

5 个种源白花泡桐光合特性比较

董必珍¹, 吕成群^{1*}, 黄宝灵¹, 李昆龙², 毛碧辉¹, 陈振飞², 任涵¹

(1. 广西大学林学院, 广西南宁 530001; 2. 广西绿桐林业科技有限公司, 广西南宁 530002)

摘要 [目的]以河南种源为对照,探讨4种广西地区白花泡桐叶片光合色素及光合特性的差异。[方法]运用乙醇-丙酮浸提法测定不同种源叶片叶绿素含量,利用LI-6400光合测定仪测定不同种源白花泡桐的光合特性指标并进行相关性分析。[结果]田林、南丹、河南、鹿寨和上思这5个种源白花泡桐叶片的叶绿素a/b(Chla/b)、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和水分利用效率(WUE)种间差异不明显,但其中河南种与广西种差异显著($P<0.05$),表明河南种源是具有较高光合生产潜力的白花泡桐种源。相关性分析表明,5个白花泡桐叶绿素含量和光合生理指标均呈显著相关,说明白花泡桐叶片叶绿素含量与光合作用之间有直接联系; P_n 与 T_r 、 G_s 呈极显著正相关($P<0.01$),体现三者有较好的系统响应特征; T_r 、 G_s 与WUE均呈极显著负相关($P<0.01$),说明作为影响WUE的因子 T_r 、 G_s 与之有极密切的联系。[结论]河南种源较广西各种源而言具有更加优良的光合特性,为广西区内白花泡桐人工林种源种植筛选提供了依据。

关键词 白花泡桐;叶绿素;光合特性

中图分类号 S718.45 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)17-0111-03

Comparative Analysis of Five Geographical Strains of *Paulownia fortunei* Based on Photosynthesis**DONG Bi-zhen, LÜ Cheng-qun, HUANG Bao-ling et al** (Forestry College of Guangxi University, Nanning, Guangxi 530001)

Abstract [Objective] The differences of photosynthetic pigments and photosynthetic characteristics of *Paulownia fortunei* in 4 kinds of Guangxi areas were compared with Henan provenance. [Method] The content of chlorophyll in different provenances was determined by ethanol-acetone extraction. The photosynthetic characteristics of *P. fortunei* in different sources were measured by LI-6400 photosynthetic apparatus. [Result] There were significant differences ($P<0.05$) in the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b (Chla/b), net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s), water use sufficiency (WUE) among Henan and Guangxi. But in four strains of Guangxi of *P. fortunei* strains, there were no significant differences. Comprehensive comparison showed that Henan strain was the *P. fortunei* varieties with high photosynthetic potential. Correlation analysis among photosynthetic parameters showed that there were significant correlations between Ct, Chla/b and P_n , T_r , G_s , WUE; significantly positive correlations between P_n and T_r , G_s ($P<0.01$); significantly negative correlations between T_r and WUE, G_s and WUE ($P<0.01$). The results indicated that the chlorophyll content in the leaves have directly relation with photosynthesis and it was characteristic of P_n and T_r , G_s to have better cooperative response and T_r , G_s and WUE had a very close relationship. [Conclusion] The Henan provenance has better photosynthetic characteristics than the various sources in Guangxi, which provides a basis for the selection of the plant source of *P. fortunei* plantation in Guangxi.

Key words *Paulownia fortunei*; Chlorophyll; Photosynthesis

白花泡桐(*Paulownia fortunei*)属玄参科、泡桐属乔木;树冠呈圆锥形,主干笔直,树皮为灰褐色,是我国重要的树种之一^[1];生于低海拔山坡、林中、山谷及荒地,分布于我国大部分省份,野生或栽培,具有较高的观赏价值、药用价值、经济价值以及生态价值。

叶绿素是植物光合作用的主要参与者,其含量是评估植物生物量、生产量和健康程度的生理指标^[2-4]。叶绿素吸收光的能力与叶表叶绿素浓度有密切关系,叶绿素在单位面积中分布的浓度直接影响叶片的光合能力^[5],其含量在一定程度上反映植物同化物质的能力。一般认为,叶绿素含量高有利于植物光合作用,对于基粒数及基粒片层数目的增加有相当大的作用^[6]。光合作用是植物将太阳能转化为化学能的过程,既是植物体内最重要的化学反应^[7],又是植物生长发育的基础和植物体内碳素的重要来源,是影响植物生长和农作物产量的重要指标^[8],也是品种选育过程中的重要指标之一^[9]。种源间光合特性的差异反映了不同种源光合能力的高低^[10],因此,对林木光合特性进行研究,有助于了解林木生长发育规律,可为林木栽培抚育、引种、抗逆种子筛选和早

