

束花石斛和黄花石斛的光合特性研究

朱巧玲, 冷佳奕, 叶庆生*

(华南师范大学生命科学学院, 广东省植物发育生物工程重点实验室, 广东广州 510631)

摘要:研究了大花组的束花石斛和黄花石斛的光合生理,结果表明,2种石斛叶片的解剖结构为异面叶,气孔仅分布在下表面,具气孔盖,叶脉维管束鞘不含叶绿体,无花环型结构,具C₃植物特征.2种石斛的光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)分别为5~10 μmol/(m²·s)和850~900 μmol/(m²·s),最大光合速率(P_n)约为6 μmol/(m²·s);CO₂补偿点和饱和点分别为80~90 μmol/mol和800 μmol/mol;光合作用的最适温度在26~30℃.P_n日变化为双峰型曲线,首峰出现在11:00左右,最大光合速率在5~6 μmol/(m²·s),次峰出现在15:00左右,夜间不吸收CO₂.PEPCase活性低,RuBPCase和GO酶活性较高.以上结果表明,束花石斛和黄花石斛光合作用碳同化途径属C₃植物类型,具有半阴生植物的特点.

关键词:石斛;光合特性;C₃植物

中图分类号:Q945

文献标志码:A

doi:10.6054/j.jscn.2013.01.021

石斛属(*Dendrobium*)是兰科中最大的属之一,已被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录中,全球约有1 500~1 600种,是全球最具观赏价值的四大兰花之一.我国特有的野生石斛都是春天开花的春石斛.对金钗石斛、霍山石斛、铁皮石斛等的光合作用、生长和栽培做过一些研究^[1-4],但对野生石斛的光合特性的研究缺乏系统性的研究.兰科植物根据叶片的厚薄将兰花分为厚叶兰和薄叶兰.一般认为,厚叶兰属CAM植物,如蝴蝶兰;薄叶兰属C₃植物,如兰属植物,兰科植物还未发现有C₄类型^[5-10].我国的野生石斛有70多个种,分9个组^[11],其中大花石斛组(Sect. *Eugenaanthe*)最为丰富,占已有种的50%以上,有很好的观赏价值和药用价值.但关于我国野生石斛的光合途径尚未有统一的定论.本文以大花石斛组的束花石斛和黄花石斛为材料,对它们的光合特性进行了系统研究,为石斛属植物的资源保护和利用提供实验依据.

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验材料石斛采集自云南高黎贡山的野生种:大花组的束花石斛(*D. chrysanthum*)和黄花石斛(*D. dixanthum*),用树皮盆栽于遮阳率小于50%的塑料

温室大棚中,白天(30±2)℃,夜间(25±3)℃,湿度65~90%,每星期施用1次3倍稀释的Hoagland营养液.所有实验测定均选取顶部向下的第4片成熟叶片,3个重复.

1.2 实 验 方 法

1.2.1 叶片显微结构观察 叶片解剖结构采用光学显微镜观察和扫描显微镜观察.

1.2.2 叶绿素含量的测定 按WINTERMANS & DE MOTTS^[12]方法测定.

1.2.3 RuBPCase(EC 4.1.1.39)、PEPCase(EC 4.1.1.31)、GO(EC 1.1.3.1)酶液提取和活性的测定 2种石斛植株叶片各0.2 g放入预冷的研钵中,加入1.5 mL预冷的100 mmol/L Tris-HCL缓冲液(含10 mmol/L MgCl₂、5 mmol/L 巯基乙醇、1 mmol/L EDTA、12.5%甘油和1%聚乙烯吡咯烷酮,pH 7.4),迅速研磨,匀浆经4层纱布过滤后4℃下15 000 r/min离心25 min,取上清液用于酶活性的测定.

RuBPCase、PEPCase和GO活性的测定按叶庆生^[7]的方法测定.蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝法测定酶提取液中蛋白质含量,以牛血清蛋白作标准曲线.

