

## 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片光合作用和保护酶活性的影响

龙明华, 唐小付, 于文进, 廖易, 黄文浩, 秦荣耀

(广西大学农学院, 广西南宁 530005)

**摘要:** 采用深液流无土栽培方式, 研究不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片光合作用和保护酶活性的影响。结果表明, 在缺钙、低钙、高钙胁迫下, 厚皮甜瓜叶片中的叶绿素和类胡萝卜素含量明显下降, 叶绿素 a/叶绿素 b 比值升高; 同时叶片中的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)的活性及丙二醛(MAD)含量、相对电导率、可溶性蛋白质含量都明显高于正常供钙的植株。缺钙胁迫下, 基础荧光( $F_0$ )下降, 低钙和高钙胁迫下  $F_0$  升高, 但缺钙、低钙、高钙胁迫下叶片叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$ 、 $F_m$ 、Yield 和 ETR 都明显下降。缺钙胁迫下叶片净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )下降, 胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )升高; 而高钙胁迫下  $P_n$ 、 $G_s$  下降的同时,  $C_i$  也相应下降, 表明缺钙胁迫下的光合抑制主要是由于非气孔限制引起, 而高钙胁迫下的光合抑制主要是由于气孔限制引起。

**关键词:** 钙; 厚皮甜瓜; 光合作用; 保护酶活性; 叶绿素荧光

**中图分类号:** Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2005)01-0077-06

## Effects of different calcium levels on photosynthesis and protective enzyme activities of melon leaves

LONG Ming-hua, TANG Xiao-fu, YU Wen-jin,  
LIAO Yi, HUANG Wen-hao, QIN Rong-yao

(Faculty of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China)

**Abstract:** The effects of different calcium levels on the photosynthesis and protective enzyme activities of melon leaves were studied in culture solution. The results showed that under the stress of calcium deficiency, low calcium and high calcium, the contents of Chl. and carotenoid in melon leaves decreased obviously, whereas the ratio of Chl. a/Chl. b increased; At the same time, the activities of superoxide dismutase(SOD), peroxidase(POD) and catalase(CAT), the contents of MAD and soluble protein, as well as the relative electric conductance in melon leaves were significantly higher than that of normal calcium level. The minimal fluorescence( $F_0$ ) decreased under the stress of calcium deficiency but it increased under the stress of low calcium and high calcium. Whereas the Chl. fluorescence parameters such as  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_0$ ,  $F_m$ , Yield and ETR all decreased obviously under the stress of deficiency calcium, low calcium and high calcium. Both the net photosynthetic rate ( $P_n$ ) and stomatal conductance( $G_s$ ) decreased under the stress of calcium deficiency, but the intracellular  $CO_2$  ( $C_i$ ) increased; Under the stress of high calcium,  $P_n$  and  $G_s$  decreased with the decrease of  $C_i$ . It could be con-

收稿日期: 2003-10-28 修订日期: 2004-02-16

基金项目: 广西大学科研基金项目(合同号: 99304)

作者简介: 龙明华(1961-), 男, 广西柳州人, 博士生导师, 教授, 从事园艺作物栽培育种的教学和科研工作。

cluded that the inhibition of photosynthesis under calcium deficiency stress resulted from stomatal limitation, but the inhibition of photosynthesis under high calcium stress resulted from stomatal limitation.

