

网络出版时间:2016-08-09 09:41

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.09.030

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160809.0941.060.html

濒危珍稀植物对开蕨组培苗的光适应性研究

赵超¹, 才燕¹, 黄祥童², 董然¹, 顾德峰¹, 严海燕¹

(1 吉林农业大学园艺学院, 吉林 长春 130118; 2 长白山科学研究院, 吉林 二道白河 133613)

【摘要】【目的】研究适宜国家二级濒危珍稀植物对开蕨(*Phyllitis scolopendrium*)组培苗生长的光照条件, 为其推广栽培提供技术指导。【方法】通过盆栽试验, 在温度 25~36 ℃, 相对湿度 55%~65% 条件下, 于温室内设置 4 种光照处理 T1(CK)无遮光, T2 遮光 56%, T3 遮光 78%, T4 遮光 97%, 对应光照强度分别为 17 863~18 322, 7 520~8 253, 3 788~4 020, 342~435 lx。通过测定不同光照强度下 3 年生对开蕨组培苗的形态指标及光合色素含量、净光合速率日变化、光合—光照强度响应曲线和叶绿素荧光参数等指标, 筛选适宜对开蕨组培苗生长发育的光照条件。【结果】经遮阴处理(除 T4 处理外)的对开蕨组培苗较对照组叶片变薄, 比叶重降低, 单叶面积增大, 叶绿素含量增多。随光照强度减小, P_n 日均值、 L_{UE} 、 P_{max} 、 A_{QY} 和 $\Phi PS II$ 均表现出先增后降的变化趋势, 并在 T2 处理下达到最大, T4 处理最小; $Chl a/b$ 、 L_{CP} 、 L_{SP} 、 R_d 、 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 F_v'/F_m' 、 qP 及 NPQ 均呈下降趋势。T1 处理的 P_n 日变化呈“双峰”曲线, T2、T3、T4 处理呈“单峰”曲线。【结论】4 组处理中以 T2 处理的植株生长状态最好, 故认为对开蕨组培苗生长的最适光照强度是 7 520~8 253 lx。

【关键词】 对开蕨; 组培苗; 光照强度; 形态特征; 光合作用; 叶绿素荧光特性

【中图分类号】 S682.35

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)09-0221-07

Light adaption of tissue-cultured seedlings of rare and endangered *Phyllitis scolopendrium*

ZHAO Chao¹, CAI Yan¹, HUANG Xiangtong²,
DONG Ran¹, GU Defeng¹, YAN Haiyan¹

(1 College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

2 Changbai Mountain Academy of Sciences, Erdaobaihe, Jilin 133613, China)

Abstract: 【Objective】 This study selected the optimal light condition for *Phyllitis scolopendrium* tissue-cultured seedlings to promote the cultivation techniques. 【Method】 Three-year-old tissue-cultured seedlings of *P. scolopendrium* were planted in pots to study the light adaptation by comparing the changes in morphological indexes, chloroplast pigment content, diurnal variation of net photosynthetic rate, photosynthetic light-response curve and chlorophyll fluorescence parameters under light shading conditions of 0% (T1, control 17 863—18 322 lx), 56% (T2, 7 520—8 253 lx), 78% (T3, 3 788—4 020 lx) and 97% (T4, 342—435 lx). The temperature was 25—36 ℃ and relative humidity was 55%—65%. 【Result】 The leaves of shaded seedlings were much thinner, the SLW were lower, the chlorophyll increased and the area of new-fledged leaves were larger compared to full light (except T4). With the increase of shading rate, the daily averages of P_n , L_{UE} , P_{max} , A_{QY} and $\Phi PS II$ fluctuated with increase first followed by decrease. All

【收稿日期】 2015-03-11

【基金项目】 “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD22B0401); 吉林省科技发展计划项目(20110262)

【作者简介】 赵超(1987—), 男, 山西太原人, 在读硕士, 主要从事园林植物资源与种质创新研究。E-mail: barry_zc@163.com

【通信作者】 董然(1964—), 女, 吉林敦化人, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事长白山特色园林植物研究。

E-mail: Dongr999@163.com

maximum values appeared in T2 and the minimum values appeared in T4. The Chl a/b, L_{CP} , L_{SP} , R_d , F_v/F_m , F_v/F_o , F_v'/F_m' , qP and NPQ decreased with the increase of shading rate. The diurnal variation of P_n followed a bimodal curve in T1 unimodal curve in T2, T3 and T4. 【Conclusion】 The best growth rate was obtained under T2 treatment, and the most suitable light condition to *P. scolopendrium* tissue-cultured seedlings was 7 520—8 253 lx.