1.2.4 光合特性测定 用便携式光合测定仪LI-6400(Li-Cor, USA),同时测定净光合速率(P_n)、气孔阻力(G_s)、胞间CO₂浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)、有效光辐射(PAR)、大气温度(T_{air})等各种指标,3~9

次重复,每次重复测定 3~5 片,取平均值。

光响应曲线:测量时间为晴天上午 9:30—11:30,利用 LI-6400 自动光响应曲线测定功能,将 LI-6400 内置红蓝光源(6400-02B)在 $0 \sim 1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ 设定一系列 PAR 梯度分别测定对应梯度叶片 P_n ,将 P_n 和 PAR 的成对值作出相应曲线,得到 LCP、LSP 等相关参数;将 $200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ 以内的 PAR 和 P_n 的成对值进行直线回归,求得 P_n -PAR 响应曲线的初始斜率即为光合作用的 AQY。测定时 CO_2 浓度设为 $(380 \pm 10)\ \mu\text{mol}/\text{mol}$,叶片温度: $(25 \pm 0.5)\ ^\circ\text{C}$,相对湿度为 $(70 \pm 15)\%$ 。

CO_2 响应曲线:利用 LI-6400 便携式光合测定系统的注入系统(6400-01)设定 CO_2 浓度,控制 PAR 在 $(800 \pm 10)\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,温度为 $(25 \pm 0.5)\ ^\circ\text{C}$,RH: $(70 \pm 15)\%$,在 $0 \sim 1\ 500\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 范围内设定 CO_2 浓度梯度,分别测定 P_n ,将 P_n 和 PAR 的成对值作出相应曲线,得到 CCP、CSP 及相关参数;将 $200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以内的 CO_2 浓度和 P_n 的对应值进行直线回归,初始斜率即为 RuBPCase 的 CE。 CO_2 光饱和点时的 P_n 为 RuBP 再生速率。

温度响应曲线:用 LI-6400 便携式光合测定系统的叶室调温系统(6400-13),在 $18 \sim 34\ ^\circ\text{C}$ 温度范围内,从低到高测定各温度梯度的 P_n 值,测定时 PAR 设为 $(800 \pm 10)\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, CO_2 浓度控制为 $(380 \pm 10)\ \mu\text{mol}/\text{mol}$,相对湿度为 $(70 \pm 15)\%$ 左右。

净光合速率 P_n 日变化和季节变化测定:日变化

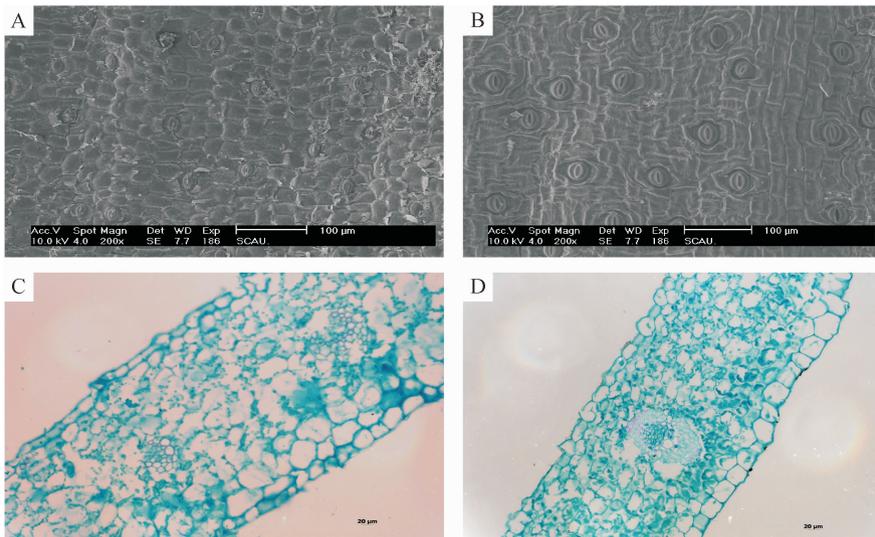
测定于 5 月中旬选择 3 个晴天从 7:00—19:00,每隔 1 h 用 LI-6400 便携式光合测定系统测定 P_n 等光合作用相关参数;季节变化于 3—10 月每月中旬选择 3 个晴天,于 10:00—11:00 在自然条件下用 LI-6400 便携式光合测定系统测定 P_n 等光合作用相关参数。

1.2.5 叶绿素荧光参数日变化的测定 于 5—7 月选择 3 个晴天,用德国 WALZ 公司生产的 PAM2100 叶绿素荧光仪选取生长健康,长势一致的石斛植株的功能叶片进行测定,每种植株测定 3~5 片叶,每片叶选取 1 个圆形区域(area of interest. AOI,直径 1 cm)进行测定和统计。叶绿素荧光参数分别为: F_v/F_m (PS II 最大原初光能转换效率);Yield (PS II 实际光化学效率); F_o (初始荧光强度)等,各数值及其对应的荧光图像在饱和脉冲过程中被 ImagingWin 软件实时记录。

