

◆研究类◆

光照强度对西藏虎头兰幼苗生长及光合特性的影响^{*}朱舒靖^{1,2},秦惠珍¹,许爱祝¹,邓丽丽¹,刘世勇³,蒋强³,柴胜丰^{1* *}

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所,广西植物功能物质研究与利用重点实验室,广西桂林 541006;2. 广西师范大学生命科学院,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:探究西藏虎头兰(*Cymbidium tracyanum* L. Castle)幼苗对不同光照强度的适应性,明确其生长的适宜光照强度,为该物种资源保育及驯化提供科学依据。以苗龄为2 a的西藏虎头兰为研究对象,测定了不同光照强度下(8%、20%、45%、100%全光照)西藏虎头兰的生长状况、叶绿素含量和光合参数等的变化。结果表明:西藏虎头兰在20%光照强度下长势最好,其株高、分株基径、冠幅和最大叶长最大。随着光照强度的升高,西藏虎头兰叶片的叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)、类胡萝卜素(Car)和叶绿素(a+b)[Chl(a+b)]含量均显著降低,Car/Chl(a+b)升高,Chl a/Chl b无明显变化。8%和20%光照强度下西藏虎头兰的净光合速率(P_n)呈现“单峰”曲线,45%光照强度下呈现“双峰”曲线;日均 P_n 大小表现为20%光照强度($0.78 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $>$ 8%光照强度($0.55 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $>$ 45%光照强度($0.23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。20%光照强度下西藏虎头兰的光补偿点(LCP, $8.86 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)最低,光饱和点(LSP, $607.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、表观量子效率(AQY,0.041)和最大净光合速率(P_{max} , $2.91 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)最高。本研究中,西藏虎头兰在20%光照强度下植株长势最好、光合作用能力最强,因此在进行引种栽培时应提供适当的光照,有助于其生长。

关键词:西藏虎头兰 光照强度 净光合速率 光响应曲线 日变化

中图分类号:Q945.79 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2022)02-0172-09

DOI:10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20220622.009

西藏虎头兰(*Cymbidium tracyanum* L. Castle)又称黄蝉兰、大花虎头兰,为兰科兰属多年生草本植物。野生资源主要分布在广西西南部、四川西南部、贵州西南部、云南和西藏东南部^[1]。西藏虎头兰属于

附生兰花,靠根附着在树干或岩石上生长,根部常暴露在空气中,对空气湿度的要求较高,喜欢日温差大的环境条件^[2]。因生境特殊,野生资源少,该物种已被列入《国家重点保护野生植物名录》。西藏虎头兰

收稿日期:2022-01-27

* 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】

朱舒靖(1997-),女,在读硕士研究生,主要从事濒危植物保育研究。

【* * 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】

朱舒靖,秦惠珍,许爱祝,等.光照强度对西藏虎头兰幼苗生长及光合特性的影响[J].广西科学院学报,2022,38(2):172-180.

ZHU S J, QIN H Z, XU A Z, et al. Effects of Light Intensity on the Growth and Photosynthetic Characteristics of *Cymbidium tracyanum* L. Castle Seedlings [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2022, 38(2): 172-180.

花大, 花色艳丽, 香气袭人, 花期长达 40 多天, 观赏价值颇高, 深受国人青睐^[3,4]。因具有较高的观赏价值, 近几十年来西藏虎头兰遭到人为毁灭性采挖, 其生态环境被破坏, 种群数量急剧减少, 受到巨大生存威胁^[5], 因此, 开展西藏虎头兰的野生资源引种栽培显得尤为重要。目前, 关于西藏虎头兰的研究主要集中在组织培养与快繁^[6,7]、花香成分分析^[8]等方面, 而关于西藏虎头兰光合特性方面的研究较少。匡美龄等^[9]研究发现, 西藏虎头兰中存在环式电子, 该环式电子传递的激发程度高, 有助于西藏虎头兰在强光下进行光保护。Li 等^[10]发现西藏虎头兰的光系统 II (PS II) 对低温-光胁迫比光系统 I (PS I) 更敏感。在长期低温胁迫下, 循环电子流 (CEF) 对西藏虎头兰 PS I 和 PS II 的光保护有利。而关于西藏虎头兰在不同光照强度下的生长状况及光合特性未见相关报道。本研究以西藏虎头兰为研究对象, 期望通过探究西藏虎头兰在不同光照强度下的生长状况及光合特性, 揭示其对不同光照强度的适应性, 为西藏虎头兰的合理栽培与有效保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于广西植物所桂林植物园兰科植物种质资源圃 (25°05'27"N, 110°18'03"E), 气候属中亚热带季风区, 冬冷夏热, 年均气温 19.2℃。1 月为最冷月, 平均气温约 8.2℃; 7 月为最热月, 平均气温约 28.4℃。极端最高气温 40℃, 极端最低气温 -5.5℃^[11]。年相对湿度 78.0%, 具有明显的干湿季。

