

◆ 研究类 ◆

光照强度对贵州地宝兰光合特性的影响^{*}许爱祝^{1,2}, 秦惠珍², 唐健民², 梁 惠², 罗亚静³, 邓振海³, 柴胜丰^{2**}

(1. 桂林理工大学旅游与风景园林学院, 广西桂林 541006; 2. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西桂林 541006; 3. 广西雅长兰科植物国家级自然保护区管理中心, 广西百色 533209)

摘要:为探讨极危植物贵州地宝兰(*Geodorum eulophioides*)对光照强度的适应性,以贵州地宝兰成年盆栽植株为材料,通过人工遮阴的方法设置不同光照强度处理(8%、20%、45%和100%自然光照),测定不同光照强度下贵州地宝兰的气体交换参数日变化、光合-光响应曲线、叶绿素荧光参数,并对其叶片叶绿素含量及生长指标进行测定。结果表明:(1)20%、45%和100%光照强度下贵州地宝兰的日均净光合速率(P_n)呈“双峰”型曲线,有明显的“午休”现象,而8%光照强度下的 P_n 呈“单峰”型曲线,20%光照强度下的日均 P_n 值最高,为 $(1.922 \pm 0.453) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;(2)贵州地宝兰叶片的最大净光合速率(P_{max})、光饱和点(LSP)、表观量子效率(AQY)在20%光照强度下最高,在此光照强度下的光合能力最强;(3)叶绿素荧光参数 F_m 、 F_v 、 F_v/F_m 和 F_v/F_0 在100%光照强度处理下显著低于其他3个处理,100%光照强度下贵州地宝兰遭受了严重的光抑制;(4)叶片叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)、类胡萝卜素(Car)含量和叶绿素(a+b)[Chl(a+b)]含量均随着光照强度的增大而逐渐降低,而Car/Chl(a+b)呈相反趋势;(5)20%光照强度下贵州地宝兰的株高、基径、最大叶长和最大叶宽均最大,8%光照强度下次之,100%光照强度下最低。研究表明,贵州地宝兰对不同光环境有一定程度的适应性,20%光照强度最适宜其生长;在迁地保护中,可选择相对开阔且具有一定遮阴效果的环境进行苗木种植;在种群恢复过程中,可适当间伐上层乔灌木,增加林下透光率,提高贵州地宝兰的生长速度,促进其自然更新。

关键词:贵州地宝兰 极危植物 光照强度 光合特性 生长

中图分类号:Q945.78 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2022)02-0163-09

DOI:10.13657/j.cnki.gxkxyb.20220622.008

光作为植物赖以生存的能量来源,是植物生长发育过程中的重要环境因子,也是限制植物生存的主要因素。近年来,光合作用一直是研究的热点,极危植物对生态环境的敏感性与光环境对其生长发育的影

收稿日期:2022-02-11

* 中央财政林业草原项目,广西林业科技推广示范项目(桂林科字[2021]第28号)和中央引导地方专项科技创新基地建设类项目(桂科ZY21195035)资助。

【作者简介】

许爱祝(1996-),女,在读硕士研究生,主要从事植物保育生物学研究。

【**通信作者】

柴胜丰(1980-),男,博士,研究员,主要从事珍稀濒危植物保育及可持续利用研究,E-mail:sfchai@163.com。

【引用本文】

许爱祝,秦惠珍,唐健民,等.光照强度对贵州地宝兰光合特性的影响[J].广西科学院学报,2022,38(2):163-171.

XU A Z, QIN H Z, TANG J M, et al. Effects of Light Intensity on Photosynthetic Characteristics of *Geodorum eulophioides* [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2022, 38(2): 163-171.

响有关。目前,有较多关于濒危植物与光环境关系研究的报道,发现濒危植物在生理生态学方面存在适应性和生存力相对较弱的特点^[1],如毛瓣金花茶(*Camellia pubipetala*)虽然属于阴生植物,但是可以承受一定的强光,此树种适合生长于相对开阔的遮阴环境,光照太强会导致其生长不良,但荫蔽度太大则会使其开花结果率低,自然生境下林下光照强度过低是导致其种群数量得不到增多的重要原因^[2];水青树(*Tetracentron sinense*)在林窗生境下生长良好,其光合能力也相对较好,而林缘和林下生境下生长的水青树在种群竞争中处于劣势,此生境下水青树光合能力较差是其濒危原因之一^[3];夏腊梅(*Sinocalycanthus chinensis*)光合能力较差,对光照的适应能力较弱,在种间竞争中处于不利地位^[4];长序榆(*Ulmus elongata*)为阳性植物,对光照的需求较高,其幼苗虽然具有一定的耐阴性,但是因光照不足使其不能正常生长而被淘汰,种群自然更新受到限制^[5]。这些研究也给濒危植物迁地保护以及种群恢复提供了有价值的参考依据。

