

不同温度下镁胁迫对黄瓜光合特性和活性氧清除系统的影响

谢小玉, 刘晓建, 刘海涛

(西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400715)

摘要: 利用人工气候箱, 研究不同温度下镁胁迫对黄瓜幼苗光合特性和活性氧清除系统的影响。结果表明, 不论温度高低, 镁胁迫增加了叶绿素 a/b, 且缺镁比高镁增幅大。在两种温度下, 镁均降低了叶绿素 a、b 和类胡萝卜素的含量; 而在适温下, 高镁使叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量增加, 低温则降低。镁胁迫使黄瓜幼苗中下部叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)下降, 低温、高镁 P_n 降低幅度最大; 但对胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)、水分利用率(WUE)和气孔限制值(L_s)的影响因温度和镁离子浓度不同而不同。缺镁胁迫, 黄瓜幼苗光合作用的主要限制因素是非气孔因素, 而高镁胁迫则主要限制因素是气孔因素。镁胁迫使黄瓜幼苗叶片 MDA 含量、 O_2^- 产生速率、 H_2O_2 含量增加, 缺镁增幅大于高镁胁迫; 低温加剧了膜脂过氧化。低温下, POD 活性下降, SOD 活性升高, 而 CAT 活性变化不大; 适温下, 植株主要通过提高 POD 活性来抵御镁胁迫。低温、缺镁对植株的伤害较大, 与活性氧的增加有关。

关键词: 黄瓜; 温度; 镁; 光合参数; 活性氧清除酶系统

中图分类号: S642.2; Q946.91

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)05-1231-05

Effects of magnesium stress on photosynthetic character and active oxygen scavenging system in cucumber under different temperature

XIE Xiao-yu, LIU Xiao-jian, LIU Hai-tao

(College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: To investigate the functional mechanism of magnesium (Mg) to cucumber under low temperature, we studied the effects of Mg stress on photosynthetic character and active oxygen scavenging system in cucumber seedlings under different temperatures using artificial climate box. The results showed that the value of Chla/Chlb was increased under Mg stress condition no matter what temperature, and increased more under Mg deficiency than under Mg excess. The contents of Chla, Chlb and carotinoid were decreased under Mg deficiency at both temperature levels, and under Mg excess at low temperature, but increased at suitable temperature. The P_n , G_s and T_r were decreased under Mg stress at both temperature levels with the lowest value observed under Mg excess and low temperature. The effects of Mg stress on C_i , WUE and L_s were different depending on temperature and Mg concentration. The main limiting factor of photosynthesis in cucumber seedling was non-stomata factor under Mg deficiency, while it was stomata factor under Mg excess. The O_2^- producing rate, H_2O_2 and MDA contents were increased under Mg stress in which the effect under Mg excess was higher than under Mg deficiency. Low temperature accelerated the Lipid peroxidation. Under low temperature, POD activity were increase, SOD activity decreased, but CAT activity were not significantly affected; under suitable temperature, Mg stress made POD activity increase, CAT activity decrease, but SOD activity did not change. At the suitable temperature, plant mainly alleviated Mg stress by increasing POD activities. At the low temperature, Mg deficiency had more severe damage on plant, which might be related to the increase of activity oxygen system.

Key words: cucumber; temperature; magnesium; photosynthetic parameters; active oxygen scavenging enzymes

收稿日期: 2008-09-02

接受日期: 2009-01-15

基金项目: 国家“863”计划项目(2001AA247012); 重庆市自然科学基金项目(CSTC2007BB1354)资助。

作者简介: 谢小玉(1968—), 女, 陕西勉县人, 博士, 副教授, 主要从事设施栽培方面的教学与研究工作。E-mail: xiexy8009@163.com