2 结果与讨论

2.1 束花石斛、黄花石斛叶片的超微结构

电镜观察发现束花石斛和黄花石斛叶肉组织内的叶绿体内淀粉颗粒等较多且大;叶片叶脉主脉发达,侧脉细小。横切面上,叶脉维管束排列为圆环状,叶脉的维管束鞘薄壁细胞较小,排列清晰,不含叶绿体,没有花环型结构。叶肉细胞中叶绿体数目较多。2 种石斛叶片解剖结构表现出 C_3 植物特征(图 1A、B)。



A、C:束花石斛;B、D:黄花石斛

图 1 束花石斛、黄花石斛叶片下表面扫描电镜图(A、B)和叶片横切面石蜡切片图(C、D)

Figure 1 Electron microscope images of the lower surface (A, B) and paraffin section of cross-section (C, D) of *D. chrysanthum* and *D. dioxanthum*

束花石斛和黄花石斛叶片都为背腹型叶,厚度约为 300 ~ 400 μm ,相对于蝴蝶兰等厚叶兰(CAM植物,叶片厚度约为 3 000 μm)属于薄叶兰类型.叶片上表面无气孔分布,有角质层,叶片上表面细胞比较整齐分布,都呈近长方形排列.叶片下表面细胞均为不规则形状,大小不等,气孔分布于下表面(图 1C、D).2种石斛叶片的气孔密度比较高,大约达到 97 ~ 123 个/ mm^2 ,气孔结构为椭圆形,下陷,大小约为 20 ~ 30 μm ,上覆有蜡质的气孔盖.叶肉组织发达,分化为栅栏组织与海绵组织,但不是很明显.栅栏组织由 1 ~ 2 层排列整齐的圆柱状细胞构成,厚约为 60 μm ,外层细胞排列紧密,染色较深,呈异细胞状,内层细胞染色较浅,含丰富的叶绿体;海绵组织细胞排列疏松,厚约 40 μm 也含有较多的叶绿体.

2种石斛叶片的气孔密度较高,气孔密度大,吸收 CO_2 量多,有利于植物光合作用;有研究指出,气孔密度、栅栏组织厚度与海绵厚度的比值与 P_n 值表现出一定的相关性^[13-14].石斛叶片表皮细胞排列紧密,叶肉栅栏组织发达,含有较多的叶绿体的结构有利于它们在森林荫蔽环境下的光合作用,是长期自然适应的结果.

2.2 束花石斛和黄花石斛光合速率(P_n)对光强、 CO_2 和温度的响应

束花石斛、黄花石斛叶片的 $P_n - \text{PAR}$ 曲线呈相似的变化趋势(图 2). PAR 为 0 ~ 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

内,随着 PAR 的增强, P_n 呈线性迅速增大, PAR 为 300 ~ 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 增加趋缓. 当 PAR 为 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 达到最大, PAR 继续增加, P_n 则略有下降; 2 种石斛兰的最大光合速率(P_n) 约 6.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右,光补偿点为 5.0 ~ 8.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光饱和点在 850 ~ 900 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (表 1). 上述结果表明,石斛兰的 LSP 和 LCP 相对低,具有阴生或半阴生植物的特点,这与其适于生长在较荫处的生活习性相适应. 表观量子效率(AQY)是叶片光能利用效率的一个重要指标,反映叶片对弱光的利用能力. 2 种石斛兰叶片的 AQY 在 0.022 左右,表明束花石斛和黄花石斛的光能利用效率比较低,光合作用时对光量子要求较高,对弱光的利用潜能也比较大.

2种石斛兰的净光合速率 P_n 对 CO_2 浓度变化的响应也基本相同(图 2,表 1), CO_2 补偿点(CCP)在 80.00 ~ 90.00 $\mu\text{mol}/\text{mol}$; CO_2 浓度在 0 ~ 700 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 范围内,随着 CO_2 浓度的升高, P_n 快速增加;当 CO_2 浓度达到 800 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 左右时, P_n 达到最大,约为 8.0 ~ 10.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表明束花石斛、黄花石斛的 CO_2 饱和点(CSP)在 850 ~ 900 $\mu\text{mol}/\text{mol}$. 2 种石斛兰叶片的羧化效率分别为 0.018 和 0.022,即石斛兰光合作用时每固定 1 个 CO_2 分子需要的 CO_2 分子数约为 45 ~ 55,说明它们的羧化效率低,增加 CO_2 浓度可以显著提高它们的光合速率.

