

高浓度 CO₂ 对不同水分条件下枇杷生理的影响

张放 陈丹 张士良 吴荣兰

(浙江大学园艺系, 杭州 310029)

摘 要: 在近似大气的低 CO₂ 浓度 (400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) 和高 CO₂ 浓度 (700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) 的两个自制的开顶式生长室内, 研究分析了水分胁迫对 2 年生‘大红袍’枇杷 (*Eriobotrya japonica* Lindl.) 叶片的光合作用、叶绿素荧光及抗氧化酶活性等生理变化。结果表明, 高 CO₂ 浓度对不同水分状态下的枇杷叶片光合速率 (Pn) 均有明显的促进作用, 使枇杷叶片荧光参数 Fv/Fm 和 Fv/Fo 值及 $\Phi\text{PS II}$ 明显提高; 而在水分胁迫时, 高 CO₂ 浓度使枇杷叶片荧光参数 Fv/Fm 和 Fv/Fo 值及 $\Phi\text{PS II}$ 下降幅度明显减少; 高 CO₂ 浓度也使 SOD、POD 及 CAT 酶活性显著提高, 但在水分胁迫时, 高 CO₂ 浓度下的 SOD、POD 及 CAT 酶活性上升幅度明显较小, 膜脂过氧化水平的上升幅度也较小, 可见 CO₂ 浓度升高对于水分胁迫所造成的氧化损伤有一定的缓解作用。

关键词: 枇杷; 高浓度 CO₂; 水分胁迫; 光合作用; 叶绿素荧光; 抗氧化酶

中图分类号: S 667.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2003) 06-0647-06

大气中 CO₂ 浓度的升高及其影响是当前全球关注的大问题。自从 19 世纪工业革命以来, 大气中 CO₂ 浓度增长的速度前所未有, 按目前大气 CO₂ 浓度以每年 1~1.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 的增长速度估计, 预计到下世纪末将达到 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ [1]。大气 CO₂ 浓度的增高, 改变了大气对太阳辐射的吸收和空气的热对流, 所引起的“温室效应”使气候变暖。气温的增高, 势必引起土壤水分蒸散作用和植物的蒸腾作用加剧, 造成水分过度散失和引起植物水分胁迫。随着大气 CO₂ 浓度的持续增高, 植物将面临着对水分胁迫和对空气 CO₂ 浓度增高的双重适应。

研究表明 [2,3], CO₂ 浓度上升提高了植物的光合速率, 增大了气孔阻力, 减少了蒸腾作用, 抑制了植物的呼吸作用, 可显著提高植物的水分利用率, 促进植物的生长。最近有研究表明, CO₂ 浓度升高对植物的效应明显受具体环境的影响, CO₂ 的长期升高具有缓和逆境胁迫效应的能力, 在逆境条件下, CO₂ 升高对植物生长的相对促进率比非逆境条件下要高 [4]。

大气 CO₂ 浓度增高对植物影响的研究多以田间作物和牧草等为对象, 而较少涉及木本植物 [5]。本研究选用木本植物枇杷 (*Eriobotrya japonica* Lindl.) 作为研究对象, 有助于阐明大气 CO₂ 浓度升高与水分胁迫相互作用下对木本植物的生理响应机制。季节性干旱是制约枇杷提高单产的主要因素。目前, 关于高 CO₂ 浓度和水分胁迫共同作用下枇杷光合作用、酶活性等方面的报道较为罕见。本研究试图通过这方面的工作, 为枇杷高效种植提供理论和试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料及其生长条件

本试验于 2002 年 6 月 10 日~9 月 30 日在浙江大学华家池校区园艺系果园的两个自制的室外开顶式生长室 (open-top growth chamber) 中进行。生长室长 3.5 m, 宽 2.5 m, 高 2.3 m, 顶开口边长为 0.7 m, 用无滴塑料薄膜覆盖, 膜的透光率为 80%。CO₂ 气源为液态 CO₂, 通过浮标式 CO₂ 减压器 (YQ-CO₂-03) 由距地面 1.5 m 高处的塑料软管 (上设小孔) 向棚内均匀施放 CO₂ 气体, 用校正过的 CO₂ 分