贵州地宝兰(*Geodorum eulophioides*)属兰科(Orchidaceae)地宝兰属多年生草本植物,冬季会有倒苗现象,具有观赏和药用等开发价值。1921年德国植物分类学家 Schlechter 在贵州罗甸首次发现此物种并命名。2004年在广西雅长兰科植物国家级自然保护区内再次被发现,并成为重点保护对象^[6],属于中国特有的珍稀极危植物,被世界自然保护联盟(IUCN)列为极度濒危物种。经调查,贵州地宝兰只适应于海拔较低且气候稍微干旱的生境,海拔300-600 m,常生长在河边、公路边、山坡荒地、疏林灌草丛中,适合生长在pH值为4.6-6.5的微酸性土及酸性土。由于贵州地宝兰对生境条件要求严格以及自身生理条件的限制,再加上种间竞争和人为干扰破坏等因素的影响,使得贵州地宝兰野外种群数量极少^[7]。目前,一些学者已经对贵州地宝兰的繁育技术^[8,9]、濒危原因^[6]、遗传多样性^[10]等进行了研究,但仍需要全面深入系统地研究,从而从根本上解决贵州地宝兰的濒危问题。因此,开展贵州地宝兰的光合生理特性研究,探究其对不同光照强度的适应性,以制定更有效、更合理的保护机制,为其迁地保护和种群恢复提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料和处理

试验于广西植物研究所内进行,试验材料为贵州地宝兰成年盆栽苗,栽种于内径21 cm、深18 cm的塑料花盆中,每盆栽植1-3株,选取生长最佳植株作为试验苗,栽培基质为林下表层土壤,pH值为5.34,有机质含量1.26%,全氮1.53 g/kg,全磷1.09 g/kg,全钾14.11 g/kg。通过黑色尼龙网遮阴,建立相对光照强度分别为8%、20%、45%、100%(不遮阴)的荫棚4个。苗木先在8%的遮荫棚中恢复生长1个月,然后随机分成4组,每组6盆,5月中旬分别放置于4个荫棚下进行处理。每天浇灌足量的水,每个月施肥1次,同时进行病虫害防治。

1.2 方法

1.2.1 光合作用日进程变化的测定

光合作用日进程变化于9月中旬进行测定。在天气晴朗的条件下,采用Li-6400便携式光合作用系统(Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA)测定贵州地宝兰叶片的气体交换参数,并利用自然光和空气CO₂浓度进行测定。从4个遮荫棚中选取长势较好的3株贵州地宝兰,于北京时间8:00-17:00每间隔1.5 h测定1次,每个叶片重复测3组数据,取平均值。测定项目包括叶片的净光合速率($P_n, \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率($T_r, \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度($G_s, \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间CO₂浓度($C_i, \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$);环境因子参数包括光合有效辐射(PAR, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、空气温度($T_a, ^\circ\text{C}$)、空气相对湿度(RH, %)等微气象参数。

1.2.2 光合-光响应曲线的测定

在10月下旬选择晴朗天气于上午9:00-12:00进行测量,采用Li-6400便携式光合作用系统测定健康叶片的光合-光响应曲线。测量前为了充分活化光合系统,叶片先在 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度下诱导30 min(仪器自带的红蓝光源)。使用开放气路,设空气流速为 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,叶片温度设为 29°C ,CO₂浓度为 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ (用CO₂钢瓶控制浓度)。设置13个不同的光照强度梯度为 $1800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $150 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $50 \mu\text{mol} \cdot$

$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 每测定一个光照强度需要 3 min。以光量子通量密度(PPFD)为横轴、净光合速率(P_n)为纵轴绘制光合-光响应曲线, 依照以下方程拟合 P_n -PPFD 曲线^[11]:

$$P_n = P_{\max}(1 - C_0 e^{-\Phi \text{PPFD}/P_{\max}}), \quad (1)$$

式中, P_{\max} 为最大净光合速率, Φ 为弱光下光化学量子效率, C_0 为度量弱光下净光合速率趋于 0 的指标。表观量子利用效率(AQY)为 P_n -PPFD 曲线初始部分($0-150 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的曲线斜率。通过适合性检验, 拟合效果良好, 然后用下列公式计算光补偿点(LCP):

$$\text{LCP} = P_{\max} \ln(C_0) / \Phi. \quad (2)$$

P_n 达到 P_{\max} 时的 PPFD 为光饱和点(LSP), 计算公式如下:

$$\text{LSP} = P_{\max} \ln(100C_0) / \Phi. \quad (3)$$

1.2.3 叶绿素 a 荧光参数的测定

将待测的贵州地宝兰植株于前一天晚上移至室内进行暗适应, 第二天黎明前用 Li-6400 荧光测定系统测定叶片的叶绿素 a 荧光参数, 测定时尽量选择同一光照强度下成熟度、健康度和方位一致的叶片。主要测量参数包括初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、可变荧光(F_v)、PS II 潜在光化学效率(F_v/F_0)和 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)^[12]。