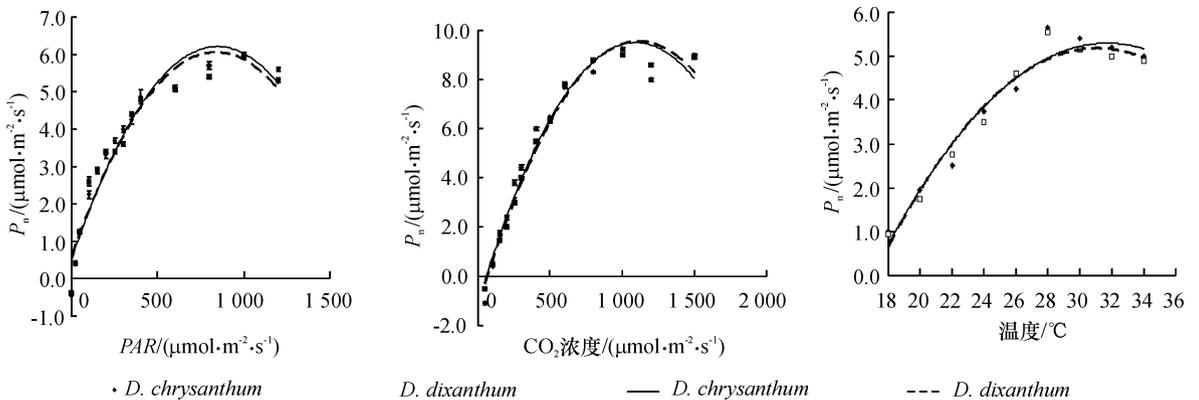


图 2 束花石斛和黄花石斛的光强、 CO_2 浓度和温度响应曲线

Figure 2 Response curves of light intensity, CO_2 and temperature in the leaves of *D. chrysanthum* and *D. dixanthum*

表 1 束花石斛和黄花石斛叶片的光响应特性和 CO_2 响应特性

Table 1 Characteristics of light and CO_2 responses of the leaves of *D. chrysanthum* and *D. dixanthum*

植物	光响应特性			CO_2 响应特性		
	光补偿点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率	CO_2 补偿点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	CO_2 饱和点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	羧化效率
束花石斛	7.05 ± 0.26	889 ± 25	0.022 ± 0.008	88.72 ± 5.51	853 ± 36	0.022 ± 0.003
黄花石斛	5.25 ± 0.31	852 ± 19	0.022 ± 0.006	80.14 ± 6.12	902 ± 29	0.018 ± 0.002

温度是植物光合速率的主要影响因子. 束花石斛、黄花石斛的 P_n 在 18~26 °C 范围随着温度的升高而呈线性上升(图 2), 当温度在 26 °C 左右时, 最大 P_n 在 5.0~6.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 当温度超过 30 °C 后, P_n 随着温度的升高而下降. 这些结果表明石斛兰的光合作用最适温度约为 26~30 °C. 这与霍山石斛、铜皮石斛的光合作用最适温度在 25~30 °C 的结果基本一致^[15].

2 种石斛兰叶片的光饱和点到了最大日照强度 (1 800~2 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$) 的 40%~50%, 为半阴生植物特征. 此外, 2 种石斛叶片的羧化效率在 0.02 左右, 对低 CO_2 浓度的利用率比较低. 因此, 增加 CO_2 浓度可以提高它们的光合速率, 有利于石斛兰生长. 温度一方面通过影响 C_i 间接影响 P_n , 另一方面影响叶片内光合作用相关酶的活性, 每种植物的光合作用都有其能够适应的温度范围与最适宜的温度范围^[16-17]. 本研究的 2 种石斛兰光合作用最适温度在 26~30 °C 之间, 这表明它们适合在热带亚热带地区生长.

