

# 亚硫酸氢钠处理减轻低温对温州蜜柑光合作用的影响

郭延平<sup>1</sup> 苏吉虎<sup>2</sup> 王宏炜<sup>2</sup> 沈允钢<sup>2</sup> 张良诚<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 浙江大学园艺系, 杭州 310029; <sup>2</sup> 中国科学院上海植物生理生态研究所, 上海 200032)

**摘 要:** 低温胁迫使温州蜜柑叶片的净光合速率 ( $P_n$ )、光系统 II 的光化学效率 ( $F_v/F_m$ ) 及光合电子传递速率 (ETR) 下降, 反映跨膜质子动力势的叶绿素毫秒延迟发光 ( $ms-DLE$ ) 减弱, 叶片中的 ATP 含量降低。低温胁迫前, 用  $NaHSO_3$  5 mmol/L 涂于叶片表面, 可使处理植株叶片的  $P_n$  和  $F_v/F_m$  分别少下降了 11.5% 和 11.6%, ETR 和 ATP 含量几乎没有下降,  $ms-DLE$  的下降幅度减少。可见, 在柑橘上施用  $NaHSO_3$  能够减轻短期低温对光合机构及光合作用的影响。

**关键词:** 柑橘; 温州蜜柑; 亚硫酸氢钠; 光合作用; 低温; 叶绿素

**中图分类号:** S 666.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2003) 02-0195-03

## 1 目的、材料与方法

柑橘往往在早春、晚秋生长阶段遭受低温的侵袭, 其光合作用也明显受到影响<sup>[1,2]</sup>。亚硫酸氢钠 ( $NaHSO_3$ ) 在低浓度下使用无害, 且价格低廉, 在正常条件下可提高小麦、水稻等多种作物的光合速率<sup>[3~5]</sup>。在逆境条件下  $NaHSO_3$  对作物光合的影响未见报道。作者研究了对柑橘叶面施用  $NaHSO_3$  再经低温胁迫后的光合作用变化, 并探讨  $NaHSO_3$  的作用机理。

试验于 2000 ~ 2001 年进行。材料栽种于浙江大学华家池校区, 低温与  $NaHSO_3$  处理及各项指标测定在上海植物生理生态研究所内进行。将 3 年生枳砧温州蜜柑 (*Citrus unshiu* Marc.) 盆栽苗置于培养室中培养, 温度 ( $20 \pm 2$ ) °C, 每天光照 14 h, 主要由镝灯提供, 树冠基部至顶部所受光强为  $500 \sim 900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。选取生理状态较一致的植株, 2000 年 10 月 30 日和 11 月 5 日晚间用  $NaHSO_3$  5 mmol/L 溶液涂抹树冠中部成熟叶片, 选取另外同样状态植株的叶片为对照, 用蒸馏水代替  $NaHSO_3$ 。随后置于人工培养箱中, 黑暗条件下 2 °C 低温处理 10 h, 同时仍在黑暗下以 22 °C 为对照, 第 2 天上午 8:00 先用 PAM-2000 便携式荧光仪 (德国 Walz 公司) 测定叶片的叶绿素荧光参数  $F_0$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$  及电子传递速率 (ETR), 6 次重复。待植株在 22 °C 室内  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  人工光源 (1000 W 碘钨灯, 灯与叶片之间有隔热流动水槽) 下光诱导 30 min 后, 用 CI-301 便携式光合气体分析系统 (美国 CID 公司) 测定净光合速率 ( $P_n$ ), 4 ~ 6 次重复。选取中脉两侧对称的叶片, 去除中脉后, 剪取叶片中部片段, 用磷光计测定毫秒延迟发光, 4 次重复。选取叶中脉两侧对称的叶片, 去除中脉后, 将中部片段剪碎, 精确称取 0.5 g, 加水 10 mL, 煮沸 10 min, 冷却后离心, 取 0.2 mL 上清液, 用荧光素酶法测定其 ATP 含量。测定液含甘氨酸 50 mmol/L,  $MgSO_4$  10 mmol/L, EDTA 1 mmol/L, pH 7.6, 荧光素 3 mg/mL, 3 次重复。

## 2 结果分析与讨论

收稿日期: 2002-03-13; 修回日期: 2002-06-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (39970525); 浙江省自然科学基金项目 (399470); 上海植物生理生态研究所创新基金项目 (101CK0104)

## 2.1 NaHSO<sub>3</sub> 预处理对低温胁迫温州蜜柑叶片净光合速率 (Pn) 的促进作用

与 22℃ 相比, 经过 2℃ 10 h 黑暗低温胁迫的温州蜜柑叶片 Pn 下降了 64.2%。NaHSO<sub>3</sub> 处理后才进行低温胁迫处理的叶片, Pn 下降了 52.7%, 与不涂抹 NaHSO<sub>3</sub> 相比, 少下降了 11.5%。NaHSO<sub>3</sub> 在常温 (22℃) 条件下使温州蜜柑叶片的 Pn 提高了约 20% (图 1)。可见, 施用 NaHSO<sub>3</sub> 不仅在常温下能促进柑橘的光合速率, 还能减轻短期低温对柑橘光合作用的不利影响。