1.2 试验材料及处理

选择生长健壮、苗龄为 2 a 的西藏虎头兰植株, 株高为 (25.15 ± 0.23) cm、分株基径 (1.25 ± 0.11) cm、冠幅 (22.52 ± 0.30) cm。西藏虎头兰稍喜阴, 但在阳光直射的地方也能生长良好^[12]。根据该特性, 本研究通过搭建遮荫棚设置 4 种光照处理: 8%、20%、45% 和 100% 全光照, 8% 光照强度为对照。除光照强度不同外, 其余栽培管理一致。6 月初将长势基本一致的苗木放置于不同遮荫棚下, 每种处理 6 盆。3 个月后对西藏虎头兰在不同光照强度下的光合日变化、光响应曲线、叶绿素含量和生长指标等进行测定, 每种处理重复 3 次。由于西藏虎头兰幼苗不耐强光, 100% 光照强度下的植株全部死亡, 因此未测定这一处理下的光合指标。

1.3 方法

1.3.1 生长指标测定

使用游标卡尺对不同光照条件下的植株生长指标进行测定, 测量指标包括株高、分株基径、冠幅和最大叶长, 每个指标重复 3 次, 记录每次测量数据。

1.3.2 叶绿素含量的测定

取无病虫害且健康完整的叶片 0.1 g, 剪碎后放入 25 mL 试管中, 加入 95% 乙醇 10 mL, 避光浸泡 24 h, 待叶片全部变为白色时取上清液 5 mL, 乙醇定容至 25 mL, 以 95% 乙醇为空白对照进行比色测定。采用紫外可见分光光度计 Alpha 1502 (上海谱元仪器有限公司) 分别测定波长 470 nm、649 nm、665 nm 时的吸光度, 计算叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b)、类胡萝卜素 (Car) 的含量及 Chl a/Chl b、Car/Chl (a + b)。每个处理 3 次重复, 记录每次测定含量。

1.3.3 光合日变化的测定

选择晴朗天气, 于 8:00 - 17:00, 利用 Li-6400 便携式光合作用仪 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA) 的自然光叶室, 测定不同光照强度下西藏虎头兰的光合指标和环境因子日变化, 测定参数包括空气 CO₂ 浓度 (C_a)、光合有效辐射 (PAR)、空气相对湿度 (RH) 和空气温度 (T_a)、净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r) 和胞间 CO₂ 浓度 (C_i) 等。每个光照强度取同一叶位的无病虫害且健康完整的叶片进行测量, 重复 3 次, 记录每次测定数据。

1.3.4 光响应曲线的测定

光响应曲线采用 Li-6400 便携式光合仪 LED 红蓝光源叶室测定, 测定时间为 9:00 - 11:30, 选择每株叶片中段成熟、无病虫害的叶片进行测量。光照强度从大到小依次设置为 1 200 μmol · m⁻² · s⁻¹、1 000 μmol · m⁻² · s⁻¹、800 μmol · m⁻² · s⁻¹、600 μmol · m⁻² · s⁻¹、400 μmol · m⁻² · s⁻¹、200 μmol · m⁻² · s⁻¹、150 μmol · m⁻² · s⁻¹、100 μmol · m⁻² · s⁻¹、75 μmol · m⁻² · s⁻¹、50 μmol · m⁻² · s⁻¹、20 μmol · m⁻² · s⁻¹、0 μmol · m⁻² · s⁻¹; 使用 CO₂ 钢瓶控制 CO₂ 浓度为 400 μmol · m⁻² · s⁻¹, 测量前将叶片置于 600 μmol · m⁻² · s⁻¹ 光照强度下进行诱导, 每个光照强度重复 3 次, 记录每次测量数据。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 对生长指标、光合色素含量、光合日变化、光响应曲线参数等进行初步分析, 采用 SPSS 软件进行 Pearson 相关性分析和显著性分析,

用最小显著性差异性法(LSD法)进行多重比较。采用叶子飘的光合计算软件4.1.1双曲线修正模型对光响应曲线进行拟合^[12],并得出光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、表观量子效率(AQY)、暗呼吸速率(R_d)、最大净光合速率(P_{max})等参数。使用Origin 2021a进行相关图表制作。

2 结果与分析

2.1 主要环境因子日变化规律

由图1可知,3组光照强度处理下的光合有效辐射日变化曲线均为“单峰”型,峰值出现在12:30,

45%光照强度PAR最大,为 $470.68 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;20%光照强度次之,为 $285.68 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;对照(8%光照强度)的PAR最小,为 $175.74 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。空气 CO_2 浓度(C_a)在上午8:00最高,随后下降并稍有波动, C_a 大小总体上表现为对照>20%光照强度>45%光照强度。3组光照强度处理下的 T_a 均于15:30出现最高峰,随后呈下降趋势; T_a 大小表现为45%光照强度>20%光照强度>对照。3组光照强度下RH整体变化与 T_a 相反,基本呈“V”型变化。