收稿日期: 2003-01-06; 修回日期: 2003-03-25

基金项目: 国务院三峡建设委员会资助项目; 浙江省教育厅重点项目

析仪 (HCM-1000, Walz, Germany) 定期监测生长室内的 CO_2 气体浓度, 通过调整 CO_2 钢瓶上的流量计控制并及时补充 CO_2 气体, 使生长室内的 CO_2 气体相对稳定在控制水平, 变幅不超过 10%。每天供气时间为 8:00~18:00。

本试验于浙江大学华家池校区园艺系果园进行。试材为 2 年生 ‘大红袍’ 枇杷盆栽苗。取 16 盆生长整齐一致的盆栽枇杷嫁接苗植株, 分别放入两个自制的开顶式生长室内进行培养, 其中一生长室内通入 $700 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ CO_2 气体, 另一生长室内通入近似当前大气 CO_2 浓度 ($400 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 对照组)。在生长室内培养一个月后进行水分处理, 在水分处理前, 各盆浇水至饱和, 使土壤含水量基本一致。在进行水分处理中, 其中 5 盆停止浇水, 另 3 盆正常浇水作为对照。当植株出现轻度、中度和严重缺水症状时 (水分胁迫指标用 RWC), 分别取样进行测定。水分胁迫程度按 Hsiao^[6] 的划分标准, 即叶片相对含水量 (RWC) 降低 10%~20% 属中度水分胁迫, 降低 20% 以上属严重水分胁迫。由于进行水分胁迫处理过程比较短 (相对于 CO_2 处理时间), 一般为 2~3 d, 对于各水分处理取样时间不同可忽略不计。

1.2 生理指标的测定

叶片相对含水量 (RWC) 采用烘干法测定。利用德国 Walz 公司生产的 HCM-1000 便携式光合作用测定仪在各自生长的 CO_2 浓度下测定完全伸展开最新叶片的净光合速率 (Pn)、蒸腾速率 (Tr)、气孔阻力、气孔导度 (Gs) 等参数, 测定时大气温度为 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$, 空气相对湿度为 $32.5\% \pm 3\%$, 每株测定 3 片叶, 每一处理重复 3 次。将测定过光合作用的一部分叶片剪取下来, 采用乙醇丙酮混合液提取法^[7], 利用紫外分光光度计测定波长 663、645 及 440 nm 的吸收值 (重复 3 次)。据公式^[8] 计算叶绿素 (Chl.)、类胡萝卜素 (Car) 及叶绿素 a、b (Chl.a、Chl.b) 的含量。测定前暗适应 30 min 后, 用德国 Walz 公司生产的 PAM-2000 便携式荧光仪测定叶绿素初始荧光 (Fo)、最大荧光 (Fm)、可变荧光 (Fv)、PS II 的光化学效率 (Fv/Fm) 及 PS II 光化学量子产量 ($\Phi\text{PS II}$), 每株测定 3 片叶片, 每一处理重复 3 次。取完全伸展开的最新叶片, 称重后液氮固定, 保存于 -20°C 的低温冰柜中。参照 Dhindsa 等^[9] 的方法提取测定膜脂过氧化产物丙二醛 (MDA) 的含量。根据 Giannopolitis 等^[10] 的方法测定 SOD 活性。按曾韶西等^[11] 的方法测定 POD、CAT 活性。

2 结果与分析

2.1 CO_2 浓度升高对水分胁迫下枇杷叶片 Pn、Tr、气孔阻力、Gs 及水分利用效率的影响

由表 1 可见, CO_2 浓度升高对不同水分处理的枇杷叶片 Pn 均有明显的促进作用。在不同的 CO_2 浓度条件下, 水分胁迫对 Pn 均有降低作用, 但其降低程度存在明显地差异。在高 CO_2 浓度 ($700 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)

