

高 CO₂ 浓度对红掌的生长和光合作用的影响

李永华, 刘丽娜, 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, 广州 510631)

摘要: 以开顶式塑料薄膜温室为设施, 研究了红掌叶片光合速率、植株生长和光合酶活性对高 CO₂ 浓度的响应。结果表明: 处理 30 d 时, 处理组 T1 (700±100 μmol CO₂ mol⁻¹) 的株高、单叶面积、株鲜重分别比对照组 (大气 CO₂ 浓度 360±30 μmol CO₂ mol⁻¹) 增加了 12.8%、2.39%、29.2%, 而处理组 T2 (1 000±100 μmol CO₂ mol⁻¹) 的株高、单叶面积、株鲜重分别比对照增加了 8.7%、1.81%、27.2%。在各自处理条件下测定的 T1 和 T2 的净光合速率分别比对照增加 27.0% 和 33.8%, 且在对照条件下测定的各处理组的净光合速率也均高于对照。处理组的气孔导度与蒸腾速率下降, 但却促进了叶片中可溶性糖和淀粉积累, 而叶绿素含量并没有明显变化。高浓度 CO₂ 能促进 Rubisco 活性增加, 而乙醇酸氧化酶活性则明显下降。

关键词: 红掌; 光合速率; CO₂; 生长

中图分类号: Q945.11

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395 (2005)04-0343-04

Effects of Elevated CO₂ on the Growth and Photosynthesis of *Anthurium andraeanum*

LI Yong-hua, LIU Li-na, YE Qing-sheng*

(College of Life Sciences, South China Normal University, Guangdong Key Lab of Biotechnology for Plant Development, Guangzhou 510631, China)

Abstract: *Anthurium andraeanum* cv. Arizona was potted in three plastic greenhouses with top open. In each of the greenhouse, CO₂ was adjusted respectively to 360±30 μmol CO₂ mol⁻¹ (Control), 700±100 μmol CO₂ mol⁻¹ (T1), and 1 000±100 μmol CO₂ mol⁻¹ (T2). Plant growth, net photosynthetic rate, activity of photosynthetic enzyme, and other physiological and biochemical characteristics were determined. The results showed that the plants grown under treatment T1 for 30 days increased in plant height, leaf area, and fresh weight by 12.8%, 2.39%, and 29.2%, respectively, and by 8.7%, 1.81% and 27.2% for treatment T2, respectively, compared to the Control. However, net photosynthetic rate (Pn) in treatments T1 and T2 measured under treatment conditions at that time were 27.0% and 33.8% higher, respectively, than those grown under the Control. Pn in T1 and T2 treatment measured in Control condition were also higher than that of the Control. Elevated CO₂ caused a marked increase in soluble sugar and starch accumulations in leaves, but significantly reduced their stomatal conductance and transpiratory rate, there is no evident difference in chlorophyll content between the Control and the treatment. In addition, elevated CO₂ had positive effect on Rubisco activity, and glycolate oxidase activity apparently decreased in leaves.

Key words: *Anthurium andraeanum*; Net photosynthetic rate; CO₂; Growth

由于人类活动的影响, 大气 CO₂ 浓度正逐步上升, 估计到 21 世纪末将达到 700 μmol mol⁻¹, CO₂ 浓度升高将引起温室效应, 影响植物的生理生化代谢过程, 给全球生态环境和气候变迁带来深刻的影

响^[1]; 目前大气中的 CO₂ 浓度低于一些植物(特别是 C₃ 植物)的 CO₂ 饱和点, 大气中较低的 CO₂ 浓度就成为提高植物光合速率并最终影响生物量的主要限制因子, 农业生产中温室的广泛应用为 CO₂ 施肥

