

# CO<sub>2</sub> 浓度升高对凤梨叶片生长和光合特性的影响

王精明<sup>1,2</sup>, 李永华<sup>2</sup>, 黄胜琴<sup>2</sup>, 叶庆生<sup>2\*</sup>

(1. 惠州学院生物系, 广东 惠州 516015; 2. 华南师范大学生命科学学院, 广东 广州 510631)

**摘要:** 研究了 CO<sub>2</sub> 浓度升高对开顶式气室中凤梨叶片的生长与光合生理的影响。结果表明: 高 CO<sub>2</sub> 浓度(1 000±100 μmol mol<sup>-1</sup>)下生长的凤梨植株的株高、叶面积、鲜重和干重均高于对照(360±30 μmol mol<sup>-1</sup>), 处理 90 d 时分别为对照的 120.19%、119.22%、177.91%和 161.04%; 凤梨叶片的净光合速率也增加了 136%–259%, 且促进了叶片中可溶性糖和淀粉的积累, 但叶绿素含量则下降了 33.91%。高 CO<sub>2</sub> 浓度处理的凤梨叶片中 RuBP 羧化酶活性没有明显变化, 乙醇酸氧化酶活性则明显下降。

**关键词:** 凤梨; CO<sub>2</sub> 浓度升高; 生长; 净光合速率

中图分类号: Q945.11

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395 (2004) 06-0511-04

## Effects of Elevated CO<sub>2</sub> Concentration on the Growth and Photosynthetic Characteristics in *Guzmania* 'Danis'

WANG Jing-ming<sup>1,2</sup>, LI Yong-hua<sup>2</sup>, HUANG Sheng-qin<sup>2</sup>, YE Qing-sheng<sup>2\*</sup>

(1. Department of Biology, Huizhou College, Huizhou 516015, China; 2. College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** Studies on the growth and photosynthetic characteristics in *Guzmania* 'Danis' were conducted in plastic greenhouse with top covered by shading net under elevated CO<sub>2</sub> (1 000±100 μmol mol<sup>-1</sup>) and ambient CO<sub>2</sub> (360±30 μmol mol<sup>-1</sup>) conditions. The results showed that the plant height, leaf area, fresh and dry weights of plants under elevated CO<sub>2</sub> were 120.19%, 119.22%, 177.91% and 161.04% of those under ambient CO<sub>2</sub>, respectively, as determined after 90 days of experiment. Under elevated CO<sub>2</sub> condition, the net photosynthetic rate increased to 136%–259% and chlorophyll content decreased to 33.91% in comparison with those under ambient CO<sub>2</sub> during the experiments. Elevated CO<sub>2</sub> stimulated the accumulation of soluble sugar and starch, but declined the activity of glycolate oxidase in leaves, however, the activity of RuBPCase increased only slightly.

**Key words:** *Guzmania* 'Danis'; Elevated CO<sub>2</sub>; Growth; Net photosynthetic rate

由于人类活动的影响, 大气 CO<sub>2</sub> 浓度以每年 1–2 μmol mol<sup>-1</sup> 的速度增加, 已经从工业革命前的 280 μmol mol<sup>-1</sup> 迅速增加到今天的大约 365 μmol mol<sup>-1</sup>, 估计到 21 世纪末将达到 700 μmol mol<sup>-1</sup>。目前 CO<sub>2</sub> 浓度升高已成为世界范围内的重要环境问题, CO<sub>2</sub> 浓度升高将引起温室效应, 势必给全球生态环境和气候变迁带来深刻的变化<sup>[2]</sup>。CO<sub>2</sub> 浓度升高将对植物光合作用及其有关的生理生化过程产生直接或间

接的影响。植物对 CO<sub>2</sub> 浓度升高的响应引起了越来越多学者的关注, 涉及到植物的形态结构、光合作用、物质合成、基因表达、抗逆性、根际微生物和产量等方面的研究<sup>[3,5,6]</sup>。研究表明, CO<sub>2</sub> 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<sup>[3,4]</sup>。CO<sub>2</sub> 施肥作为一种重要的农业生产技术, 在温室农

收稿日期: 2003-12-12 接受日期: 2004-03-12

基金项目: 广东省自然科学基金团队项目(003062); 广东省自然科学基金重点项目(04105806); 广东省自然科学基金项目(011461)资助

\* 通讯作者 Corresponding author

业生产中已有较多应用<sup>[7]</sup>,但对高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下阴生花卉的生长状况及生理生化过程还需要进一步探讨。本研究在开顶式气调室中,研究高 CO<sub>2</sub> 浓度对阴生花卉凤梨(*Guzmania* 'Danis')叶片生物量、光合速率及其相关生理生化特性的影响,以期对凤梨的温室栽培生产提供参考。

