合速率日变化曲线基本一致,在全天的不同测定时段呈对称的双峰曲线,保持“低-高-低-高-低”稳定的变化规律。

不同种源钩栗气孔导度日变化曲线呈单峰曲线,曲线走势为“高-低-低-高-低”。在8时保持较高,随着阳光的增强开始略有降低,到10时是达到1个最低峰,“午休”期间一直持续低峰,“午休”过后又开始慢慢上升,直至14时达到最高峰,之后又逐渐下降。

不同种源钩栗叶片日变化曲线与Gs曲线相似,都是单峰曲线,但同时曲线走势也有区别,Ci曲线走势为“高-低-高-低-低”。8时Ci值保持较高值,此后开始下降,到10时达到第1个低峰,然后随着钩栗幼苗光合“午休”的开始又急剧升高,到12时达到最高峰,之后持续走低。由此说明,钩栗叶片内的CO<sub>2</sub>没有及时被固定造成一定的积累,同时也说明了叶片进行光合“午休”不完全

是因为气孔的关闭,叶肉细胞光合能力下降也是造成其原因之一。

### 2.6 不同种源钩栗叶片的光响应特征参数比较

用LED光源设定一系列梯度光强,测定所对应的净光合速率,作出散点图,得到不同种源钩栗的光合-光响应曲线图。由图3可以看出,5个种源钩栗的Pn- $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围时,净光合速率Pn近乎呈直线上升,斜率表示光合量子效率,它代表光合作用中光能转化效率;PAR在200~900  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,净光合速率仍然保持平稳增长,PAR在600~900  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右时出现最大值;PAR在900~1600  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,Pn的增长幅度开始缓慢下降,当PAR大于1600  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,5个种源的钩栗Pn值均开始下降,表现出强光抑制现象。5个种源间最大Pn存在一定差异,但均未达到差异显著水平。

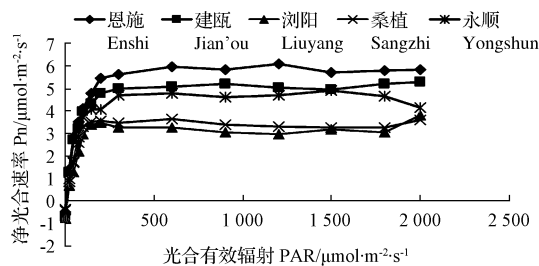


图3 不同种源钩栗叶片光合作用-光响应曲线

Fig. 3 The photosynthesis-light response curves in leaves of different provenances of *Castanopsis tibetana*

### 3 结论

该研究结果表明,恩施种源的苗高最大,为 15.22 cm,桑植的地径最大,为 3.17 cm,永顺种源的单片叶面积最大,为 33.29 cm<sup>2</sup>,5 个种源地的钩栗苗高、地径与单片叶面积存在显著差异。

苗高与年无霜期呈显著正相关,地径与年降水量呈显著正相关,单片叶面积与纬度、年均温、年无霜期均呈正相关,与经度呈负相关。总体而言,钩栗的单片叶面积地理变异表现为经纬双向变异,而苗高、地径则无规律的地理变异。

钩栗属于阴生植物,5 个种源钩栗叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量和叶绿素 a/b 值均具有显著差异( $P < 0.05$ ),其中湖南桑植种源的叶绿素含量最高为 3.1515 mg/g。

钩栗叶片的气体交换参数 Pn、Tr、Gs 在种源间差异显著( $P < 0.05$ ),由此可知,钩栗不同种源间的光合特性有显著差异。从整体看来,建瓯种源和桑植种源的 Pn、Tr、Gs 值均比较高,属于光合生产力较强的优良种源。

不同种源钩栗叶片 Pn 日变化均为不对称的双峰曲线,且变化趋势完全一致。最高峰均出现在 10 时,中午叶片“午休”,导致 12 时出现午间最低值。

5 个种源间最大 Pn 存在一定差异,但均未达到显著水平,5 个种源钩栗的 Pn-PAR 曲线变化趋势一致。

PAR 在 0~200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  范围时,净光合速率 Pn 近乎呈直线上升;PAR 在 600~900  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右时,出现最大值。

### 参考文献

- [1] 祁承经,汤庚国. 树木学(南方本)[M]. 北京:中国林业出版社,2010:224-225.
- [2] 林敏,黄宗安. 钩栗种群生命表分析[J]. 福建林业科技,2003(2):9-13.
- [3] 陈养. 钩栗人工育苗技术研究[J]. 林业科技开发,2007(3):89-90.
- [4] 王忠. 植物生理学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:121.
- [5] 杨全,王文全,张卉,等. 8 个种源黄芩光合特性的比较研究[J]. 吉林农业大学学报,2006,28(5):530-533.
- [6] 惠利省,徐立安,王章荣,等. 马褂木不同种源苗期光合特性差异分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(6):3222-3225.
- [7] 张世华,梁社往,何忠俊,等. 10 个地理种源滇重楼光合特性的比较研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学版),2012(5):708-715.
- [8] 李金华,赵嫦娥,许德禄,等. 浙江宁波赤皮青冈不同种源苗期光合特性差异分析[J]. 中国农学通报,2013(22):6-9.
- [9] 赵勋. 越南安息香不同种源苗期光合特性研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2011.
- [10] 姚毅. 珙桐幼苗光合特性的研究[D]. 北京:北京林业大学,2012.
- [11] 陈昕. 雷公藤不同种源光合特性及其与生长属性关系研究[D]. 福州:福建农林大学,2011.
- [12] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社,2006.
- [13] 孙小玲,许岳飞,马鲁沂,等. 植株叶片的光合色素构成对遮荫的响应[J]. 植物生态学报,2010,34(8):989-999.

## Comparison Study on Seedling Growth and Photosynthetic Characteristics of *Castanopsis tibetana* Among Different Provenances

WANG Pei-lan<sup>1</sup>, XU De-lu<sup>2</sup>, ZHANG Bin<sup>1</sup>, LI Zhi-hui<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004; 2. Miluo State-owned Forest Farm, Miluo, Hunan 414400)

**Abstract:** Taking one-year seedling of *Castanopsis tibetana* from different geographical provenances of Jian'ou in Fujian, Enshi in Hubei, Liuyang in Hunan, Sangzhi in Hunan, Yongshun in Hunan as materials. Seedling height, seedling diameter and monolithic leaf area and other growth indicators were measured; meanwhile taking leaf of *Castanopsis tibetana* seedling as material, net photosynthetic rate (Pn), transpiration rate (Tr), stomatal conductance (Gs), intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci), chlorophyll total content (Ct), the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b (Chl a/b) were dynamically monitored. Growth difference and photosynthetic characters of different provenances were comparatively analyzed, in order to provide theoretical basis for seedlings cultivation and the selection for excellent seedling source and protection of *Castanopsis tibetana*. The results showed that there were significant differences between five seedlings in seedling height, seedling diameter and single leaf area, and Enshi provenance was dominated. There was significant difference in net photosynthetic rate (Pn), transpiration rate (Tr), stomatal conductance (Gs), intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci), chlorophyll total content (Ct), the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b (Chl a/b) between five provenances. Latitude, longitude and frostless period were the dominant factor restricted geographic variation of photosynthetic parameters. And the geographical variation of net photosynthetic rate was south-north variation. Considering all the factors, the seedlings in Enshi Hubei was the best provenance among the selecting provenance.

**Key words:** *Castanopsis tibetana*; provenance; seedling growth; photosynthetic characteristics