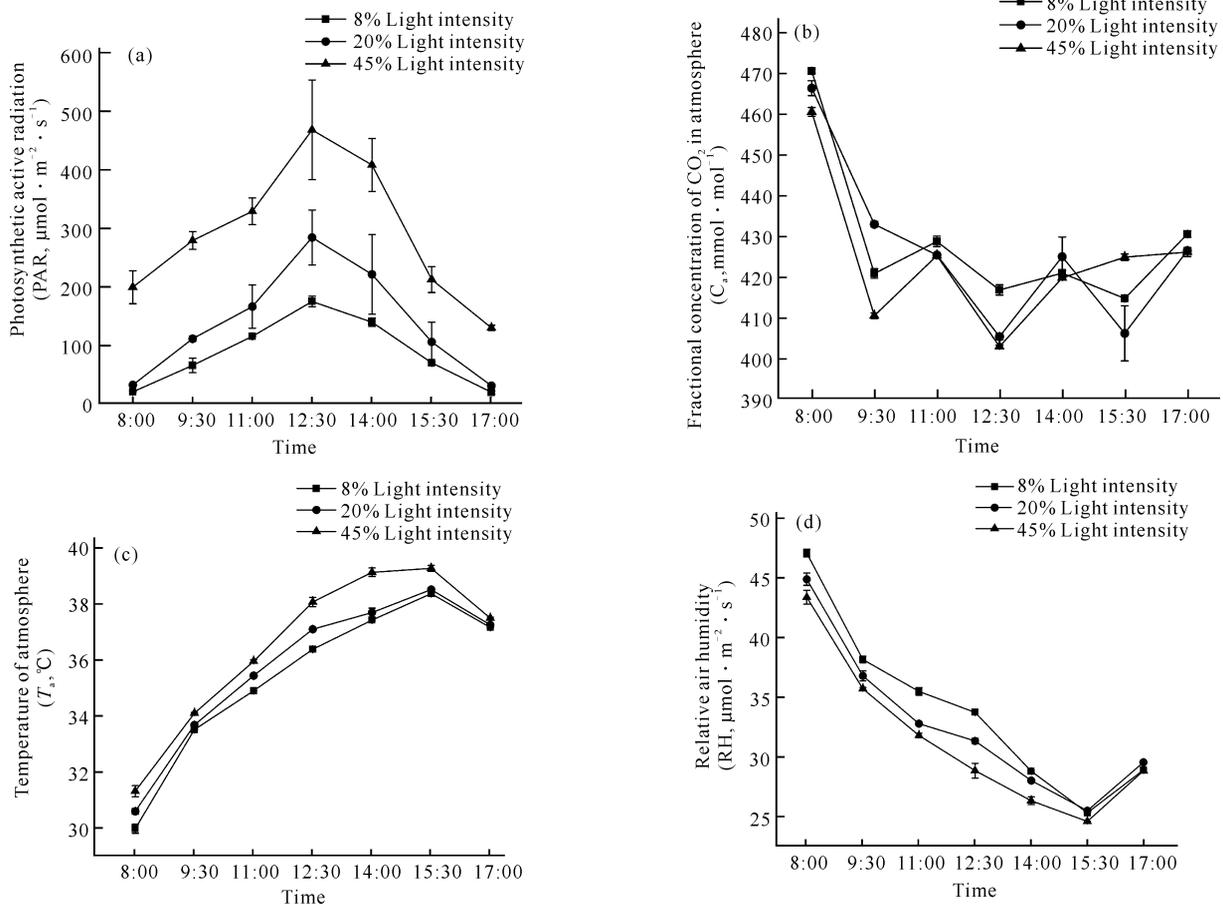


图1 环境因子日变化过程

Fig. 1 Diurnal variation process of the environmental factors

2.2 光照强度对虎头兰生长指标的影响

由表1可知,西藏虎头兰在不同光照强度下的生长量不同,其中在20%光照强度下的西藏虎头兰各生长指标均处于最佳状态,其株高和冠幅均显著高于45%光照强度($P < 0.05$),但与对照处理差异不显著

($P > 0.05$);20%光照强度下分株基径和最大叶长显著高于其他2个光照强度处理($P < 0.05$)。不同光照强度处理下西藏虎头兰生长状况如图2所示,可以明显看到20%光照强度下西藏虎头兰长势最好,对照次之,45%光照强度长势最差,叶片出现枯萎现象。

表 1 不同光照强度对西藏虎头兰生长的影响

Table 1 Effects of different light intensities on the growth of *C. tracyanum* L. Castle

光照强度 Light intensity	株高(cm) Plant height (cm)	分株基径(cm) Base diameter of ramet(cm)	冠幅(cm) Crown width (cm)	最大叶长(cm) Maximum leaf length (cm)
8%	37.33 ± 3.78a	1.93 ± 0.21b	44.50 ± 3.97a	41.67 ± 4.16b
20%	39.33 ± 1.53a	2.38 ± 0.16a	48.67 ± 2.75a	47.33 ± 3.05a
45%	27.67 ± 2.52b	1.50 ± 0.10c	32.33 ± 3.51b	30.00 ± 2.65c

Note: Different lowercase letters in the same column respectively indicate significant differences at the 0.05 level



Left: 8% light intensity; middle: 20% light intensity; right: 45% light intensity