期选择等提供理论依据。笔者以5个种源的白花泡桐叶片为试验材料,通过对不同白花泡桐种源光合速率差异进行研究,为选择适合在广西南宁地区生长的种源提供科学的参考依据,并为其育种^[11]的早期选择提供借鉴与参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验地位于广西壮族自治区南宁市江南区苏圩镇广西绿桐林业科技有限公司试验基地,地理位置为108°03'21.03"E, 22°34'32.71"N,海拔130 m,气压100 kPa;位于北回归线以南,属亚热带季风气候的少雨高温气候区;夏热冬暖,无霜期长,炎热干燥,雨量少,年平均气温21.4℃,年降水量1 213 mm,大部分集中在6—9月份,干湿季节分明,蒸发量较大,是春旱发生频率较高的地区。试验地设在立地条件一致的林地内,地形平缓,坡度约15°,土层较深,为赤红壤,表土层较薄,肥力中下,造林前为种过甘蔗、木薯等农作物的旱坡地。

1.2 材料 在广西各地(田林、南丹、鹿寨、上思)采集白花泡桐种源作为研究材料,以处于河南的国家泡桐研究中心选育的优良白花泡桐9501为对照。

1.3 方法

1.3.1 叶绿素含量测定。 叶绿素含量的测定采用浸提法,均匀称取不同种源样木,每棵样木选取生长部位相同、大小一致、完全展开且受光方向基本一致的3张叶片,材料

基金项目 广西林业科技项目(桂林科研2015第51号)。**作者简介** 董必珍(1991—),女,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向:植物生理与生态。*通讯作者,教授,博士,博士生导师,从事植物生理学研究。**收稿日期** 2018-03-16

0.2 g,放入试管中,量取 10 mL 混合液(蒸馏水:乙醇:丙酮=1.0:4.5:4.5)于试管中,开始浸提,直到植物组织变白。取上清液用可见分光光度计测定 663、645 nm 处的吸光值,用混合液(80%丙酮与无水乙醇等体积混合)作为对照。

叶绿素 a(Chla)、叶绿素 b(Chlb)和叶绿素总量(Ct)计算公式如下:

$$\text{Chla} = (12.21A_{663} - 2.81A_{645})V \times n / Wf$$

$$\text{Chlb} = (20.13A_{645} - 5.03A_{663})V \times n / Wf$$

$$\text{Ct} = 20.29A_{645} + 8.05A_{663}$$

式中,Chla 为叶绿素 a 含量(mg/g);Chlb 为叶绿素含量(mg/g);Ct 为叶绿素总量(mg/g);V 为提取液体积(mL);n 为稀释倍数;Wf 为样品鲜重(g)。

1.3.2 光合作用测定。选择 1 个区组,于 2016 年 8 月某个晴天 09:30—10:30,从不同种源的植株中选取样木,每个种源选取 3 棵样木,选择生长部位相同、大小一致、完全展开且受光方向一致的 3 张叶片,用 LI-6400 光合测定仪测定光合作用指标,包括净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、水分利用率(WUE)、气孔导度(G_s)。

1.4 数据分析 用 SPSS 17.0 统计包(美国)对数据进行单因素方差分析;用最小显著差数法(LSD)对植物进行种间多重比较和相关分析;用 Graphpad 科学绘图软件包(美国)制图。

2 结果与分析

2.1 叶绿素含量 由表 1 可知,5 个种源的花泡桐叶片 Chla、Chlb、Ct 无显著差异,Chla/b 有显著差异,其中河南种的 Chla/b 最高,达 1.83,说明在相同的环境下,种源间的补光能力不同。从表 1 还可看出,5 个种源叶片 Chla 均大于 Chlb。

表 1 5 个种源叶片叶绿素含量

Table 1 Chlorophyll content of leaves among five geographical strains of *P. fortunei*