Key words: *Phyllitis scolopendrium*; tissue-cultured seedlings; light intensity; morphological characteristics; photosynthesis; chlorophyll fluorescence characteristic

对开蕨(*Phyllitis scolopendrium*)别名东北对开蕨,为铁角蕨科(Aspleniaceae)对开蕨属(*Phyllitis*)多年生常绿草本植物,国家二级濒危珍稀保护植物。其叶形独特,四季常青,可作盆栽观赏或园林绿化;全草均可入药,用于消炎、止痛等病症^[1]。近年来关于对开蕨的研究主要集中在解剖学^[2-4]、栽培繁殖^[5-8]和环境适应性^[9-12]等方面。

光对植物的生长发育有十分重要的影响,通过研究植物对光的适应性,能更好地了解其生态习性,对生产栽培意义重大。岳桦等^[11]曾研究发现,对开蕨适宜的光环境为自然光下遮光 50%~70%,但关于其组培苗最适光环境的研究尚未见报道。本试验以 3 年生对开蕨组培苗为材料,在温室内采用人工遮阴的方法模拟不同光照环境,通过测量形态特征、光合生理及叶绿素荧光参数等指标来研究对开蕨组培苗对不同光照强度的适应性,探究其光适应幅度,寻求其最适光照强度范围,以期对对开蕨组培苗的人工栽培及推广应用提供理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为吉林农业大学园艺学院培养的 3 年生对开蕨组培苗,选取生长健壮、长势一致的盆栽材料进行试验。

1.2 试验处理

试验于 2013 年 5—9 月在吉林农业大学园艺基地进行,为满足对开蕨组培苗对温湿度的需求,试验在温室内完成,室内温度为 25~36 ℃,相对湿度 55%~65%;试验用苗均栽培于内径 19 cm、高 20 cm 的塑料花盆内,以草炭作为栽培基质,下层垫石砾防止积水。用透光率不同的黑色遮阴网搭设遮阴棚(长 3 m×宽 1.5 m×高 1.5 m,棚间距 2 m),共设置 4 个光照强度处理,遮光率分别为 0(T1),56%(T2),78%(T3) 和 97%(T4),试验期间每月选 3 个晴天,采用浙江托普仪器公司生产的 DJL-18 型温湿光三参数记录仪,于中午测定各处理一天中最大

的光照强度范围。经测定,各处理对应光照强度为: T1(CK)17 863~18 322 lx, T2 7 520~8 253 lx, T3 3 788~4 020 lx, T4 342~435 lx。每处理 5 盆,每盆 1 株,重复 3 次,即每个处理 15 株,共 60 株,给予正常的水分管理。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 形态指标的测定 每处理选取 3 盆植株,每株选 3 片新叶,测定叶面积、叶片厚度。从新叶完全展开时进行第一次测量,以后每 10 d 测定一次,直至被观测叶片无明显变化为止。叶面积测定采用数码相机拍照法^[13];叶片厚度用游标卡尺测量,精确到 0.001 cm;同时统计新增叶片数、带孢子囊叶片数,并选取成熟功能叶来测定比叶重(SLW), $SLW(mg/cm^2) = \text{叶片干质量} / \text{叶面积}$ 。

1.3.2 光合色素含量的测定 试验处理 3 个月,待叶片光合特性测定后,各处理分别采摘 6 片叶并利用乙醇浸泡法^[14]测定光合色素含量,包括叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)、总叶绿素(Chl)、叶绿素 a/b(Chl a/b)和类胡萝卜素。

1.3.3 光合日变化的测定 于 8 月中旬植株生长旺季选取 3 个晴朗无云之日,采用 CIRAS-2 型便携式光合仪,使用开放气路,分 3 d 对其光合日变化进行测定。选择不同处理下未着生孢子囊的成熟功能叶(每处理 3 株,每株 3 片叶),从 07:00—17:00 每 2 h 测定其净光合速率(P_n),同时记录光合有效辐射(PAR)、大气温度(T_a)等环境因子的日变化。

1.3.4 光合-光照强度响应曲线的测定 试验处理 3 个月后,于晴天选择不同处理下未着生孢子囊的成熟功能叶(每处理 3 株,每株 3 片叶),利用光合仪的内置 LED 红蓝光源分别在 PAR 为 1 400, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 300, 200, 100, 50, 0 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 的光照梯度下测定其净光合速率,依据 Bassman 等^[15]的方法拟合绘制光合-光响应(P_n -PAR)曲线,用 SPSS 19.0 软件拟合光饱和点(L_{SP})、光补偿点(L_{CP})、暗呼吸速率(R_d)、最大净光合速率(P_{max})及表观量子效率(A_{QY})。