表 1 CO_2 浓度升高对水分胁迫下枇杷叶片光合速率、蒸腾速率、气孔导度、气孔阻力及水分利用效率的影响

Table 1 Effects of high CO_2 and water-stress on net photosynthetic rates, transpiration rates, stomatal conductance, stomatal resistance and water use efficiency of loquat leaves

CO_2 ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	水分胁迫 Water-stress	净光合速率 Net photosyn- thetic rate ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔阻力 Stomatal resistance ($\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	气孔导度 Stomatal conductance ($\text{H}_2\text{O mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率 Water use efficiency ($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)
700	对照 Control	10.43 ± 0.82 a	3.86 ± 0.21 a	28.34 ± 2.13 a	156.36 ± 3.82 a	2.71 ± 0.16 a
	轻 Light	10.36 ± 0.55 a	3.65 ± 0.18 a	29.58 ± 1.65 a	152.37 ± 3.02 b	2.84 ± 0.11 a
	中 Moderate	9.04 ± 0.62 b	3.21 ± 0.16 b	31.87 ± 1.12 b	141.04 ± 2.15 c	2.82 ± 0.23 a
	重 Severe	8.13 ± 0.53 c	2.91 ± 0.18 c	34.34 ± 1.24 c	129.41 ± 1.17 d	2.79 ± 0.21 a
400	对照 Control	7.45 ± 0.42 d	6.14 ± 0.27 d	23.11 ± 1.03 d	190.69 ± 3.98 e	1.21 ± 0.07 b
	轻 Light	5.33 ± 0.40 e	4.54 ± 0.19 e	25.86 ± 0.79 e	172.09 ± 2.43 f	1.17 ± 0.06 b
	中 Moderate	3.82 ± 0.33 f	3.32 ± 0.25 f	29.94 ± 1.35 f	151.01 ± 1.84 g	1.15 ± 0.05 b
	重 Severe	2.81 ± 0.25 g	2.65 ± 0.14 g	31.13 ± 1.32 g	137.36 ± 1.36 h	1.06 ± 0.06 b

注: 数字后附不同字母者表示差异显著 ($P=0.05$)。

Note: The same letter behind the number indicated no significance at $P=0.05$.

条件下, 轻度水分胁迫对 Pn 几乎没有影响, 在中度、严重水分胁迫下 Pn 减幅明显。但在大气 CO₂ 浓度条件下, 水分胁迫对 Pn 的降低极为显著。Tr 的响应模式相反: CO₂ 浓度升高和水分胁迫都使叶片 Tr 显著下降, 在两者的共同作用下, 枇杷叶片的 Tr 下降更大。气孔阻力的检测结果表明, CO₂ 浓度升高和水分胁迫均使叶片的气孔阻力显著提高, 而高 CO₂ 浓度并水分胁迫下的气孔阻力升高更为显著。Gs 的测定结果表明, CO₂ 浓度升高和水分胁迫均使 Gs 显著下降。试验结果显示, CO₂ 浓度增加使叶片的水分利用率 (WUE) 显著上升, 而水分胁迫对 WUE 并无显著影响, 二者协同作用则使 WUE 显著升高。

2.2 CO₂ 浓度升高对水分胁迫下枇杷叶片光合色素含量的影响

表 2 CO₂ 浓度升高对水分胁迫下枇杷叶片光合色素含量及 Chl. a/b、Chl. /Car 的影响

Table 2 Effects of high CO₂ and water-stress on photosynthetic pigments content and Chl. a/b, Chl. /Car in loquat leaves

