

## ◆ 研究类 ◆

3 种观赏性石斛的光合特性比较研究<sup>\*</sup>秦惠珍<sup>1</sup>, 邹蓉<sup>1</sup>, 邓丽丽<sup>1</sup>, 杨一山<sup>1</sup>, 柴胜丰<sup>1</sup>, 蒋强<sup>2</sup>, 罗亚进<sup>2\*\*</sup>

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西桂林 541006; 2. 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:**为探明3种观赏性石斛属 *Dendrobium* Sw. 植物在光合生理方面的差异, 为其栽培及规模化种植提供理论依据。本研究以3种观赏性石斛(叠鞘石斛 *D. denneanum* Kerr.、流苏石斛 *D. fimbriatum* Hook. 和束花石斛 *D. chrysanthum* Wall. ex Lindl.) 为材料, 测定其叶片的光响应曲线、CO<sub>2</sub> 响应曲线及叶绿素相对含量 (SPAD 值), 探究其光合特性。结果表明, 叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛3种石斛属植物的光补偿点(LCP) 分别为 2.15 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、3.74 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、1.79 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 光饱和点(LSP) 分别为 995.09 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、679.44 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、712.28 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, LCP 均低于 5 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, LSP 均低于 1 000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 属于典型的阴生植物, 具有较强的耐阴性; 3种石斛的最大净光合速率( $P_{\max}$ ) 分别为 3.54 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、3.86 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、4.03 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 表观量子效率(AQY) 分别为 0.042, 0.044 和 0.051, 束花石斛的  $P_{\max}$  和 AQY 最大, 光合作用能力较强。3种石斛的 CO<sub>2</sub> 响应曲线中, 最大净光合速率( $A_{\max}$ ) 大小依次为叠鞘石斛(11.99 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)、流苏石斛(10.87 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)、束花石斛(4.75 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), 叠鞘石斛利用 CO<sub>2</sub> 进行光合作用的能力最强; 3种石斛的 CO<sub>2</sub> 饱和点(CSP) 无显著性差异, 在 CO<sub>2</sub> 浓度不大于 2 000 μmol·mol<sup>-1</sup> 时均未到达饱和点; CO<sub>2</sub> 补偿点(CCP) 具有显著性差异, CCP 分别为 100.12 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、158.02 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、134.44 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 其中叠鞘石斛的 CCP 最低, 对低浓度 CO<sub>2</sub> 的利用能力最强。3种石斛叶片的 SPAD 值分别为 51.09, 56.93 和 58.06, 其高低与其净光合速率的大小有一定程度的相关性。在3种石斛中, 束花石斛的光合作用能力最强, 对弱光的利用能力较强; 流苏石斛对弱光的利用能力较弱, 光照适应范围狭窄; 叠鞘石斛对强光的利用能力较强, 光合作用适应范围较广。此外, 3种石斛均具有较强的耐阴性, 对 CO<sub>2</sub> 的耐受性也较强, 在种植时应提供适当的遮阴和增加 CO<sub>2</sub> 浓度来提高石斛的光合作用能力。

**关键词:** 石斛属 光响应曲线 CO<sub>2</sub> 响应曲线 叶绿素相对含量 光抑制

中图分类号: R282.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2022)02-0147-08

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyb.20220622.006

收稿日期: 2022-01-20

\* 广西科技基地和人才专项(桂科 AD18281006), 广西植物研究所基本业务费项目(桂植业 21002, 21012 和 21013) 和广西科学院基本业务费项目(2019YJJ1008) 资助。

## 【作者简介】

秦惠珍(1993-), 女, 研究实习员, 主要从事药用植物与濒危植物的保育与研究。

## 【\*\*通信作者】

罗亚进(1987-), 男, 工程师, 主要从事植物生态学研究, E-mail: 354923416@qq.com。

## 【引用本文】

秦惠珍, 邹蓉, 邓丽丽, 等. 3种观赏性石斛的光合特性比较研究[J]. 广西科学院学报, 2022, 38(2): 147-154.

QIN H Z, ZOU R, DENG L L, et al. Comparative Study on Photosynthetic Characteristics of Three Ornamental *Dendrobium* Species [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2022, 38(2): 147-154.