**Key words:** calcium; melon; photosynthesis; protective enzyme activity; chlorophyll fluorescence

厚皮甜瓜外形美观,风味鲜美,营养丰富,随着栽培规模和经济效益的提高,厚皮甜瓜已成为发展高效、精品农业的首选作物品种之一。但由于肥水管理不当等原因,厚皮甜瓜品质低劣的问题一直困扰着生产。钙是植物生长的必需营养元素,在植物细胞中, $\text{Ca}^{2+}$ 作为第二信使的作用参与植物生长发育与衰老、光合作用电子传递和光合磷酸化、细胞的向性运动和激素调控等,具有重要的生理生化作用(牟咏花,1995;Ferguson,1988;Rita等,1982)。但有关不同钙素水平对厚皮甜瓜光合作用和保护酶活性的影响未见报道,本试验就此进行研究,以期探讨不同钙素水平对厚皮甜瓜光合作用和保护酶活性的影响及其机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在广西大学农学院蔬菜基地温室大棚内进行,供试品种为翠蜜网纹甜瓜(台湾农友公司提供),于2003年5月12日育苗,5月22日定植于0.4个剂量的完全营养液(mg/L):N 247、P 48、K 400、Ca 180、Mg 50、S 59.4、Fe 4.5、Mn 0.5、B 0.5、Zn 0.05、Cu 0.02、Mo 0.01中。营养液用去离子水( $\text{EC}=2.4\ \mu\text{s}$ )和分析纯化学试剂配制。水培容器为长 $\times$ 宽 $=4\ \text{m}\times 1\ \text{m}$ ,深15 cm的栽培槽,内铺两层黑色塑料薄膜,槽上盖长宽各1 m的泡沫板。营养液每天定时加氧4次,每次1 h,营养液pH保持在6.0~6.5,每2 d调1次pH值。定植后20 d,选长势一致的甜瓜植株移植到处理营养液中。

### 1.2 试验设计

以钙元素作单因素设计,设缺钙(0 mg/L)、低钙(5、15、45、90 mg/L)、正常供钙(180 mg/L)、高钙(360 mg/L)共7个处理水平,随机区组排列,3次重复,共21个小区,小区面积4 m<sup>2</sup>,每小区栽16株,总试验面积84 m<sup>2</sup>。营养液钙源为 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\ \text{H}_2\text{O}$ ,缺钙、低钙的处理通过添加 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 保持处理间氮素水平一致,高钙的处理通过添加 $\text{CaCl}_2$ 提高营养液中的钙素水平。除处理因素钙元素外,其它营养元素用量与完全营养液配方相同,栽培管理

一致。在处理营养液中培养20 d后,每小区随机抽取4株测定上位叶(从顶部往下数第6叶)的光合作用及叶绿素荧光参数,并采上位叶、下位叶(从植株基部第一片真叶往上数第6叶)测定叶片中的光合色素含量和SOD、POD、CAT的活性及叶片MDA含量、相对电导率、可溶性蛋白质含量。

### 1.3 测定方法

(1)光合作用及叶绿素荧光参数的测定:处理后的第20天上午9:00~11:00,分别采用LI-6400光合作用测定系统(美国LI-COR公司生产)和PAM-2000便携式荧光仪(Walz, Effeltrich, Germany)测定叶片的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ )、蒸腾系数( $T_r$ )和荧光参数( $F_o$ ,  $F_v$ / $F_m$ ,  $F_v/F_o$ ,  $F_m$ , Yield, ETR)。

(2)光合色素的测定:参照赵世杰等(1998)的方法。

(3)SOD、POD、CAT活性测定:参照梁煜周等(1998)的方法。SOD活性测定,以氯化硝基四氮唑蓝(NBT)被抑50%为一个酶活性单位,以U/gFW表示酶活性;POD活性测定,以每1 min $\Delta\text{OD}_{470}$ 变化0.1为一个活性单位,以 $\Delta\text{OD}_{470}/\text{min}\cdot\text{gFW}$ 表示。CAT活性用 $\Delta\text{OD}_{240}/\text{min}\cdot\text{gFW}$ 表示。

(4)MDA含量用硫代巴比妥酸显色法、可溶性蛋白质含量用紫外吸收法测定(李合生,2000);相对电导率参照汪洪等(1998)的方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片光合色素含量的影响

缺钙营养液培养20 d后,厚皮甜瓜上、下位叶的叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总量及类胡萝卜素含量都显著低于其它处理,但其叶绿素a/叶绿素b比值明显高于其它处理。在营养液中添加了钙的处理叶片光合色素含量得到显著提高,且当营养液中的钙素水平在0~180 mg/L范围内,甜瓜上、下位叶的光合色素含量均随钙素水平的提高而提高,当钙素水平高于180 mg/L时,又略有下降。营养液中的钙素水平在0~90 mg/L范围内时,上位叶的叶