1.3.5 叶绿素荧光参数的测定 试验处理 3 个月
后,于晴天选择不同处理下未着生孢子囊的成熟功
能叶(每处理 3 株,每株 3 片叶),在 CIRAS-2 型便
携式光合仪荧光模式下测定叶绿素荧光诱导动力学
参数,包括初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、稳态荧
光(F_s)及光适应下的最大荧光(F_m')和最小荧光
(F_0'),计算出可变荧光(F_v)、PSⅡ原初光能转化效
率(F_v/F_m)、PSⅡ潜在活性(F_v/F_0)、光适应下可
变荧光(F_v')、PSⅡ天线效率(F_v'/F_m')、光化学淬
灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(NPQ)、PSⅡ实际
光量子效率($\Phi PSⅡ$)等参数,其中, $F_v = F_m - F_0$,
 $F_v' = F_m' - F_0'$, $qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_0')$,
 $NPQ = (F_m - F_m')/F_m$, $\Phi PSⅡ = (F_m' - F_s)/F_m'$ 。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件进行数据

表 1 不同光照强度对对开蕨组培苗形态指标的影响

处理 Treatment	新生叶单叶面积/cm ² Single leaf area of new leaves	叶片厚度/cm Leaf thickness	新增叶片数 New leaves number	新增带孢子囊 叶片数 New leaves of take sporangia number	比叶重/(mg·cm ⁻²) Specific leaf weight
T1	42.75±6.47 bB	0.448±0.041 5 aA	10.8±2.77 aA	2.8±0.83 bAB	5.71±0.380 aA
T2	65.05±7.17 aA	0.336±0.035 8 bB	7.0±1.58 bB	4.4±1.67 aA	3.76±0.296 bB
T3	57.21±7.96 aA	0.328±0.033 5 bcB	3.8±0.84 cC	1.8±1.30 bcBC	2.63±0.271 cC
T4	28.05±2.04 cC	0.280±0.037 4 cB	1.2±0.84 dC	0.4±0.54 cC	2.19±0.145 cC

注:表中数据为“平均值±标准差”;同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下
表同。
Note:The data in the table are “means±standard” deviation. Lowercase and capital letters indicate significant different at $P<0.05$ or $P<$
0.01, respectively. The same below.

另外通过表形观测发现,T1 处理叶片小而皱
缩,叶色浅淡,观赏效果较差;T2、T3 处理植株生长
相对较好,其中 T2 处理新增叶片数和带孢子囊叶
片数均大于 T3 处理;T4 处理叶片出现黄化现象,
可能是因光照强度过低而使植物碳同化量不足而对
生长产生不利影响所致。

2.2 不同光照强度对对开蕨组培苗光合色素含量
的影响

光照强度对植物光合色素的合成有重要影响。
如表 2 所示,随着光照强度的减弱,对开蕨组培苗叶
绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)和总叶绿素(Chl)含

处理。

2 结果与分析

2.1 不同光照强度对对开蕨组培苗形态指标的影响

试验处理 60 d 后,4 个不同光照处理下的对开
蕨组培苗在形态方面产生了明显差异。随光照强度
的减弱,叶片厚度、新增叶片数和比叶重都呈下降趋
势,而新生叶单叶面积和新增带孢子囊叶片数均先
增后降,并都以 T2 处理最大,T4 处理最小(表 1)。
T1 处理叶片数量多而叶面积小,说明光照强度增大
会促进对开蕨组培苗叶原基分化进而使叶片数量增
多,但会使单片叶面积减小,叶片增厚;T4 处理植株
的上述指标均为最小,说明光照强度过低会抑制对
开蕨组培苗的生长。

量都先升后降,且均表现为 $T3>T2>T1>T4$,表
明随着外界光照强度的减弱,对开蕨组培苗可以通
过增加叶绿素含量来增强对弱光的吸收利用以适应
弱光环境,但光是叶绿素合成的必需条件,遮阴过度
会导致叶绿素合成受阻,因此 T4 处理叶片中叶绿
素含量大幅降低。遮阴使叶绿素 a/b 值降低,与 T1
处理相比,T2、T3 和 T4 处理的 Chl a/b 值分别下
降了 6.4%,8.9%和 10.2%($P<0.01$)。3 种遮阴
处理下的类胡萝卜素含量变化不明显,为 0.197~
0.205 mg/g,但均显著高于对照 T1 处理($P<$
0.05)。

表 2 不同光照强度对对开蕨组培苗光合色素含量的影响

处理 Treatment	叶绿素 a/ (mg·g ⁻¹) Chlorophyll a	叶绿素 b/ (mg·g ⁻¹) Chlorophyll b	总叶绿素/ (mg·g ⁻¹) Chlorophyll	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	类胡萝卜素/ (mg·g ⁻¹) Carotenoid
T1	0.729±0.023 cC	0.333±0.027 cBC	1.062±0.028 cC	2.192±0.025 aA	0.149±0.012 b
T2	0.793±0.026 bB	0.387±0.021 bB	1.180±0.023 bB	2.051±0.022 bB	0.205±0.013 a
T3	0.987±0.027 aA	0.490±0.031 aA	1.468±0.033 aA	1.997±0.029 cBC	0.200±0.014 a
T4	0.587±0.037 dD	0.298±0.035 cC	0.085±0.041 dD	1.969±0.036 cC	0.197±0.016 a