2.3 束花石斛和黄花石斛叶片的光合速率日变化特征

束花石斛和黄花石斛的净光合速率 P_n 日变化都具有相同的变化趋势, 呈双峰曲线(图 3), 从 7:00 开始, P_n 呈快速线性上升趋势, 11:00 左右光合速率达到最大, 它们最大净光合速率 P_n 在 5.0~6.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 随后下降, 13:00—14:00 达到最低点, 表现出明显的“光合午休”现象. 这是因为 13:00—14:00, 外界环境中的光强和温度的不断升高, 超出 2 种石斛光合作用的最高点, 强光和高温对植株的胁迫作用, 导致气孔关闭或部分关闭从而引起了“光合午休”现象的发生. 14:00 以后, 植物的光合速率又有所上升, 15:00 左右出现 P_n 的第 2 个峰, 但光合速率比上午的第 1 个峰要低得多, 以后 P_n 快速下降. 此外, 继续的测定表明, 2 种石斛在夜间都没有 CO_2 吸收, 这些表明束花石斛和黄花石斛不是 CAM 植物而应该是 C_3 光合途径植物.

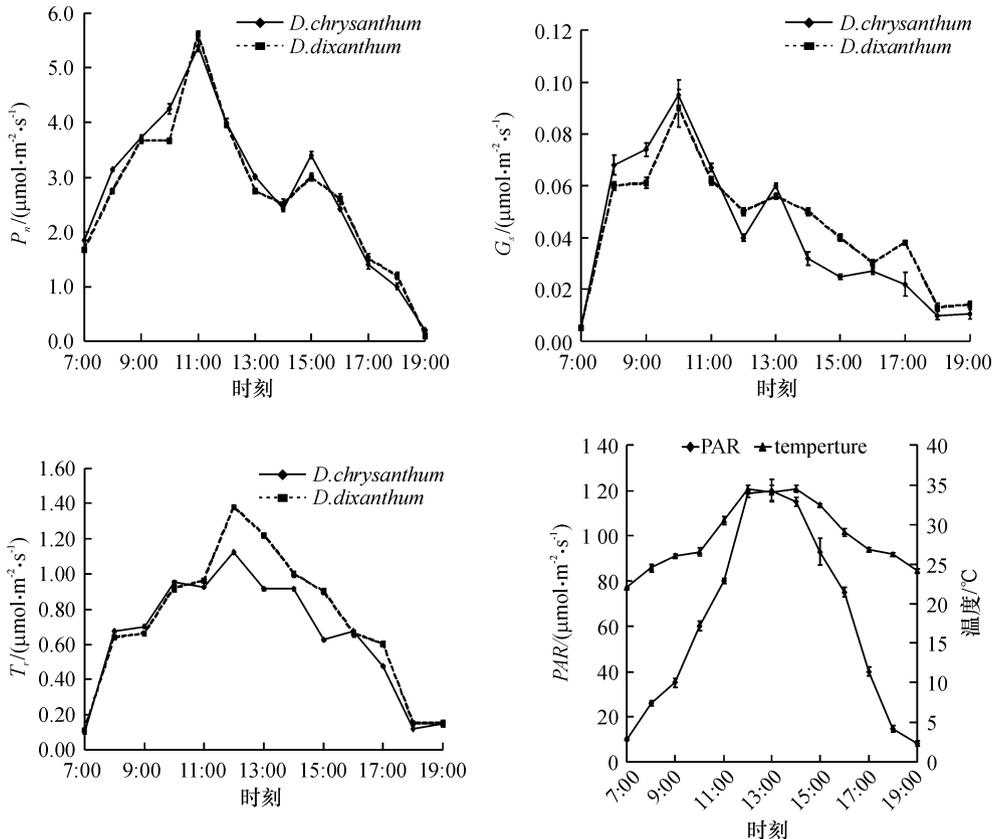


图3 束花石斛和黄花石斛的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率日变化

Figure 3 Diurnal variation of P_n , G_s and T_r in the leaves of *D. chrysanthum* and *D. dixanthum*

2 种石斛光合速率日变化的“午休”现象, 是环境条件和叶片的生理因素相互作用的综合结果. 从

外界环境的光强和温度日变化情况看(图 3), 在 7:00—11:00, P_n 的增加和 PAR、温度呈正相关,

11:00 以后光强和温度的继续上升超过了光合作用的最适条件,使得气孔孔缩小或部分关闭从而使得气孔阻力(G_s)增大、蒸腾速率(T_r)下降(图3),导致 P_n 下降,从而出现了“光合午休”现象.此现象实际上是植物的一种光保护机制,避免中午因过高的光强和温度对植株光合机构遭到破坏.2种石斛的光合作用日变化特点与兰属植物的研究结果也是基本相似的^[7-8].