绿素 a/叶绿素 b 比值随钙素水平的提高而下降; 钙素水平高于 90 mg/L 时, 则随钙素水平的提高而提高。而下位叶的叶绿素 a/叶绿素 b 比值以钙素水平 45 mg/L 的处理最低, 低于 45 mg/L 时, 叶绿素 a/叶绿素 b 比值随钙素水平的提高而降低; 高于 45 mg/L 时, 叶绿素 a/叶绿素 b 比值则随钙素水平的提高而提高。对处理内同一植株上、下位叶的光合色素含量进行比较, 结果表明: 当营养液中的钙素水平低于 15 mg/L 时, 上位叶的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量均低于下位叶, 叶绿素 a/叶绿素 b 比值则为上位叶高于下位叶; 当钙素水平高于 15 mg/L 时, 上位叶的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量均高于

下位叶, 叶绿素 a/叶绿素 b 比值则为下位叶高于上位叶。但类胡萝卜素的含量均为下位叶高于上位叶, 不随钙素水平的变化而变化(表 1)。

## 2.2 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片光合作用的影响

在 0~180 mg/L 的钙素水平范围内, 叶片的光合速率、气孔导度、蒸腾速率均随钙素水平的提高而提高, 正常供钙时叶片的  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$  分别为  $24.5 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.818 \text{ molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $10.8 \text{ mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 均为最大, 且显著高于其它处理。当供钙水平高于 180 mg/L, 叶片的  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$ 、 $C_i$  均有不同程度下降。胞间  $\text{CO}_2$  浓度以缺钙的处理最高, 高钙的处理最低(表 2)。

表 1 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片光合色素含量的影响(单位: mg/100gFW)

Table 1 Effects of different calcium levels on the contents of Chl. and carotenoid in melon leaves

叶 Leaves	钙素水平 $\text{Ca}^{2+}$ levels(mg/L)	叶绿素 a Chl. a	叶绿素 b Chl. b	叶绿素总量 Chl. a+Chl. b	叶绿素 a/b Chl. a/Chl. b	类胡萝卜素 Carotenoid
上位叶 Upper leaves	0	28.0±0.87e*	10.4±1.20e	38.4±1.96e	2.69±0.06	6.82±0.20e
	5	67.5±2.15d	26.3±1.32d	93.8±2.02d	2.57±0.13	12.46±0.88d
	15	82.9±2.38c	36.9±2.00c	119.8±2.17c	2.25±0.10	16.78±1.26c
	45	91.8±2.12b	49.7±2.06ab	141.5±1.62b	1.85±0.16	19.32±0.98b
	90	92.2±1.56ab	50.3±1.68ab	142.5±2.18ab	1.83±0.19	20.48±1.53ab
	180	95.4±1.98a	50.8±1.82a	146.2±2.02a	1.88±0.08	22.24±1.78a
下位叶 Lower leaves	360	92.6±1.24ab	48.8±2.36b	141.4±1.65b	1.90±0.15	20.16±1.94ab
	0	57.7±1.24e	21.7±0.16d	79.4±1.35d	2.66±0.05	10.66±0.58e
	5	80.3±0.98d	35.8±1.28c	116.1±2.19c	2.24±0.14	14.28±0.97d
	15	86.9±2.56c	43.0±2.18b	129.9±2.17b	2.02±0.17	16.83±1.73c
	45	88.2±2.00ab	45.8±2.16a	134.0±2.02a	1.93±0.09	20.36±1.18b
	90	89.9±2.20ab	46.0±1.95a	135.7±1.97a	1.95±0.07	21.98±1.58ab
	180	91.0±2.28a	46.0±2.04a	137.0±2.31a	1.98±0.16	23.12±1.08a
	360	88.2±1.90b	41.8±1.19b	130.0±2.07b	2.11±0.11	20.80±1.94b*

注: 表中小写字母表示 5% 显著水平, 下表同。

Note: Small letters indicate significant difference at 5% levels, the same below.