2.3 不同光照强度对对开蕨组培苗光合日变化的影响

不同光照强度下对开蕨组培苗净光合速率(P_n)、光合有效辐射(PAR)和大气温度(T_a)日变化如图 1 所示。由图 1 可见, PAR 与 T_a 均随光照强度的减弱而降低。 T_2 、 T_3 、 T_4 处理对开蕨组培苗 P_n 日变化为“单峰”型曲线,未出现光合“午休”现象;而 T_1 处理 P_n 日变化则是“双峰”型曲线,在 13:00 表现出明显的光合“午休”现象。 T_2 和 T_3 处理的 P_n 峰值出现在 13:00,分别为 2.05 和 1.25 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; T_4 处理的峰值则出现在 11:00,大小为 0.30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; T_1 处理 P_n 的两个峰值分别出现在 11:00 和 15:00,分别为 1.41 和 0.85

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

由 P_n 日均值与平均光合有效辐射之比计算各处理的光能利用效率(L_{UE})(表 3)可知,随着光照强度的减弱, P_n 日均值和 L_{UE} 均先升后降。 P_n 日均值的大小顺序为: $T_2>T_1>T_3>T_4$,与 T_2 处理相比, T_1 、 T_3 、 T_4 处理 P_n 日均值分别减小了 35.0%, 57.8% 和 115.7% ($P<0.01$); L_{UE} 的大小顺序为: $T_2>T_3>T_1>T_4$, T_3 、 T_1 、 T_4 处理分别较 T_2 减小了 24.4%, 70.9% 和 254.6% ($P<0.01$)。这 2 项指标均以 T_2 最大,表明 T_2 处理对开蕨组培苗光合效率最高,对光的利用能力最强;而 T_4 处理的 P_n 日均值和 L_{UE} 均为负值,说明对开蕨组培苗在这种极弱光下的光合同化量无法满足其正常生长。

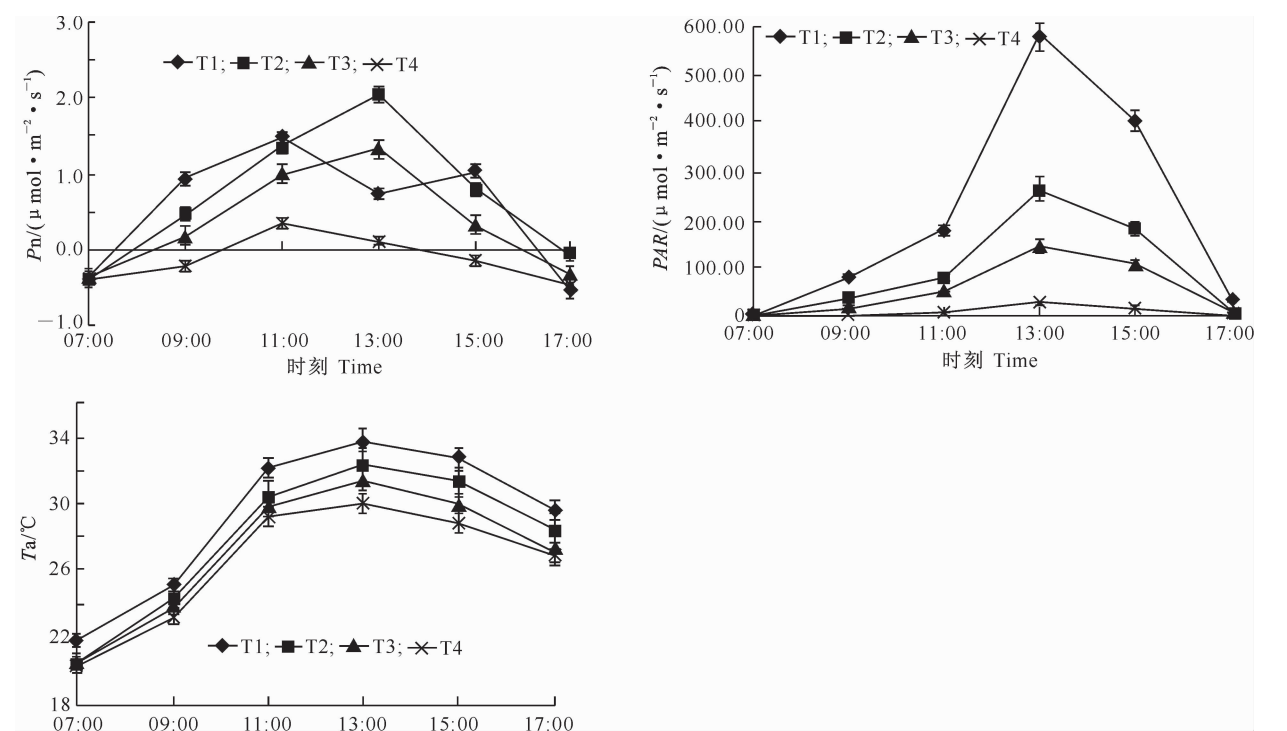


图 1 不同光照强度下对开蕨组培苗光合指标的日变化
Fig. 1 Diurnal variations of photosynthetic indexes of *Phyllitis scolopendrium* tissue-cultured seedlings in different light intensity

