

# 西南桦 24 个无性系的幼苗叶绿素荧光特性

张 培<sup>1</sup>, 郭俊杰<sup>2</sup>, 谌红辉<sup>1</sup>, 曾 杰<sup>2\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600; 2. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

**摘 要:**以 24 个西南桦无性系的组培苗为试验材料, 对其叶绿素荧光特性进行研究。结果表明: 无性系间叶绿素荧光参数  $F_o$ 、 $F_v$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$  以及  $F_v/F_m$  均差异显著 ( $p<0.05$ ); FB4、BY-1 无性系的  $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  与 A3 及 1-202 无性系差异不显著, 而显著高于绝大多数其他无性系, 说明这些无性系光合效率高; 无性系的苗高和地径均与  $F_o$  呈显著负相关, 与  $F_v$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  大多呈显著正相关; A3、FB4、1-202 和 BY-1 等 4 个无性系生长表现好且光合效率高, 可作为优良无性系在生产上推广应用。

**关键词:**西南桦; 无性系评价; 叶绿素荧光

**中图分类号:**S792.15      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)02-0126-04

## Chlorophyll Fluorescent Characteristics of Twenty-four *Betula alnoides* Clones

ZHANG Pei<sup>1</sup>, GUO Jun-jie<sup>2</sup>, CHEN Hong-hui<sup>1</sup>, ZENG Jie<sup>2\*</sup>

(1. Experimental Center of Tropical Forestry, CAF, Pingxiang, Guangxi 532600, China;

2. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

**Abstract:** Chlorophyll fluorescence characteristics of the seedlings of 24 *Betula alnoides* clones were investigated. The results showed that chlorophyll fluorescence parameters including  $F_o$ ,  $F_v$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_o$  and  $F_v/F_m$  were significantly different among these clones ( $p<0.05$ ).  $F_v/F_o$ ,  $F_v/F_m$  of FB4 and BY-1 clones did not remarkably differ from those of A3, B3 and 1-202 ( $p>0.05$ ), while were quite higher than those of the majority of other clones, indicating that these clones were of high photosynthetic efficiency. The seedling height and root collar diameter were negatively correlated with  $F_o$ , while positively correlated with  $F_v$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_m$  and  $F_v/F_o$ . The above four clones were of good growth performance and high photosynthetic efficiency, and were therefore recommended as prior clones for application in practice.

**Key words:** *Betula alnoides*; clone selection; chlorophyll fluorescence

叶绿素荧光测定技术是利用植物体内的叶绿素荧光对其光合生理状况进行测定与诊断, 能灵敏地反映植物荧光的动态变化与环境的互作关系, 还可直接或间接地了解植物光合作用过程, 是研究植物光合能力的一个重要手段<sup>[1]</sup>。叶绿素荧光测定技术具有操作简便、速度快、对植株无损伤以及结果准确等优点, 已广泛应用于农业、园艺作物以及林木的培育<sup>[2-4]</sup>。学者们利用叶绿素荧光技术, 开展了林木抗逆性评价以及林木种源和无性系选择等研究<sup>[5-10]</sup>。

西南桦 (*Betula alnoides*) 为桦木科 (Betulaceae) 桦木属 (*Betula* L.) 的一个珍贵用材树种, 在我国天然分布于云南、广西、贵州和西藏等省区。西南桦干形通直, 材质优良, 且耐干旱贫瘠, 是我国热带南亚热带地区的一个主要造林树种<sup>[11]</sup>。近几年来, 随着无性系选育工作不断取得进展, 西南桦种植业发展迎来新契机。在以往的研究中, 谌红辉<sup>[12]</sup>等 (2013) 依据生长指标对 4 年生西南桦无性系测定林进行了评价, 初步筛选出 6 个优良无性系, 然而有关

收稿日期: 2015-04-28    修回日期: 2015-07-11

基金项目: 国家“十二五”科技支撑专题“柚木黄檀西南桦新品种选育技术研究”(2012BAD01B0504); 西南桦珍贵用材林定向培育技术研究(2012BAD21B0102)。

作者简介: 张 培, 女, 硕士, 研究方向: 热带珍贵树种遗传育种。E-mail: zhangpei08@126.com

\* 通信作者: 曾 杰, 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向: 森林遗传育种。E-mail: zengjie69@163.com