1.2.4 光合色素含量的测定

从进行光合测定的植株上采集叶片剪碎, 用 95% 乙醇提取叶片的光合色素, 24 h 后分别在 665 nm、649 nm 和 470 nm 下测定提取液的吸光值, 根据参考文献[13]的公式计算出叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b) 和类胡萝卜素(Car)的含量, 以及叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值(Chl a/Chl b)、类胡萝卜素与叶绿素(a+b)的比值[Car/Chl(a+b)]。

1.2.5 生长指标的测定

测量不同光照处理下贵州地宝兰植株的株高、基径、最大叶长、最大叶宽等生长状况参数。

1.3 数据处理

对上述测定或统计的各个指标, 采用 SPSS 软件进行单因素方差分析, 并用 Duncan 法进行多重比较, 绘图采用 Origin 9.2 软件。

2 结果与分析

2.1 光合作用日进程变化特征

在不同光照强度处理下贵州地宝兰光合作用日

进程变化如图 1 所示。不同光照强度下的光合有效辐射(PAR)、空气温度(T_a)和相对湿度(RH)的日变化均呈“单峰”型曲线。PAR 最大值均出现在 12:30, 8%、20%光照强度下 PAR 最大值不超过 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 100%光照强度下 PAR 最大值为 $1496.93 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。100%光照强度下 T_a 在 14:00 最大, 接近 40°C ; 其他处理下 T_a 在 15:30 最大, 均达到 36°C 以上。RH 的变化趋势与 T_a 相反, 在 15:30 时 RH 达到最低值。不同光照强度处理下的 PAR 和 T_a 表现为 8%光照强度 < 20%光照强度 < 45%光照强度 < 100%光照强度, RH 的变化趋势则与 PAR、 T_a 相反。

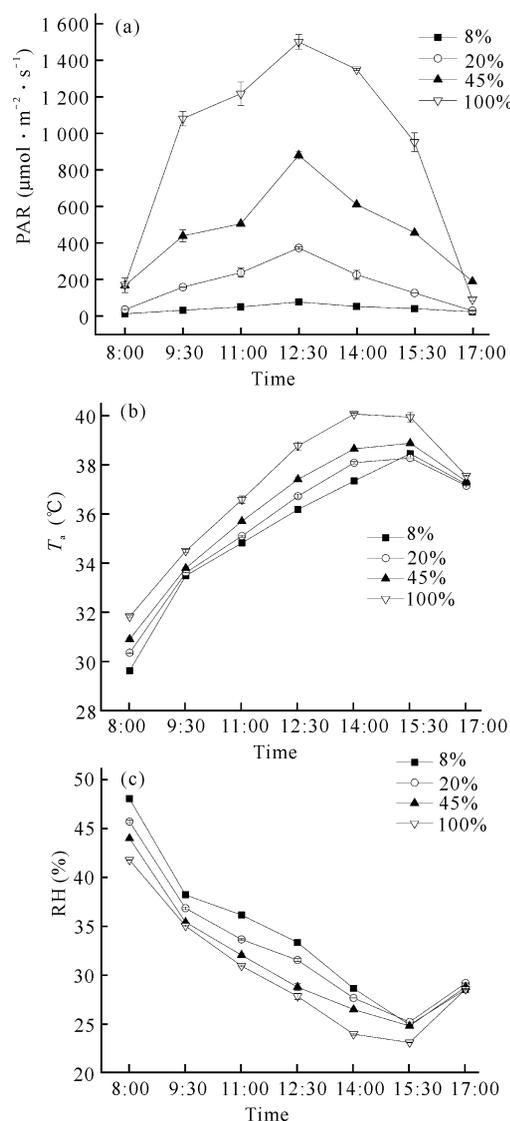


图 1 不同光照强度下光合有效辐射、空气温度和相对湿度的日变化

Fig. 1 Diurnal changes of photosynthetically active radiation, air temperature and relative humidity under different light intensities

2.2 光照强度对贵州地宝兰气体交换参数日变化的影响

不同光照强度下贵州地宝兰气体交换参数日变化如图2、表1所示。由图2(a)可知,在20%、45%和100%光照强度下的 P_n 呈“双峰”型曲线,峰值分别出现在11:00和14:00;3种光照强度下的 P_n 日变化相似,均是8:00后开始上升,11:00到达峰值后开始下降,12:30达到第一个低值,有明显的“午休”现象,随后上升,14:00后又开始下降。8%光照强度下的 P_n 日变化呈“单峰”型曲线,变化趋势平缓,没有出现“午休”现象。4种光照强度下的日均净光合速率表现为20%光照强度>45%光照强度>100%光照强度>8%光照强度(表1),表明20%光照强度下贵州地宝兰积累光合产物的能力更强。

由图2(b)可知,20%和8%光照强度处理下 G_s 呈先升高后降低的趋势,在9:30达到最大值;45%和100%光照强度处理的 G_s 呈降低趋势。20%光照强度处理下日均 G_s 显著高于其他3个处理(表1),说明20%光照强度处理有利于贵州地宝兰叶片气孔调节,提高其光合作用效率。 T_r 的日变化均呈“单峰”