表 3 不同光照强度对对开蕨组培苗 P_n 日均值及光能利用效率的影响

Table 3 Effects of light intensity on daily averaged P_n and solar energy use efficiency of *Phyllitis scolopendrium* tissue-cultured seedlings

处理 Treatment	净光合速率日均值/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ Daily averages of net photosynthetic rate	光能利用效率/% Solar energy use efficiency
T1	0.54 ± 0.08 bB	0.25 ± 0.03 cC
T2	0.83 ± 0.10 aA	0.86 ± 0.02 aA
T3	0.35 ± 0.12 bB	0.65 ± 0.02 bB
T4	-0.13 ± 0.06 cC	-1.33 ± 0.07 dD

2.4 不同光照强度对对开蕨组培苗光合-光照强度响应曲线的影响

如图 2 所示,各处理中对开蕨组培苗的光合-光

照强度响应曲线的变化趋势基本一致,均有快速增加、饱和与下降 3 个阶段。当光合有效辐射(PAR)小于 50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,随 PAR 的增加 P_n 快速

升高,其中 T1 处理的斜率较其他 3 个处理相对较小,表明该处理下对开蕨组培苗对弱光的响应不如其他 3 个处理敏感;当 PAR 达到各自的光饱和点 (L_{SP})后,随着 PAR 的继续增加,T2、T3、T4 处理的 P_n 均有明显下降,而 T1 处理则相对平稳,表明当光照强度大于光饱和点时,遮阴处理的对开蕨组培苗更容易遭受光抑制,而 T1 处理中的植株较其他 3 个处理对强光的利用及适应能力更强。

遮阴导致光饱和点 (L_{SP})、光补偿点 (L_{CP}) 和暗呼吸速率 (R_d) 均有所降低(表 4),表明对开蕨组培苗在弱光环境下可大幅降低 L_{SP} 、 L_{CP} 以提高其对弱光的利用能力,降低呼吸消耗以维持植株的正常生长,并且 T2、T3 处理的最大净光合速率 (P_{max}) 较 T1 处理还有所上升,分别增加了 91.1% 和 61.9%,表现出了对弱光的较强适应性。表观量子效率 (A_{QY})除 T4 处理较低外,其余 3 个处理间无显著差

表 4 不同光照强度下对开蕨组培苗的光合-光响应曲线参数

Table 4 Photo response curve of <i>Phyllitis scolopendrium</i> tissue-cultured seedlings with different light intensities					
处理 Treatment	光饱和点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) L_{SP}	光补偿点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) L_{CP}	暗呼吸速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) R_d	最大净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) P_{max}	表观量子效率 A_{QY}
T1	806±56 aA	81±3 aA	1.450±0.054 aA	1.993±0.325 cB	0.026 8±0.001 3 aA
T2	617±32 bB	38±2 bB	0.930±0.048 bB	3.809±0.267 aA	0.027 3±0.002 1 aA
T3	533±68 bB	35±2 bcB	0.822±0.061 cB	3.227±0.386 bA	0.025 6±0.001 4 aA
T4	310±24 cC	33±2 cB	0.450±0.023 dC	0.845±0.237 dC	0.019 7±0.001 2 bB

2.5 不同光照强度对对开蕨组培苗叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光参数可以快速、准确地反映植物叶片光合系统的光合能力及受损程度^[16]。如表 5 所示,PSⅡ原初光能转化效率 (F_v/F_m)、PSⅡ潜在活性 (F_v/F_o)、PSⅡ天线效率 (F_v'/F_m')、光化学淬灭系数 (qP)和非光化学淬灭系数 (NPQ)均随光照强度减小呈下降趋势,但除 T4 处理下降显著 ($P < 0.05$)外,其余 3 个处理均变化不明显,说明 T1、