西南桦无性系叶绿素荧光特性研究尚未见报道。开展无性系叶绿素荧光特性研究,并结合其生长表现进行分析,有助于揭示无性系速生性的光合生理基础,提高无性系评价的可靠性<sup>[13]</sup>。因此,本研究利用叶绿素荧光技术测定不同西南桦无性系的光合差异,分析叶绿素荧光参数与生长指标的相关性,为西南桦优良无性系的选择提供科学依据。

1 材料与方法

研究地位于广东省广州市中国林业科学研究院热带林业研究所苗圃内(23°8′N、113°17′E)。该地属于亚热带季风气候,年均气温 21.9℃,平均相对湿度 77%,年均降水量约 1 720 mm。

1.1 材料

试验材料为以黄心土为基质、采用常规方法培育的 1 年生西南桦无性系组培苗,24 个无性系的编号及生长表现详见表 1。

表 1 24 个西南桦无性系 1 年生幼苗的生长表现

Table 1 Growth performances of one-year-old seedlings of 24 *Betula alnoides* clones

无性系	苗高/cm	地径/mm	无性系	苗高/cm	地径/mm
A2	85.07±2.93	4.82±0.38	B3	66.53±8.43	4.42±0.22
A3	90.93±2.51	5.59±0.89	C5	69.30±6.92	4.85±0.30
A4	85.40±8.12	5.08±0.72	C6	74.93±1.89	4.96±0.59
A5	48.90±3.44	3.55±0.19	Q1	77.27±5.06	4.60±0.51
A12	74.00±6.61	4.31±0.50	Q2	68.73±3.98	4.14±0.07
A13	70.30±7.85	4.04±0.20	FB02	58.83±8.90	3.81±0.13
A14	87.10±10.29	4.72±0.33	FB4	91.47±10.45	6.13±0.83
A15	54.67±9.09	4.09±0.74	FB4+	61.67±4.83	3.99±0.36
A16	49.07±10.28	3.76±0.18	1-202	102.77±6.86	5.24±0.86
A17	72.33±7.21	4.79±0.43	0104	77.90±6.58	4.11±0.55
B1	58.77±10.84	3.96±0.79	VY-4	80.07±9.92	4.41±0.72
B2	55.27±0.85	4.01±0.33	BY-1	92.97±6.25	5.39±0.28

注:表中数据为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 叶绿素荧光参数比较

方差分析结果(表 2)表明,24 个西南桦无性系间各叶绿素荧光参数的差异均达到了显著水平( $p<0.05$ ),说明西南桦不同无性系对光能利用存在显著差异。初始荧光  $F_o$  反映光系统 PSⅡ 反应中心全部开放即 QA(质体醌)全部氧化时的荧光水平,以 B1、B2、0104、A16 等 4 个无性系为最大,显著高于大多数无性系,以 Q2、A17、B3、A4 等 4 个无性系为最小值。 $F_m$  和  $F_v$  值分别反映了 PSⅡ 的电子传递状况和潜在活性,FB4、0104、A3、FB02、BY-1、1-202 无性系具有较高的  $F_m$  与  $F_v$  值。 $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  均以 FB4、BY-1 无性系为最大,与 A3、B3 以及 1-202 无性系差异不显著,而显著高于其他无性系。

1.2 试验方法

选取无病虫害、生长良好的西南桦无性系幼苗,每个无性系选择 3 株,从每株苗木上选择 1 片成熟叶片(从顶芽开始第 4 或 5 片叶)。2014 年 10 月,选择晴朗无风天气,于 8:00—11:00 之间,采用 OS-30p+ 便携式叶绿素荧光测定仪(美国 Opti-Sciences 公司生产)测定所选叶片的各种叶绿素荧光动力学参数。

测定时,先将待测叶片暗适应 20 min,设置调制光光强,直接测量获取初始荧光  $F_o$ ,最大荧光  $F_m$ ,可变荧光  $F_v$ ,PSⅡ 最大光化学效率或原初光能转换效率  $F_v/F_m$  和 PSⅡ 的潜在活性  $F_v/F_o$  的数值。

采用 SPSS13.0 对各无性系的叶绿素荧光参数进行方差分析、Duncan 多重比较,并将幼苗生长表现与叶绿素荧光参数进行相关性分析,相关系数采用 Pearson 系数。