收稿日期: 2004-12-10 接受日期: 2005-05-16

基金项目: 广东省自然科学基金重点项目 (04105806); 广东省自然科学基金团队项目 (003062) 资助

* 通讯作者 Corresponding author

(生产中人为提高 CO₂ 浓度也称 CO₂ 施肥) 提供了有利条件^[2,3]。CO₂ 浓度升高能够提高植物的光合速率, 减少蒸腾作用, 抑制植物的呼吸作用, 显著提高植物的水分利用效率, 增强植物抗逆性, 并能明显促进植物的生长, 增加生物量^[4-6]。研究高 CO₂ 浓度环境下植物的响应机制不仅具有生理学、生态学等理论价值, 而且在农业生产中也有指导意义。天南星科的红掌 (*Anthurium andraeanum* Linden) 是国际花卉市场销量最大的花卉之一, 目前在我国的栽培量很大。以前的许多研究只设置了一个高 CO₂ 浓度, 我们在开顶式薄膜温室条件下, 探讨不同高 CO₂ 浓度对红掌叶片生物量、光合速率及相关生理生化指标的影响, 以期对红掌的栽培提供理论依据和应用技术。

1 材料和方法

红掌 ‘亚历桑娜’ (Arizona, 花红色) 购自广州农业科技开发研究基地, CO₂ 购自广州气体厂, 纯度 99.5%。试验于 2003 年 10 月 13 日至 11 月 13 日在华南师范大学国兰研究中心进行。

红掌盆栽(盆高 25 cm, 直径 15 cm)置于三个设施条件相同的开顶式塑料薄膜温室(长 5 m、宽 3.5 m、脊高 4.5 m)中, 混合基质(腐殖土:花泥:珍珠岩=5:3:2, v:v:v)栽培, 温室上方覆盖遮阳网(遮阳率 30%)。温室内环境条件: 午间最大阳光辐照强度 650±100 μmol m⁻²s⁻¹; 温度: 白天 30±4℃, 夜晚 21±3℃; 相对湿度: 白天 45±10%, 夜晚 75±10%。处理温室内供气装置为 CO₂ 钢瓶, CO₂ 气体通过减压流量计由均匀分布在红掌叶幕上方的 4 根透明塑料软管进行释放, 软管上扎有小孔; 每天用光合气体分析系统(LI-6400, LI-COR, NE, USA)定时监测棚内 CO₂ 浓度, 由流量计控制 CO₂ 气体, 使棚内 CO₂ 浓度变幅不超过 10%。

选取长势基本一致的盆栽红掌植株, 设对照(360±30 μmol CO₂ mol⁻¹)、T1(700±100 μmol CO₂ mol⁻¹)、T2(1000±100 μmol CO₂ mol⁻¹) 3 个处理, 3 次重复, 每个重复 15 盆。试验过程中, CO₂ 气体施用时间为每天 9 h (8:00–17:00), 其它时间段中处理与对照 CO₂ 浓度相同, 午间通风 2 h (处理温室仍保持较高 CO₂ 浓度)。每 15 d 施一次 Hoagland 营养液, 硝酸盐(主要为硝酸钾)浓度提高至 10 mmol/L, 每天下午浇灌一次清水。每隔 10 d 取上数第 4–5 位、生长健康的功能叶片测定叶面积(试验过程中固定叶

片)及生理生化指标, 同时取样测定株高(冠层高度)和株鲜重。

光合速率测定 利用开路式光合气体分析系统(LI-6400, LI-COR, NE, USA)在各处理生长环境与对照环境中于上午 9:00–11:00 测定净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs, Stomatal conductance)与蒸腾速率(Tr, Transpiratory rate), 光合有效辐射(PAR)约为 500 μmol m⁻²s⁻¹, 叶片温度控制在 24–30℃之间, 分别于处理 0 d、10 d、20 d、30 d 进行测定。

生理生化指标测定 叶绿素、可溶性总糖量的测定参考张志良等^[9]的方法; 淀粉含量测定参照徐昌杰等^[10]的方法; Rubisco 和乙醇酸氧化酶活性测定参照叶庆生等^[11]的方法。

2 结果和分析

2.1 幼苗生长

一定范围内植物生物量通常随 CO₂ 浓度的升高有所增加。由表 1 可以看出, 整个试验期间, 高 CO₂ 浓度处理下红掌各项生长指标均有不同程度的提高。处理 30 d 时, T1 的株高、叶面积、株鲜重分别比对照增加了 12.8%、2.39%、29.2%, 而 T2 的株高、叶面积、株鲜重分别比对照增加了 8.7%、1.81%、27.2%, 株高、株鲜重均有明显的增加。

表 1 高 CO₂ 浓度对红掌生长的影响
Table 1 The effects of elevated CO₂ on the growth of *Anthurium andraeanum*