型变化曲线,各个光照强度处理下 T_r 的最高峰出现时间不尽相同,但总体上12:30前的 T_r 值高于12:30之后[图2(c)];4种光照强度处理下的日均 T_r 大小为20%光照强度>100%光照强度>8%光照强度>45%光照强度(表1)。20%、45%和100%光照强度下叶片的 C_i 变化趋势呈“W”型,从8:00开始迅速下降,到11:00达到第一个低值,随后上升后又下降,到14:00达到第二个低值[图2(d)];而8%光照强度下 C_i 的变化趋势呈“V”型,与 P_n 的变化规律相反。

2.3 光照强度对贵州地宝兰光合-光响应曲线的影响

不同光照强度下贵州地宝兰的光合-光响应曲线与光照强度的变化趋势总体上一致,但净光合速率(P_n)的大小明显存在差异(图3)。在光量子通量密度(PPFD)小于 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, P_n 随着PPFD的增加而增大;而PPFD大于 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, P_n 稍有下降。不同光照强度处理下 P_n 的大小表现为20%光照强度>8%光照强度>45%光照强度>100%光照强度。

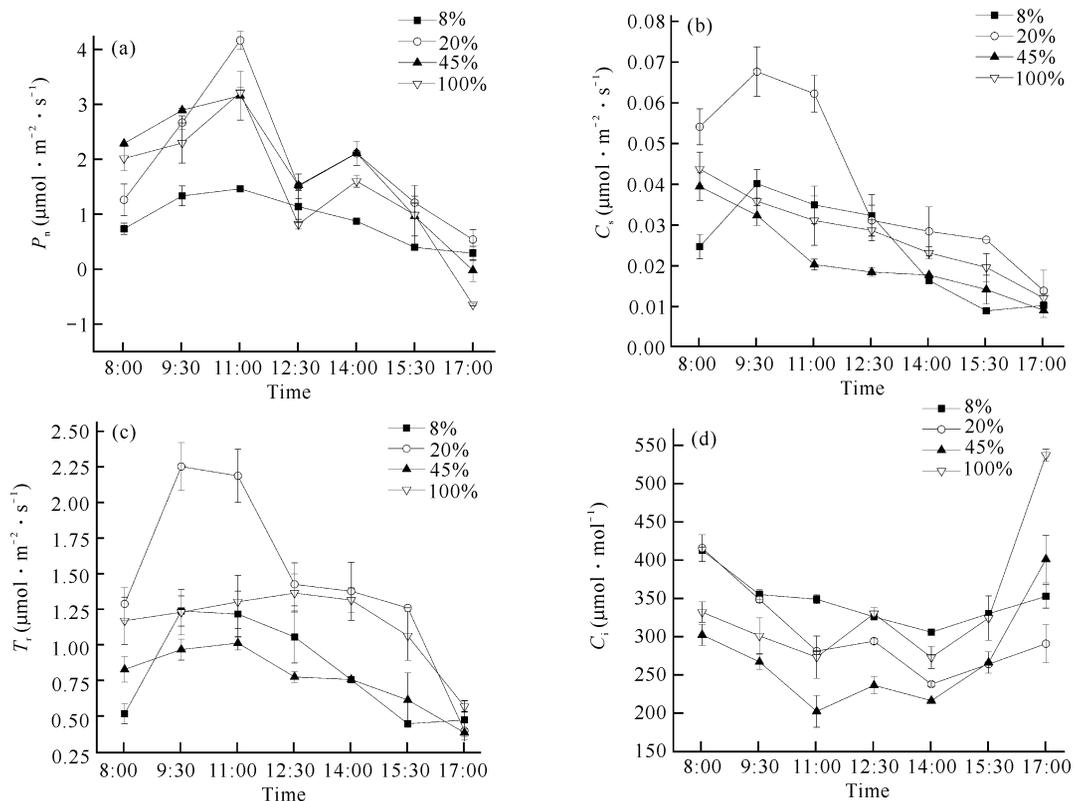


图2 不同光照强度下贵州地宝兰气体交换参数日变化

Fig. 2 Daily variation of gas exchange parameters of *G. eulophioides* under different light intensities

表 1 不同光照强度下贵州地宝兰的气体交换参数

Table 1 Gas exchange parameters of *G. eulophioides* under different light intensity

光照强度 Light intensity	日均净光合速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) P_n ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	日均气孔导度 ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) G_s ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	日均胞间 CO_2 浓度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) C_i ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	日均蒸腾速率 ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) T_r ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
8%	0.905 ± 0.163b	0.024 ± 0.005b	341 ± 13.57a	0.844 ± 0.143b
20%	1.922 ± 0.453a	0.040 ± 0.009a	301 ± 24.73b	1.454 ± 0.234a
45%	1.760 ± 0.393a	0.021 ± 0.004b	270 ± 25.27c	0.765 ± 0.081b
100%	1.483 ± 0.553a	0.028 ± 0.004b	335 ± 36.12a	1.145 ± 0.103a

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$)