缺镁是温室黄瓜无土栽培开花结果期常出现的一种生理病害。近年来,很多研究从不同角度探讨了缺镁胁迫对作物的影响。缺镁胁迫使龙眼叶片 PS II 活性降低、光合功能衰退,蛋白质、核酸含量下降,活性氧累积,膜脂过氧化加剧,MDA 含量增加^[1];水稻叶片受光抑制的程度加重,增加抗氧化酶类的活性^[2];黄瓜、小白菜叶片 POD 活性升高, SOD 活性下降^[3];烟草量子产量降低,光合电子受阻,减少对过剩的激发能的耗散,对强光的保护性调节能力下降^[4]。影响温室黄瓜镁吸收的主要因素是根际镁离子浓度和温度^[5]。镁胁迫不仅有缺镁胁迫还有由于施肥不当造成的高镁胁迫。目前的研究多侧重于缺镁单一因素对作物的影响,温度和镁双重胁迫对作物影响的研究还不多见。本试验利用人工气候箱,探讨了温度和根际镁离子浓度二因子对黄瓜幼苗光合特性以及活性氧清除系统的影响,探讨黄瓜在低温下镁胁迫机理,为北方冬季温室培育黄瓜壮苗提供有效的技术支持和理论依据。

1 材料与方法

试验于 2006 年 4 月至 12 月在西南大学农业部作物品质改良重点实验室进行。供试黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 品种为津优 1 号。栽培基质为膨化珍珠岩(容重 80~180 kg/m³、总孔隙度 60.3%、大孔隙 29.5%、小孔隙 30.75%、水气比 1:1.04、pH 6.3)。

试验为二因素裂区设计。温度设适温(25℃/15℃,B1 表示)、低温(15℃/12℃,B2 表示)2 个水平;硫酸镁(MgSO₄)浓度(mol/L)设适镁(2.5 mol/L)、高镁(5.0 mol/L)、缺镁(不施镁)3 个水平,分别用 A1、A2、A3 表示。营养液中 SO₄²⁻ 浓度用 Na₂SO₄ 调节;另加入其他元素(g/L):螯合铁 1.84、Ca(NO₃)₂ 94.63、KNO₃ 70.8、NH₄H₂PO₄ 6;微量元素(mg/L):MnSO₄·H₂O 1.5、HBO₃ 3、ZnSO₄·7H₂O 0.15、CuSO₄ 0.03、Na₂MoO₄·2H₂O 0.015。

黄瓜种子浸泡后播于装有珍珠岩(按体积比 1:1 的蒸馏水浸泡 2 次,每次 24 h)的 10 cm×10 cm 营养钵中,第 3 d 开始浇 1/2 全营养液。子叶展开后每 2 d 浇 1 次处理液。每处理 30 株,缺 Mg 处理的植株叶片出现缺 Mg 症状时(5 叶期)取样测定。

叶片光合参数的测定,用 Li-6400 光合仪测定第 2、第 3、第 4 叶(由下至上)净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和蒸腾速率(Tr),重复测定 5 次;并按下式计算水分利用率(WUE)和气孔限制值(L_s):

$$WUE = P_n / Tr$$

$$L_s = 1 - C_i / C_a (\text{大气 CO}_2 \text{ 浓度})$$

取测定过光合的第 2~4 叶混合,用浸提法测定光合色素^[5];硫代巴比妥酸法测定 MDA 含量;超氧自由基产生速率采用王爱国等^[8]的方法;过氧化氢(H₂O₂)含量采用林植芳等^[9]的方法。SOD 活性以 1 min 抑制氮蓝四唑(NBT)光还原 50% 为 1 个酶活力单位(U);过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法,以 1 min 内 OD₂₄₀ 降低 0.1 为 1 U^[6];过氧化物酶活性(POD)活性采用愈创木酚法^[7],以 1 min 减少 OD₄₇₀ 值所需酶量为 1 U,以样品蛋白含量计算酶活性。用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量^[6]。所有试剂均为分析纯。

数据采用 SPSS12.0 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同温度下镁胁迫对黄瓜幼苗光合色素的影响

适温下生长的植株的叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和总叶绿素的含量都明显大于低温下生长的植株。在两种温度下,缺镁降低了叶绿素 a、b 和类胡萝卜素的含量;而适温下,高镁胁迫叶绿素 a、b 和类胡萝卜素和总叶绿素的含量增加。适温下,缺镁和高镁胁迫黄瓜叶绿素 a/b 值分别较对照提高 7.6% 和 4.4%;以低温缺镁下比值最高(表 1)。