处理时间 Treatment duration (d)	处理 Treatments	株高 Plant height (cm)	单叶面积 Leaf area (cm ²)	鲜重/株 FW/plant (g)	
0	Control	17.98±1.44	135.79±5.68	19.75±1.12	
	10	Control	18.06±1.80	136.39±8.68	21.0±1.45
		T1	18.28±1.75	138.01±5.99	21.4±1.96
20	T2	18.56±1.29	138.08±9.26	22.2±1.87	
	Control	18.44±2.21	137.83±8.26	22.6±1.68	
	T1	18.69±1.60	139.67±10.37	24.4±2.18	
30	T2	18.76±1.50	138.98±13.88	25.0±1.79	
	Control	19.53±1.79	138.21±7.66	25.0±1.92	
	T1	22.03±2.30	141.51±5.74	32.3±2.38	
	T2	21.23±1.29	140.71±14.96	31.8±2.27	

CO₂ concentrations in Control, T1, and T2 are 360±30 μmol CO₂ mol⁻¹, 700±100 μmol CO₂ mol⁻¹, and 1 000±100 μmol CO₂ mol⁻¹, respectively.

2.2 叶片光合速率

通常在一定范围内, CO₂ 浓度变化对光合速率会产生明显影响。图 1 表明, 高 CO₂ 浓度处理显著

提高了红掌的净光合速率,不同测定时期的增加幅度在37%–125%之间(图1A),以处理30d为例,高CO₂浓度处理后T1生长环境下红掌幼苗的净光合速率为6.85 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹,T2生长环境下为7.55 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹,而大气CO₂浓度下为5.00 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹;同时,经不同高CO₂浓度处理后在对照条件下测定红掌的净光合速率,以30d为例,T1为5.65 μmol m⁻²s⁻¹,T2为6.32 μmol m⁻²s⁻¹,均高于对照(图1B)。高CO₂浓度导致叶片气孔导度(图1C)与蒸腾速率(图1D)下降,CO₂浓度越高下降的幅度越大,有利于光合速率的提高。光合速率的提高有利于植物的生长和生物量的积累,这与表1中的试验结果是一致的。

2.3 叶片可溶性糖、淀粉和叶绿素含量

高CO₂浓度下植物光合作用增强,造成叶片中许多非结构性碳水化合物如淀粉、多糖含量变化^[6-8]。高CO₂浓度处理促进了红掌叶片中可溶性糖和淀粉的积累(表2),淀粉含量增加的幅度较大,处理30d时T1、T2叶片中淀粉含量分别比处理前增加338.7%、402.7%,而对照增加164.8%,T1、T2分别比对照高65.7%、89.8%。在高CO₂浓度处理条件下,随着叶面积的增加,单位面积叶片中的叶绿素含量与叶绿素a/b没有明显变化。

2.4 叶片核酮糖1,5二磷酸羧化酶/加氧酶和乙醇酸氧化酶活性

核酮糖1,5二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)是光合作用碳同化的关键酶,乙醇酸氧化酶则是光呼吸过程中乙醇酸代谢的关键酶,两者对植物的净光合速率均有较大影响^[11]。试验表明(表3),在整个试验期间高CO₂浓度处理提高了红掌叶片Rubisco活性,在一定程度上提高了其羧化效率;乙醇酸氧化酶的活性则明显下降,T1、T2处理组试验结束时与对照组相比分别下降了46.2%、51.8%,与处理前相比分别下降了55.8%、60.4%,而对照组呈现轻微的下趋势,可能其光呼吸过程在一定程度上受到抑制。Rubisco羧化效率的增加与光呼吸受到抑制可能是高CO₂浓度下叶片具有较高光合速率的主要原因之一。

3 讨论

对于C₃植物来说,短时间(几分钟到几天)供给高浓度CO₂会提高其净光合速率,但这种促进会随时间延长而逐渐消失^[4,12]。本试验中,高CO₂浓度处理30d时,无论是在各自的CO₂浓度环境或是在