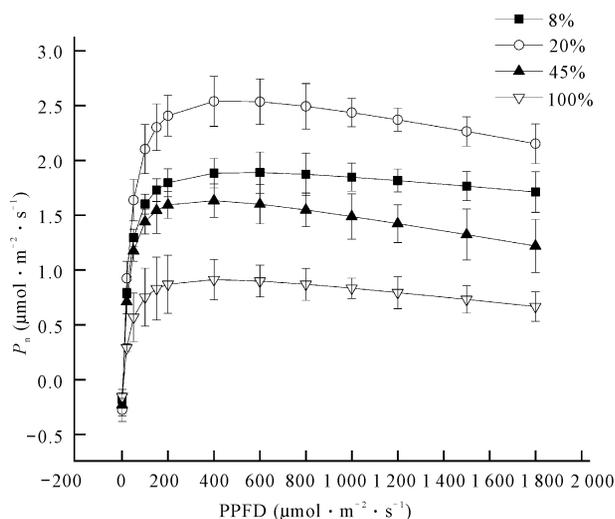


图 3 不同光照强度下贵州地宝兰叶片的光合-光响应曲线

Fig. 3 Photosynthesis-light response curve in leaves of *G. eulophioides* under different light intensities

不同光照强度下贵州地宝兰的 P_{\max} 以 20% 光照强度最高, 其值为 $(2.529 \pm 0.252) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 且显著高于其他 3 个处理 ($P < 0.05$); 与 20% 光照强度下的 P_{\max} 相比, 8%、45%、100% 分别下降

表 2 不同光照强度下贵州地宝兰的光合参数

Table 2 Photosynthetic parameters of photosynthesis of *G. eulophioides* under different light intensities

光照强度 Light intensity	最大净光合速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) P_{\max} ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 AQY	光饱和点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) LSP ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) LCP ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
8%	1.878 ± 0.160b	0.085 ± 0.004b	527 ± 11.72a	2.580 ± 0.410c
20%	2.529 ± 0.252a	0.101 ± 0.006a	542 ± 34.00a	3.306 ± 1.505b
45%	1.610 ± 0.341b	0.068 ± 0.068b	447 ± 52.03b	3.868 ± 1.128b
100%	0.897 ± 0.150c	0.035 ± 0.007c	407 ± 77.48c	5.773 ± 1.423a

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$)

2.5 光照强度对贵州地宝兰叶绿素含量的影响

由图 4 可知, 随着光照强度的增大, 贵州地宝兰叶片叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b)、类胡萝卜素 (Car) 含量和叶绿素 (a + b) [Chl (a + b)] 含量均逐渐降低, 其中 20%、45%、100% 光照强度相比于 8% 光

25.74%、36.34% 和 64.53%。随着光照强度的增加, 贵州地宝兰的光饱和点 (LSP) 表现为先升高后降低的趋势, 且在 20% 光照强度下值最大; 而光补偿点 (LCP) 则是随着光照强度的升高而上升; 表观量子效率 (AQY) 与 LSP 变化趋势一致, 以 20% 光照强度下最高, 100% 光照强度下最低, 且 100% 光照强度下的 AQY 显著低于其他处理 (表 2)。

2.4 光照强度对贵州地宝兰叶绿素荧光参数的影响

由表 3 可知, 贵州地宝兰叶片 PS II 的初始荧光 (F_0) 随着光照强度的升高而逐渐降低, 最大荧光 (F_m) 和可变荧光 (F_v) 呈先升高后降低的趋势, 且均在 20% 光照强度下最高。PS II 最大光化学效率 (F_v/F_m) 反映了植物的反应中心内原初光能转化效率, F_v/F_0 则反映了 PS II 的潜在活性, 当受到光照胁迫时, F_v/F_m 显著下降, 光合电子传递受到影响。100% 光照强度下 F_v/F_m 和 F_v/F_0 显著低于 8%、20%、45% 光照强度处理 ($P < 0.05$), 表明 100% 光照强度下贵州地宝兰 PS II 潜在活性中心受损, 光合作用受到抑制。