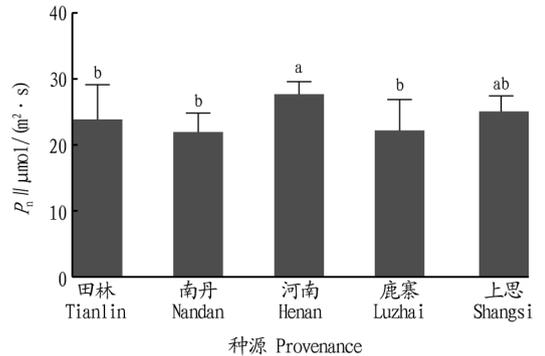
种源 Provenance	Chla//mg/g	Chlb//mg/g	Ct//mg/g	Chla/b
田林 Tianlin	1.06±0.12	0.80±0.20	2.51±0.29	1.33±0.42
南丹 Nandan	1.15±0.07	0.86±0.16	2.45±0.10	1.34±0.25
河南 Henan	1.15±0.09	0.63±0.07	2.25±0.02	1.83±0.07
鹿寨 Luzhai	1.11±0.04	0.91±0.08	2.59±0.06	1.22±0.09
上思 Shangsi	1.14±0.07	0.68±0.13	2.30±0.17	1.68±0.40

2.2 光合作用指标

2.2.1 净光合速率(P_n)。为了比较不同种源的光合作用差异,根据光合作用日变化的规律,上午是白花泡桐有机物合成的最佳时间,选择测定 09:30—10:30 时 5 个种源的花泡桐的净光合速率,并比较它们之间的差异。5 个种源的花泡桐叶片 P_n 存在明显差异(图 1),5 种白花泡桐的 P_n 从大到小依次为河南、上思、田林、鹿寨、南丹,各种源 P_n 为 20.81~30.86 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其中河南种源 P_n 显著高于田林、南丹和鹿寨种源。

2.2.2 蒸腾速率(T_r)。蒸腾速率(T_r)的大小反映植物吸收和运输能力的强弱,与植物净光合速率(P_n)高度相关。一般

认为,光合速率高, T_r 也较高^[12]。植物 T_r 受光照强度、 CO_2 浓度、温度等多因素综合影响, T_r 的变化是环境因素与植物生理因素综合作用的结果。在 09:30—10:30,5 个种源白花泡桐叶片的 T_r 存在明显差异(图 2),5 种白花泡桐叶片的 T_r 从大到小依次为河南、上思、南丹、田林、鹿寨, T_r 为 3.82~5.84 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其中河南、上思显著高于其他 3 个种源。

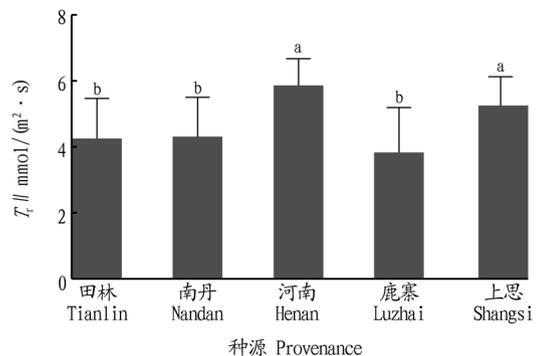


注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图 1 5 个种源叶片净光合速率(P_n)

Fig. 1 Net photosynthetic rate of leaves among five geographical strains of *P. fortunei*



注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

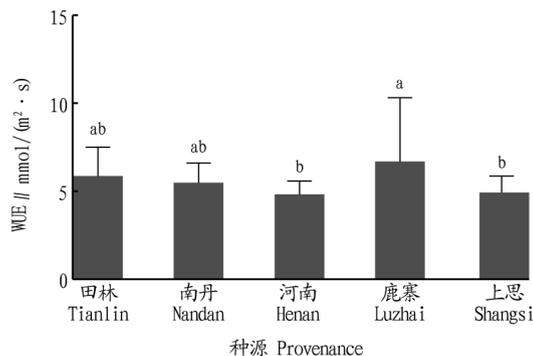
Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图 2 5 个种源叶片蒸腾速率(T_r)

Fig. 2 Transpiration rate of leaves among five geographical strains of *P. fortunei*

2.2.3 水分利用率(WUE)。水分利用率(WUE)即为单位水量通过叶片蒸腾散失时所形成有机物的量,取决于光合速率与 T_r 的比值,是 WUE 的理论值^[13]。根据 LI-6400 光合测定仪测定参数,计算出叶片水分利用效率($\text{WUE} = P_n/T_r$)^[14]。5 种白花泡桐叶片 WUE 由大到小依次为鹿寨、田林、南丹、上思、河南,WUE 为 3.70~12.83 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其中鹿寨显著高于其他种源,田林与南丹间的 WUE 差异不显著,而河南的 WUE 较低(图 3)。