2.4 束花石斛、黄花石斛叶绿素荧光相关参数日变化

2种石斛叶片的 F_v/F_m 日变化趋势相似,全天基本呈“V”型(图4).早上7:00—11:00 随着光照强度和气温的增加, F_v/F_m 逐渐下降,在13:00 下降到一天中的最小值.之后随着光强和温度的逐渐降低, F_v/F_m 值迅速回升.这表明石斛兰光合作用的器官在中午光强和温度较高下其光合活性受到了暂时的抑制,但光合器官并没有受到损伤.

2种石斛的 F_o 的日变化趋势也基本一致,全天呈波动下降状态(图4).从早上7:00 开始, F_o 均呈缓慢下降趋势,大约都在13:00 左右达到最低值,表明此时热耗散增加^[18-21],但束花石斛15:00 左右又有一小的上升波峰,之后又趋于下降.这些结果均表明,2种石斛叶片都可以通过增强非辐射能量耗散

来消耗过剩的光能,从而使光合机构免受破坏.

束花石斛、黄花石斛的 Yield 日变化在中午13:00 左右出现一低谷,之后又逐渐上升(图4).Yield 日变化幅度在0.35~0.65 之间变动.

叶绿素荧光参数可以反映光合机构内部一系列重要的调节过程. F_v/F_m 的降低是判断植物受光抑制的重要标准^[19-22],2种石斛的 F_v/F_m 值变化呈“V”型,表明它们光合作用的器官的光合活性受到了暂时的抑制,但未受到损伤. F_o 的日变化表明它们都可以通过增强非辐射能量耗散来消耗过剩的光能,从而使光合机构免受破坏.

2.5 束花石斛、黄花石斛叶绿素含量和光合关键酶活性的变化

束花石斛、黄花石斛叶片总 Chl 含量约为1.50 mg/g 左右,Chl(a/b)的比值在2.50~2.60 之间变化(表2).HOLDEN^[23] 广泛地比较了 C_3 植物和 C_4 植物的叶绿素 a/b 值,结果认为, C_4 植物比 C_3 植物具有较高的叶绿素 a/b 值,特别是在单子叶植物中,差别更为明显,因为在单子叶 C_4 植物维管束鞘细胞中叶绿体的叶绿素 a/b 值比叶肉细胞高. C_4 植物甘蔗叶片的叶绿素 a/b 值高达4 以上.石斛属也是单子叶植物,2种石斛叶片表现出典型的 C_3 植物叶绿素 Chl(a/b) 比值特点.

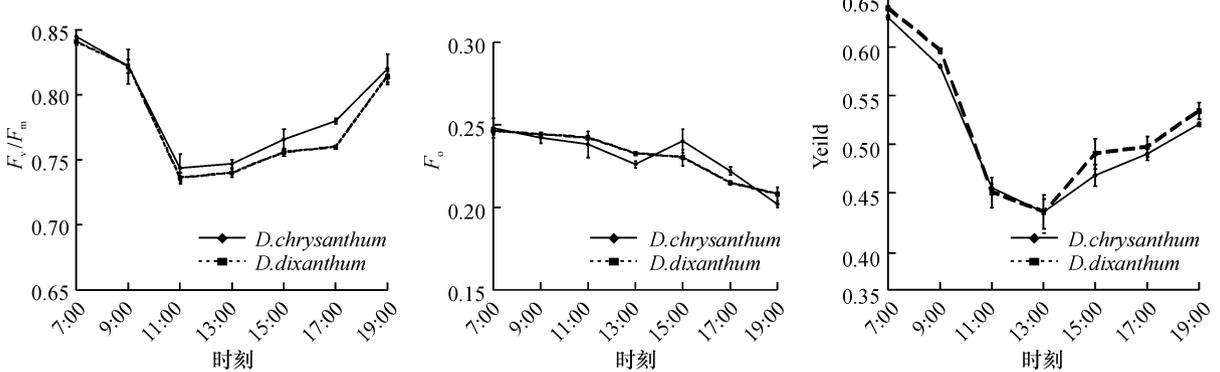


图4 束花石斛和黄花石斛叶绿素荧光相关参数日变化

Figure 4 The daily curve of chlorophyll fluorescence parameters in *D. chrysanthum* and *D. dioxanthum*