## 2.3 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片叶绿素荧光参数的影响

缺钙及正常供钙的处理  $F_0$  均明显低于其它处理, 缺钙时  $F_0$  最低, 但与正常供钙的处理差异不显著。叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$ 、 $F_m$ 、Yield、ETR 均以正常供钙的处理最高, 高于或低于正常供钙水平, 这些参数都明显下降(表 3)。

## 2.4 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片 SOD、POD、CAT 活性及 MAD 含量的影响

由图 1~4 可以看出, 甜瓜上位叶在钙素水平 5~360 mg/L、下位叶在 0~360 mg/L 范围内的 SOD 活性均随钙素水平的提高而降低。钙素水平在 0~180 mg/L 范围内, 甜瓜上、下位叶的 POD、

CAT 活性及 MAD 含量也随钙素水平的提高而降低; 高于 180 mg/L 时, 叶片的 POD、CAT 活性及 MAD 含量又略有上升。钙素水平低于 45 mg/L 时上位叶的 SOD、CAT 活性及 MAD 含量明显高于下位叶; 而钙素水平高于 45 mg/L 时则为下位叶高于上位叶。叶片中的 POD 活性也有相同的变化趋势, 但其临界水平为 15 mg/L。

## 2.5 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片相对电导率和可溶性蛋白质含量的影响

营养液中的钙素水平对厚皮甜瓜叶片相对电导率和可溶性蛋白质含量有显著影响。钙素水平在 0~180 mg/L 范围内, 甜瓜上、下位叶相对电导率和可溶性蛋白质含量均随钙素水平的提高而降低, 其

中上位叶相对电导率以 180 mg/L 的处理最低,而下位叶以 360 mg/L 的处理最低。上、下位叶可溶性蛋白质含量均以 180 mg/L 的处理最低,0 mg/L 的处理最高。对处理内同一植株而言,下位叶的相对电导率总大于上位叶;而叶片可溶性蛋白质含量在钙素水平低于 15 mg/L 为上位叶高于下位叶,高

表 2 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片光合作用的影响

Table 2 Effects of different calcium levels on photosynthesis in melon leaves

钙素水平 Ca <sup>2+</sup> levels (mg/L)	净光合速率 Pn ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	气孔导度 G <sub>s</sub> ( $\text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 C <sub>i</sub> ( $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ )	蒸腾速率 Tr ( $\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
0	3.32±0.16e	0.183±0.08d	312±4.28a	2.48±0.12d
5	15.4±0.25d	0.660±0.024b	302±3.96ab	6.24±0.36c
15	18.6±0.59c	0.663±0.017b	278±3.75c	7.78±0.24b
45	20.9±1.07b	0.665±0.021b	276±4.12c	8.02±0.38b
90	21.4±0.96b	0.697±0.016b	289±3.56bc	8.15±0.54b
180	24.5±1.02a	0.818±0.025a	277±4.18c	10.8±0.43a
360	20.1±0.78b	0.430±0.010c	253±3.81d	6.85±0.30bc

表 3 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 3 Effects of different calcium levels on chlorophyll fluorescence parameters in melon leaves

钙素水平 (mg/L) Ca <sup>2+</sup> levels	F <sub>0</sub>	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	F <sub>v</sub> /F <sub>0</sub>	F <sub>m</sub>	Yield	ETR ( $\mu\text{mol} \cdot \text{e}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
0	0.384±0.002e	0.737±0.021c	2.802±0.016d	1.460±0.020e	0.698±0.012e	18.4±0.32e
5	0.506±0.006a	0.757±0.015c	3.121±0.024d	2.085±0.017c	0.712±0.010de	22.7±0.96d
15	0.466±0.012b	0.759±0.011c	3.155±0.035d	1.936±0.032d	0.726±0.008cd	25.1±0.83d
45	0.453±0.010bc	0.786±0.019b	3.671±0.028c	2.116±0.024bc	0.734±0.013bc	32.6±1.25c
90	0.421±0.019cd	0.807±0.024ab	4.176±0.042b	2.179±0.030ab	0.746±0.006b	37.4±1.56b
180	0.406±0.020de	0.822±0.019a	4.635±0.027a	2.288±0.023a	0.767±0.016a	44.5±2.14a
360	0.440±0.028cd	0.804±0.013ab	4.098±0.039b	2.243±0.040ab	0.745±0.018b	36.0±1.42b

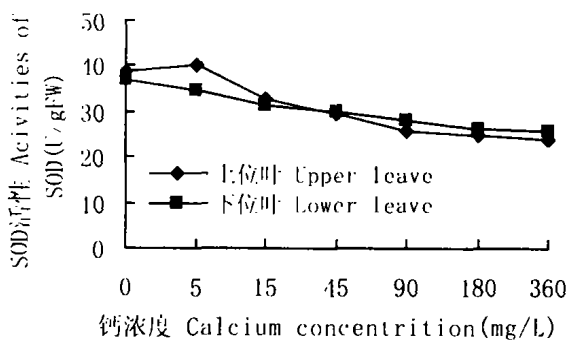


图 1 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片 SOD 活性的影响  
Fig. 1 Effects of different calcium levels on the activity of SOD in melon leaves