2.2 生长指标与叶绿素荧光参数的相关性分析

相关性分析结果显示(表 3),西南桦无性系的苗高、地径与绝大部分叶绿素荧光参数相关显著。其中苗高和地径与  $F_o$  分别呈显著( $p<0.05$ )、极显著( $p<0.01$ )负相关,与  $F_v$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  呈正相关,且大多达到了极显著水平; $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  与  $F_o$  呈负相关,与  $F_v$ 、 $F_m$  呈正相关,且均达到了极显著水平。

3 结论与讨论

叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$  值反映光系统 PSⅡ 的光化学效率,在正常光照条件下,其值波动范围为 0.75~0.85,若低于 0.75,说明植物受到了光抑制<sup>[7]</sup>。对 24 个西南桦无性系的幼苗叶绿素荧光参数研究结果显示,所有无性系基本上处于正常值范围内,说明广州 10 月份的天气状况适合参试的所有

表 2 24 个西南桦无性系的叶绿素荧光参数

Table 2 Chlorophyll fluorescence parameters of 24 *B. alnoides* clones

无性系	<i>F</i> o	<i>F</i> m	<i>F</i> v	<i>F</i> v/ <i>F</i> o	<i>F</i> v/ <i>F</i> m
A2	212.33±4.73defg	828.67±6.43cd	616.33±6.03bc	2.90±0.08bc	0.74±0.01bc
A3	209.00±8.00cdef	1008.00±15.13l	799.00±10.82k	3.83±0.14kl	0.79±0.01ijk
A4	196.67±6.51abc	811.33±12.50bc	614.67±8.02bc	3.13±0.09cdef	0.76±0.01cdef
A5	214.67±7.64efg	743.00±12.53a	528.33±8.96a	2.46±0.09a	0.71±0.01a
A12	197.67±5.51abc	833.67±11.24d	636.00±15.62cd	3.22±0.16defg	0.76±0.01def
A13	201.33±7.51bcd	924.33±8.02i	723.00±1.00g	3.59±0.13ijk	0.78±0.01hij
A14	206.00±5.29cdef	875.67±9.29fgh	669.67±12.50ef	3.25±0.13defg	0.76±0.01def
A15	216.00±5.57fg	882.00±11.53fgh	666.00±12.49ef	3.09±0.12bcdef	0.76±0.01bcde
A16	228.67±9.02hi	874.00±11.53fg	645.33±13.50de	2.83±0.15b	0.74±0.01b
A17	188.00±6.56a	844.00±12.77de	656.00±19.31def	3.49±0.23ghij	0.78±0.01ghi
B1	231.67±6.66i	984.00±15.72k	752.33±16.50hi	3.25±0.13defg	0.76±0.01efg
B2	230.00±7.94i	885.00±8.89gh	655.00±16.46def	2.85±0.17bc	0.74±0.01bc
B3	192.00±6.08ab	926.00±14.93i	734.00±17.58gh	3.83±0.19kl	0.79±0.01ijk
C5	198.00±7.21abc	862.67±10.02ef	664.67±10.97ef	3.36±0.15fghi	0.77±0.01fgh
C6	197.33±6.81abc	795.00±13.11b	597.67±10.21b	3.03±0.11bcde	0.75±0.01bcde
Q1	221.00±5.57ghi	886.67±12.66gh	665.67±16.17ef	3.01±0.14bcd	0.75±0.01bcde
Q2	187.00±6.00a	805.33±10.02b	618.33±15.82bc	3.31±0.19efgh	0.77±0.01fgh
FB02	217.33±7.51fgh	1007.33±14.74l	790.00±21.93k	3.64±0.23jk	0.78±0.01ghi
FB4	197.67±7.09abc	989.67±15.31kl	792.00±21.66k	4.01±0.25l	0.80±0.01k
FB4+	208.33±4.93cdef	952.00±11.53j	743.67±7.09ghi	3.57±0.06hijk	0.78±0.00ghi
1-202	207.33±2.52cdef	995.67±12.06kl	788.33±10.97jk	3.80±0.06kl	0.79±0.00ijk
0104	229.67±1.53i	996.00±10.54kl	766.33±9.02ij	3.34±0.02fghi	0.77±0.00fgh
VY-4	222.33±8.33ghi	896.67±10.79h	674.33±12.66f	3.04±0.15bcde	0.75±0.01bcd
BY-1	203.67±4.16bcde	1007.67±11.24l	804.00±10.15k	3.95±0.09l	0.80±0.00k