表2 束花石斛和黄花石斛叶绿素含量的变化

Table 2 The chlorophyll content and ratio of leaves of *D. chrysanthum* and *D. dioxanthum*

植物	叶绿素含量/(mg·g ⁻¹)			叶绿素 a/b
	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素	
束花石斛	1.08 ± 0.01	0.43 ± 0.01	1.52 ± 0.02	2.51
黄花石斛	1.13 ± 0.01	0.43 ± 0.02	1.57 ± 0.01	2.60

酶活性的测定结果表明(表3),2种石斛兰的PEPCase 活性非常低,分别为1.17 和1.21 nmol/(mg·min).PEPCase 是 C_4 和 CAM 植物的主要标志酶之一,在 C_4 植物甘蔗叶片中活性高达100 nmol/(mg·min) 以上,而在 C_3 植物中PEPCase 活性极低.这一研究结果与EDWARDS 等^[24] 的结果以及作者测定兰属植物的结果也是一致的^[7-8],说明

2 种石斛应该是 C_3 光合途径植物,不太可能是 C_4 和 CAM 植物. 而它们都具有较高的 RuBPCase 和

GO 活性,说明它们是典型的 C_3 光合途径植物,且具有较高的光呼吸.

表 3 束花石斛和黄花石斛叶片光合关键酶活性

Table 3 The activities of key enzymes of photosynthesis in leaves of *D. chrysanthum* and *D. dioxanthum*

植物	PEPCase/ ($\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	RuBPCase/ ($\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	GOase/ $\mu\text{mol glyoxylate} \text{mg}^{-1} \text{pr min}^{-1}$
束花石斛	1.17 ± 0.13	35.44 ± 0.27	15.44 ± 0.27
黄花石斛	1.21 ± 0.11	33.72 ± 0.35	14.78 ± 0.16

2.6 束花石斛、黄花石斛光合速率的年变化

束花石斛、黄花石斛叶片的光合作用 P_n 季节变化规律比较相似(图 5),呈单峰曲线,3 月以后, P_n 逐渐增加,6—7 月 P_n 达到最高,9 月以后缓慢下降,11 月以后下降较快. 2 种石斛在 6—7 月光合作用最强,这可能与这个季节环境温度和光强都较为适合石斛的光合作用以及叶片的生长成熟等等因素有关. 1—2 月和 11—12 月 P_n 值比较低,可能是因此段时间环境温度、光强较低,且石斛兰叶片尚在发育过程中,造成光合强度较低表现为 P_n 较低. 石斛兰 P_n 季节变化总之 5—8 月是石斛兰生长发育旺盛期.

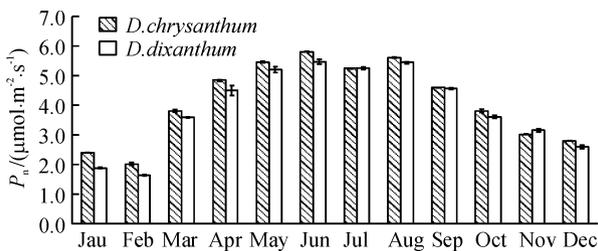


图 5 束花石斛和黄花石斛净光合速率年变化

Figure 5 P_n Annual change of *D. chrysanthum* and *D. dioxanthum*

总之,对束花石斛和黄花石斛叶片的结构、光合特性、标志性酶活性等的研究结果表明:两者属于典型的 C_3 植物.

参考文献:

- [1] 徐云鹏,于力文,吴庆生,等. 安徽省霍山县 3 种石斛的光合特征[J]. 应用生态学报, 1993,4(1):18-21.
- [2] 丑敏霞,朱利泉,张玉进,等. 不同光照强度和温度对金钗石斛生长的影响[J]. 植物生态学报, 2001,23(5):325-330.
- [3] 苏文华,张光飞. 金钗石斛光合作用特征的初步研究[J]. 中药材, 2003,26(3):157-159.
- [4] 苏文华,张光飞. 铁皮石斛叶片光合作用的碳代谢途径[J]. 植物生态学报, 2003,27(5):631-637.
- [5] HEW C S, YE Q S, PAN R C. Pathway of carbon fixation in some thin-leaved orchids [J]. Lindleyana, 1989,4(3):154-157.
- [6] 叶庆生,潘瑞焱,丘才新. 墨兰叶片结构及光合作用的研究[J]. 植物学报, 1992,34(10):771-776.
- [7] 叶庆生,潘瑞焱,丘才新. 墨兰光合途径的研究[J]. 植物学报, 1993,35(6):441-446.
- [8] 叶庆生,潘瑞焱,丘才新. 兰属植物光合途径的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 1996,6(1):25-29.
- [9] 潘瑞焱,叶庆生. 国兰生理[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [10] PAN R C, YE Q S, HEW C S. Physiology of cymbidium sinense: A review [J]. Scientia Horticulturae, 1997, 70: 123-129.
- [11] 陈心启,吉占和,罗毅波. 中国野生兰科植物彩色图鉴[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [12] WINTERMANS J, DE - MOTS A. Spectrophotometric characteristic of chlorophyll a and chlorophyll b and their pheophytins in ethanol [J]. Biochim Biophys Acta, 1965,109:448-453.
- [13] 许大全. 光合作用及其有关过程对长期高 CO_2 浓度的响应[J]. 植物生理学通讯, 1994,30(2):81-87.
- [14] BLANKE M M. Comparative SEM study of stomata and surface morphology in apple [J]. Angewandte Botanik, 1987,61:433-438.
- [15] 蔡永萍,李玲,李合生,等. 霍山县 3 种石斛叶片光合特性及其对光强的响应[J]. 中草药, 2005,36(4):586-590.
- [16] 曹军胜,刘广全. 刺槐光合特性的研究[J]. 西北农业学报, 2005,14(3):519-524.
- [17] 张方,迟伟,金成哲,等. 高粱 C_4 型磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶基因的分子克隆及其转基因水稻的培育[J]. 科学通报, 2003,48:1542-1546.
- [18] DEMMIG - ADAMS B, ADAMS III WW. Photoprotection and other responses of plants to high light stress [J]. Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1992,43:599-626.

- [19] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology II: Interpretation of fluorescence signals[J]. *Photosynth Res*, 1984, 5: 139 - 157.
- [20] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics [J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1991, 42 :313 - 349.
- [21] CRITCHLEY C, RUSSELL A W. Photoinhibition of photosynthesis in vivo: The role of protein turnover in photosystem II[J]. *Physiol Plant*, 1994, 92:188 - 196.
- [22] POWLES S B. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light [J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1984, 35:15 - 44.
- [23] HOLDEN M. Chloroplast pigment in plants with the C₄ - dicarboxylic acid pathway of photosynthesis [J]. *Photosynthetica*, 1973, 7:14 - 49.
- [24] EDWARDS G, WALKER D. C₃, C₄: Mechanisms, Cellular and Environmental Regulation of Photosynthesis[M]. Oxford: Blackwell, 1983: 542.

Study on Photosynthetic Characteristics of *Dendrobium Chrysanthum* and *Dendrobium dixanthum*

ZHU Qiaoling, LENG Jiayi, YE Qingsheng*

(School of Life Science, South China Normal University; Guangdong Key Lab of Plant Development & Biotechnology, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Photosynthetic physiology of *Dendrobium Chrysanthum* and *Dendrobium dixanthum* were studied. Cross-sections of the leaves of 2 *Dendrobium* species showed that they were bifacial leaves, and the abaxial epidermis had large amount of stomata, which covered by the waxy stomatal cover, the vascular bundles had no chloroplast and no 'Kranz' structures, and shown C₃ plant characteristics. Their light compensation points (LCP) and light saturation points (LSP) were 5 ~ 10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ and 850 ~ 900 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$, respectively, max photosynthetic rate was around 6 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$; the CO₂ compensation points (CCP) and the saturation points (CSP) were 80 ~ 90 $\mu\text{mol}/\text{mol}^{-1}$ and 800 $\mu\text{mol}/\text{mol}^{-1}$, respectively, the optimum temperatures of the photosynthesis were in range of 26 ~ 30 °C. The P_n diurnal variations in 2 *Dendrobium* species were all bimodal curves, with the first peaks ca 5 ~ 6 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ and emerging in 11:00, and the second peaks emerging at about 15:00, and no CO₂ absorption occurred in night. The two *Dendrobium* species both had relatively high RuBPCase and GO activities, but very low PEPCase activities. All results suggested that *Dendrobium chrysanthum* and *D. dixanthum* were typical semi-shade C₃ plants.

Key words: *Dendrobium*; Photosynthetic characteristic; C₃ plant

【中文责编:成文 英文责编:李海航】