## 1 材料和方法

**材料** 凤梨(*Guzmania* 'Danis', 品种为丹尼斯)购自广州农业科技开发研究基地,CO<sub>2</sub> 购自广州气体厂,纯度 99.5%。

**方法** 试验于 2003 年 3 月 28 日至 2003 年 6 月 28 日在华南师范大学国兰研究中心进行,凤梨盆栽(高 25 cm,直径 15 cm)置于 2 个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,温室上方覆盖遮阳网(遮阳率 50%)。供气装置为 CO<sub>2</sub> 钢瓶,CO<sub>2</sub> 气体通过 CO<sub>2</sub> 减压流量计由均匀分布在凤梨叶幕上方的 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, Lincoln, NE, USA)人工定时监测温室内凤梨生长上方的 CO<sub>2</sub> 浓度,由流量计控制并及时补充 CO<sub>2</sub> 气体,使棚内 CO<sub>2</sub> 浓度变幅不超过 10%。试验选取长势基本一致的盆栽凤梨植株,设大气(ambient CO<sub>2</sub>, AC, 360±30 μmol mol<sup>-1</sup>)和高浓度 CO<sub>2</sub> (elevated CO<sub>2</sub>, EC, 1 000±100 μmol mol<sup>-1</sup>) 2 个处理。试验过程中 CO<sub>2</sub> 气体施用时间为每天 8:00–17:00,正常肥水管理。每隔 30 d 取第 14 片叶进行生理生化指标测定,同时测定株高、叶面积、鲜重和干重。

**光合速率测定** 利用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合气体分析系统于上午 9:00–

11:00 测定净光合速率(Pn),光合有效辐射(PAR)约为 500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>,叶片温度控制在 24–30℃之间。

**生理生化指标测定** 叶绿素、可溶性糖含量的测定参考文献[18]的方法;淀粉含量测定参照徐昌杰等<sup>[9]</sup>的方法;RuBP 羧化酶和乙醇酸氧化酶活性测定参照叶庆生等<sup>[10]</sup>的方法。

## 2 结果和分析

### 2.1 对生长状况的影响

不同光合途径的植物生物量随 CO<sub>2</sub> 浓度的升高有所提高。由表 1 可知,整个试验期间,高 CO<sub>2</sub> 浓度下凤梨各项生长指标均有不同程度的提高。以处理 90 d 时最为明显,其株高、单叶面积、全株鲜重和干重分别为对照的 120.19%、119.22%、177.91%和 161.04%。

### 2.2 对叶片光合速率的影响

CO<sub>2</sub> 是植物光合作用的基本原料,光合速率是对 CO<sub>2</sub> 浓度变化最敏感的指标之一。图 1 表明,高

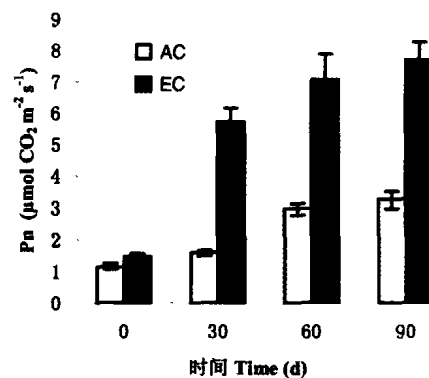


图 1 高浓度 CO<sub>2</sub> 对凤梨光合速率的影响  
Fig. 1 Effect of elevated CO<sub>2</sub> concentration on net photosynthetic rate (Pn) in *Guzmania* 'Danis' leaves

表 1 高浓度 CO<sub>2</sub> 对凤梨生长的影响

Table 1 Effect of elevated CO<sub>2</sub> concentration on the growth of *Guzmania* 'Danis'

时间 Time (d)	CO <sub>2</sub>	株高 Plant height		单叶面积 Leaf area		鲜重 Fresh weight		干重 Dry weight	
		(cm)	%	(cm <sup>2</sup> )	%	(g plant <sup>-1</sup> )	%	(g plant <sup>-1</sup> )	%
0		18.30±0.93		44.62±2.17		24.60±1.97		3.94±0.28	
30	AC	20.08±0.79	100	48.48±2.86	100	31.52±1.58	100	5.35±0.43	100
	EC	21.51±0.87	107.12	51.14±1.90	105.48	38.68±2.71	122.72	6.93±0.49	129.53
60	AC	22.13±0.91	100	52.23±2.97	100	45.31±2.72	100	7.48±0.52	100
	EC	24.75±1.13	111.84	58.72±2.66	112.43	66.31±2.65	146.35	11.16±0.67	149.20
90	AC	25.06±1.09	100	55.47±2.53	100	62.48±3.75	100	10.42±0.73	100
	EC	30.12±1.27	120.19	66.13±2.78	119.22	111.16±4.45	177.91	16.78±0.84	161.04

表中数据为 3 次重复的平均值,下表同。Values are the means of three repeated experiments. AC=360±30 μmol mol<sup>-1</sup>; EC=1 000±100 μmol mol<sup>-1</sup>; The same for the following tables.