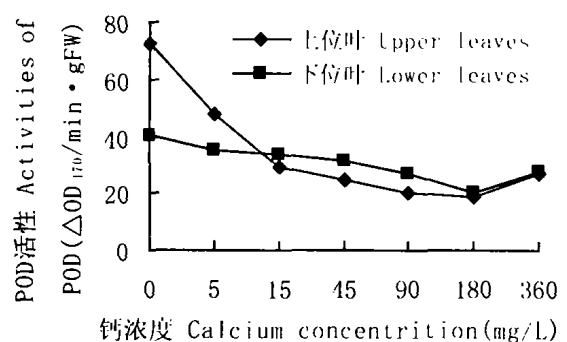


图 2 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片 POD 活性的影响  
Fig. 2 Effects of different calcium levels on the activity of POD in melon leaves

于 15 mg/L 时,则为下位叶高于上位叶(图 5、6)。

### 3 小结与讨论

适当的钙素水平能显著提高甜瓜叶片的叶绿素和类胡萝卜素含量,降低叶绿素 a/叶绿素 b 的比值。本试验以正常供钙的处理甜瓜叶片的叶绿素和

类胡萝卜素含量最高,叶绿素 a/叶绿素 b 的比值较低。缺钙、低钙、高钙的处理明显降低了甜瓜叶片中叶绿素和类胡萝卜素的含量,同时提高了叶绿素 a/叶绿素 b 的比值。叶绿素作为植物的光合色素直接影响着植物光合作用的进行,且在一定范围内叶绿素含量与光合速率呈正相关,正常供钙时叶片叶绿素含量高有利于光合作用的提高。而类胡萝卜素含

量的高低与植物耗散过量的激发光能有关,缺钙、低钙、高钙的处理类胡萝卜素含量下降不利于植株耗散过量的激发光能,使光合器官的抗强光破坏能力降低。同时缺钙、低钙、高钙的处理叶绿素 a/叶绿素 b 的比值提高,表明缺钙、低钙、高钙均不利于叶绿素 b 的合成,叶绿素 b 是 PS II 捕光色素的重要组成部分,它的减少不利于捕获光能(李延等,2001)。

光合作用的限制因子可分为气孔限制和非气孔

限制(许大全,1997)。缺钙时,甜瓜叶片的净光合速率下降、气孔导度下降、而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度升高,说明缺钙导致光合速率下降的原因主要是非气孔限制,即光合机构活性降低(汪洪等,1998;李延等,2001);高钙时甜瓜叶片的净光合速率、气孔导度下降的同时,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度也相应下降,说明高钙导致光合速率下降的原因主要是由气孔限制引起(许大全,1997;胡文海等,2001)。

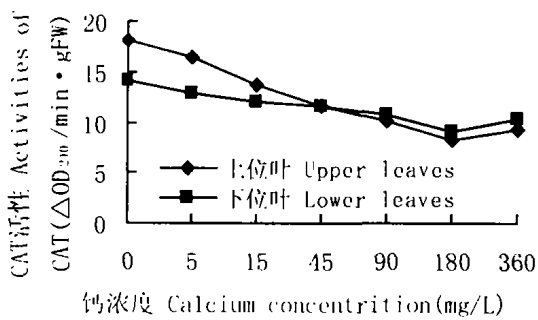


图 3 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片 CAT 活性的影响  
Fig. 3 Effects of different calcium levels on the activity of CAT in melon leaves

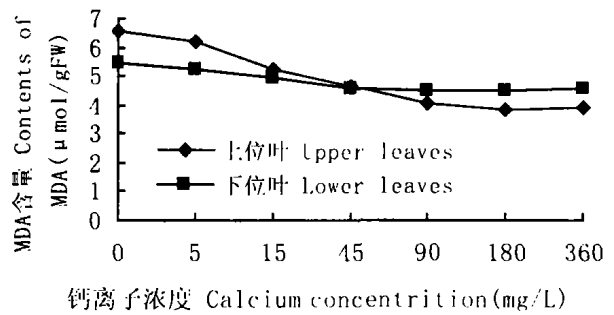


图 4 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片 MAD 活性的影响  
Fig. 4 Effects of different calcium levels on the activity of MAD in melon leaves