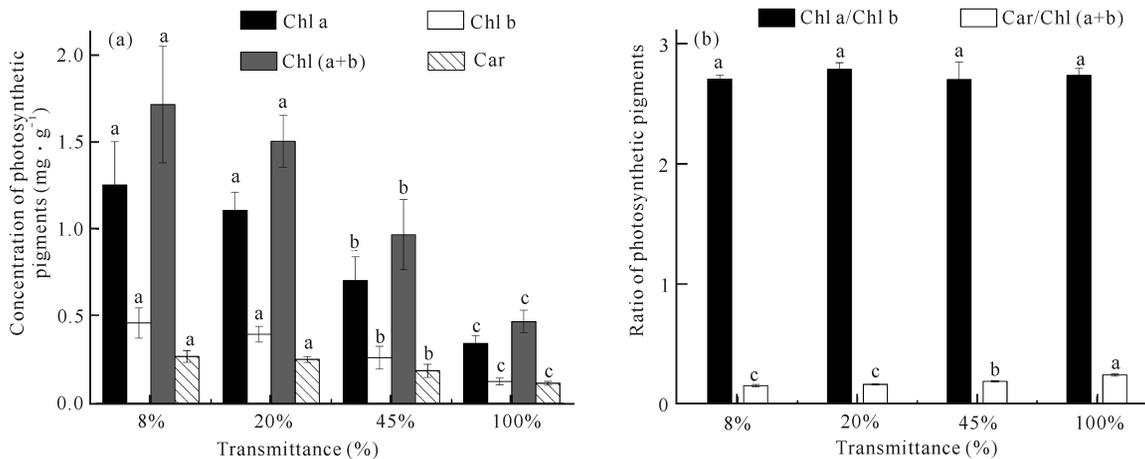
照强度下 Chl a 含量分别降低 11.71%、43.75%、72.59%, Chl b 含量分别降低 14.07%、43.07%、72.73%, Car 含量分别降低 6.32%、30.48%、56.88%。Car/Chl (a + b) 比值随着光照强度的增大而逐渐升高, 而不同光照强度处理下 Chl a/Chl b 无

表 3 不同光照强度下贵州地宝兰叶绿素荧光参数

Table 3 Chlorophyll fluorescence parameters of *G. euphroides* under different light intensities

光照强度 Light intensity	初始荧光 F_0	最大荧光 F_m	可变荧光 F_v	最大光化学效率 F_v/F_m	光化学效率 F_v/F_0
8%	315.6 ± 14.53a	1 530.7 ± 35.83a	1 215.0 ± 21.66a	0.794 ± 0.005a	3.76 ± 0.206a
20%	304.70 ± 9.39a	1 600.7 ± 80.40a	1 296.0 ± 112.10a	0.809 ± 0.005a	4.25 ± 0.131a
45%	284.0 ± 21.73a	1 365.0 ± 29.72b	1 081.0 ± 72.02a	0.793 ± 0.012a	3.84 ± 0.273a
100%	282.0 ± 15.00a	1 040.7 ± 99.72c	758.7 ± 15.63b	0.722 ± 0.040b	2.73 ± 0.509b

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$)



Different small letters indicate that the same index has significant differences under different light intensities ($P < 0.05$)

图 4 不同光照强度下贵州地宝兰叶片的光合色素含量及比值

Fig. 4 Photosynthetic pigment content and ratio in leaves of *G. euphroides* under different light intensities

显著差异。

2.6 光照强度对贵州地宝兰生长状况的影响

不同光环境对贵州地宝兰生长状况的影响如表 4 所示。植株的株高、基径、最大叶长和最大叶宽均在 20%光照强度下最大,8%光照强度下次之,100%

表 4 不同光环境下贵州地宝兰的生长状况

Table 4 Growth status of *G. euphroides* under different light environments

光照强度 Light intensity	株高(cm) Plant height (cm)	基径(mm) Basal diameter (mm)	最大叶长(cm) Maximum leaf length (cm)	最大叶宽(cm) Maximum leaf width (cm)
8%	15.00 ± 2.16a	2.25 ± 0.56a	18.33 ± 3.68a	2.67 ± 0.56b
20%	15.25 ± 2.16a	2.73 ± 0.24a	18.88 ± 1.02a	3.30 ± 0.31a
45%	13.67 ± 0.47b	2.20 ± 0.31a	15.17 ± 1.65b	2.37 ± 0.53b
100%	12.00 ± 0.00b	1.77 ± 0.15b	15.50 ± 2.50b	2.35 ± 0.15b

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$)

3 讨论

光对于植物的光合作用主要有以下 3 点作用:第一,提供同化力形成所需要的能量;第二,活化光合作用的关键酶和促使气孔开放;第三,调节植物自身光合机构的发育^[14]。本研究中,贵州地宝兰净光合速率日进程主要呈“双峰”型曲线,8%光照强度下的净

光照强度下各项指标相比其他光照强度较低。通过观察发现,全光照下的植株出现纤细、矮小、灼伤、长斑等发育不良的现象,表明强光对贵州地宝兰的生长有明显的抑制作用,适度遮阴有利于贵州地宝兰的生长。

光合速率日均值最低,其他 3 个处理均随着光照强度的增大而逐渐下降,说明光照不足或过剩都会对贵州地宝兰植株的光合作用产生不利的影响。贵州地宝兰自身具有的光合“午休”现象,使净光合速率 P_n 和光合有效辐射 PAR 呈非完全正比,且午间胞间 CO_2 浓度 C_i 上升,表明此时净光合速率下降主要受非气孔限制因素的影响。净光合速率可以显示植物的光

合能力,也就是在同样的条件下,具有较高净光合速率的植物具备更强的光合能力和对周围环境的适应能力^[15]。本研究中,贵州地宝兰的日均净光合速率表现为20%光照强度>45%光照强度>100%光照强度>8%光照强度,表明20%光照强度下贵州地宝兰积累光合产物的能力更强。不同光照强度处理下贵州地宝兰的日均净光合速率 P_n 均小于 $2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明贵州地宝兰的光合能力较弱,不利于光合作用产物积累,同时对环境的适应能力较差,使得其在群落竞争中处于劣势。