2.2.4 气孔导度(G_s)。光合作用一般受到环境因素的影响,其光合和蒸腾的大小还受到 G_s 的影响^[15]。气孔是植物与外界环境进行气体交换的必需通道,用于控制叶片和大气之间 CO_2 及水分的扩散和传导。因此,它将叶绿体中的 CO_2 维持在某一适宜的水平,光合组织即能以最高的利用效率吸



注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

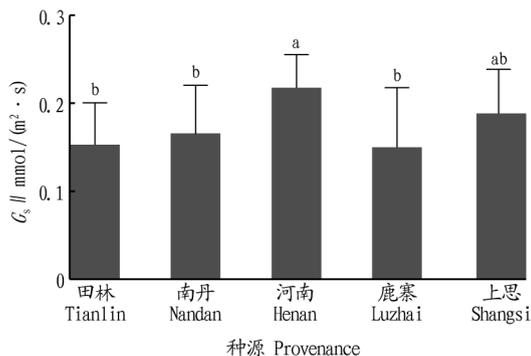
Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图3 5个种源叶片水分利用率(WUE)

Fig. 3 Efficiency of water application of leaves among five geographical strains of *P. fortunei*

收机能同化 CO_2 [13]。通常认为随着叶片水分的散失和叶片水势的下降,气孔开度会随之减少,气孔阻力增大, CO_2 进入叶片受阻,光合作用下降,同时气孔阻力的增加也减少叶片水分的散失,阻碍水分亏缺进一步发生。5种白花泡桐叶片 G_s 由大到小依次为河南、上思、南丹、田林、鹿寨, G_s 为 $0.05 \sim 0.29 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其中河南显著高于其他种源,而鹿寨的 G_s 较低(图4)。

2.3 5种白花泡桐叶片光合特征参数间的相关分析 各种



注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图4 5个种源叶片气孔导度(G_s)

Fig. 4 Stomatal conductance of leaves among five geographical strains of *P. fortunei*

源叶片光合特征参数的相关分析结果见表2。其中 P_n 与 T_r 、 G_s 均呈极显著正相关,而与 WUE 相关性不显著; T_r 与 G_s 呈极显著正相关;WUE 与 T_r 、 G_s 呈极显著负相关。由表2可以看出 Chla 与 G_s 呈显著正相关;Chlb、Ct 均与 P_n 呈显著负相关,且与 T_r 呈极显著负相关;Ct 与 Chla 呈极显著负相关,而与 Chlb 呈极显著正相关;Chla/b 与 Chla 呈极显著正相关,但与 Chlb、Ct 呈极显著负相关;Chla/b 与光合速率、 T_r 均呈极显著正相关,且与 G_s 呈显著正相关。

表2 5个种源叶片光合特征参数间的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of the leaves photosynthetic parameters among five geographical strains of *P. fortunei*

参数 Parameters	P_n	T_r	G_s	WUE	Chla	Chlb	Ct	Chla/b
P_n	1.000							
T_r	0.625**	1.000						
G_s	0.518**	0.915**	1.000					
WUE	-0.065	-0.690**	-0.639**	1.000				
Chla	0.155	0.149	0.184*	-0.069	1.000			
Chlb	-0.219*	-0.291**	-0.163	0.176	-0.126	1.000		
Ct	-0.226*	-0.281**	-0.188*	0.168	-0.512**	0.868**	1.000	
Chla/b	0.289**	0.317**	0.231*	-0.161	0.440**	-0.917**	-0.939**	1.000

注: ** . 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * . 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; $n = 81$

Note: ** . Significant correlation at 0.01 level (bilateral); * . Significant correlation at 0.05 level (bilateral); $n = 81$

3 讨论与结论

植物叶绿素是体现植物光合特性的重要指标,而 Chla/b 是衡量植物耐阴性的重要指标,Chlb 增加有利于植物吸收蓝紫光,从而适合于在暗处生长,因而 Chla/b 越小,表明其耐阴性越强,阳性植物 Chla/b 通常大于等于 3.0 或者 2.3 [16],该试验中的白花泡桐为阳性植物而 Chla/b 均小于 2.0,可能是适应原产地生长环境而形成各自生理特性的白花泡桐,种植时间为 2016 年 3 月,而测定时间为 2016 年 8 月,林龄小,且处于环境适应期,故不符合常规阳生植物规律。