石斛属 *Dendrobium* Sw. 是兰科植物中仅次于石豆兰属的第二大属,为多年生草本植物。石斛属植物野生资源主要分布在云南、广西和贵州<sup>[1]</sup>,广西野生石斛资源非常丰富,其中以兰科命名的广西雅长兰科植物国家级自然保护区石斛属植物有9种,呈局部集中、整体零星分布的特点;石斛对生存环境要求严格,大多分布在海拔450–900 m的温凉高湿地带,受温度、光照、土壤等环境因子影响较大<sup>[2]</sup>。野生石斛大都存在不同程度的生境破碎、人为采挖严重等现象,野生石斛资源急剧减少。石斛属植物多兼具药用、食用与观赏价值,市场需求量大。由于石斛属植物生境特殊,生长发育缓慢,野生资源远远无法满足市场的需求。石斛属研究领域广,目前关于石斛属植物的研究有化学成分<sup>[3,4]</sup>、亲缘关系及分子鉴定<sup>[5-7]</sup>、代谢途径<sup>[8,9]</sup>、内生真菌及菌根真菌<sup>[10,11]</sup>和光合生理特性研究<sup>[12-14]</sup>。针对石斛属植物,虽然从生理生化方面进行了较多的研究,但关于其可再生资源研究较少,且主要集中在组织培养方面。迄今已有部分石斛属植物在组织培养上取得试管苗,如铁皮石斛、姬美石斛、兜唇石斛和细茎石斛等<sup>[15-19]</sup>,但大多数石斛属植物的组培苗存在移栽成活率低,难以在生产中大规模使用等问题。因此,摸清石斛野外生长所需要的环境条件及其生理特性,对攻克石斛属植物的规模化栽培具有重要意义。光合作用是植物进行生长的必要条件,对石斛属植物的产量和品质具有重要影响<sup>[20]</sup>。影响光合作用的温度、光照、水分、环境中CO<sub>2</sub>浓度等环境因素均会影响石斛属植物的生长,米斛、铁皮石斛和铜皮等3种霍山石斛的最佳生长环境条件为湿度80%左右,高光强、高温和低湿度均会抑制其生长;低温会对报春石斛造成一定程度的胁迫,导致其光合作用效率降低<sup>[21]</sup>;增大CO<sub>2</sub>浓度有利于促进霍山石斛的生长<sup>[22]</sup>。

叠鞘石斛 *Dendrobium denneanum* Kerr.、流苏石斛 *D. fimbriatum* Hook. 和束花石斛 *D. chrysanthum* Wall. ex Lindl. 在广西乐业县繁育效果良好,花朵艳丽、开花周期长,观赏价值高,具有广阔的市场前景,因此本研究选用这3种石斛作为研究对象。通过研究不同光合有效辐射(Photosynthetically Active Radiation, PAR)和不同CO<sub>2</sub>浓度对叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛等3种观赏性石斛光合特性的影响,旨在摸清3种石斛对光照强度和CO<sub>2</sub>浓度的需求规律,找出其生长的适宜光照范围和CO<sub>2</sub>浓度,为其栽

培驯化、良种繁育及规模化种植等提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

于2021年4月,在广西雅长兰科植物国家级自然保护区兰花繁育实验中心进行试验,地理位置为24°51' N, 106°22' E,海拔为940 m。试验地年平均气温16.3℃,年平均降水量为1 051.7 mm,年平均日照1 467.0 h,属亚热带季风气候。

### 1.2 材料

选取广西雅长兰科植物国家级自然保护区兰花繁育实验中心3年生叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛的栽培植株,株高均为80–100 cm,每个物种选取5株作为待测植株,选取3–5片中上部成熟叶片进行测定。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 光响应曲线测定

于晴天上午9:00–11:30使用Li-6400 XT便携式光合仪(Li-XT, USA)进行测定,采用LED红蓝光源叶室,将PAR设定为1 600 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、1 400 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、1 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、1 000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、800 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、600 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、400 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、150 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、100 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、80 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、60 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、40 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、20 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、0 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 15个梯度,CO<sub>2</sub>浓度控制在400 μmol·mol<sup>-1</sup>。采用自动测量系统Auto Prog,设定最大等待时间300 s、最小等待时间120 s。每个物种测量3株植物,每株植物测量一个叶片,测定对应的净光合速率(P<sub>n</sub>)、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、表观量子效率(AQY)和暗呼吸速率(R<sub>d</sub>)等光合特性指标。

#### 1.3.2 CO<sub>2</sub> 响应曲线测定

使用Li-6400 XT便携式光合仪中的CO<sub>2</sub>自动测量系统测定3种石斛属植物的CO<sub>2</sub>响应曲线,每种植物测量3个重复,光照强度设定为600 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,CO<sub>2</sub>浓度梯度设为50 μmol·mol<sup>-1</sup>、100 μmol·mol<sup>-1</sup>、150 μmol·mol<sup>-1</sup>、200 μmol·mol<sup>-1</sup>、300 μmol·mol<sup>-1</sup>、400 μmol·mol<sup>-1</sup>、600 μmol·mol<sup>-1</sup>、800 μmol·mol<sup>-1</sup>、1 000 μmol·mol<sup>-1</sup>、1 200 μmol·mol<sup>-1</sup>、1 600 μmol·mol<sup>-1</sup>、2 000 μmol·