图 2 不同光照强度下西藏虎头兰生长状况

Fig. 2 Growth status of the *C. tracyanum* L. Castle under different light intensities

2.3 光照强度对西藏虎头兰光合色素含量的影响

由表 2 可知, 叶片 Chl a、Chl b 和 Car 含量均随着光照强度的增加而显著下降 ($P < 0.05$), 与对照相比, 20% 光照强度的 Chl a、Chl b 和 Car 含量分别下降 36.14%、35.29%、18.75%, 45% 光照强度的 Chl a、Chl b 和 Car 含量分别下降 68.67%、70.59%、56.25%。随着光照强度的增加, Chl a/Chl b 在各处理间无显著差异, Car/Chl (a + b) 随着光照强度的增加而增加, 这有助于减少西藏虎头兰叶片对光能的吸收, 减轻强光造成的损害。

2.4 光照强度对西藏虎头兰光合日变化的影响

西藏虎头兰 P_n 日变化如图 3(a) 所示, 对照和

20% 光照强度下的 P_n 日变化曲线呈“单峰”型, 峰值出现在 11:00, 分别为 $0.84 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $1.16 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 随后 P_n 呈下降趋势。45% 光照强度的 P_n 日变化曲线呈“双峰”型, 表现出光合“午休”现象, 峰值分别出现在 9:30 和 15:30, 其大小分别为 $0.43 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $0.38 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 前一个峰值大于后一个峰值。8%、20%、45% 光照强度下西藏虎头兰的日均净光合速率分别为 $0.55 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.78 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $0.23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 可见 20% 光照强度下西藏虎头兰光合作用能力最强。

西藏虎头兰 T_r 和 G_s 的日变化规律分别如图 3(b) 和图 3(c) 所示, 对照和 20% 光照强度下的 T_r 和 G_s 日变化曲线基本呈“单峰”型, 均在 11:00 出现峰值, 变化趋势基本一致; 45% 光照强度下的 T_r 和 G_s 日变化曲线呈“双峰”型, 峰值分别出现在 9:30 和 15:30。在 8%、20%、45% 光照强度下, 西藏虎头兰日均 T_r 分别为 $0.19 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.17 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 对照的 T_r 最大, 表明其蒸腾失水能力最强。西藏虎头兰日均 G_s 大小为 20% 光照强度 ($0.0037 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) > 对照 ($0.0036 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) > 45% 光照强度 ($0.0030 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

表 2 不同光照强度下西藏虎头兰光合色素含量

Table 2 Contents of photosynthetic pigments in the *C. tracyanum* L. Castle under different light intensities

光照强度 Light intensity	叶绿素 a (mg/g) Chl a (mg/g)	叶绿素 b (mg/g) Chl b (mg/g)	叶绿素 (a + b) 含量 (mg/g) Chl (a + b) (mg/g)	类胡萝卜 素含量 (mg/g) Car (mg/g)	叶绿素 a/b (mg/g) Chl a/Chl b (mg/g)	类胡萝卜素/ 叶绿素 (a + b) (mg/g) Car/Chl (a + b) (mg/g)
8%	0.83 ± 0.09a	0.34 ± 0.05a	1.17 ± 0.14a	0.16 ± 0.02a	2.46 ± 0.10a	0.14 ± 0.01a
20%	0.53 ± 0.04b	0.22 ± 0.02b	0.75 ± 0.06b	0.13 ± 0.00b	2.41 ± 0.12a	0.17 ± 0.01b
45%	0.26 ± 0.04c	0.10 ± 0.01c	0.36 ± 0.05c	0.07 ± 0.00c	2.59 ± 0.04a	0.20 ± 0.03b

Note: Different lowercase letters in the same column respectively indicate significant differences at the 0.05 level