表 5 不同光照强度下对开蕨组培苗的叶绿素荧光参数

Table 5 Chlorophyll fluorescence parameters of <i>Phyllitis scolopendrium</i> tissue-cultured seedlings with different light intensities						
处理 Treatment	F_v/F_m	F_v/F_o	F_v'/F_m'	qP	NPQ	$\Phi PS II$
T1	0.794±0.001 2 aA	3.848±0.32 a	0.737±0.003 a	0.926±0.048 aA	0.561±0.11 a	0.621±0.055 ab
T2	0.791±0.000 9 aA	3.787±0.28 a	0.735±0.009 a	0.875±0.052 aAB	0.383±0.08 ab	0.643±0.049 a
T3	0.784±0.001 3 aA	3.694±0.34 a	0.733±0.006 a	0.836±0.053 abAB	0.346±0.09 b	0.617±0.048 ab
T4	0.746±0.001 5 bB	3.101±0.35 b	0.724±0.005 a	0.743±0.055 bB	0.290±0.13 b	0.538±0.052 b

3 讨论与结论

在一定范围内,植物会通过自身形态、生理等方面的调节来适应外界光照环境的改变,在强光下往

异 ($P > 0.05$)。

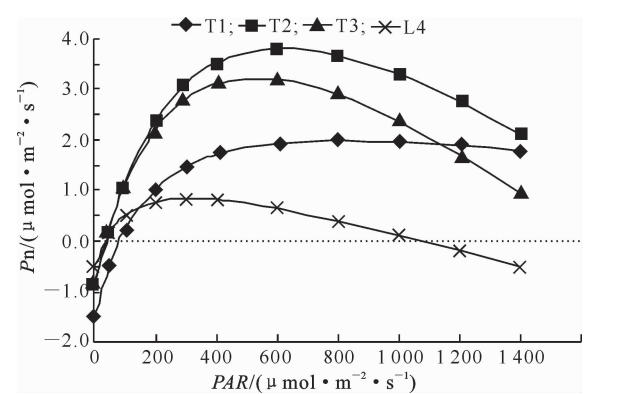


图 2 不同光照强度下对开蕨组培苗的光合-光照强度响应曲线

Fig. 2 Light-response curves of photosynthesis for *Phyllitis scolopendrium* tissue-cultured seedlings with different light intensities

T2、T3 处理没有出现明显的光抑制现象,而 T4 处理的 PSⅡ系统性能下降,说明遮阴过度。PSⅡ实际光量子效率 ($\Phi PS II$)随处理光照强度的减弱呈先增后降,从大到小依次为 $T2 > T1 > T3 > T4$,T2 处理分别比 T1、T3、T4 处理增加了 3.5%、4.2% 和 19.5%。T2 处理的 $\Phi PS II$ 最高,表明该处理下 PSⅡ所吸收的光能中用于光化学反应的最多,过剩光能最少,即对光能的利用率最高。

往表现出叶面积减小、叶片增厚、比叶重增大等变化,弱光下则相反^[16-18],对开蕨组培苗在不同光照强度下也表现出了同样的变化特征。本研究中,T2、T3 处理的 Chl a、Chl b、Chl 及类胡萝卜素含量均较

T1 处理有所升高,说明在弱光环境中植物会通过提高光合色素含量来吸收更多的光能,而 Chl a/b 值降低表明 Chl b 的增量要大于 Chl a,弱光下 Chl b 的比例上升是为了更好地捕获入射光能,此情况下捕获光能的重要性强于反应中心激能光化学转换的重要性^[19]。以上结果与岳桦等^[11]在对开蕨遮阴试验中得到的结果一致。

本试验中除 T1 处理外,其余 3 个处理的净光合速率日变化均呈“单峰”曲线,而岳桦等^[11]的研究表明,对开蕨的净光合速率日变化为“双峰”曲线,原因在于其试验是在自然光下进行遮阴处理,其光照强度均大于本试验中的 T2 处理,本试验中 T1 处理的光照强度最大,其净光合速率日变化也呈“双峰”曲线,说明光照强度过高是导致光合“午休”的关键因素,虽然 13:00 时的 PAR 并未超过 T1 处理对开蕨组幼苗的 L_{SP} ,但中午的高光照强度会使环境温度升高,植物为了避免蒸腾失水过多会关闭气孔^[20],从而导致 P_n 下降,这与严海燕等^[21]的研究结果一致。本试验中 T2 处理 P_n 日均值最高,该处理的光照强度范围较岳桦等^[11]试验自然光下遮阴 90% 处理的光照强度略低,却表现出了更好的生长状态,对光的利用能力更强,表明对开蕨组幼苗较实生苗更为耐阴。

叶绿素荧光是光合作用的有效探针,可以反映光合机构内一系列重要的调节过程^[22]。 F_v/F_m 代表 PS II 原初光能转化效率,是研究植物胁迫的重要参数,非环境胁迫条件下极少变化,其值一般为 0.75~0.85,但遭受光抑制时 F_v/F_m 会明显降低^[23]。本试验中,T1 处理对开蕨组幼苗的 L_{UE} 虽然较低, P_n 日均值下降,但其 F_v/F_m 值仍在正常范围内,表明强光并未对其光合结构产生严重破坏^[24],T1 处理的 F_v/F_o 、 F_v'/F_m' 、 qP 均未下降也证明了这一点;而 T4 处理的各荧光参数值降低, F_v/F_m 下降到了 0.75 以下,表明遮阴过度使植株出现了生理不健康症状。