$\text{mol}^{-1}$ , 设定最大等待时间 300 s、最小等待时间 120 s, 测定对应的  $P_n$ 。

### 1.3.3 叶绿素相对含量测定

选取 3 种石斛属植物中上部位的健康成熟叶片, 用 SPAD-502 Plus 叶绿素计 (MINOLTA, Japan) 对 3 种石斛属植物叶片进行 SPAD 值测量, 每张叶片测量 6 个位置, 每种植物测 5 株。

### 1.4 数据处理

利用 WPS 2019 的 Excel 软件进行数据整理及初步分析, 采用 Origin 9.1 作图, 采用 IBM SPSS Statistics 23 软件进行多重比较分析, 用直角双曲线修正模型<sup>[23]</sup> 拟合 3 种石斛属植物的光响应曲线及  $\text{CO}_2$  响应曲线, 利用光合计算 4.1.1 软件计算光响应曲线及  $\text{CO}_2$  响应曲线拟合值及光合参数。

## 2 结果与分析

### 2.1 光响应曲线

叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛光响应曲线拟合的决定系数 ( $R^2$ ) 均达到 0.95 以上, 拟合效果较好。3 种石斛的光响应曲线随 PAR 的变化趋势存在一定差异 (图 1)。其中束花石斛的  $P_n$  随 PAR 的变化最明显, 在 PAR 为 0–200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $P_n$  随 PAR 的增加呈现直线上升的趋势; 在 PAR 为 200–400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $P_n$  随 PAR 的增加呈现缓慢上升的趋势; 随后  $P_n$  随 PAR 的增加呈现下降的趋势。可见, 强光照会导致束花石斛光合作用受到限制, 光合作用能力下降。流苏石斛和叠鞘石斛的光响应曲线呈现相似的变化趋势, 在 PAR 为 0–200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $P_n$  随 PAR 的增加呈现直线上升的趋势, 随后  $P_n$  随 PAR 的增加缓慢上升最后趋于稳定。叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛 3 种石斛的最大净光合速率 ( $P_{\text{max}}$ ) 分别为 3.54  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、3.86  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、4.03  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 无显著性差异 (表 1)。

表 1 3 种石斛属植物光响应曲线特征参数

Table 1 Characteristic parameters of light response curve of three *Dendrobium* species

种名 Species name	最大净光合速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) $P_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光补偿点 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) LCP ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光饱和点 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) LSP ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	表观量子效率 AQY	暗呼吸速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) $R_d$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
<i>D. denneanum</i>	3.54 ± 0.072a	2.15 ± 0.45b	995.09 ± 26.51a	0.042 ± 0.056b	0.23 ± 0.11b
<i>D. fimbriatum</i>	3.86 ± 0.144a	3.74 ± 0.17a	679.44 ± 21.94c	0.044 ± 0.144b	0.43 ± 0.18a
<i>D. chrysanthum</i>	4.03 ± 0.284a	1.79 ± 0.22c	713.28 ± 18.06b	0.051 ± 0.135a	0.29 ± 0.15b

Note: Different letters after the same column of data indicate significant difference ( $P < 0.05$ )