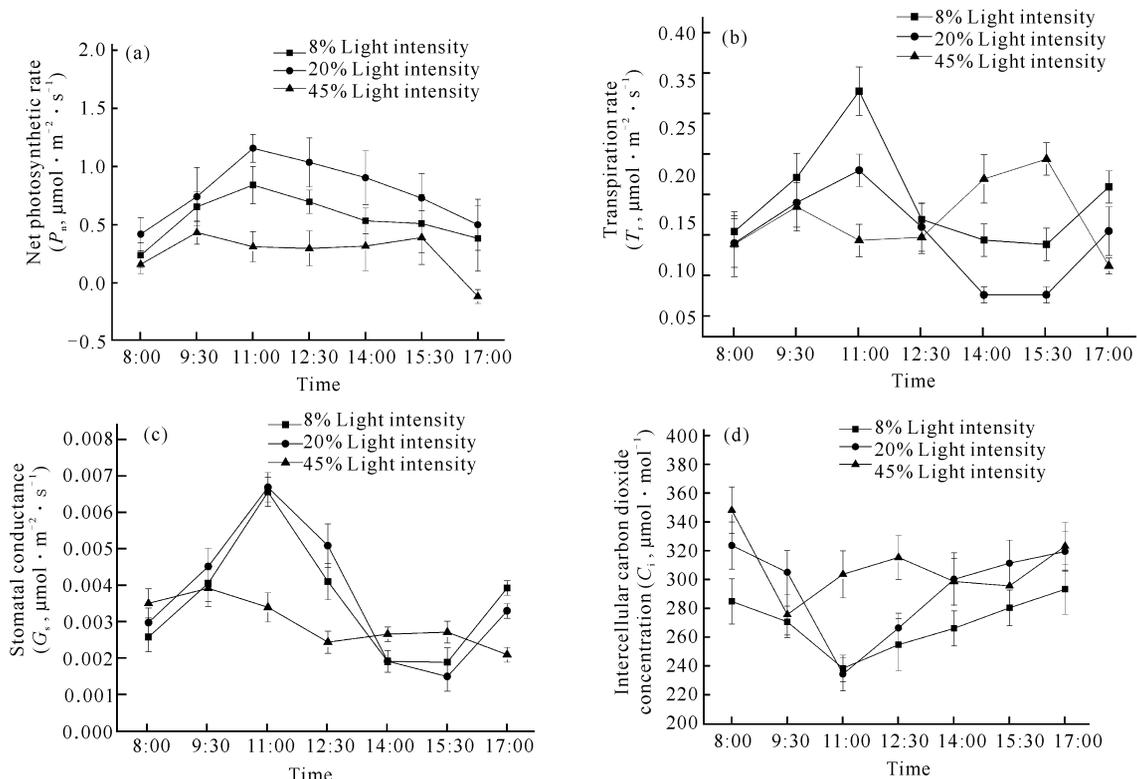


图3 光合日变化

Fig. 3 Diurnal variation of photosynthesis

西藏虎头兰 C_i 日变化曲线如图 3(d) 所示, 对照和 20% 光照强度下的 C_i 日变化曲线与 P_n 日变化曲线相反, 早晚的 C_i 处于较高水平, 整体趋势为先下降后上升, 呈“V”型曲线, 在 11:00 出现谷值。45% 光照强度下的 C_i 的变化趋势为“W”型, 在 9:30 和 15:30 出现谷值。

从表 3 可以看出, 对照的西藏虎头兰 P_n 与 C_i 呈显著负相关 ($r = -0.809$)、与 PAR 呈极显著正相关 ($r = 0.883$), 表明影响 P_n 的主要因素是 C_i 与 PAR, 其中 PAR 的影响更为显著。在 20% 光照强度下, P_n 与 G_s 呈显著正相关 ($r = 0.858$)、与 C_i 呈显著负相关 ($r = -0.868$)、与 T_r 呈显著正相关 ($r = 0.816$), G_s 与 T_r 呈极显著正相关 ($r = 0.975$), T_a 与 RH、 C_a 呈极显著负相关 ($r = -0.990$, $r = -0.896$), C_a 与 RH 呈极显著正相关 ($r = 0.878$), 表明在一定的光照条件下, P_n 同时受到自身多个光合指标因素的影响, 而光合指标也受到环境因素的影响。在 45% 光照强度下, P_n 主要受到 PAR 的影响 ($r = 0.850$), T_a 对 G_s 产生显著影响 ($r = -0.758$), C_i 也受到 PAR 的影响 ($r = -0.786$)。

2.5 光照强度对光响应曲线的影响

从表 4 可知, 45% 光照强度与 20% 光照强度、对

照的光补偿点 (LCP) 具有显著性差异, 而 20% 光照强度的 LCP 与对照无显著性差异。20% 光照强度下西藏虎头兰的 LCP 最低, 为 $8.86 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。不同光照强度下西藏虎头兰的光饱和点 (LSP) 具有显著性差异, 20% 光照强度的 LSP 为 $607.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 显著高于对照 ($424.03 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 45% 光照强度 ($220.37 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 表明光照强度过低 (对照) 和过高 (45%) 都削弱了西藏虎头兰对光的利用能力。表观量子效率 (AQY) 越高, 植株对弱光利用能力越强。本研究中, 20% 光照强度下的 AQY 显著高于对照与 45% 光照强度, 说明在 20% 光照强度下的西藏虎头兰对弱光的利用效率最高。在 3 组不同光照强度下, 20% 光照强度下的西藏虎头兰的暗呼吸速率 (R_d) 最小, 仅为 $0.18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由图 4 可知, 不同光照强度下西藏虎头兰的光响应曲线变化趋势基本一致。最大净光合速率 (P_{\max}) 由大到小顺序为 20% 光照强度 > 8% 光照强度 > 45% 光照强度。20% 与 45% 光照强度下的 P_{\max} 与对照相比分别升高 115.56% 和下降 31.85% (表 4), 表明适当增大光照强度有利于提高西藏虎头兰光合作用的能力, 而过高光照强度会使西藏虎头兰光合作用受到一定程度抑制。