CO ₂ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	水分胁迫 Water stress	叶绿素 Chl. ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)			类胡萝卜素 Car ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Chl. a/b	Chl. /Car
		a + b	a	b			
700	对照 Control	4.150 \pm 0.039 a	2.972 \pm 0.045 a	1.178 \pm 0.026 a	0.786 \pm 0.012 a	2.523	5.174
	轻 Light	4.095 \pm 0.013 a	2.927 \pm 0.036 a	1.168 \pm 0.029 a	0.775 \pm 0.011 a	2.545	5.177
	中 Moderate	3.793 \pm 0.054 b	2.733 \pm 0.030 b	1.060 \pm 0.057 b	0.736 \pm 0.014 b	2.578	5.154
	重 Severe	3.632 \pm 0.040 c	2.619 \pm 0.034 c	1.013 \pm 0.035 b	0.685 \pm 0.011 c	2.585	5.143
400	对照 Control	3.487 \pm 0.054 d	2.548 \pm 0.042 d	0.939 \pm 0.027 c	0.631 \pm 0.009 d	2.694	5.526
	轻 Light	3.382 \pm 0.012 d	2.453 \pm 0.014 e	0.929 \pm 0.022 c	0.604 \pm 0.012 e	2.612	5.599
	中 Moderate	3.107 \pm 0.041 e	2.271 \pm 0.037 f	0.836 \pm 0.021 d	0.557 \pm 0.011 f	2.710	5.578
	重 Severe	2.679 \pm 0.027 f	1.965 \pm 0.051 g	0.714 \pm 0.013 e	0.517 \pm 0.013 g	2.752	5.182

注: 数字后附不同字母者表示差异显著 ($P = 0.05$)。

Note: The same letter behind the number indicated no significance at $P = 0.05$.

由表 2 可见, CO₂ 浓度升高有利于叶绿素 (Chl.) 和类胡萝卜素 (Car) 含量的增加。在水分胁迫下 Chl. 和 Car 含量均下降。其中轻度胁迫时, 不同 CO₂ 浓度处理的 Chl. 及 Chl.b 含量虽下降, 但均未达显著水平 ($P = 0.05$); 中度及严重水分胁迫时, Chl. 及 Chl.b 含量均比对照显著 ($P = 0.05$) 减少。但 Chl.a 和 Car 含量的变化在轻度水分胁迫差异明显, 在大气 CO₂ 浓度条件下达显著水平, 在高 CO₂ 浓度条件下与对照无显著差异。不同 CO₂ 浓度条件下 Chl.a/b 比值在水分胁迫下均有上升趋势, 但均未达显著水平 ($P = 0.05$); Chl. /Car 值在轻度及中度水分胁迫时变化不大, 但在大气 CO₂ 浓度条件下, 严重水分胁迫时明显下降。

2.3 CO₂ 浓度升高对水分胁迫下枇杷叶片 Fv/Fo、Fv/Fm 及 $\Phi\text{PS II}$ 的影响

Fv/Fm 及 Fv/Fo 值常用于度量植物叶片 PS II 原初光能转换效率及叶片 PS II 潜在活性, $\Phi\text{PS II}$ 常用来表示植物光合作用电子传递的量子产额, 可作为植物叶片光合电子传递速率快慢的相对指标。从图 1 可看到, CO₂ 浓度升高可明显提高 PS II 活性 (Fv/Fo)、PS II 原初光能转化效率 (Fv/Fm) 及 PS II 光化学量子产量 ($\Phi\text{PS II}$); 而水分胁迫对枇杷叶片 PS II 活性、PS II 原初光能转化效率及 PS II 光化学量子产量有明显地降低作用。

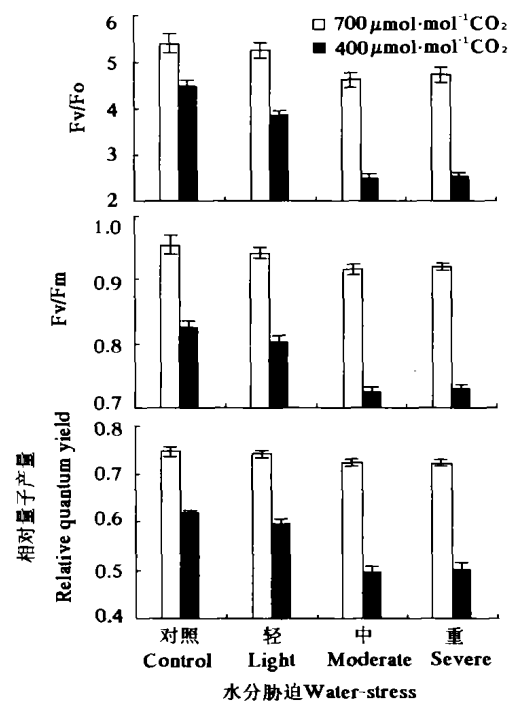


图 1 CO₂ 浓度升高对水分胁迫下枇杷叶片 Fv/Fo、Fv/Fm 及 $\Phi\text{PS II}$ 的影响

Fig. 1 Effects of high CO₂ and water stress on the values of Fv/Fo, Fv/Fm and $\Phi\text{PS II}$ of loquat leaves