注:表中数据为平均值±标准差;小写字母为多重比较结果,无性系间具相同字母表示差异不显著( $p>0.05$ ),字母不同表示差异显著( $p<0.05$ )。

表 3 西南桦无性系苗高、地径与叶绿素荧光参数的相关性

Table 3 Relationship between seedling height, collar diameter and chlorophyll fluorescence parameters of *B. alnoides* clones

项目	苗高	地径	<i>F</i> o	<i>F</i> v	<i>F</i> m	<i>F</i> v/ <i>F</i> o
地径	0.729**					
<i>F</i> o	-0.283*	-0.381**				
<i>F</i> v	0.348**	0.296*	0.078			
<i>F</i> m	0.284*	0.216	0.261*	0.983**		
<i>F</i> v/ <i>F</i> o	0.450**	0.468**	-0.478**	0.836**	0.721**	
<i>F</i> v/ <i>F</i> m	0.454**	0.460**	-0.475**	0.825**	0.711**	0.985**

注: \*\* 表示极显著相关( $p<0.01$ ), \* 表示显著相关( $p<0.05$ )。

西南桦无性系的幼苗生长,未发生明显的光抑制。24 个西南桦无性系间叶绿素荧光参数 *F*o、*F*v、*F*m、*F*v/*F*o 以及 *F*v/*F*m 均差异显著( $p<0.05$ )。

林定达<sup>[8]</sup>等对芳樟无性系以及吕芳德<sup>[13]</sup>等对美国山核桃无性系的叶绿素荧光特性研究显示:*F*v/*F*o 和 *F*v/*F*m 二者的数值越高,所捕获的光能可更有效地转化为植物所需的化学能,这 2 个参数已被公认为是反映叶片光合效率的重要依据。在本研究中,A3、FB4、1-202 和 BY-1 等 4 个西南桦无性系的幼苗 *F*v/*F*o 与 *F*v/*F*m 明显高于绝大多数其他无性系(B3 无性系例外),说明其 PSⅡ反应中心的光能捕获效率高,能更有效地将光能转化为其生长所需的化学能。

相关性分析表明,西南桦无性系幼苗的苗高、地

径与 *F*v/*F*o 与 *F*v/*F*m 呈极显著正相关,说明西南桦无性系的 PSⅡ光化学功能与其生长表现密切相关,光合活性越强,生长表现则越好,这与张杰<sup>[14]</sup>等对不同蒙古栎种源叶绿素荧光特性的研究结果类似。西南桦无性系幼苗的苗高、地径与 *F*o 呈负相关,而 *F*o 是代表色素所吸收的全部光能中,不参与光化学反应的一部分能量,*F*o 升高说明色素吸收的光能,参与光化学反应的能量减少,以热量和荧光形式散失的部分增加。刘亚丽<sup>[15]</sup>等研究水分胁迫对脂松幼苗叶绿素荧光特征的影响也证明,*F*o 可用于度量色素吸收的光量中以热和荧光形式散失的能量;吕芳德<sup>[16]</sup>等对 5 种红山茶叶绿素荧光特性的研究发现,不同无性系红山茶 *F*o 与叶绿素含量有关。叶绿素含量可通过光谱特性进行测定,在今后的相

关研究中可结合叶片大小及厚度、叶片营养、光照强度等生长及生理指标做进一步的试验分析。

在前期研究中,谌红辉<sup>[12]</sup>等评价了 4 年生西南桦无性系测定林,从 20 个无性系中选择出 6 个优良无性系,参试的无性系绝大部分与本试验相同,只是其无性系编号依据生长表现优劣排名进行重新编号,经过比对发现,本研究中光合效率高、生长表现好的 BY-1、FB4、1-202 和 A3 在谌红辉<sup>[12]</sup>等的研究中分列第 1、第 2、第 6 和第 9 名。由此可见,生长调查结合叶绿素荧光特性研究有助于提高优良无性系选择的可靠性。

综上所述,A3、FB4、1-202 和 BY-1 等 4 个西南桦无性系的生长表现好且光合剪效率高。因此,建议生产上采用此 4 个无性系推广造林。

**致谢:**尚帅斌、刘丹参与叶绿素荧光测定,特此致谢!

参考文献:

[1] 林世青,许春辉,张其德,等. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的作用[J]. 植物学通报,1992,9(1):1-16.  
LIN S Q, XU C H, ZHANG Q D, *et al.* Some application of chlorophyll fluorescence kinetics to plant stress physiology phytoecology and agricultural modernization[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1992, 9(1): 1-16. (in Chinese)