表3 光合指标与环境因子相关性分析

Table 3 Correlation analysis of photosynthetic indexes and environmental factors

光照强度 Light intensity	影响因素 Factors	净光合速率 P_n	气孔导度 G_s	胞间 CO_2 浓度 C_i	蒸腾速率 T_r	空气温度 T_a	光合有效 辐射 PAR	空气相对 湿度 RH	空气 CO_2 浓度 C_a
8%	P_n	1.000							
	G_s	0.467	1.000						
	C_i	-0.809 *	-0.647	1.000					
	T_r	0.362	0.900 * *	-0.624	1.000				
	T_a	0.273	-0.148	-0.052	0.157	1.000			
	PAR	0.883 * *	0.113	-0.711	0.124	0.393	1.000		
	RH	-0.134	0.206	-0.043	-0.134	-0.988 * *	-0.270	1.000	
	C_a	-0.486	-0.077	0.334	-0.366	-0.834 *	0.591	0.798 *	1.000
20%	P_n	1.000							
	G_s	0.858 *	1.000						
	C_i	-0.868 *	-0.587	1.000					
	T_r	0.816 *	0.975 * *	-0.626	1.000				
	T_a	0.053	-0.354	-0.409	-0.315	1.000			
	PAR	0.180	0.109	-0.310	0.195	0.448	1.000		
	RH	-0.054	0.359	0.365	0.349	-0.990 * *	-0.387	1.000	
	C_a	-0.173	0.079	0.447	0.014	-0.896 * *	-0.604	0.878 * *	1.000
45%	P_n	1.000							
	G_s	0.63	1.000						
	C_i	-0.531	-0.14	1.000					
	T_r	0.126	0.048	-0.692	1.000				
	T_a	-0.387	-0.758 *	-0.398	0.456	1.000			
	PAR	0.850 *	0.355	-0.786 *	0.281	0.052	1.000		
	RH	0.432	0.723	0.409	-0.47	-0.992 * *	-0.025	1.000	
	C_a	-0.082	0.408	0.708	-0.222	-0.62	-0.455	0.634	1.000

Note: * indicates significant difference at the 0.05 level; * * indicates extremely significant difference at the 0.01 level

表4 不同光照强度下西藏虎头兰光响应曲线参数比较

Table 4 Comparison of light response parameters of *C. tracyanum* L. Castle under different light intensities

光照强度 Light intensity	光补偿点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) LCP ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) LSP ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	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	暗呼吸速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) R_d ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
8%	9.64 ± 1.02b	424.03 ± 18.50b	1.35 ± 0.32b	0.035 ± 0.002b	0.35 ± 0.10a
20%	8.86 ± 0.87b	607.67 ± 22.30a	2.91 ± 0.55a	0.041 ± 0.003a	0.18 ± 0.09c
45%	19.22 ± 2.11a	220.37 ± 15.14c	0.92 ± 0.13c	0.030 ± 0.002c	0.25 ± 0.11b

Note: Different lowercase letters in the same column respectively indicate significant differences at the 0.05 level

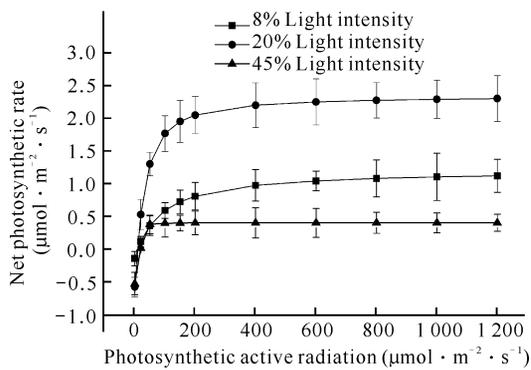


图4 不同光照强度对净光合速率的影响

Fig. 4 Effect of different light intensity on net photosynthetic rate

3 讨论

植物的生长状况反映了其对环境的适应能力^[13],当环境对其生长不利时,植物的生长会受到不同程度的影响。叶片是植物光能的直接受体,一般情况下,随着光照强度的减弱,植物会通过增大叶长、叶宽来增加叶面积以适应弱光条件^[14,15]。当光照不能满足植物生长需求时,植物会将光合作用产生的有机物优先分配于其地上部分,使植株地上部分优先生长,使得植物能获得更多的光能^[16]。本研究结果表明,对西藏虎头兰进行适当遮荫处理,能促进其生长,这是植株对弱光环境的适应性表现^[17],此结果与李雨霏等^[18]对青钱柳的研究结果一致,不同遮荫处理在其他植物树高和叶长的研究中也有相同的发现,如珠子参和半夏生^[19,20]。

叶绿素是植物捕获光量子数和传递能量的光合色素,其值高低反映植物光合作用和光吸收作用的强弱^[21]。有研究认为,植物在弱光照强度下,为能捕获更多的光量子,通常会通过增加叶绿素含量来适应弱光条件^[22]。叶绿素 b 在弱光环境能吸收蓝紫光进行光合作用,因此当植物生长在弱光环境时,可通过增加单位面积叶绿素(a+b)的含量,尤其是增加叶绿素 b 的含量来适应弱光环境^[23]。本研究结果表明,随着光照强度的减弱,叶绿素(a+b)和叶绿素 b 含量均显著升高,各处理间差异显著,在 8%光照强度下达到最大值,说明西藏虎头兰在弱光环境下,通过增加叶绿素含量来增强光照的吸收和适应弱光环境。叶绿素 a/b 是反映植物光合作用能力大小的指标,其值越低,说明对光照的利用能力越强^[24]。本研究中叶绿素 a/b 随着光照强度的增加,表现为先减少后增加,其中 20%光照强度下的叶绿素 a/b 达到最小值,