2.4 CO₂ 浓度升高对水分胁迫下枇杷叶片 SOD、POD、CAT 酶活性及 MDA 含量的影响

由图 2 可见,在大气 CO₂ 浓度条件下,受到水分胁迫的枇杷其叶片的 SOD、POD、CAT 的活性明显上升。在 CO₂ 浓度升高时,枇杷叶片的 SOD、POD、CAT 的活性明显上升;而处于水分胁迫时,叶片的 SOD、POD、CAT 的活性与对照相比并无明显的变化。在大气 CO₂ 浓度条件下,水分胁迫使得枇杷叶片中丙二醛(MDA)的含量升高,尤其在重度水分胁迫时极为显著。而当 CO₂ 浓度升高时,尽管水分胁迫下枇杷叶片的 MDA 含量也略有所升高,但其上升幅度明显小于大气 CO₂ 浓度下的。

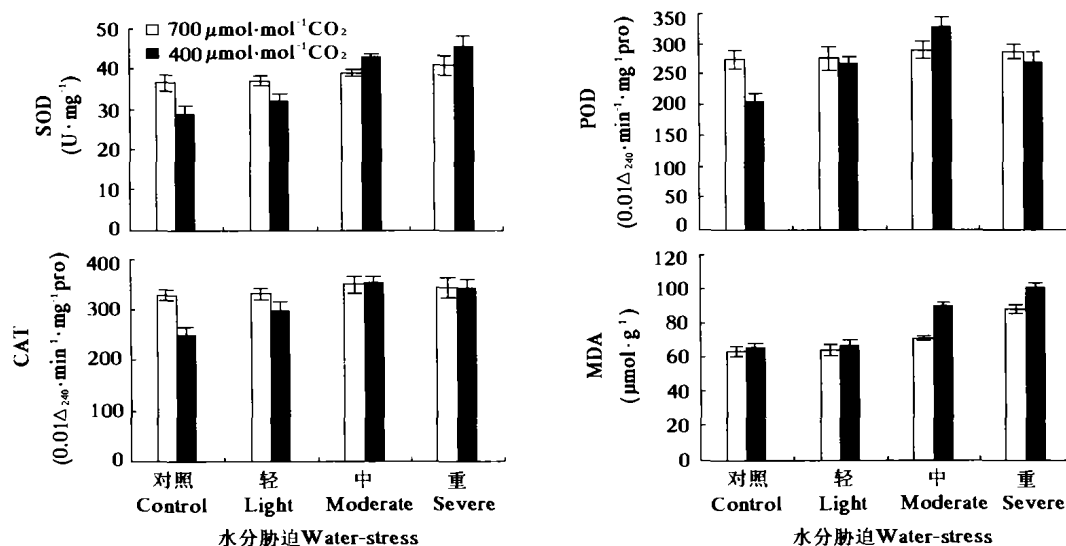


图 2 CO₂ 浓度升高对水分胁迫下枇杷叶片 SOD、POD、CAT 酶活性及 MDA 含量的影响

Fig. 2 Effects of high CO₂ and water stress on activities of SOD, CAT, POD and the content of MDA in loquat leaves