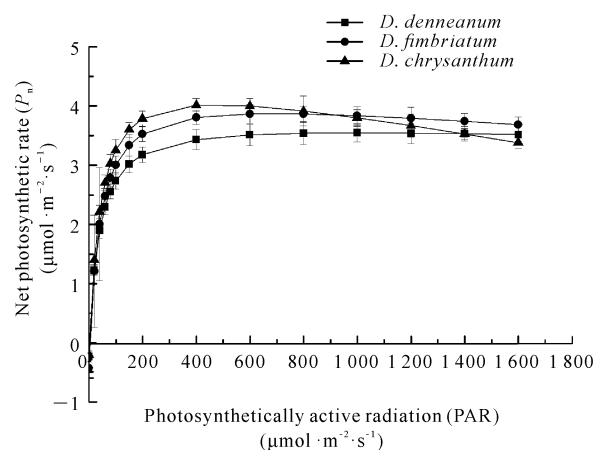


图 1 3 种石斛属植物的光响应曲线

Fig. 1 Light response curve of three *Dendrobium* species

植物光合作用光饱和点 (LSP) 和光补偿点 (LCP) 的差值越大, 表明植物利用的光照强度范围越大, 光合作用能力越强<sup>[24]</sup>。3 种石斛的 LCP 具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 其中束花石斛的 LCP 最低, 表明其对弱光的利用能力最强。3 种石斛的 LSP 具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 其中, 叠鞘石斛 LSP 最高, 其对强光的利用能力最强, 其次为束花石斛, 流苏石斛对强光的利用能力最弱, 强光容易导致流苏石斛发生光抑制现象。叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛的 LSP 与其 LCP 的差值分别为 992.94  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、675.70  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、711.49  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 可见叠鞘石斛利用光照强度的范围最广, 在生产中可根据光照特点扩大其栽培范围。3 种石斛的表观量子效率 (AQY) 差异较大, 叠鞘石斛和流苏石斛对弱光的利用能力显著低于束花石斛 ( $P < 0.05$ )。3 种石斛间的暗呼吸速率 ( $R_d$ ) 具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 其中流苏石斛的  $R_d$  显著高于叠鞘石斛和束花石斛, 流苏石斛进行暗呼吸作用消耗有机物的能力显著高于其他两种石斛。

## 2.2 CO<sub>2</sub> 响应曲线

叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛的 CO<sub>2</sub> 响应曲线拟合的决定系数( $R^2$ )均在 0.94 以上, 曲线的拟合效果较好。3 种石斛的  $P_n$  变化趋势随 CO<sub>2</sub> 浓度(50–2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )的增加存在明显差异。叠鞘石斛的  $P_n$  随 CO<sub>2</sub> 浓度(50–2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )的增加呈现直线上升的趋势, 但 CO<sub>2</sub> 浓度并未达到饱和状态。流苏石斛的  $P_n$  在 CO<sub>2</sub> 浓度为 0–400  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  时缓慢上升; 之后随着 CO<sub>2</sub> 浓度增加, 呈现直线上升趋势, 但 CO<sub>2</sub> 浓度并未达到饱和状态。束花石斛的  $P_n$  在 CO<sub>2</sub> 浓度为 0–400  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  时缓慢上升, 同流苏石斛的  $P_n$  变化趋势一致; 在 CO<sub>2</sub> 浓度为 400–500  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  时, 呈现直线上升趋势; 之后随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增加, 呈现缓慢上升趋势, 但 CO<sub>2</sub> 浓度未达到饱和状态(图 2)。可见, 3 种石斛中叠鞘石斛  $P_n$  增长最快, 且 CO<sub>2</sub> 浓度高或低时,  $P_n$  增长没有显著变化; 流苏石斛的  $P_n$  增长趋势居中, 但其利用低浓度 CO<sub>2</sub> 的能力较弱; 束花石斛的  $P_n$  增长趋势最缓慢, 且其利用低浓度和高浓度 CO<sub>2</sub> 的能力均较弱。

表 2 反映了 3 种石斛属植物的光合作用对 CO<sub>2</sub> 胞间浓度响应的特征参数。3 种石斛的初始羧化效率( $\beta$ )的大小依次为叠鞘石斛>流苏石斛>束花石斛, 但叠鞘石斛和流苏石斛的  $\beta$  没有显著性差异。最大净光合速率( $A_{\text{max}}$ )反映了植物利用 CO<sub>2</sub> 进行光合作用的能力, 3 种石斛的  $A_{\text{max}}$  大小依次为叠鞘石斛>流苏石斛>束花石斛, 且叠鞘石斛和流苏石斛的  $A_{\text{max}}$  分别为束花石斛的 2.29 和 2.52 倍。CO<sub>2</sub> 补偿点(CCP)和 CO<sub>2</sub> 饱和点(CSP)是判断植物是否具有高光合速率的一个指标<sup>[25]</sup>。一般来说, 具有高光合效率的植物具有较低的 CCP 和较高的 CSP。3 种石斛的 CSP 没有显著性差异, 且均在 2 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  以上。

表 2 3 种石斛属植物 CO<sub>2</sub> 响应曲线特征参数

Table 2 Characteristic parameters of CO<sub>2</sub> response curve of three *Dendrobium* species

种名 Species name	初始羧化效率 ( $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ ) $\beta$ ( $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ )	最大净光合速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) $A_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	CO <sub>2</sub> 补偿点 CCP ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	CO <sub>2</sub> 饱和点 CSP ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光呼吸速率 $R_p$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
<i>D. denneanum</i>	0.011 ± 0.005a	11.99 ± 1.654a	100.12 ± 2.193c	2 675.52 ± 33.346a	1.06 ± 0.064b
<i>D. fimbriatum</i>	0.010 ± 0.003a	10.87 ± 1.105a	158.02 ± 2.848a	2 415.71 ± 35.390a	1.57 ± 0.018a
<i>D. chrysanthum</i>	0.008 ± 0.002b	4.75 ± 0.834b	134.44 ± 3.843b	2 831.89 ± 25.017a	0.95 ± 0.019b