T4 处理的叶绿素含量、 P_n 日均值、 P_{max} 以及 A_{QY} 值较其他 3 个处理均极显著($P < 0.01$)降低,且大部分叶片有黄化现象,表明该处理的光照强度不能满足对开蕨组幼苗的正常生长。光照强度过低会造成叶绿素合成不足,从而减弱叶片捕捉和利用光能的能力^[25]。还有研究表明,光照不足会对部分参与光合反应的酶的含量和活性造成影响,如 Syvertsen 等^[26]研究指出,弱光胁迫下 Rubisco 酶含量下降,阻碍了 CO_2 电子传递链的过程,最终影响植物

对光能的吸收,FBP 磷酸酯酶及 SBP 磷酸酯酶的活性下降,也会影响其他途径光能的吸收。

综合比较 4 组处理可以发现,T2 处理的新生叶单叶面积、新增带孢子囊叶片数、 P_n 、 L_{UE} 、 P_{max} 、 A_{QY} 以及 $\Phi PS II$ 均最高,表明该处理下的对开蕨组培苗长势更好。试验证明,对开蕨组培苗对光照十分敏感,光适应幅度偏窄,森林的破碎及片段化常使林下环境由阴湿低光向干暖高光变化,因此光照强度很可能是其生存繁衍的最大限制因子。相比岳桦等^[11]在实生苗上的试验结论,对开蕨组培苗的最适光照强度范围更低,更为耐阴,因此更适宜作为室内盆栽观赏植物来推广栽培。鉴于本试验是在温室内完成,因此对开蕨组培苗的最适露地栽培光照条件与之是否一致,还有待于进一步研究探讨。

[参考文献]

- [1] 刘保东,时述武. 长白山的珍稀观赏植物:对开蕨 [J]. 中国野生植物,1991,10(4):37-38.
Liu B D, Shi S W. A rare ornamental plant of Changbai Mountain of China: *Phyllitis japonica* [J]. Chinese Wild Plant, 1991, 10(4): 37-38.
- [2] 王立军,张友民,钟 岩. 东北对开蕨的解剖研究 [J]. 吉林农业大学学报,1996,18(S1):1-2.
Wang L J, Zhang Y M, Zhong Y. Anatomical studies of *Phyllitis japonica* Kom [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1996, 18(S1): 1-2.
- [3] 谷安根,刘仪娴. 对开蕨属导管的发现 [J]. 植物学报,1987,29(4):377-375.
Gu A G, Liu Y X. On the discovery of vessels in *Phyllitis* [J]. Acta Botanica Sinica, 1987, 29(4): 377-375.
- [4] 谷安根,汪 矛. 对开蕨属次生维管组织的发现 [J]. 植物研究,1989,9(4):87-89.
Gu A G, Wang M. A discovery of secondary vascular tissue in *Phyllitis* [J]. Bulletin of Botanical Research, 1989, 9(4): 87-89.
- [5] 刘保东,包文美,敖志文. 中国产对开蕨配子体发育的研究 [J]. 植物研究,1991,11(2):93-100.
Liu B D, Bao W M, Ao Z W. Studies on the development of gametophyte of *Phyllitis japonica* from China [J]. Bulletin of Botanical Research, 1991, 11(2): 93-100.
- [6] 田 洪,王殿芝,赵占英,等. 东北对开蕨的栽培 [J]. 人参研究,1997,9(2):16-17.
Tian H, Wang D Z, Zhao Z Y, et al. Cultivation of *Phyllitis japonica* [J]. Study on Ginseng, 1997, 9(2): 16-17.
- [7] 顾德峰,李东升,王 蕾,等. 东亚对开蕨离体快繁的研究 [J]. 园艺学报,2008,35(9):1373-1376.
Gu D F, Li D S, Wang L, et al. Studies on the rapid propagation in vitro of endangered plant *Phyllitis japonica* [J]. Acta Horticulture Sinica, 2008, 35(9): 1373-1376.