3 讨论

大量资料表明^[2,3],大气 CO₂ 浓度升高能显著提高植物的光合速率,从而促进植物的生长,提高生物量。本试验的研究结果与此一致。另外,本研究的结果也表明,在大气 CO₂ 浓度下,水分胁迫使枇杷的光合速率显著下降,这和人前所得出的水分胁迫能抑制果树的光合作用,使光合速率下降的试验结果^[12]也一致;而 CO₂ 浓度升高后,轻度水分胁迫对光合速率几乎不产生影响,在中度和严重水分胁迫下,光合速率下降幅度也明显小于大气 CO₂ 浓度下的光合速率,这可能是由于 CO₂ 浓度的提高,增加了光合作用的底物,同时 CO₂ 浓度升高可促使枇杷叶片气孔关闭,气孔阻力增大。在水分胁迫条件下,大气 CO₂ 浓度升高通过促进光合作用、抑制蒸腾作用、提高水分利用率等效应,削弱了水分胁迫对光合作用的抑制作用。

叶绿素荧光参数 Fv/Fm 常被用作标明环境胁迫程度的指标和探针^[13,14]。本研究表明,水分胁迫条件下枇杷叶片荧光参数 Fv/Fm 值、Fv/Fo 值明显降低,表明水分胁迫使枇杷叶片光系统 II (PS II) 原初光能转换效率、PS II 潜在活性受到抑制。在大气 CO₂ 浓度下,中度水分胁迫使 Fv/Fm 及 Fv/Fo 值大幅度下降,有研究者表明这是由于水分胁迫使 PS II 活性中心受损,光合作用原初反应过程受抑制,光合电子由 PS II 反应中心向 QA、QB 及 PQ 库传递过程受到影响,不利于激发能从天线色素蛋白复合体(LHC)向 PS II 传递,光合作用受抑是由非气孔因素引起的^[15]。研究还表明水分胁迫下光合量子产量(ΦPS II)降低,说明水分胁迫直接影响了光合作用的电子传递和二氧化碳同化过程,使包括光合电子传递和质子梯度建立在内的 CO₂ 同化过程受到抑制和损伤,光合电子传递速率和光合能态化速率下降,光合作用强度减弱。但在高 CO₂ 浓度下,枇杷叶片荧光参数 Fv/Fm 和 Fv/Fo 值及 ΦPS II 明显高于大气 CO₂ 浓度下的,在水分胁迫条件下,这些参数的下降幅度明显减少,这和高 CO₂ 浓度时,

枇杷叶片净光合速及光合色素含量的变化是相一致的, 表明 CO₂ 浓度升高可增强枇杷对水分胁迫的抗逆能力。

MDA 是膜脂过氧化的产物, 可作为植物遭受氧化逆境损伤的指标之一。本研究表明, 在大气 CO₂ 浓度下, 水分胁迫对枇杷叶片造成较为严重的氧化损伤, 尤其在中度及严重水分胁迫时表现更为显著, 而在高 CO₂ 浓度条件下, 这种氧化损伤则较为轻微, 这表明 CO₂ 浓度升高对防止植物的氧化损伤具有一定的保护作用, 这与前人的研究结果^[16]相一致。对植物抗氧化保护酶类的研究分析表明, 水分胁迫使枇杷叶片 SOD、POD 及 CAT 酶活性提高, 尤其在中度及严重水分胁迫时, 处于大气 CO₂ 浓度条件下的枇杷叶片中的 SOD、POD 及 CAT 活性显著升高, 而 MDA 含量也明显上升, 这可能是由于大气 CO₂ 浓度中, 处于水分胁迫下枇杷植株其自由基产生与清除的平衡被打破, 所以尽管抗氧化酶活性上升到较高水平, 但由于其膜受到伤害, 使得膜脂过氧化水平也急剧上升, 从而对光合及生长造成影响。而 CO₂ 浓度升高也使 SOD、POD 及 CAT 酶活性明显提高, 但在高 CO₂ 浓度下, 受到水分胁迫的枇杷叶片中的 SOD、POD 及 CAT 活性上升幅度明显小于大气 CO₂ 浓度下的, 而其膜脂过氧化水平的上升幅度也较少, 可见 CO₂ 浓度升高对于水分胁迫所造成的氧化损伤有一定的缓解作用。Rao 等^[17]对小麦的研究表明, CO₂ 浓度的升高导致抗氧化能力提高的作用机理可能是由于 CO₂ 是植物光合作用的底物, CO₂ 浓度的升高通过调节光合作用过程中的电子传递系统, 形成更多的 NADPH, 促进碳同化 (卡尔文循环); 而 NADPH 合成的增加又促进了抗坏血酸谷胱甘肽循环, 提高了 SOD 及 AP (抗坏血酸过氧化物酶) 的活性; 增强自由基的清除能力^[18]。另一方面, 由于 CO₂ 浓度升高导致气孔阻力增大, 蒸腾速率减少, 水分利用率增加, 也使植物对于土壤干旱的“耐性”增强。因此, 在高 CO₂ 浓度条件下, 植物受到的干旱损伤就比在大气 CO₂ 浓度下的轻微的多, 从而使得在高 CO₂ 浓度下, 由于水分胁迫所造成的抗氧化酶活性的升高也就不明显了。本试验所得的结果也基本一致, 为这一推测提供了证据。总之, 大气 CO₂ 浓度升高能明显增强植物的抗旱能力, 对水分胁迫导致的氧化损伤有一定的缓解作用。因此, 在未来的气候条件下, 大气 CO₂ 浓度升高可能对增强植物的抗逆能力有利。