2.2 不同温度下镁胁迫对黄瓜幼苗光合参数的影响

表 2 看出,适温下,缺镁处理降低了黄瓜幼苗所有叶片的净光合速率(P_n),基部第 2 叶和第 3 叶分别较对照降低了 25.23% 和 10.98%,而顶叶仅降低了 3.26%;低温下,所有叶片的 P_n 表现出适镁 > 缺镁 > 高镁。高镁处理 P_n 为第 2 叶 > 第 3 叶 > 第 4 叶;而缺镁处理为第 3 叶 > 第 4 叶 > 第 2 叶。这可能是低温缺镁使初展叶叶绿体片层结构尚未发育完全,因而光合能力较弱。随着叶片的成长,片层结构逐渐增多,光合能力亦随之增强,当叶片逐渐衰老时,片层又由厚变薄,光合作用逐渐减弱。

表 2 还看出,适温下,植株胞间 CO₂ 浓度(C_i)明显大于低温下。低温下,高镁处理中部和中下部叶片和顶叶的 C_i 分别较 CK 降低了 3.7%、0.61% 和 3.24%。适镁降低了 7.8%、4.5% 和 3.2%;而缺镁则分别降低了 10.2%、8.5% 和 11.6%。适温下,顶叶 C_i 表现为高镁 > 缺镁 > 适镁;其他差异不显著。

表 1 不同温度下镁胁迫对黄瓜幼苗光合色素的影响

Table 1 Effect of different temperatures and Mg concentrations on photosynthetic pigments of cucumber seedlings

处理 Treatment	叶绿素 Chlorophyll content (mg/g, FW)		叶绿素 a + b Chl. a + Chl. b (mg/g, FW)	类胡萝卜素 Carotenoid content (mg/g, FW)	叶绿素 a/b Chla/Chlb	
	Chl. a	Chl. b				
B1	A1	1.81 ± 0.04 bB	1.45 ± 0.03 bB	0.35 ± 0.01 bB	0.36 ± 0.02 abAB	4.11 ± 0.10 aA
	A2	1.99 ± 0.02 aA	1.59 ± 0.02 aA	0.39 ± 0.03 aA	0.41 ± 0.01 aA	4.12 ± 0.34 aA
	A3	1.78 ± 0.03 bB	1.45 ± 0.03 bB	0.33 ± 0.01 cB	0.36 ± 0.02 bAB	4.41 ± 0.24 aA
B2	A1	1.51 ± 0.14 cC	1.22 ± 0.14 cC	0.29 ± 0.01 dC	0.34 ± 0.06 bB	4.03 ± 0.144 aA
	A2	1.41 ± 0.03 cC	1.15 ± 0.02 cC	0.26 ± 0.02 eCD	0.32 ± 0.01 bB	4.39 ± 0.104 aA
	A3	1.20 ± 0.06 dD	0.96 ± 0.06 dD	0.24 ± 0.01 fD	0.23 ± 0.02 cC	4.45 ± 0.244 aA

注:数值后不同大小写字母分别表示处理间差异达 1% 和 5% 显著水平;下同。

Note: Values followed by different capital and small letters mean significant at 1% and 5% levels, respectively. The same below.

表 2 不同温度下镁营养对黄瓜幼苗不同叶位的叶片净光合速率和胞间 CO₂ 浓度的影响

Table 2 Effect of different temperatures and Mg concentrations on Pn and Ci in different leaf positions of cucumber seedlings

处理 Treatment	净光合速率 Pn[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]			胞间 CO ₂ 浓度 Ci($\mu\text{mol}/\text{mol}$)			
	第 2 叶 2nd leaf	第 3 叶 3rd leaf	第 4 叶 4th leaf	第 2 叶 2nd leaf	第 3 叶 3rd leaf	第 4 叶 4th leaf	
B1	A1	3.65 ± 0.13 aA	3.68 ± 0.21 abA	3.92 ± 0.04 aA	384.7 ± 1.528 aA	381.7 ± 2.89 aA	380.0 ± 2.00 bB
	A2	3.44 ± 0.23 abA	3.80 ± 0.09 aA	3.99 ± 0.07 aA	383.0 ± 6.56 abA	385.0 ± 6.93 aA	391.7 ± 2.31 aA
	A3	2.73 ± 0.27 cC	3.38 ± 0.17 bcB	3.86 ± 0.03 aA	390.7 ± 5.69 aA	385.7 ± 0.58 aA	382.0 ± 2.00 bB
B2	A1	3.30 ± 0.04 bAB	3.22 ± 0.25 bcC	3.32 ± 0.07 bB	354.7 ± 6.81 cdBC	364.7 ± 3.51 bB	368.0 ± 2.65 cC
	A2	2.70 ± 0.06 cC	2.51 ± 0.08 eD	1.94 ± 0.08 cC	369.0 ± 2.00 bcAB	379.3 ± 1.16 aA	367.7 ± 2.31 cC
	A3	2.85 ± 0.14 cBC	2.89 ± 0.04 dE	2.87 ± 0.05 cB	345.3 ± 15.18 dC	349.3 ± 9.50 cC	336.0 ± 1.00 dD