## 2.2 NaHSO<sub>3</sub> 预处理对低温胁迫温州蜜柑叶片叶绿素荧光参数、电子传递速率 (ETR) 及 ATP 含量的影响

低温胁迫前温州蜜柑叶片用 H<sub>2</sub>O 处理的, 经受 2℃ 10 h 黑暗后, 叶片叶绿素荧光参数 Fm (最大荧光)、Fv/Fm (光化学效率)、ETR 及 ATP 含量分别下降了 42.5%、35.6%、22.4% 和 38.5%, Fo (初始荧光) 变化不明显。低温胁迫前用 NaHSO<sub>3</sub> 处理的, Fv/Fm 下降了 24%, ETR 和 ATP 含量几乎没有下降。常温 (22℃) 条件下, 用 NaHSO<sub>3</sub> 处理叶片后, ETR 和 ATP 含量分别增加了 36.1% 和 14.4% (表 1)。

表 1 温州蜜柑低温胁迫前 NaHSO<sub>3</sub> 涂抹叶片对胁迫后 Fo、Fm、Fv/Fm、ETR 及 ATP 含量的影响

Table 1 Effects of smearing leaves of satsuma mandarin plant with NaHSO<sub>3</sub> before exposure of the plant to chilling stress on Fo, Fm, Fv/Fm, electransport rate and ATP content of leaf after chilling

处 理 Treatment	Fv/Fm	Fo	Fm	电子传递速率 ETR ( $\mu\text{mol} \cdot \text{e}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	ATP ( $\times 10^{-4} \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FM}$ )
22℃ + H <sub>2</sub> O (CK)	0.779 ± 0.007* (100.0**)	0.408 ± 0.020 (100.0)	1.848 ± 0.07 (100.0)	33.84 ± 3.25 (100.0)	3.13 ± 0.04 (100.0)
2℃ + H <sub>2</sub> O	0.502 ± 0.079 (64.4)	0.400 ± 0.015 (98.0)	1.063 ± 0.214 (57.5)	26.26 ± 1.54 (77.6)	1.92 ± 0.90 (61.5)
22℃ + NaHSO <sub>3</sub>	0.794 ± 0.020 (101.9)	0.428 ± 0.017 (104.9)	2.153 ± 0.122 (116.5)	46.04 ± 4.34 (136.1)	3.58 ± 0.12 (114.4)
2℃ + NaHSO <sub>3</sub>	0.592 ± 0.024 (76.0)	0.414 ± 0.026 (101.5)	1.101 ± 0.129 (59.5)	32.83 ± 1.51 (97.0)	3.41 ± 0.12 (108.9)

\* 平均值 ± 标准误; \*\* 括号中的数字代表相对于对照的百分数。

\* Means ± SE (n=6); \*\* The numbers in the parentheses represent percentage relative to the control.

## 2.3 低温胁迫后温州蜜柑叶片叶绿素毫秒延迟发光 (ms-DLE) 的变化及 NaHSO<sub>3</sub> 的促进作用

已知类囊体中伴随光合电子传递产生的膜两侧的质子动力势可用于形成 ATP, 供光合作用之需。叶绿素 ms-DLE 的动力学变化可以反映与光合磷酸化密切有关的跨类囊体膜质子动力势的状况。叶绿素 ms-DLE 的快相受质子动力势的膜电位和 PS II 水氧化时的质子释放影响, 叶绿素 ms-DLE 的慢相主要受质子浓度差所影响<sup>[6]</sup>。2℃ 低温处理明显降低了柑橘叶片叶绿素 ms-DLE 的快相和慢相 (图 2), 这说明低温胁迫已降低了与光合磷酸化密切相关的类囊体膜两侧的质子动力势。从低温下 ATP 的形成减少 (表 1) 来看, 也证明了这一点。

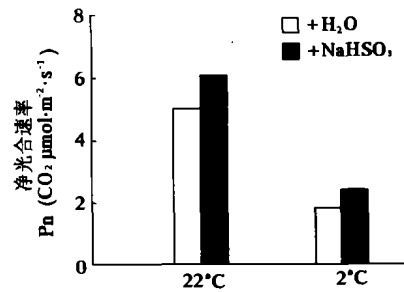


图 1 温州蜜柑低温胁迫前 NaHSO<sub>3</sub> 涂抹叶片对胁迫后净光合速率的影响

Fig. 1 Effect of smearing leaves of satsuma mandarin plant with NaHSO<sub>3</sub> before exposure of the plant to chilling stress on net photosynthetic rate of leaf after chilling