[2] 孙志勇,季孔庶. 干旱胁迫对 4 个杂交鹅掌楸无性系叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 35-39.  
SUN Z Y, JI K S. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence of four hybrid tulip clones[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4): 35-39. (in Chinese)

[3] 刘立云,李艳,杨伟波,等. 不同品种油茶叶绿素荧光参数的比较研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(5): 886-889.  
LIU L Y, LI Y, YANG W B, *et al.* Comparisons of the chlorophyll fluorescence parameters in different *Camellia oleifera* varieties[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(5): 886-889. (in Chinese)

[4] 温国胜,田海涛,张明如,等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1973-1977.  
WEN G S, TIAN H T, ZHANG M R, *et al.* Application of chlorophyll fluorescence analysis in forest tree cultivation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(10): 1973-1977. (in Chinese)

[5] 蔡晓明,卢宇蓝,施季森. 一球悬铃木无性系耐旱性研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 19-24.  
CAI X M, LU Y L, SHI J S. Drought resistance of pure-clonic forms of *platanus occidentalis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6): 19-24. (in Chinese)

[6] 林哈,陈辉,吴承祯,等. 千年桐种源间叶绿素荧光特性的比较[J]. 福建农林大学学报:自然科学版, 2012, 41(1): 34-39.  
LIN H, CHEN H, WU C Z, *et al.* Comparison of chlorophyll fluorescent characteristics of *Aleurites montana* among different provenances[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Nat. Sci. Edi., 2012, 41(1): 34-39. (in Chinese)

[7] 孙红英,曹光球,辛全伟,等. 香樟 8 个无性系叶绿素荧光特征比较[J]. 福建林学院学报, 2010, 30(4): 309-313.

[8] 林达定,张国防,于静波,等. 芳樟不同无性系叶片光合色素含量及叶绿素荧光参数分析[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(3): 56-61.  
LIN D D, ZHANG G F, YU J B, *et al.* Analyses of photosynthetic pigment content and chlorophyll fluorescence parameter in leaves of different clones of *Cinnamomum camphora* [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2011, 20(3): 56-61. (in Chinese)

[9] 杜鹏珍,廖绍波,孙冰,等. 班克木幼苗的光合色素及叶绿素荧光特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(9): 49-54.  
DU P Z, LIAO S B, SUN B, *et al.* Photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescent characteristics of 17 provenances of *Banksia* seedlings [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2014, 34(9): 49-54. (in Chinese)

[10] 赵曦阳,王军辉,张金凤,等. 楸树无性系叶绿素荧光及生长特性变异研究[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(3): 41-47.  
ZHAO X Y, WANG J H, ZHANG J F, *et al.* Variation analysis on chlorophyll fluorescence and growth traits of *Catalpa bungei* clones [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34(3): 41-47. (in Chinese)

[11] 曾杰,郭文福,赵志刚,等. 我国西南桦研究的回顾与展望[J]. 林业科学研究, 2006, 19(3): 379-384.

[12] 谌红辉,贾宏炎,郭文福,等. 西南桦无性系测定与评价[J]. 林业实用技术, 2013(6): 11-13.

[13] 吕芳德,徐德聪,蒋瑶. 美国山核桃无性系叶绿素的荧光特性[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(2): 18-21.

[14] 张杰,邹学忠,杨传平,等. 不同蒙古栎种源的叶绿素荧光特性[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(3): 21-22.  
ZHANG J, ZOU X Z, YANG C P, *et al.* The chlorophyll fluorescence characteristic of *Quercus mongolica* from different provenances[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2005, 33(3): 21-22. (in Chinese)

[15] 刘亚丽,王庆成,杨远彪. 水分胁迫对脂松幼苗叶绿素荧光特征的影响[J]. 植物研究, 2011, 31(2): 175-179.  
LIU Y L, WANG Q C, YANG Y B. Effects of water stress on chlorophyll fluorescence of red pine seedlings[J]. Bulletin of Botanical Research, 2011, 31(2): 175-179. (in Chinese)

[16] 吕芳德,徐德聪,侯红波,等. 5 种红山茶叶绿素荧光特性的比较研究[J]. 经济林研究, 2003, 21(4): 4-7.  
LV F D, XU D C, HOU H B, *et al.* Comparative study on chlorophyll fluorescence character of five kinds of *Camellia* [J]. Economic Forest Researches, 2003, 21(4): 4-7. (in Chinese)