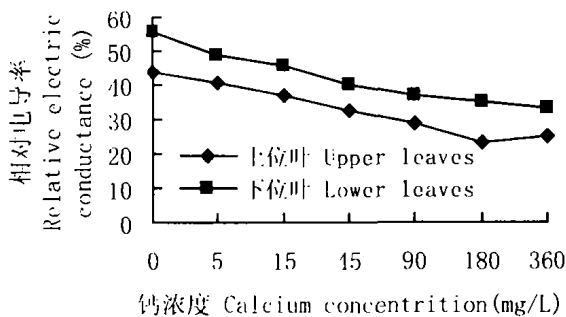


图 5 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片相对电导率的影响  
Fig. 5 Effects of different calcium levels on the relative electric conductance of of melon leaves

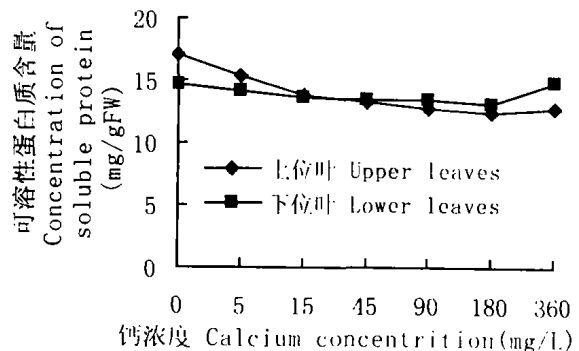


图 6 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片可溶性蛋白质含量的影响  
Fig. 6 Effects of different calcium levels on the conductance of soluble protein of melon leaves

缺钙时, F<sub>v</sub> 下降, 表明非光化学能量耗散加强, 叶片光能利用率降低; 而低钙时, F<sub>v</sub> 明显升高, 表明光合机构被破坏(张守仁, 1999; Krause 等, 1991; Demming 等, 1987)。F<sub>v</sub>/F<sub>o</sub>、F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 和 F<sub>m</sub> 分别代表 PS II 的潜在活性、原初光能转化效率和最大荧光产量(Hong 等, 1997), 供钙水平低于或高于 180 mg/L 时 F<sub>v</sub>/F<sub>o</sub>、F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>、F<sub>m</sub> 均明显下降, 表明缺钙、低钙、高钙均降低了 PS II 的替在活性和 PS II 的原初光能转化效率, 使 PS II 反应中心受到了伤害, 降低

了 PS II 的功能, 不利于甜瓜叶片把所捕获的光能转化为化学能(杨广东等, 2002; 李延等, 2002; 陈屏昭等, 2003)。Yield 和 ETR 分别表示植物光合作用电子传递的量子产量和表观电子传递速率, 缺钙、低钙、高钙的处理甜瓜叶片的 Yield 和 ETR 明显下降, 说明当光能传递到光合系统反应中心后, 在类囊体上发生的一系列定向电子传递速率降低了(Hong 等, 1997)。

试验结果表明, 缺钙、低钙、高钙胁迫下甜瓜植

株叶片中 SOD、POD 和 CAT 活性及 MAD 含量、相对电导率、可溶性蛋白质含量均明显高于正常供钙的植株。SOD、POD 和 CAT 是清除细胞活性氧等生物自由基的主要保护酶(李向东等,2001),正常条件下,植物体内活性氧的产生是有限的,且活性氧的产生与清除达动态平衡(徐坤等,2000),而缺钙、低钙或高钙胁迫下甜瓜叶片细胞活性氧产生增多,从而诱导了 SOD、POD 和 CAT 活性的提高,但由于活性氧过多,超出了体内防御能力,仍发生膜脂过氧化作用,主要表现为甜瓜叶片 MAD 含量、相对电导率和可溶性蛋白质含量升高。

广西大学农学院园艺 2000 级学生龙紫媛、凌启昌等参与部分试验研究工作。同时得到院植物生理教研室叶燕萍高级工程师、邢永秀博士及院 2001 级研究生陈燕丽、陈传华的热情帮助,在此一并致谢。