- [8] Emilia Pangua, Stuart Lindsay, Adrian Dyer. Spore germination and gametophyte development in three species of *Asplenium* [J]. *Annals of Botany*, 1994, 74(6): 587-593.
- [9] 宗占江, 黄祥童, 张俊成, 等. 珍惜植物对开蕨迁地保护初报 [J]. 长白山自然保护, 1997, 52(2): 9-11.
Zong Z J, Huang X T, Zhang J C, et al. A preliminary study on ex situ conservation of *Phyllitis japonica* [J]. Changbai Mountain Natural Reserve, 1997, 52(2): 9-11.
- [10] Handreck K A. Growth of ferns in soil-less media, as affected by pH, iron and calcium/magnesium ratio [J]. *Scientia Horticulturae*, 1992, 50(4): 115-126.
- [11] 岳桦, 岳晓晶. 对开蕨对遮阴处理的响应 [J]. 园艺学报, 2010, 37(9): 1517-1522.
Yue H, Yue X J. Responses of *Phyllitis japonica* to shading treatment [J]. *Acta Horticulture Sinica*, 2010, 37(9): 1517-1522.
- [12] 岳桦, 吴妍, 姜丽颖. 不同栽培基质对对开蕨的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2011, 33(2): 66-68.
Yue H, Wu Y, Jiang L Y. Impact of different culture medium on *Phyllitis japonica* [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2011, 33(2): 66-68.
- [13] 苑克俊, 刘庆忠, 李圣龙, 等. 利用数码相机测定果树叶面积的新方法 [J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 829-832.
Yuan K J, Liu Q Z, Li S L, et al. A new method for measuring leaf area of fruit trees using digital camera [J]. *Acta Horticulture Sinica*, 2006, 33(4): 829-832.
- [14] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验技术 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008: 66-68.
Zhang Z A, Chen Z Y. Plant physiology experiment technique [M]. Changchun: Jilin University Press, 2008: 66-68.
- [15] Bassman J, Zwier J C. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoides* and *Populus trichocarpa* × *P. deltoides* clone [J]. *Tree Physiology*, 1991, 8: 145-159.
- [16] 周忆堂, 马红群, 梁丽娇, 等. 不同光照条件下长春花的光合作用和叶绿素荧光动力学特征 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3589-3595.
Zhou Y T, Ma H Q, Liang L J, et al. Photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence in leaves of *Catharanthus roseus* grown under different light intensities [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(11): 3589-3595.
- [17] 魏胜利, 王文全, 陈秀华, 等. 甘草的耐阴性研究 [J]. 中国中药杂志, 2005, 30(2): 100-104.
Wei S L, Wang W Q, Chen X H, et al. Studies on the shade-endurance capacity of *Glycyrrhiza uralensis* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2005, 30(2): 100-104.
- [18] 孙一荣, 朱教君, 于立忠, 等. 不同光照强度下核桃楸、水曲柳和黄菠萝的光合生理特征 [J]. 林业科学, 2009, 45(9): 29-35.
Sun Y R, Zhu J J, Yu L Z, et al. Photosynthetic characteristics of *Juglans mandshurica*, *Fraxinus mandshurica* and *Phellodendron amurense* under different light regimes [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(9): 29-35.
- [19] 艾希珍, 郭延奎, 马兴庄, 等. 弱光条件下日光温室黄瓜需光特性及叶绿体超微结构 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(2): 268-273.
Ai X Z, Guo Y K, Ma X Z, et al. Photosynthetic characteristics and ultrastructure of chloroplast of cucumber under low light intensity in solar greenhouse [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(2): 268-273.
- [20] 许大全. 光合作用效率 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
Xu D Q. Photosynthetic efficiency [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2002.
- [21] 严海燕, 董然, 金光勋, 等. 遮阴对富贵草光合特性的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(5): 47-50, 60.
Yan H Y, Dong R, Jin G X, et al. Effects of shading on photosynthetic characteristics of *Pachysandra terminalis* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2013, 41(5): 47-50, 60.
- [22] 杜琳, 李永存, 穆怀志, 等. 四倍体与二倍体白桦的光合特性比较 [J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(2): 1-4.
Du L, Li Y C, Mu H Z, et al. Photosynthetic characteristics of tetraploid and diploid *Betula platyphylla* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011, 39(2): 1-4.
- [23] 何炎红, 郭连生, 田有亮. 白刺叶不同水分状况下光合速率及其叶绿素荧光特性的研究 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(11): 2226-2233.
He Y H, Guo L S, Tian Y L. Photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence of *Nitraria tangutorum* at different leaf water potentials [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(11): 2226-2233.
- [24] 许大全, 张玉忠. 植物光合作用的光抑制 [J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(4): 237-243.
Xu D Q, Zhang Y Z. Photoinhibition of photosynthesis in plants [J]. *Plant Physiology Communications*, 1992, 28(4): 237-243.
- [25] 贾士芳, 董树亭, 王空军, 等. 弱光胁迫对玉米产量及光合特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2456-2461.
Jia S F, Dong S T, Wang K J, et al. Effects of weak light stress on grain yield and photosynthetic traits of maize [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2456-2461.
- [26] Syvertsen J P, Smith M L. Light acclimation in citrus leaves I. change in physical characteristics, chlorophyll, and nitrogen content [J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1984, 109(6): 812-817.