CO<sub>2</sub>浓度处理明显提高凤梨的净光合速率,增加幅度在136%–259%之间,高CO<sub>2</sub>浓度处理30 d,凤梨幼苗的净光合速率为5.68 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>,而大气CO<sub>2</sub>浓度下仅为1.58 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>。光合速率的提高有利于植物的生长和干物质的积累,这与表1的结果是一致的。

### 2.3 对叶片可溶性糖、淀粉和叶绿素含量的影响

高CO<sub>2</sub>浓度下植物光合作用增强,使得叶片中

许多非结构性碳水化合物如淀粉、多糖含量明显提高<sup>[3,5]</sup>。我们的研究结果(表2)也表明,高CO<sub>2</sub>浓度处理促进了凤梨叶片中可溶性糖和淀粉的积累,处理30 d的凤梨叶片中可溶性糖与淀粉含量分别比对照高62.6%、51.5%。但在高CO<sub>2</sub>浓度下,凤梨叶片中的叶绿素含量随处理时间的延长呈现下降趋势,且均小于对照,处理90 d其叶绿素含量下降了33.91%。

表2 高浓度CO<sub>2</sub>对凤梨叶片可溶性糖、淀粉和叶绿素含量的影响  
Table 2 Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on the content of soluble sugar, starch and chlorophyll in *Guzmania* 'Danis' leaves

时间 Time (d)	CO <sub>2</sub>	可溶性糖 Soluble sugar (mg g <sup>-1</sup> DW)	淀粉 Starch (mg g <sup>-1</sup> FW)	叶绿素 Chlorophyll (mg g <sup>-1</sup> FW)	Chla/Chlb
0	AC	5.97±0.61	8.57±0.51	2.31±0.12	2.55±0.018
30	AC	7.47±0.45	9.43±0.66	2.23±0.13	2.53±0.021
	EC	12.15±0.85	14.29±0.71	1.87±0.14	2.05±0.016
60	AC	7.16±0.57	16.1±0.64	2.18±0.11	2.47±0.022
	EC	11.17±0.45	19.7±1.45	1.71±0.06	1.88±0.015
90	AC	6.05±0.44	22.7±1.45	2.26±0.17	2.53±0.017
	EC	9.57±0.67	31.5±2.21	1.52±0.07	2.11±0.016

### 2.4 对叶片 RuBP 羧化酶和乙醇酸氧化酶活性的影响

RuBP 羧化酶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。表3表明,高CO<sub>2</sub>浓度处理下,凤梨叶片 RuBP 羧化酶活性比对照有所提高,但增加幅度较小,而乙醇酸氧化酶的活性则有较大幅度下降,处理90 d约为对照的50%左右,可能其光呼吸过程在一定程度上受到抑制,这可能是凤梨叶片具有较高光合速率的主要原因之一。

## 3 讨论

有研究表明,高CO<sub>2</sub>浓度对植物的形态、蛋白质合成、光合、生长及生物量等都有不同程度的影响,短期高CO<sub>2</sub>处理使光合能力增强,而长期处理则使光合能力下调<sup>[11,12]</sup>。在我们的试验中,高CO<sub>2</sub>浓度下随着处理时间的延长凤梨叶片的光合速率持续增加并且始终高于对照(图1),并没有观察到一些试验中所出现的光合下调现象,这可能是因为我们的处理时间较短,尽管叶片内淀粉及可溶性糖的含量有所增加(表2),但还没有达到能够对光合作用进行反馈抑制的程度<sup>[12]</sup>,当然这种现象也可能与

表3 高浓度CO<sub>2</sub>对凤梨叶片 RuBP 羧化酶和乙醇酸氧化酶活性的影响  
Table 3 Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on activities of RuBPCase and glycolate oxidase in leaves of *Guzmania* 'Danis'

时间 Time (d)	CO <sub>2</sub>	RuBP 羧化酶 RuBPCase (nmol CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> protein min <sup>-1</sup> )	乙醇酸氧化酶 Glycolate oxidase (μmol glyoxylate mg <sup>-1</sup> protein min <sup>-1</sup> )
0	AC	12.94±1.06	20.76±2.14
30	AC	11.67±0.95	21.75±1.96
	EC	12.15±0.86	11.44±1.25
60	AC	10.78±0.81	22.08±1.68
	EC	11.46±1.06	9.45±0.84
90	AC	11.38±0.91	19.34±2.31
	EC	13.42±1.47	10.26±1.27