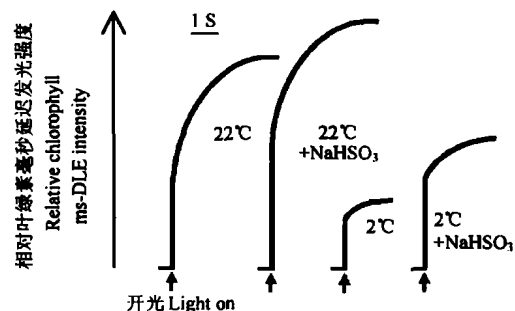


图 2 温州蜜柑受到低温胁迫前 NaHSO<sub>3</sub> 涂抹叶片对胁迫后叶绿素毫秒延迟发光的影响

Fig. 2 Effect of smearing leaves of satsuma mandarin plant with NaHSO<sub>3</sub> before exposure of the plant to chilling stress on chlorophyll ms-delayed light emission of leaf after chilling

以前认为  $\text{NaHSO}_3$  提高光合速率的作用机理是抑制了光呼吸, 但后来的研究发现  $\text{NaHSO}_3$  能提高光合磷酸化, 促进 ATP 合成和抑制 ATP 水解, 增加 ATP 的供应<sup>[4,5]</sup>。本研究表明,  $\text{NaHSO}_3$  在提高柑橘光合速率的同时, ETR 也得到提高, 反映光合磷酸化的毫秒延迟发光增强, ATP 含量增加。由此可见,  $\text{NaHSO}_3$  在柑橘上的作用机理可能也是通过提高光合磷酸化, 促进 ATP 的合成和增强电子传递来提高光合速率的。

#### 参考文献:

- 1 郭延平, 张良诚, 沈允钢. 低温胁迫对温州蜜柑光合作用的影响. 园艺学报, 1998, 25 (2): 111~116
- 2 郭延平, 洪双松, 张良诚, 等. 温州蜜柑叶片气体交换和叶绿素荧光对低温的响应. 植物生理学报, 2000, 26 (2): 88~94
- 3 谭 实, 沈允钢. 亚硫酸氢钠对光合机构及其运转的影响. 植物生理学报, 1987, 13 (1): 42~50
- 4 魏家绵, 沈允钢, 李德耀, 等. 亚硫酸氢钠在低光强下对叶绿体循环光合磷酸化的促进作用. 植物生理学报, 1989, 15 (1): 101~104
- 5 Wang Hongwei, Wei Jiamian, Shen Yunkang. Enhancement in wheat leaf photophosphorylation and photosynthesis by spraying low concentration of  $\text{NaHSO}_3$ . Chinese Sci. Bull, 2000, 45 (14): 1308~1311
- 6 徐春和, 沈允钢. 叶绿体毫秒延迟发光的快相变化与水氧化时质子释放的关系的研究. 中国科学 (B 辑), 1983, (9): 802~810

### Attenuation of Chilling Effect on Photosynthesis of Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) by $\text{NaHSO}_3$ Application

Guo Yanping<sup>1</sup>, Su Jihu<sup>2</sup>, Wang Hongwei<sup>2</sup>, Shen Yungang<sup>2</sup>, and Zhang Liangcheng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Horticulture, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; <sup>2</sup>Shanghai Institute of Plant Physiology and Ecology, Academia Sinica, Shanghai 200032, China)

**Abstract:** Chilling stress led to decline in net photosynthetic rate ( $P_n$ ), photochemical efficiency ( $F_v/F_m$ ) of PS II and photosynthetic electron transport rate (ETR) in satsuma mandarin leaves. Intensity of chlorophyll millisecond delayed light emission (ms-DLE) of the leaves, which reflects the transmembrane proton motive force, and ATP level in the leaves were also lowered by chilling stress ( $2^\circ\text{C}$  10 h in the dark). Smearing the leaves with 5 mmol/L  $\text{NaHSO}_3$  before exposure to chilling was found to bring about less decrease in these parameters of the chilled plants. Thus,  $P_n$  and  $F_v/F_m$  were decreased by 52.7% and 24%, respectively, as a result of chilling in the smeared leaves as compared with the corresponding 64.2% and 35.6% decrease in the control. Lowering of ETR and ATP level following chilling stress was practically eliminated by  $\text{NaHSO}_3$  treatment. Evidently, the harmful effects of chilling on photosynthetic apparatus and photosynthesis were substantially alleviated by the application of  $\text{NaHSO}_3$  in citrus, which may be potentially useful in fruit culture practice.

**Key words:** *Citrus unshiu* Marc.;  $\text{NaHSO}_3$ ; Photosynthesis; Chilling; Chlorophyll millisecond delayed light emission

#### 《英汉生物化学及分子生物学词典》

本词典收集生物化学、分子生物学及与其相关的细胞生物学、免疫学、遗传学、微生物学及医药学等方面词条约 21 000 条, 大部分词条附有简明释义。书中还收录一些缩写词和同义词, 供读者查阅文献、翻译文章使用。定价: 88 元 (含邮费)。

以上工具书可供大专院校师生、生物学各专业科技人员以及有关信息资料和翻译工作者参考。

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 100061。