关于植物叶绿素含量与各光合作用特征数值关系的报道有许多,但由于所用器材仪器及测试方法的不同而所得结论不同。有些研究者认为植物光合色素含量与光合作用同化能力、生长发育特性和营养状况具有紧密联系 [17]。另外一些研究认为不同植物种类之间的叶绿素含量与 P_n 不呈相关性,及种类之间叶绿素含量的多少是不能反映光合速率快

慢的 [18]。该试验结果表明,5 个种源白花泡桐叶片 Ct 及 Chla/b 呈显著性差异,且 Ct 及 Chla/b 与 P_n 、 T_r 、 G_s 呈显著相关。说明白花泡桐叶片的叶绿素含量与光合作用之间有相关性。相同的条件下,不同植物的光合作用能力不同,同一植物不同种源地的光合作用能力也不同,这是由遗传特性所决定的 [19]。南丹种源叶片较河南种源而言,叶绿素含量较高,但前者的 P_n 、 T_r 及 G_s 是远小于后者的,由此可见,植物自身生理生化因素对其生长是尤为重要的。

植物叶片对于光能的吸收、传递还有利用不仅取决于植物的遗传因素 [20],而且在很大程度上取决于各个环境因子的综合作用。该试验中,5 个种源白花泡桐的差异不是特别显著,说明同一环境对不同种源综合作用程度相似。但河南种源的光合速率、 T_r 及 G_s 平均值均高于其他种源,但 WUE 低于其他种源,说明该种源的光合能力较强,对吸收光能和

3.2 道路交通规划

3.2.1 车行道路。农庄设有2个出入口,正门位于西南角,侧门位于东北方向,车行道由正门进入右转直行到侧门,在右转处岔往西北方向到达接待服务区,车行道路宽6 m,主要材质为水泥。在休闲接待区设有2个停车场,车位长5.0 m,宽2.5 m,共35个车位。

3.2.2 步行道路。步行道路以服务接待区的小院为出发点,覆盖整个农庄,主要步行道路宽2.0 m,田间小路宽1.0 m,用鹅卵石及水泥进行硬化。

由小院广场前发出,分为2个岔路,东方为去往休闲娱乐区,过娱乐区可往田园观光区。南面为去往劳作体验区及劳作体验区,以及岔回休闲娱乐区。由小院西北角发出,往西去为劳作体验区,往东北去为田园观光区。由小院东北发出,直接前往田园观光区。

3.3 景观规划 该农庄主要景观节点位于田园观光区,主要运用大片农田的开阔视野,营造出一个令人心旷神怡的风景;次要景观节点位于民俗文化区,运用彝族文化元素及野生菌文化元素;以主干道及围绕四合院的小路为景观轴线,连接景观。其中主要景观节点中,在田间增设圆台供人们休息,圆台中,运用高大树木进行遮阴和丰富景观。次要景观节点的景观结合到墙体、地砖等,将文化韵味表现出来,让游客第一时间感受到南华县金珠河丰厚的文化底蕴,在美化景

观的同时,提升了农庄的文化内涵,宣传了当地文化,同时利用彝族刺绣、竹制手工艺品打造出一个民族特色展示区。

4 结语

南华县金珠河是一个有着自然优势、田园趣味且文化丰富的地方,在这里进行休闲农庄规划十分具有活力。休闲农庄的基本功能是充分开发具有观光、旅游价值的农业资源和农业产品,把农业生产、科技应用、艺术加工和游客参与农事活动等融为一体。该设计本着自然性原则,兼顾四季原则、与当地文化相结合原则,营造出趣味性、令人放松、安逸舒适的环境,规划出一个具有特色,让人流连的农庄。