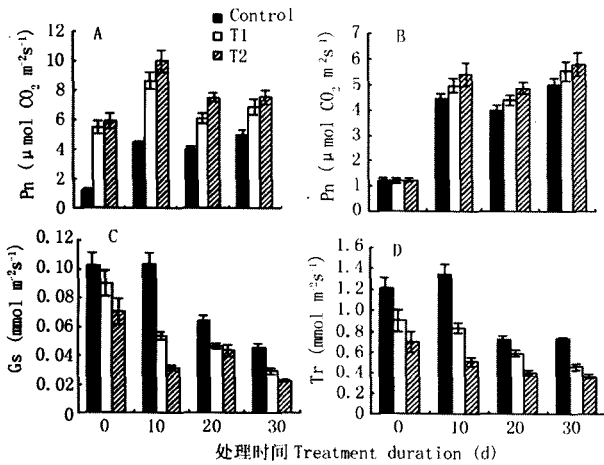


图1 高CO₂浓度处理后红掌在各自处理条件下测定的净光合速率(A)、气孔导度(C)、蒸腾速率(D)及对照条件下测定的净光合速率(B)的变化

Fig. 1 Changes in Pn (A), Gs (C), Tr (D) of *Anthurium andraeanum* measured in the treatment conditions and Pn (B) measured in control condition after exposure to elevated CO₂

表2 高CO₂浓度对红掌叶片可溶性糖、淀粉和叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of elevated CO₂ on the contents of soluble sugar, starch and chlorophyll in *Anthurium andraeanum*

处理时间 Treatment duration (d)	处理 Treatments	可溶性糖 Soluble sugar (mg g ⁻¹ DW)	淀粉 Starch (mg g ⁻¹ FW)	Chl a+b (mg g ⁻¹ FW)	Chl a/b
0	Control	10.7±0.41	8.06±0.82	2.02±0.12	2.64±0.13
10	Control	11.7±0.84	9.65±0.87	2.31±0.05	2.19±0.12
	T1	16.2±0.35	18.95±1.45	2.63±0.09	2.24±0.15
	T2	14.4±1.15	19.49±1.58	2.35±0.10	2.30±0.14
20	Control	12.4±0.93	15.63±1.24	2.14±0.26	2.47±0.11
	T1	11.7±0.70	25.78±2.06	2.36±0.17	2.37±0.09
	T2	13.8±1.24	31.26±3.71	2.54±0.24	2.40±0.10
30	Control	13.3±0.96	21.34±1.98	2.06±0.09	2.27±0.08
	T1	15.1±1.05	35.36±3.24	2.16±0.11	2.36±0.07
	T2	15.0±0.92	40.52±3.65	2.15±0.07	2.30±0.06

表 3 高 CO₂ 浓度对红掌叶片核酮糖 1, 5 二磷酸羧化酶/加氧酶和乙醇酸氧化酶活性的影响

Table 3 Effects of elevated CO₂ on activities of Rubisco and glycolate oxidase in leaves of *Anthurium andraeanum*

处理时间 Treatment duration (d)	处理 Treat- ments	RuBP羧化酶/ 加氧酶 Rubisco (nmol CO ₂ mg ⁻¹ protein min ⁻¹)	乙醇酸 氧化酶 GO (μmol glycolate oxidase mg ⁻¹ protein min ⁻¹)
0	Control	16.9±1.23	22.3±2.14
10	Control	17.3±1.71	25.4±1.96
	T1	19.9±1.35	20.8±1.85
	T2	22.6±1.29	20.6±1.52
20	Control	13.1±0.71	12.5±1.08
	T1	15.9±0.97	11.4±1.18
	T2	16.3±1.42	11.5±0.92
30	Control	13.4±1.25	18.3±1.26
	T1	18.4±1.72	9.84±1.16
	T2	16.1±1.34	8.82±0.91