Note: Different letters after the same column of data indicate significant difference ( $P < 0.05$ )

3 种石斛的 CCP 具有显著性差异, 叠鞘石斛的 CCP 最小(100.12  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 流苏石斛的 CCP 最大(158.02  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛的 CSP 与其 CCP 的差值分别为 2 575.40  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、2 257.69  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、2 697.45  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 综合分析 CCP 和 CSP 可知, 3 种石斛的光合效率相近。流苏石斛的光呼吸速率( $R_p = 1.57 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )显著大于叠鞘石斛和束花石斛, 但远不及耐强光植物的光呼吸速率<sup>[26]</sup>, 3 种石斛的光呼吸速率均较低, 可能与其耐阴性有关。

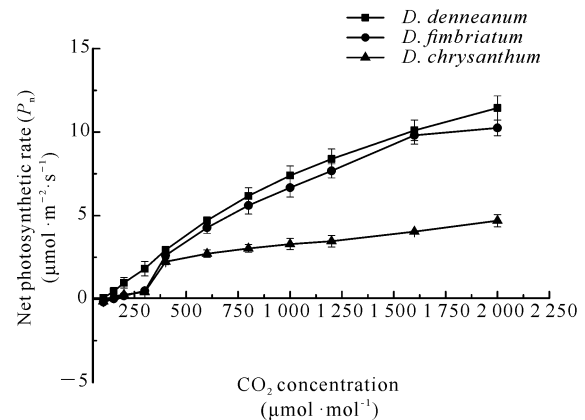


图 2 3 种石斛属植物光合作用 CO<sub>2</sub> 响应曲线

Fig. 2 CO<sub>2</sub> response of photosynthesis of three *Dendrobium* species

## 2.3 叶绿素相对含量

由图 3 可知, 3 种石斛属植物叶片的 SPAD 值表现为束花石斛与流苏石斛无显著性差异, 与叠鞘石斛具有显著性差异; 其中束花石斛的 SPAD 值(58.06)最大, 叠鞘石斛的 SPAD 值(51.09)最小。3 种石斛的 SPAD 值变化趋势与光响应曲线中的净光合速率变化趋势一致。



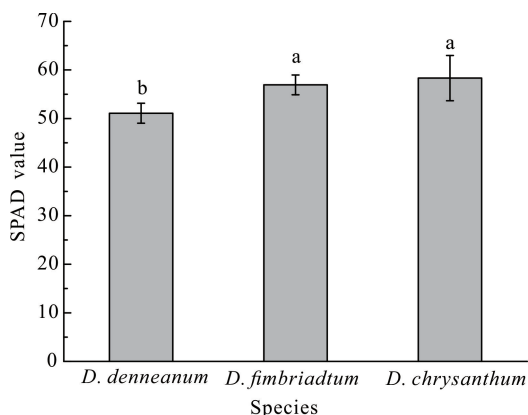


图3 3种石斛属植物的SPAD值

Fig. 3 SPAD values of of three *Dendrobium* species

### 3 讨论

光质作为能源对植物生长至关重要,植物利用光能进行光合作用,为包括人在内的所有生命提供能量<sup>[27]</sup>。但不同植物对光量子的吸收能力不一样,当植物吸收的光能大于其化学反应所需要的能量时,由于有部分光能未能被消耗,就会产生光抑制现象,光抑制的程度取决于光系统II反应中心与光合机构保护机制的运转破坏两方面的平衡状态<sup>[28]</sup>。阳生植物具有较强的光合作用能力,一方面是因为在强光下其仍能提高光合效率,利用更多的光能;另一方面是其能增加热耗散,消灭过剩光能,维持光系统平衡<sup>[29]</sup>。阴生植物光合能力较弱,主要是因为其对强光的利用能力较弱,对强光特别敏感,具有强光不耐受性,在强光下光系统结构受到破坏<sup>[30]</sup>。阴生植物一般对弱光具有较强的耐受能力,典型的阴生植物其光饱和点、光补偿点均较低<sup>[31]</sup>。本研究中,叠鞘石斛、流苏石斛和束花石斛的光饱和点均低于  $1\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,光补偿点均小于  $5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,3种石斛的光饱和点和光补偿点均较低,为典型的阴生植物<sup>[32]</sup>,具有较强的耐阴性,可能与其长期生长在阴湿的树干、有苔藓覆盖的岩石壁上有关,是长期与环境相互作用的结果,且强光下表现出一定的不适应性。AQY是度量植物对弱光利用能力的指标,AQY值越大,表明植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体越多,利用弱光能力越强<sup>[33]</sup>。本研究中束花石斛的AQY显著高于其他两种石斛,表明束花石斛对弱光的利用能力最强。暗呼吸速率( $R_d$ )是指植物在光照强度为0时,单位时间内通过呼吸消耗氧气和有机物生成二氧化碳的量<sup>[34]</sup>。暗呼吸速率反映植物在黑暗条件下消耗有机物的程度<sup>[35]</sup>,本研究中3种石斛的