本研究中,贵州地宝兰在20%光照强度下叶片的 P_{max} 最高,45%和100%光照强度处理下 P_{max} 显著降低,说明其在光照强度过高的情况下光合能力下降。一般阴生植物的LSP为500-1000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 或者更低,LCP小于20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[16]。本研究中,贵州地宝兰植株在不同光照强度下的LSP和LCP都较低,属于阴生植物,与生长于荫蔽的环境相吻合,说明适当的遮阴是栽培贵州地宝兰的必要条件之一。表观量子效率是光合作用中光能转化指标之一,其值越高则植物在弱光下转换利用光能的效率就越高。贵州地宝兰在8%、20%、45%光照强度下AQY显著高于100%光照强度,说明贵州地宝兰在弱光下具有较强的适应性。

经过暗适应处理后,叶片的 F_v/F_m 是植物是否发生光抑制的重要判断标准^[17]。在没有环境胁迫的前提下,植物经过暗适应处理后的 F_v/F_m 通常在0.8以上^[18,19],凌晨测定的 F_v/F_m 可以作为是否发生长期光抑制的指标^[20]。8%、20%和45%光照强度下贵州地宝兰的 F_v/F_m 在0.8左右,表明在此光照强度下其未发生明显光抑制现象,而全光照下 F_v/F_m 显著降低,出现了长期光抑制现象,表明其生长受到了强光胁迫^[21]。

叶绿素是植物光合作用中最重要的色素成分,强光胁迫会影响叶绿素的合成,促使已经合成的叶绿素分解,导致其含量下降。Chl a/Chl b的数值是衡量植物耐阴性的重要指标之一,有研究人员认为阴生叶的Chl a/Chl b数值在3以下,阳生叶的Chl a/Chl b数值在3以上^[22,23]。本研究中,随着光照强度的增加,贵州地宝兰植株的Chl(a+b)、Chl a和Chl b含量不断下降,表明强光下叶片叶绿素合成受到影响,同时也会促进叶绿素的分解。强光下叶片叶绿素含量降低以及Car/Chl(a+b)升高都会减少叶片自身对光能的捕捉,从而降低光合机构遭受光氧化破坏的

风险,同时也是植物对环境强光胁迫的一种光保护调节机制。

植物的生长发育与光环境有密切的联系,不同的光照强度对植物生长的影响不同,一定的遮光条件能使阴生植物的生长状态达到最佳^[24]。本研究表明,株高、基径、最大叶长和最大叶宽均在20%光照强度下最大;8%光照强度下各生长指标较低,可能与光照不足有关;45%光照强度下其生长受到轻微光抑制;100%光照强度下受到严重光抑制,叶片出现灼伤现象。因此,贵州地宝兰适合在适度遮阴的环境下生长。

4 结论

贵州地宝兰整体上日均净光合速率、最大净光合速率、表观量子效率均偏低,在群落竞争中处于不利地位。贵州地宝兰属于阴生植物,最适宜在20%光照强度下生长;8%光照强度对其光合作用影响较小;45%光照强度下贵州地宝兰受到轻微光抑制,可以在一定程度上通过改变自身的形态和生理特征来应对外界环境的变化;100%光照强度下贵州地宝兰发生严重光抑制,表现出植株纤细、矮小、起斑点,甚至叶片变黄或被灼伤。因此,贵州地宝兰对光合能力和适应能力较弱,适合生长在相对开阔且具有一定遮阴效果的环境。在迁地保护和种群恢复中,可以选择适当遮阴的环境进行苗木种植,同时对其生长影响较大的竞争植物进行适当砍伐,为其提供良好的生长环境,以提高贵州地宝兰的生长速度,促进其自然更新。

参考文献

- [1] 张文辉,祖元刚,刘国彬.十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析[J].生态学报,2002,22(9):1512-1520.
- [2] 柴胜丰,庄雪影,韦霄,等.光照强度对濒危植物毛瓣金花茶光合生理特性的影响[J].西北植物学报,2013,33(3):547-554.
- [3] 李文英.濒危植物水青树的光合生理研究[D].南充:西华师范大学,2019.
- [4] 金则新,李钧敏,马金娥.濒危植物夏蜡梅光合生理生态特性[J].浙江大学学报(理学版),2011,38(6):682-688.
- [5] 罗光宇,陈超,李月灵,等.光照强度对濒危植物长序榆光合特性的影响[J].生态学杂志,2021,40(4):980-988.
- [6] 冯昌林,蔡树威,邓振海.雅长林区贵州地宝兰的濒危原因及保护对策[J].广西林业,2012(9):43-44.
- [7] 魏海燕,李晓芳,安明态,等.贵州极危植物贵州地宝兰