#### 参考文献:

- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 184—186, 260—261.
- 牟咏花. 1995. 钙的生理功能及在果蔬生理中的重要性[J]. 浙江农业学报, 7(6): 499—501.
- 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 1998. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 69—71.
- Cheng ZP(陈屏昭), Cheng SF(陈顺方), Liu ZR(刘忠荣), et al. 2003. Effects of phosphorus deficiency stress on photosynthesis in *Citrus unshiu* Marc. Leaves(缺磷胁迫对温州蜜柑叶片光合作用的影响)[J]. *J Yunnan Agric Univ*(云南农业大学学报), 18(2): 158—162.
- Demming B, Bjorkman O. 1987. Comparison of effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O<sub>2</sub> evolution Leaves of plant[J]. *Planta*, 171: 171—184.
- Ferguson IB, Brobak BK. 1988. Calcium and the regulation of plant growth and senescence[J]. *Hort Sci*, 23(2): 262—266.
- Hong SS, Xu DQ. 1997. Light-induced increase in initial fluorescence parameters to strong light between wheat and soybean leaves[J]. *Chin Sci Bull*, 42: 684—688.
- Hu WH(胡文海), Yu JQ(喻景权). 2001. Effects of chilling under low light on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristic in tomato leaves(低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), 28(1): 41—46.
- Krause GH, Weis E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics[J]. *Annu Rev Plant Mol Biol*, 43: 313—349.
- Liang YZ(梁煜周), He RT(何若天). 1998. Protective effect of choline chloride on tobacco under chilling stress at seedling stage(氯化胆碱对冷胁迫下的烟草幼苗的保护性效应)[J]. *J Guangxi Agric Univ*(广西农业大学学报), 17(3): 227—232.
- Li Y(李 延), Liu XH(刘星辉), Zhang WM(庄卫民). 2001. The effect of magnesium deficiency on photosynthesis of longan seedlings(缺镁对龙眼光合作用的影响)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), 28(2): 101—106.
- Li Y(李 延), Liu XH(刘星辉). 2002. Effect of magnesium deficiency on senescence of dimocarpus Longana leaves(缺镁对龙眼叶片衰老的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 13(3): 311—314.
- Li XD(李向东), Wang XY(王晓云), Zhang GY(张高英), et al. 2001. Changes in some enzyme activity of peanut leaves during leaf senescence(花生叶片衰老过程中某些酶活性的变化)[J]. *Acta Phytophysiol Sin*(植物生理学报), 27(4): 353—358.
- Rita, Barr, Karen S. Troxel, Frederick L. Crane. 1982. Calmodulin antagonists inhibit electron transport in photosystem II of spinach chloroplasts[J]. *Biochem And Biophys Res Commu*, 104(4): 1 182—1 188.
- Wang H(汪 洪), Chu TD(褚天铎). 1998. Effect of Mg on plasma membrane permeability, membrane lipid peroxidation and endogenous oxygen radicals scavenging enzymes systems in common bean(缺镁对菜豆幼苗膜脂过氧化及体内活性氧清除酶系统的影响)[J]. *Plant Nutri Fert Sci*(植物营养与肥料科学报), 4(4): 386—392.
- Xu DQ(许大全). 1997. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis(光合作用气孔限制分析的一些问题)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), 33(4): 241—244.
- Xu K(徐 坤), Zheng GS(郑国生). 2000. Effect of soil water stress on photosynthesis and protective enzyme activity of ginger(水分胁迫对生姜光合作用及保护酶活性的影响)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), 27(1): 47—51.
- Yang GD(杨广东), Zhu ZJ(朱祝军), Ji YM(计玉姝). 2002. Effect of light intensity and magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence and active oxygen on cucumber leaves(不同强光和缺镁胁迫对黄瓜叶片叶绿素荧光特性和活性氧产生的影响)[J]. *Plant Nutri Fert Sci*(植物营养与肥料科学报), 8(1): 115—118.
- Zhang SR(张守仁). 1999. A Discussion on Chlorophyll Fluorescence Kinetics Parameters and Their Significance(叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论)[J]. *Chin Bull Bot*(植物学通报), 16(4): 444—448.