参考文献

- [1] 李继承. 休闲农业与休闲农庄[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2010.
- [2] 任国柱,吕明伟,郭焕成. 休闲农业园区规划设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 云南省南华县志编纂委员会. 南华县志[M]. 昆明:云南人民出版社,2002.
- [4] 杨甫旺,李德胜. 楚雄彝族文化史[M]. 昆明:云南民族出版社,2011.
- [5] 王云才. 现代旅游规划设计案例[M]. 青岛:青岛出版社,2004.
- [6] 刘建. 优质水稻高产高效栽培新技术. [M]. 2版. 北京:中国农业科学技术出版社,2013.
- [7] 李自学. 玉米育种与种子生产[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2010.
- [8] 程须珍,王述民. 中国食用豆类品种志[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- [9] 陈凤翔. 油菜科学栽培[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2010.
- [10] 响[J]. 东北林业大学学报,2010,38(3):47-49.
- [6] 唐焕伟,曲彦婷,张兴. 遮光对郁金香叶片叶绿素含量及叶绿体超微结构的影响[J]. 东北林业大学学报,2011,42(4):77-82.
- [7] 余诚棋,程鹏,季琳琳,等. 油茶光合作用光响应曲线的拟合[J]. 经济林研究,2012,30(1):118-120.
- [8] 韦钰星,文仕知,张希,等. 不同林龄四川桉木的光合生理特性分析[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(7):102-108.
- [9] 姜成英,莫保儒,吴文俊,等. 不同品种油橄榄的光合生理分析[J]. 经济林研究,2010,28(2):24-28.
- [10] 楚秀丽. 不同种源青钱柳苗年生长及叶内含物含量研究[D]. 南京:南京林业大学,2009.
- [11] 冯健,王莺春,颜廷武,等. 不同种源东部白松苗期光合作用研究[J]. 辽宁林业科技,2011(2):5-7.
- [12] 杨江山,种培芳,常永义. 樱桃叶片的光合特性研究[J]. 甘肃农业大学学报,2006,41(4):49-51.
- [13] 杨爱凤. 不同肥料对大平顶枣叶绿素和光合作用的影响[J]. 辽宁林业科技,2016(3):34-35.
- [14] 张正斌,山仑. 作物水分利用效率和蒸发蒸腾估算模型的研究进展[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(1):73-78.
- [15] 高丽楠,张宏,陈舒慧,等. 高原2种草本植物的光合作用和叶绿素荧光参数日动态[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),2015,38(4):550-560.
- [16] 白伟岚,任建武,高永伟,等. 园林植物的耐荫性研究[J]. 林业科技通讯,1999(2):12-15.
- [17] 冯立娟,苑兆和,尹雷雷,等. 不同大丽花品种盛花期光合色素含量的变化[J]. 山东农业科学,2010(5):40-43.
- [18] 陈华蕊. 幼龄芒果树光合特性的研究[D]. 海口:海南大学,2008.
- [19] 王玉佳,姜华,毕玉芬,等. 紫花苜蓿光合作用对干热条件的生理响应[J]. 云南农业大学学报,2011,26(2):190-193.
- [20] 郑淑霞,上官周平. 8种阔叶树种叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较[J]. 生态学报,2006,26(4):1080-1087.
- [21] 陈香波,李淑娟,李毅,等. 观赏山植耐热性及其叶片光合与叶绿素荧光特性研究[J]. 西北植物学报,2009,29(11):2294-2300.

(上接第113页)

水分的利用较低。除此之外,该试验中5个种源的 P_n 与 T_r 、 G_s 均呈极显著正相关, T_r 与 G_s 呈极显著正相关,但WUE与 T_r 、 G_s 呈极显著负相关,这与郑淑霞等^[20]、陈香波等^[21]研究结果较为一致。这体现了 P_n 与 T_r 、 G_s 有较好的协同响应的特征,且说明 T_r 作为影响WUE的因子与两者有着极密切的关系。该试验中5个种源的WUE虽有差异却不明显,这说明气孔的调节作用是不明显的。

该试验中,由于各种源长期适应原产地生长环境而形成了各自的生理特性,广西4个白花泡桐种源间光合特性表现出的差异不明显,但均与河南种源表现出显著差异,且各种源光合色素与光合特征值也表现出相关性。由于光合特性较易受到各环境因素的影响,因而试验数据需要根据不同环境的变化而进行不断的充实,光合特性的测定在辅助筛选白花泡桐种源品种中的应用还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 罗江华,李科,恩特马克·布拉提白. 白花泡桐的研究进展[J]. 贵州农业科学,2010,38(4):200-203.
- [2] 肖松江,孙振元,杨中艺,等. 3种爬山虎属植物23个生态型的耐荫性研究[J]. 中山大学学报(自然科学版),2006,45(2):73-77.
- [3] 陆奎眉,林金水,陈金河. 7种观叶小盆栽植物的光合特性与耐荫性研究[J]. 热带作物学报,2013,34(4):732-737.
- [4] 李泽,谭晓风,袁军,等. 4个油桐品种光合特性的日变化研究[J]. 中国农学通报,2013,29(25):12-15.
- [5] 张智顺,张庆贵,夏福,等. 遮阴对几种绿化植物光合特性和生长的影