- 资源现状与濒危原因分析[J].山地农业生物学报,2018,37(3):44-48.
- [8] 罗玉婷,罗小瑜,蓝玉甜,等.贵州地宝兰组培快繁生根技术研究[J].中国园艺文摘,2012,28(12):40-41,72.
- [9] 蓝玉甜,韦新莲,黄岚,等.野生贵州地宝兰无菌播种及根状茎繁育技术研究[J].安徽农业科学,2014,42(2):395-397,418.
- [10] 营婷.贵州地宝兰保护遗传学研究[D].南京:南京大学,2013.
- [11] BASSMAN J H,ZWIER J C. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoids* and *Populus trichocarpa* × *P. deltoids* clone [J]. Tree Physiology,1991,8(2):145-159.
- [12] SOUZA R P,MACHADO E C,SILVA J A B, et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery [J]. Environmental and Experimental Botany, 2004, 51(1):45-56.
- [13] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:134-263.
- [14] 许大全.光合作用气功限制分析中的一些问题[J].植物生理学通讯,1997,33(4):241-244.
- [15] 黄娟,吴彤,孔国辉,等.油页岩废渣地12种木本植物光合作用的季节变化[J].植物生态学报,2006,30(4):666-674.
- [16] 蒋高明.植物生理生态学[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [17] 张守仁.叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J].植物学报,1999,16(4):444-448.
- [18] JOHNSON G N,YOUNG A J,SCHOLES J D, et al. The dissipation of excess excitation energy in British plant species [J]. Plant, Cell & Environment, 1993, 16(6):673-679.
- [19] MAXWELL K,JOHNSON G N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide [J]. Journal of Experimental Botany,2000,51(345):659-668.
- [20] BJÖRKMAN O,DEMMIG B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins [J]. Planta, 1987,170(4):489-504.
- [21] DEMMING-ADAMS B,ADAMS III W W. Photoprotection and other response of plants to high light stress [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,1992,43:599-626.
- [22] LICHTENTHALER H K,BUSCHMANN C,DÖLL M, et al. Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves [J]. Photosynthesis Research,1981,2(2):115-141.
- [23] HOFACHER H,BAUER H. Light acclimation in leaves of the juvenile and adult life phases of ivy (*Hedera helix*) [J]. Physiologia Plantarum, 1982, 56(2): 177-182.
- [24] 迟伟,王荣富,张成林.遮荫条件下草莓的光合特性变化[J].应用生态学报,2001,12(4):566-568.

Effects of Light Intensity on Photosynthetic Characteristics of *Geodorum euophioides*

XU Aizhu^{1,2}, QIN Huizhen², TANG Jianmin², LIANG Hui², LUO Yajing³, DENG Zhenhai³, CHAI Shengfeng²

(1. College of Tourism and Landscape Architecture, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 3. Guangxi Yachang Orchid National Nature Reserve Management Center, Baise, Guangxi, 533209, China)

Abstract: In order to explore the adaptability of an extremely endangered plant *Geodorum euophioides* to light intensity, the potted adult plants of *G. euophioides* were used as materials, different light intensity treatments (8%, 20%, 45% and 100% natural light intensity) were set by artificial shading method. The di-

urnal variation of gas exchange parameters, photosynthetic light response curve and chlorophyll fluorescence parameters of *G. eulophioides* under different light intensities were measured, and the chlorophyll content and growth indexes of plants were also measured. The results showed that: (1) Under 20%, 45% and 100% light intensity, the P_n of *G. eulophioides* showed a 'double peak' curve with an obvious 'siesta' phenomenon, while the P_n showed a 'single peak' curve under 8% light intensity. Under 20% light intensity, the daily average P_n value was the highest, which was $(1.922 \pm 0.453) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. (2) The maximum net photosynthetic rate (P_{max}), light saturation point (LSP) and apparent quantum efficiency (AQY) of *G. eulophioides* leaves were the highest under 20% light intensity, and the photosynthetic capacity was the strongest under this light intensity. (3) Chlorophyll fluorescence parameters F_m , F_v , F_v/F_m and F_v/F_0 under 100% light intensity treatment were significantly lower than the other three treatments. *G. eulophioides* suffered severe photoinhibition under 100% light intensity. (4) The contents of chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), carotenoid (Car) and chlorophyll (a + b) [Chl (a + b)] contents decreased gradually with the increase of light intensity, while Car/Chl (a + b) showed the opposite trend. (5) Under 20% light intensity, plant height, base diameter, maximum leaf length and maximum leaf width of *G. eulophioides* were the highest, followed by 8% light intensity, and the lowest under 100% light intensity. Studies showed that *G. eulophioides* had a certain degree of adaptability to different light environments, and it was most suitable to grow under 20% light intensity. In ex situ conservation, it can choose a relatively open environment with certain shading effect for seedling planting. In the process of population restoration, trees and shrubs in the upper layer can be thinned appropriately to increase the light transmittance under the forest, improve the growth rate of *G. eulophioides* and promote its natural regeneration.

Key words: *Geodorum eulophioides*; extremely endangered plants; light intensity; photosynthetic characteristics; growth

责任编辑:唐淑芬



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkxyxb/ch>