低温降低了叶片气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)。适镁下, G_s 为第 4 叶 > 第 3 叶 > 第 2 叶;高镁适温下为第 4 叶 > 第 3 叶 > 第 2 叶,而高镁低温下则反之。这可能是低温下高镁胁迫影响了根系活力,引起生理干旱导致气孔关闭,叶龄越短,这种影响越大。缺镁适温下, G_s 为第 3 叶 > 第 4 叶 > 第 2 叶;低温下为第 4 叶 > 第 3 叶 > 第 2 叶,表明镁素匮乏时,首先保证中上部的叶片供应。适温下,镁胁迫提高了 T_r ,表现为缺镁 > 高镁;低温下,镁胁迫降低了 T_r ,缺镁比高镁降幅大(表 3)。

表 3 还看出,适温下,不论黄瓜根际镁离子浓度大小,或在低温适镁下,黄瓜幼苗的 T_r 与 G_s 呈正相关。而在低温和镁胁迫下,除顶叶外,其他叶片的 T_r 与 G_s 呈负相关。这可能是因为黄瓜幼苗叶片的蒸腾作用既受 G_s 影响,同时在很大程度上又受到其他环境因子和植株本身生理特性的影响。如温度、光强、CO₂ 浓度、空气湿度(RH)、根系活力、矿物质运输等。在本研究中,镁胁迫黄瓜幼苗蒸腾速率的限制因素主要是温度和气孔因素。

表 3 不同温度下镁营养对黄瓜幼苗不同叶位的叶片气孔导度和蒸腾速率的影响

Table 3 Effect of different temperatures and Mg concentrations on G_s and T_r in different leaf positions of cucumber seedlings

处理 Treatment	气孔导度 G_s [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]			蒸腾速率 T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]			
	第 2 叶 2nd leaf	第 3 叶 3rd leaf	第 4 叶 4th leaf	第 2 叶 2nd leaf	第 3 叶 3rd leaf	第 4 叶 4th leaf	
B1	A1	0.76 ± 0.01 aA	0.84 ± 0.02 aA	0.85 ± 0.023 aA	3.537 ± 0.585 bB	3.99 ± 0.11 cC	3.87 ± 0.02 bB
	A2	0.71 ± 0.03 bA	0.76 ± 0.02 bAB	0.83 ± 0.02 aA	4.52 ± 0.04 aA	4.83 ± 0.03 bB	5.30 ± 0.12 aA
	A3	0.53 ± 0.04 cB	0.75 ± 0.04 bB	0.66 ± 0.04 bB	4.99 ± 0.04 aA	5.33 ± 0.05 aA	5.29 ± 0.15 aA
B2	A1	0.26 ± 0.01 dC	0.30 ± 0.01 cC	0.38 ± 0.01 cC	2.96 ± 0.03 cB	3.20 ± 0.05 dD	3.75 ± 0.06 bB
	A2	0.26 ± 0.01 dC	0.21 ± 0.01 dD	0.19 ± 0.01 dD	2.81 ± 0.03 cBC	3.05 ± 0.05 eD	2.26 ± 0.05 cC
	A3	0.20 ± 0.01 eD	0.14 ± 0.01 eE	0.15 ± 0.00 dD	2.21 ± 0.08 dC	2.39 ± 0.38 fE	1.94 ± 0.02 cC