参考文献:

- 1 Genthon C, Barnola J M, Raynaud D, et al. Vostok ice core: climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climatic cycle. *Nature*, 1987, 329: 414 ~ 418
- 2 Idso K E, Idso S B. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years' research. *Agriculture and Forest Meteorology*, 1994, 69: 153 ~ 203
- 3 林伟宏. 植物光合作用对大气 CO₂ 浓度升高的反应. *生态学报*, 1998, 18 (5): 529 ~ 538
- 4 Faria T, Wilkins D, Besford R T. Growth at elevated CO₂ leads to down-regulation of photosynthesis and altered response to high temperature in *Quercus suber* L. seedling. *J. Exp. Bot.*, 1996, 47: 1755 ~ 1761
- 5 Corner C, Miglietta F. Long-term effects of CO₂ on Mediterranean grassland and forest trees. *Oecologia*, 1994, 99: 343 ~ 351
- 6 Hsiao T C. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1973, 24: 519 ~ 527
- 7 沈伟其. 测定水稻叶片叶绿素含量的混合液提取法. *植物生理学通讯*, 1988, (3): 62 ~ 64
- 8 朱广廉, 钟海文, 张爱琴编. *植物生理学实验*. 北京: 北京大学出版社, 1990. 51 ~ 54
- 9 Dhindsa R S, Matowe W. Drought tolerance in two mosses: correlated with enzymatic defence against lipid peroxidation. *J. Exp. Bot.*, 1981, 32: 79 ~ 91
- 10 Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol.*, 1977, 59: 309 ~ 314
- 11 曾韶西, 王以柔, 刘鸿先. 低温光照下与黄瓜子叶叶绿素降低有关的酶促反应. *植物生理学报*, 1991, 17 (2): 177 ~ 182
- 12 刘国琴, 樊卫国. 果树对水分胁迫的生理响应. *西南农业学报*, 2000, 13 (1): 101 ~ 106
- 13 陈贻竹, 李晓萍, 夏 丽, 等. 叶绿素荧光技术在植物环境胁迫研究中的应用. *热带亚热带植物学报*, 1995, 3 (4): 79 ~ 86
- 14 Van Kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosyn. Res.*, 1990, 25: 147 ~ 150
- 15 罗 俊, 张木清, 吕建林, 等. 水分胁迫对不同甘蔗品种叶绿素 a 荧光动力学的影响. *福建农业大学学报*, 2000, 29 (1): 18 ~ 22
- 16 任红旭, 陈 雄, 吴冬秀. CO₂ 浓度升高对干旱胁迫下蚕豆光合作用和抗氧化能力的影响. *作物学报*, 2001, 27 (6): 729 ~ 736
- 17 Rao M V, Hale B A, Omrod D P. Amelioration of ozone-induced oxidative damage in wheat plants grown under high carbon dioxide. *Plant Physiol.*, 1995, 109: 421 ~ 432
- 18 Chaves M M, Pereira J S. Water stress, CO₂ and climate change. *J. Exp. Bot.*, 1992, 43: 1131 ~ 1139