试验材料、肥料中N的供应、叶龄有关<sup>[5,11]</sup>,还有待于进一步研究。由于大气中CO<sub>2</sub>浓度约为360 μmol mol<sup>-1</sup>,要低于C<sub>3</sub>植物的CO<sub>2</sub>饱和点,因此大气CO<sub>2</sub>浓度就成为植物光合作用的一个限制因子。高CO<sub>2</sub>浓度下,光合作用原料供应充足,RuBP 羧化酶羧化效率提高,同时随着植株叶片逐渐进入旺盛生长期,因此尽管高CO<sub>2</sub>浓度环境下生长的凤梨叶片单位鲜重中叶绿素含量下降,仍能保持较高的光合速率(图1)<sup>[5,10]</sup>。高CO<sub>2</sub>浓度促进植物的光合作用,使植物叶片内淀粉、多糖明显增加,

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<sup>[7,13]</sup>,在我们的试验中,高 CO<sub>2</sub> 浓度处理 90 d 的凤梨整个植株干物质质量比对照增加 61.04%,株高与单叶面积分别增加了 20.19% 和 19.22%(表 1),这与高 CO<sub>2</sub> 浓度促进营养生长的结果是一致的。综上所述:1 000 μmol mol<sup>-1</sup> 浓度的 CO<sub>2</sub> 处理提高了凤梨叶片的净光合速率,促进叶片中可溶性糖和淀粉的积累,从而增加了凤梨叶片的叶面积、生物量与干物质积累。因此,短期高浓度 CO<sub>2</sub> (农业生产中也称 CO<sub>2</sub> 施肥)处理对凤梨等花卉生物量的提高是比较有效的,在花卉产业中可以进一步应用。

### 参考文献

- [1] Genthon C, Barnola J M, Raynaud D, et al. Vostok ice core: climate response to CO<sub>2</sub> and orbit forcing changes over the last climatic cycle [J]. *Nature*, 1987, 329:414-418.
- [2] Zhang Q D(张其德), Lu C M(卢从明), Kuang T Y(匡廷运). Effects of the rising CO<sub>2</sub> levels on photosynthesis [J]. *Chin Bull Bot (植物学通报)*, 1992, 9(4):18-23. (in Chinese)
- [3] Zhou Y M(周玉梅), Xiang B(项斌), Gao L M(高雷明), et al. Effect of elevated CO<sub>2</sub> concentration on carbohydrate and nitrogen contents in seedling foliage of three tree species in Changbai Mountain [J]. *Acta Phytoecol Sin(植物生态学报)*, 2002, 13(6): 663-666. (in Chinese)
- [4] Pritchard S G, Ju Z L, Santen E V, et al. The influence of elevated CO<sub>2</sub> on the activities of antioxidative enzymes in two soybean genotypes [J]. *Aust J Plant Physiol*, 2000, 27:1061-1068.
- [5] Sun J D, Kelly M, Gibson O K, et al. Interactions of nitrate and CO<sub>2</sub> enrichment on growth, carbohydrates, and Rubisco in *Arabidopsis* starch mutants. Significance of starch and hexose [J]. *Plant Physiol*, 2002, 130:1573-1583.
- [6] Rabha B K, Uprety D C. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and moisture stress on *Brassica juncea* [J]. *Photosynthetica*, 1998, 35:597-602.
- [7] Hou Y D(侯玉栋), Xing Y X(邢禹贤). Progress in study of CO<sub>2</sub> enrichment in vegetables [J]. *J Shandong Agri Univ (山东农业大学学报)*, 1997, 28(1):73-78. (in Chinese)
- [8] Zhang Z L(张志良). *Experimental Manual on Plant Physiology [M]*. Second ed. Beijing: Higher Education Press, 1990. (in Chinese)
- [9] 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)
- [10] Ye Q S(叶庆生), Pan R C(潘瑞炽), Qiu C X(丘才新). Study on the photosynthetic pathway of *Cymbidium sinense* (Andr.) Willd [J]. *Acta Bot Sin(植物学报)*, 1993, 35(6):441-446. (in Chinese)
- [11] Lin W H(林伟宏). The effects of the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration increase on photosynthesis, transpiration and water use efficiency in rice [J]. *Ecol Agri Res (生态农业研究)*, 1996, 4(2): 40-43. (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 CO<sub>2</sub> enrichment [J]. *Plant Cell Physiol*, 2001, 42(10):1093-1102.
- [13] Ferris R, Wheeler T R, Ellis R H, et al. Seed yield after environmental stress in soybean grown under elevated CO<sub>2</sub> [J]. *Crop Sci*, 1999, 39:710-718.