表明西藏虎头兰在 20%光照强度下对光的利用能力最强,此结果与王建华等^[25]对连翘的研究结果一致。

光合作用是植物在生长发育中重要且复杂的一个过程,光合作用受到植物自身内部因素如蒸腾速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度等的影响,同时也受外界因素如空气相对湿度、空气温度、空气二氧化碳浓度和光合有效辐射的影响^[26]。对照和 20%光照强度下的 P_n 日变化基本相似,呈“单峰”型曲线,随着 PAR 逐渐增高, P_n 增大,在 11:00 达到最大值,随后迅速下降,未出现光合“午休”现象,在同一 PAR 下, P_n 大小表现为 20%光照强度>对照,表明过低的光照强度会使西藏虎头兰的光合能力受到限制,这与夏婵等^[27]对赤皮青冈幼苗的研究结果一致。在 45%光照强度下的西藏虎头兰由于午间温度和 PAR 过高, P_n 日变化呈“双峰”型曲线,出现光合“午休”现象。45%光照强度与对照、20%光照强度相比,日均 P_n 最低,表明过高的光强可能会对西藏虎头兰的光合细胞造成破坏,产生光抑制,导致净光合速率降低,对植株的生长产生影响,出现植株矮小、叶片面积过小的现象。这与高秋美等^[28]对多花黄精的研究结果一致。

光照强度对植物的形态建成和生长具有重要意义,同时也影响着植物的光合指标^[29]。LCP 和 LSP 反映植物需光特性和需光量,LSP 越高,表明植物能利用更高强度的光照进行光合作用^[30]。西藏虎头兰在不同光照强度下的 LSP 和 LCP 存在显著性差异,但 LSP 均在 $607.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 及以下,表现出耐阴植物的特点^[31]。

4 结论

本研究结果表明,西藏虎头兰能通过调整其光合生长特性来适应不同的光照强度。西藏虎头兰在 20%光照强度下其株高、冠幅和基径等生长指标最佳,表明 20%光照强度下西藏虎头兰的长势最好。此外,西藏虎头兰在 20%光照强度下的光补偿点最低,光饱和点、表观量子效率和最大净光合速率最高,表明 20%光照强度下西藏虎头兰光合作用能力最强。由此可见,20%光照强度为西藏虎头兰的适宜生长光照强度。因此在西藏虎头兰栽培繁殖过程中,注意遮荫的同时也应该提供一定的光照来促进西藏虎头兰的生长。