Physiological Effects of Elevated CO₂ on Loquat Trees (*Eriobotrya japonica* Lindl.) under Water Stress

Zhang Fang, Chen Dan, Zhang Shiliang, and Wu Ronglan

(Department of Horticulture, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Loquat trees (*Eriobotrya japonica* Lindl.) grown in two open-top growth chambers at CO₂ concentrations of 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ and 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ were used to study the effects of elevated atmospheric CO₂ concentration and water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and acting of antioxidative enzymes in leaves. The results showed that elevated atmospheric CO₂ concentration (700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) significantly enhanced the photosynthesis under various levels of water stress. Furthermore, under high CO₂ condition, the values of Fv/Fm, Fv/Fo and $\Phi\text{PS II}$ were also higher than at normal atmospheric CO₂ concentration, but the difference between the water-stressed plants and well-watered plants was not significant. In addition, elevated atmospheric CO₂ concentration considerably increased the activities of SOD, POD and CAT. Such increase, however, was farless significant under water stress condition. The MDA content also showed less increase under the latter condition. The results indicate that high CO₂ concentration seems to have ameliorating effect on drought-induced oxidative damage.

Key words: Loquat tree; Elevated CO₂; Water-stress; Photosynthesis; Chlorophyll fluorescence; Antioxidative enzyme

欢迎购阅《园艺学报》增刊

2000 年增刊目录:

苹果属植物区系地理学研究
应用同工酶技术鉴别同物异名种
园艺植物组织培养中的褐化现象及抗褐化研究进展
柑桔胞质杂种及其胞质遗传重组
类番茄茄 (*Solanum lycopersicoides*) 的研究进展
黄瓜基因及其连锁研究进展
黄瓜苦味研究概况
辣椒抗病基因工程研究中的主要问题与对策
辣(甜)椒根结线虫的危害、防治和抗病育种
温光处理调控观赏植物花期的研究进展
授粉对花衰老和乙烯生物合成的调节
彩叶植物多彩形成的研究进展
植物化学诱抗剂的研究现状与展望
拮抗菌控制果蔬采后病害研究进展
果蔬蜡液的种类及应用
桃果实水孔蛋白 cDNA 的分离
美国园艺研究简介
鲜菜供应系统的现代化

2001 年增刊目录:

果树转基因研究进展
柑桔果实有机酸代谢研究进展
果树根系对地上部的调控及其与水分利用效率的关系
阿月浑子 (*Pistacia vera* L.) 生殖生物学研究评述
蔬菜作物数量性状基因定位研究进展
蔬菜作物光合作用研究进展
胡萝卜雄性不育性研究及利用

分子标记在甘蓝类作物研究中的应用

番茄脐腐病发生机理研究综述
番茄青枯病的研究进展
番茄耐热育种研究进展
有关番茄果实中可溶性固形物和番茄红素的研究进展
芥子油苷研究进展及其在蔬菜育种上的应用前景
辣椒分子标记研究进展
我国辣椒杂交育种与杂交种子生产
昆明世界园艺博览园植物引种展示
比利时杜鹃研究进展
温室园艺作物生长发育模型研究现状与发展趋势
园艺植物的根系限制及其应用
绿色园艺——21 世纪中国园艺业的发展方向
十字花科蔬菜作物雄性不育的类型和遗传

2002 年增刊目录:

热激蛋白与园艺植物的耐冷性
园艺植物花器脱落研究进展
柑橘类胡萝卜素合成关键基因研究进展
葡萄设施栽培生理基础研究进展
多年生果树植物分子遗传作图
我国极早熟杏育种研究进展
蔬菜抗虫育种研究进展
雄性不育基因工程及其在蔬菜育种中的应用
蕨类植物组织培养研究进展
我国甘蓝遗传育种研究概况
若干花卉转基因研究的现状和前景
中国观赏植物资源现状与展望

每册定价 10 元,编辑部自办发行,欢迎广大读者购阅。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部,邮编 100081。