暗呼吸速率( $R_d$ )具有一定的显著性差异,表现在流苏石斛与叠鞘石斛、束花石斛差异显著,而叠鞘石斛与束花石斛之间差异不显著,但3种石斛的 $R_d$ 较低,均小于  $0.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,可能与石斛属植物的耐阴性和整体光合能力较弱有关。

植物碳同化受 Rubisco 活性和 RuBP 再生速率的限制,初始羧化效率( $\beta$ )反映植物胞间  $\text{CO}_2$  浓度为  $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  时植物 Rubisco 的量及酶活性, $\beta$ 越高,植物光合作用对低浓度  $\text{CO}_2$  的利用能力越强<sup>[36,37]</sup>。本研究中叠鞘石斛和流苏石斛的 $\beta$ 显著高于束花石斛,表明叠鞘石斛和流苏石斛对  $\text{CO}_2$  的利用能力比束花石斛高,束花石斛在  $\text{CO}_2$  浓度低的环境中生长容易受到限制,因此在生长实践活动中可以采取  $\text{CO}_2$  加富等措施增加其  $\text{CO}_2$  浓度,以提高束花石斛产量。CSP 和 CCP 是光合作用中植物对  $\text{CO}_2$  利用能力的表现<sup>[38]</sup>,CSP 反映了植物利用  $\text{CO}_2$  进行光合作用能力的强弱,其值越高,利用的能力越强;CCP 是反映植物利用  $\text{CO}_2$  能力的重要指标,CCP 越低表明植物利用低浓度  $\text{CO}_2$  进行光合作用时,其干物质积累能力越强。本研究中,3种石斛的CSP没有显著性差异,均处于较高值,可见,3种石斛利用  $\text{CO}_2$  的能力较强。叠鞘石斛的CCP最低,表明其利用低浓度  $\text{CO}_2$  进行光合作用时,其干物质积累能力较强。

植物的光合能力还与叶片的叶绿素含量密切相关<sup>[39]</sup>,而叶片的叶绿素含量与其绿色度值(SPAD值)具有显著相关性<sup>[39]</sup>,高叶绿素含量的植物具有竞争优势<sup>[40]</sup>,利用SPAD-叶绿素检测仪测定兰科植物叶片的叶绿素含量,是较为便捷且不损伤叶片的方法<sup>[41]</sup>。在本研究的3种石斛中,叠鞘石斛的SPAD值最小,其在光响应曲线中的 $P_{\text{max}}$ 也最小;束花石斛的SPAD值最大,其在光响应曲线中的 $P_{\text{max}}$ 也最大,说明3种石斛的净光合速率与SPAD值存在一定的正相关性。

### 4 结论

本研究中,3种石斛属植物的最大净光合速率无显著性差异,且叶片SPAD值与其净光合速率有一定程度的相关性。3种石斛属植物均具有较强的耐阴性。3种石斛的净光合速率均随着  $\text{CO}_2$  浓度的增加呈现上升的趋势,且在测定的范围内均没有达到饱和点,因此在种植这3种石斛时,可以采用  $\text{CO}_2$  加富来促进其生长。除此之外,叠鞘石斛的光照强度适应

范围最广,对强光的利用能力最强,栽植时可扩大其栽培范围;束花石斛在弱光下其光合作用能力最强,耐阴性最强,在栽培时可将其栽植在林间较阴的树下、石缝等地。流苏石斛的光合作用能力处于中等水平,光补偿点高、光饱和点低,对光照的适应范围较狭窄,栽植时可根据其特性选择光照环境条件以提高产量。