表 4 表明,低温下植株的水分利用率(WUE)和气孔限制值(L_s)高于适温下。低温下,WUE 为缺镁 > 适镁 > 高镁; L_s 除顶叶外,其余叶片也是缺镁 > 适镁 > 高镁,而顶叶是缺镁 > 多镁 > 适镁。适温下,

WUE 为适镁 > 高镁 > 缺镁, L_s 除顶叶外,其余叶片为高镁 > 缺镁 > 适镁,表明镁胁迫降低了黄瓜幼苗的 WUE 增大了 L_s 。而缺镁胁迫对 WUE 降低的幅度大,高镁处理对 L_s 的增大幅度大。

表 4 不同温度下镁离子浓度对黄瓜幼苗不同叶位的叶片水分利用率和气孔限制值的影响

Table 4 Effect of different temperatures and Mg concentrations on WUE and L_s in different leaf positions of cucumber seedlings

处理 Treatment	水分利用率 WUE($\mu\text{mol}/\text{mol}$)						气孔限制值 $L_s(\times 10^{-2})(\text{mol}/\text{mol})$		
	第 2 叶		第 3 叶		第 4 叶		第 2 叶	第 3 叶	第 4 叶
	2nd leaf		3rd leaf		4th leaf		2nd leaf	3rd leaf	4th leaf
B1	A1	1.05 ± 0.17 bB	0.92 ± 0.01 cBC	1.01 ± 0.04 bBC	4.58 ± 0.16 eE	5.27 ± 0.08 eE	5.82 ± 0.33 eE		
	A2	0.76 ± 0.05 cCD	0.79 ± 0.02 dD	0.88 ± 0.10 cC	6.29 ± 0.45 dD	6.49 ± 0.35 dD	5.17 ± 0.08 fF		
	A3	0.55 ± 0.05 dD	0.63 ± 0.03 eE	0.69 ± 0.03 dD	5.72 ± 0.11 dD	5.54 ± 0.40 eE	6.46 ± 0.12 dD		
B2	A1	1.14 ± 0.08 abB	1.01 ± 0.09 bB	1.04 ± 0.02 bB	10.95 ± 0.67 bB	9.85 ± 0.17 bB	7.86 ± 0.10 cC		
	A2	0.99 ± 0.10 bBC	0.82 ± 0.03 dCD	0.60 ± 0.04 dD	7.69 ± 0.15 cC	8.56 ± 0.32 cC	8.57 ± 0.35 bB		
	A3	1.31 ± 0.03 aA	1.20 ± 0.05 aA	1.66 ± 0.04 aA	12.55 ± 0.33 aA	13.96 ± 0.55 aA	12.93 ± 0.21 aA		

2.3 不同温度下镁胁迫对黄瓜幼苗活性氧产生和保护酶的影响

表 5 表明,低温下,MDA 含量、 O_2^- 产生速率、 H_2O_2 含量与常温缺镁胁迫下含量都较对照提高,MDA 含量比对照高 73.83%~82.36%, O_2^- 产生速率高 37.61%~55.84%, H_2O_2 含量高 25.68%~53.92%;以低温缺镁升幅最大。表明镁胁迫使黄瓜幼苗叶片细胞发生膜脂过氧化,低温加剧了膜脂过氧化。

低温下,POD 活性下降,SOD 活性上升,CAT 活

性变化不大,可能是由于 CAT 存在于过氧化物体中。低温下,POD、SOD 和 CAT 的活性均为高镁 > 适镁 > 缺镁。表明低温下高镁胁迫通过增强保护酶活性来抵御温度和镁双重胁迫,以延缓其衰老,维持其生长。而缺镁植株对逆境的适应能力有一定的限度。适温下,缺镁和高镁 POD 活性分别较对照提高 23.6%和 22%;CAT 活性分别较对照降低 16.6%和 11.5%;SOD 活性较对照增加 10.8%和 1.6%。这表明镁胁迫植株主要通过提高 POD 和 SOD 活性来抵御胁迫。

表 5 不同温度下镁胁迫对黄瓜 O_2^- 产生速率、 H_2O_2 和 MDA 含量及 SOD、POD、CAT 活性的影响

Table 5 Effect of different temperatures and Mg concentrations on O_2^- producing rate and the contents of H_2O_2 and MDA and the activities of POD, SOD and CAT in leaves of cucumber seedlings