正常大气 CO₂ 环境条件下, 各个测定时期红掌叶片的光合速率始终高于对照, 并没有观察到有些试验中所出现的光合下调现象^[12,13], 这可能有以下原因: 一、处理时间较短, 尽管叶片内淀粉及可溶性糖的含量有所增加, 但是在夜晚已被迅速利用或转移, 并没有积累到对光合作用进行反馈抑制的程度^[12,13]; 二、在试验过程中我们及时施加 N 肥, 使叶片中保持了较高的 N 含量, 有研究表明高 CO₂ 浓度处理条件下, 生长在低 N 土壤中的棉花叶片表现出光合下调现象, 而在高 N 中则一直保持较高的光合速率^[6,7], 当然这种现象也可能与试验品种、N 肥供应量及种类、叶龄有关^[4,8]。高 CO₂ 浓度下, 细胞间隙 CO₂ 浓度增加, Rubisco 位点 [CO₂]/[O₂] 较大, 有利于增强 Rubisco 的羧化活性, 因此尽管高 CO₂ 浓度环境下生长的红掌叶片单位鲜重和叶绿素含量没有明显变化, 但仍能保持较高的光合速率^[2,4]。高 CO₂ 浓度促进植物的光合作用, 使植物叶片内淀粉、多糖含量增加, 这些碳水化合物可能随着植物体内物质运输而转移到根、茎、叶等部位, 使植物生物量提高, 在本试验中 T1、T2 处理组在 30 d 时株鲜重分别比对照增加 29.2%、27.2%, 而株高增加了 12.8%、8.7%, 这与 CO₂ 浓度升高促进凤梨营养生长的结果是一致的^[2]。

参考文献

- [1] Genthon C, Barnola J M, Raynaud D, et al. Vostok ice core: climate response to CO₂ and orbit forcing changes over the last climatic cycle [J]. *Nature*, 1987, 329:414-418.
- [2] Wang J M (王精明), Li Y H (李永华), Huang S Q (黄胜琴), et al. Effects of elevated CO₂ concentration on the growth and photosynthetic characteristics in *Guzmania* 'Danis' [J]. *J Trop Subtrop Bot* (热带亚热带植物学报), 2004, 12(6):511-514. (in Chinese)
- [3] Su P X (苏培玺), Du M W (杜明武), Zhang L X (张立新), et al. Changes of photosynthetic characteristics and response to rising CO₂ concentration in strawberry in solar greenhouse [J]. *Acta Hort Sin* (园艺学报), 2002, 29(5):423-426. (in Chinese)
- [4] Lin W H (林伟宏). Response of photosynthesis to elevated atmospheric CO₂ [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 1998, 18(5): 529-538. (in Chinese)
- [5] Lin S H (林舜华), Xiang B (项斌), Gao L M (高雷明), et al. The response of *Quercus liaotungensis* to doubled CO₂ concentration [J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 1997, 21(4): 297-303. (in Chinese)
- [6] Sun J D, Gibson K M, Kiirats O, et al. Interactions of nitrate and CO₂ enrichment on growth, carbohydrates, and rubisco in *Arabidopsis* starch mutants. Significance of starch and hexose [J]. *Plant Physiol*, 2002, 130:1573-1583.
- [7] Yong J W H, Wong S C, Letham D S, et al. Effects of elevated CO₂ and nitrogen nutrition on cytokinins in the xylem sap and leaves of cotton [J]. *Plant Physiol*, 2000, 124:767-779.
- [8] Luomala E M, Laitinen K, Kellomaki S, et al. Variable photosynthetic acclimation in consecutive cohorts of Scots pine needles during 3 years of growth at elevated CO₂ and elevated temperature [J]. *Plant Cell Environ*, 2003, 26:645-660.
- [9] Zhang Z L (张志良), Qu W J (瞿伟菁). *Experimental Manual on Plant Physiology* [M]. Third ed. Beijing: Higher Education Press, 2003. 88-92, 169-170. (in Chinese)
- [10] Xu C J (徐昌杰), Chen W J (陈文峻), Chen K S (陈昆松), et al. A simple method for determining the content of starch-iodine colorimetry [J]. *Biotechnology* (生物技术), 1998, 8(2): 41-43. (in Chinese)
- [11] Ye Q S (叶庆生), Pan R C (潘瑞焯), Qiu C X (丘才新). Study on the photosynthetic pathway of *Cymbidium sinense* [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1993, 35(6): 441-446. (in Chinese)
- [12] Sawada S, Kuninaka M, Watanabe K, et al. The mechanism to suppress photosynthesis through end-product inhibition in single-rooted soybean leaves during acclimation to CO₂ enrichment [J]. *Plant Cell Physiol*, 2001, 42(10):1093-1102.
- [13] Socias F X, Medrano H, Sharkey T D. Feedback limitation of photosynthesis of *Phaseolus L.* grow in elevated CO₂ [J]. *Plant Cell Environ*, 1993, 16:81-86.