#### 参考文献

- [1] 杨红旗,李磊,董薇,等.我国石斛植物资源分布及其新品种选育[J].中国种业,2021(12):14-21.
- [2] 吕献康,徐春华,舒小英.3种石斛的光合特性研究[J].中草药,2004,35(11):1296-1298.
- [3] 罗阳,陈懿瑶,姬祥,等.反相高效液相色谱法测定石斛属植物中7种化学成分及主成分与聚类分析[J].中草药,2019,50(21):5336-5341.
- [4] 李振坚,王元成,韩彬,等.石斛属植物生物碱成分研究进展[J].中草药,2019,50(13):3246-3254.
- [5] 高静,蔡金龙,陈军文,等.基于ITS序列对12种石斛属植物的鉴定研究[J].中药材,2019,42(6):1255-1260.
- [6] 钟志敏.石斛DNA条形码鉴定及系统分类研究[D].广州:广州中医药大学,2018.
- [7] 宋爽,周洋帆,刘正杰,等.利用ISSR和AFLP标记分析石斛种质资源的遗传多样性[J].云南农业大学学报(自然科学),2016,31(4):688-695.
- [8] 黄昕蕾,王雁,张辉.3种石斛属植物类胡萝卜素成分及代谢途径分析[J].林业科学研究,2019,32(5):107-113.
- [9] 刘张栋.石斛属植物C3/CAM代谢转换中形态结构及生理生化转变研究[D].广州:华中农业大学,2014.
- [10] 杨立昌,吴庆珊,高阳,等.基于高通量测序的金钗石斛种子内生菌群落结构组成分析[J].种子,2020,39(8):94-98.
- [11] 陈娟,谭小明,邢咏梅,等.石斛属植物内生真菌及菌根真菌物种多样性研究进展[J].中国药学杂志,2013,48(19):1649-1653.
- [12] 刘高慧,李昆,孙永玉,等.齿瓣石斛光合特性研究[J].林业科学研究,2014,27(2):265-269.
- [13] 何梅,李杰,叶庆生,等.CO<sub>2</sub>倍增对霍山石斛光合特性和生长的影响[J].热带作物学报,2021,42(5):1335-1341.
- [14] 皇甫森森.LED光照对铁皮石斛生长特性的研究[D].福州:福建农林大学,2018.
- [15] 邱诗春,张世平,冯山柴,等.铁皮石斛种子快繁培养体系的优化[J].江苏农业科学,2021,49(3):58-61.
- [16] 汤久杨,陈卿然,马喆,等.铁皮石斛茎段快繁技术研究[J].北京农业职业学院学报,2020,34(4):33-40.
- [17] 彭杨,陈朋,李娜,等.姬美石斛快繁体系的建立[J].现代园艺,2020,43(17):62-64.
- [18] 刘扬,李宏杨,任杰,等.兜唇石斛种子无菌播种与快速繁殖[J].热带农业科学,2020,40(5):34-41.
- [19] 刘扬,吴丹,刘国民,等.细茎石斛无菌萌发与快速繁殖[J].中国热带农业,2021(2):77-80,85.
- [20] 张君毅,秦建立,刘嘉.小菇促进铁皮石斛光合作用的转录组分析[J].植物生理学报,2020,56(7):1408-1418.
- [21] 任建武,王雁,胡青,等.温室栽培的3种石斛冬季叶绿素荧光动力学研究[J].西南林业大学学报,2011,31(5):40-46,52.
- [22] 何梅,李杰,叶庆生,等.CO<sub>2</sub>倍增对霍山石斛光合特性和生长的影响[J].热带作物学报,2021,42(5):1335-1341.
- [23] 叶子飘.光合作用对光和CO<sub>2</sub>响应模型的研究进展[J].植物生态学报,2010,34(6):727-740.
- [24] 张旺锋,樊大勇,谢宗强,等.濒危植物银杉幼树对生长光强的季节性光合响应[J].生物多样性,2005,13(5):387-397.
- [25] 陈旅,杨途熙,魏安智,等.不同花椒品种光合特性比较研究[J].华北农学报,2016,31(4):153-161.
- [26] 王海珍,韩路,徐雅丽,等.胡杨异形叶光合作用对光强与CO<sub>2</sub>浓度的响应[J].植物生态学报,2014,38(10):1099-1109.
- [27] NÜRNBERG D J, MORTON J, SANTABARBARA S, et al. Photochemistry beyond the red limit in chlorophyll f-containing photosystems [J]. Science, 2018, 360(6394):1210-1213.
- [28] DEMMIG-ADAMS B, ADAMS W W III. Photoprotection and other responses of plants to high light stress [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1992, 43:599-626.
- [29] KITAO M, LEI T T, KOIKE T, et al. Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes [J]. Plant, Cell Environment, 2000, 23:81-89.
- [30] 郭晓荣,曹坤芳,许再富.热带雨林不同生态习性树种幼苗光合作用和抗氧化酶对生长光环境的反应[J].应用生态学报,2004,15(3):377-381.
- [31] 许大全.光合作用的光抑制[J].植物生理学通讯,1997(6):467.
- [32] 蒋高明.植物生理生态学[M].北京:高等教育出版社,2004:59-62.
- [33] 赵辉,吕良贺,路鑫,等.杂种金叶银杏叶片光合特性分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(1):