参考文献

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第十

- 八卷[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [2] 卢思聪. 虎头兰品种简介[J]. 中国花卉盆景, 1991(3): 8-9.
- [3] 卢思聪. 虎头兰及其栽培[J]. 中国花卉盆景, 1985(6): 10-11.
- [4] 薛天民. 虎头兰[J]. 花木盆景(花卉园艺), 1998(4): 13.
- [5] 贾立平. 太阳辐射与植物生长发育的关系[J]. 新农业, 2021(19): 36.
- [6] 王莲辉, 姜运力, 余金勇, 等. 西藏虎头兰的组织培养与快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(1): 51-52.
- [7] 蓝玉甜, 吴天贵, 刘世勇, 等. 野生西藏虎头兰组培技术研究[J]. 福建林业科技, 2010, 37(1): 77-79.
- [8] 颜凤霞, 李孝绒, 田凡, 等. 西藏虎头兰花香成分分析[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(2): 239-249.
- [9] 匡美龄, 张石宝. 西藏虎头兰和墨兰对强光的生理响应[J]. 植物分类与资源学报, 2015, 37(1): 55-62.
- [10] LI J W, ZHANG S B. Differences in the responses of photosystems I and II in *Cymbidium sinense* and *C. tracyanum* to long-term chilling stress [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016 (6): 1097. DOI: 10. 3389/fpls. 2015. 01097.
- [11] 邹伶俐, 黄仕训. 桂林植物园地被植物资源及园林应用探讨[J]. 广西城镇建设, 2007(12): 80-82.
- [12] 叶子飘. 光合作用对光和 CO₂ 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 727-740.
- [13] CARBONE F, PREUSS A, DE VOSRCH R C S, et al. Developmental, genetic and environmental factors affect the expression of flavonoid genes, enzymes and metabolites in strawberry fruits [J]. *Plant Cell and Environment*, 2009, 32(8): 1117-1131.
- [14] 陈菊艳, 杨远庆. 遮光对野扇花生生长特性和生理指标的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(8): 1646-1652.
- [15] 王凯, 朱教君, 于立忠, 等. 遮阴对黄波罗幼苗的光合特性及光能利用效率的影响[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 1003-1012.
- [16] 霍常富, 孙海龙, 王政权, 等. 光照和氮营养对水曲柳苗木生长及碳-氮代谢的影响[J]. 林业科学, 2009, 45(7): 38-44.
- [17] 周黎君, 史红专, 郭巧生, 等. 光照强度对夏枯草幼苗生长及光合特性的影响[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(13): 1693-1696.
- [18] 李雨霏, 郭鹏飞, 张小燕, 等. 遮荫对青钱柳苗期光合特性和生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(8): 6-10.
- [19] 黄文静, 孙晓春, 王楠, 等. 遮阴对珠子参生长发育及光合生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(5): 49-53.
- [20] 任丽华, 高秋美, 孟庆峰, 等. 不同遮荫处理对林下半夏生长及光合特性的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(5): 60-62.
- [21] 杨丽琼, 吴云, 宋明亮, 等. 不同遮阴强度黄金香柳光合色素的含量[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(7): 150-154.
- [22] 闫小莉, 王德炉. 遮荫对苦丁茶树叶片特征及光合特性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3538-3547.
- [23] 杨秉建, 朱敏群, 黄慧青, 等. 不同光照强度对叉花草叶片结构和叶绿素含量的影响[J]. 草原与草坪, 2014, 34(4): 52-55, 60.
- [24] 薛伟, 李向义, 朱军涛, 等. 遮阴对疏叶骆驼刺叶形态和光合参数的影响[J]. 植物生态学报, 2011, 34(1): 82-90.
- [25] 王建华, 任士福, 史宝胜, 等. 遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1811-1817.
- [26] 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. DOI: 10. 13292/j. 1000-4890. 2021. 04. 013.
- [27] 夏婵, 李何, 王佩兰, 等. 不同光照强度对赤皮青冈幼苗光合特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(7): 72-79. DOI: 10. 14067/j. cnki. 1673-923x. 2021. 07. 009.
- [28] 高秋美, 任丽华, 米真如, 等. 不同光照强度对多花黄精生长及光合特性的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(6): 44-47. DOI: 10. 14083/j. issn. 1001-4942. 2021. 06. 008.
- [29] 闫晓文, 刘振威, 孙丽, 等. 不同光强处理对南瓜幼苗生长及田间性状的影响[J]. 北方园艺, 2021(15): 7-13.
- [30] 黄印冉, 梁文华, 赵丹, 等. 遮荫对胡枝子形态及光合特性的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2019, 42(1): 28-34.
- [31] 耿晓东, 王菊秋, 周英, 等. 不同光照强度下3种萱草属植物的光合特性与叶绿素荧光特性[J/OL]. 分子植物育种, 2021[2021-12-23]. <http://kns. cnki. net/kcms/detail/46. 1068. S. 20210601. 1604. 016. html>.

Effects of Light Intensity on the Growth and Photosynthetic Characteristics of *Cymbidium tracyanum* L. Castle Seedlings

ZHU Shujing^{1,2}, QIN Huizhen¹, XU Aizhu¹, DENG Lili¹, LIU Shiyong³, JIANG Qiang³, CHAI Shengfeng³

(1. Guangxi Key Laboratory of Functional Phytochemicals Research and Utilization, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541006, China; 3. Guangxi Yachang Orchid National Nature Reserve Management Center, Baise, Guangxi, 533209, China)

Abstract: The adaptability of *Cymbidium tracyanum* L. Castle seedlings to different light intensities was explored to determine the suitable light intensities for their growth, so as to provide scientific basis for resource conservation and domestication of this species. Taking the 2-year-old *C. tracyanum* L. Castle as the research object, the growth status, chlorophyll content and photosynthetic parameters of *C. tracyanum* L. Castle under different light intensities (8%, 20%, 45%, 100% full light) were measured. The results showed that the growth of *C. tracyanum* L. Castle was the best under 20% light intensity, and its plant height, ramet base diameter, crown width and maximum leaf length were the largest. With the increase of light intensity, the contents of Chl a, Chl b, Chl (a + b) and Car in the leaves of *C. tracyanum* L. Castle significantly decreased, while Car/Chl (a + b) increased, Chl a/b had no significant change. The net photosynthetic rate (P_n) of *C. tracyanum* L. Castle showed a 'single peak' curve under 8% and 20% light intensities, and under 45% light intensity, it showed 'double peak' curve. The daily average P_n size was 20% light intensity ($0.78 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) > 8% light intensity ($0.55 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) > 45% light intensity ($0.23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Under 20% light intensity, the light compensation point (LCP, $8.86 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) was the lowest, the light saturation point (LSP, $607.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), the apparent quantum yield (AQY, $0.041 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and the maximum net photosynthetic rate (P_{\max} , $2.91 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) were the highest. In this study, the plants of *C. tracyanum* L. Castle had the best growth and the strongest photosynthesis ability under 20% light intensity. Therefore, appropriate light should be provided to help its growth during the introduction and cultivation.

Key words: *Cymbidium tracyanum* L. Castle; light intensity; net photosynthetic rate; light response curve; diurnal variation

责任编辑:梁 晓



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>