- 193-199.
- [34] 骆丹,王春胜,曾杰. 西南桦幼林冠层光合特征及其对造林密度的响应[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(4):44-49,139.
- [35] 李学礼. 总光合速率、净光合速率与呼吸速率的辨析[J]. 时代教育, 2017(20):131-132.
- [36] 黄红英,窦新永,孙蓓育,等. 两种不同生态型麻疯树夏季光合特性的比较[J]. 生态学报, 2009, 29(6):2861-2867.
- [37] 黄跃宁,倪妍妍,刘建锋,等. 南移后不同种源栓皮栎幼苗光合生理性状的比较[J]. 林业科学研究, 2019, 32(5):51-57.
- [38] 许大全. 叶绿素含量的测定及其应用中的几个问题[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(9):896-898.
- [39] 艾天成,李方敏,周治安,等. 作物叶片叶绿素含量与SPAD值相关性研究[J]. 湖北农学院学报, 2000(1):6-8.
- [40] 顾骏飞,周振翔,李志康,等. 水稻低叶绿素含量突变对光合作用及产量的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(4):551-560.
- [41] 蹇黎,朱利泉,张以忠,等. 贵州兰花 SPAD 值和叶绿素含量测定与分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(35):17462-17464.

## Comparative Study on Photosynthetic Characteristics of Three Ornamental *Dendrobium* Species

QIN Huizhen<sup>1</sup>, ZOU Rong<sup>1</sup>, DENG Lili<sup>1</sup>, YANG Yishan<sup>1</sup>, CHAI Shengfeng<sup>1</sup>, JIANG Qiang<sup>2</sup>, LUO Yajin<sup>2</sup>

(1. Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. Guangxi Yachang Orchid National Nature Reserve Management Center, Baise, Guangxi, 533209, China)

**Abstract:** The differences of photosynthetic physiology among three kinds of ornamental *Dendrobium* Sw. plants were explored to provide theoretical basis for their cultivation and large-scale planting. In this study, three kinds of ornamental *Dendrobium* (*D. denneanum* Kerr., *D. fimbriatum* Hook. and *D. chrysanthum* Wall. ex Lindl.) were used as materials. The light response curve, CO<sub>2</sub> response curve and chlorophyll relative content (SPAD value) of leaves were measured to explore their photosynthetic characteristics. The results showed that the light compensation points (LCP) of the *D. denneanum*, *D. fimbriatum* and *D. chrysanthum* were 2.15 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 3.74 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 1.79 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, respectively, and the light saturation points (LSP) were 995.09 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 679.44 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 712.28 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, respectively. The LCP of the three *Dendrobium* were lower than 5 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, LSP were lower than 1 000 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>. The three *Dendrobium* belonged to typical shade plants and had strong shade tolerance. The maximum net photosynthetic rates ( $P_{max}$ ) of the three *Dendrobium* species were 3.54 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 3.86 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup> and 4.03 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, respectively, and the apparent quantum yield (AQY) were 0.042, 0.044, and 0.051, respectively. The  $P_{max}$  and AQY of the *D. chrysanthum* was the largest, and the photosynthesis ability was strong. The maximum net photosynthetic rate ( $A_{max}$ ) in the CO<sub>2</sub> response curves of the three *Dendrobium* were in order of *D. denneanum* (11.99 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>), *D. fimbriatum* (10.87 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>), *D. chrysanthum* (4.75 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>). *D. denneanum* had the strongest ability to use CO<sub>2</sub> for photosynthesis. There was no significant difference in the CO<sub>2</sub> saturation point (CSP) among the three species of *Dendrobium*, and no CSP was reached when the CO<sub>2</sub> concentration was not

greater than  $2\ 000\ \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ . The  $\text{CO}_2$  compensation point (CCP) was significantly different, and the CCP were  $100.12\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $158.02\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and  $134.44\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , respectively. The CCP of *D. denneanum* was the lowest, and the utilization ability of low concentration  $\text{CO}_2$  is the strongest. The SPAD values of the leaves of the three species of *Denneanum* were 51.09, 56.93 and 58.06, respectively, and their levels had a certain degree of correlation with their net photosynthetic rates. Among the three kinds of *Dendrobium*, *D. chrysanthum* has the strongest photosynthesis ability and stronger utilization ability of weak light. *D. fimbriatum* has weak light utilization ability and narrow light adaptation range. *D. denneanum* has a strong ability to utilize strong light and a wide range of photosynthesis adaptation. In addition, the three kinds of *Dendrobium* had strong tolerance to negative shade and strong tolerance  $\text{CO}_2$ , and appropriate shading should be provided and the concentration of  $\text{CO}_2$  should be increased to improve the photosynthetic ability during planting.

**Key words:** *Dendrobium* Sw.; light response curve;  $\text{CO}_2$  response curve; SPAD value; photoinhibition

责任编辑:梁 晓



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxkx.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>