处理 Treatment	MDA 含量		O_2^- 产生速率		H_2O_2 含量		POD 活性	SOD 活性	CAT 活性
	MDA content (mmol/g, FW)		O_2^- producing rate [nmol/(min·g), FW]		H_2O_2 content ($\mu\text{mol}/\text{g}$, FW)		POD activity (U/mg, protein)	SOD activity (U/mg, protein)	CAT activity (U/mg, protein)
B1	A1	2.11 ± 0.05 cC	18.43 ± 1.10 cC	23.66 ± 0.98 cC	1.36 ± 0.05 bB	0.19 ± 0.00 eE	9.05 ± 0.81 abA		
	A2	2.70 ± 0.08 bB	21.67 ± 1.10 bB	29.33 ± 1.13 bB	1.66 ± 0.08 aA	0.19 ± 0.01 eE	7.45 ± 0.39 cB		
	A3	3.57 ± 0.04 aA	27.49 ± 1.24 aA	35.98 ± 0.48 aA	1.68 ± 0.04 aA	0.21 ± 0.01 dD	8.01 ± 0.10 bcB		
B2	A1	3.70 ± 0.10 aA	25.36 ± 0.35 bA	29.73 ± 0.59 bB	1.28 ± 0.05 bB	0.27 ± 0.00 bB	9.50 ± 0.36 aA		
	A2	3.67 ± 0.06 aA	26.75 ± 0.90 aA	30.15 ± 0.43 bB	1.33 ± 0.05 bB	0.28 ± 0.00 aA	9.90 ± 0.43 aA		
	A3	3.85 ± 0.05 aA	28.72 ± 0.23 aA	36.41 ± 1.48 aA	1.03 ± 0.01 cC	0.22 ± 0.00 cC	7.83 ± 0.23 bcB		

3 讨论与结论

叶绿素在光合作用中起吸收光能的作用,其含量直接影响光合作用的强弱。适温下,镁胁迫使黄瓜叶绿素 a/b 提高,低温缺镁下叶绿素 a/b 的值最

高。Ralph 等^[10]研究认为,叶绿素 a/b 越高,捕获和传递给光系统 II(PS II)反应中心的光能越少,表明低温缺镁不利于捕获光能。表明黄瓜在低温适镁下,通过增加叶绿素 b 的相对含量,增加捕光色素复合体中天线色素的比例捕获光能。

镁作为叶绿素组成成分之一,缺镁会导致黄瓜叶片的光合速率和光合关键酶的活性下降^[1]。本研究表明,镁胁迫使黄瓜幼苗中下部叶片 P_n 、 G_s 下降,低温加剧了胁迫。分析表明, P_n 的下降是由于植株体内镁缺乏而叶绿素含量低、捕光色素含量低的缘故;也还可能存在着如根系活力、矿质营养元素和碳水化合物的运转与分配等的影响,有待于进一步研究。在光合作用研究中,人们将逆境下植物叶片 P_n 降低的因素分为气孔限制因素和非气孔因素两类。Farquhar 等^[12]认为,当 G_s 与 C_i 同时下降时, P_n 下降主要是由气孔限制引起的;如果 P_n 的降低伴随着 C_i 升高,光合作用的主要限制因素则是非气孔因素。本研究看出,不论是哪一个叶位的叶片,在缺镁处理下, P_n 升高,而 C_i 降低;在高镁处理下, P_n 升高, C_i 也升高,表明缺镁时黄瓜幼苗光合作用的主要限制因素是非气孔因素,而高镁条件下,黄瓜幼苗光合作用的主要限制因素是气孔因素。低温下这种差异达极显著水平,表明低温促使这种现象加剧。其原因可能是因为镁和钾之间存在颉颃关系,在施入过量的镁后必然导致黄瓜叶片对钾的吸收不足,而钾能促进气孔的开放^[13],增大气孔导度。气孔导度降低不利于 CO_2 的补充和 H_2O 进入叶片组织,从而不利于光合作用的进行,同时对蒸腾、呼吸作用等生理过程也产生相应的影响。

细胞内 MDA 含量的高低反映细胞氧化损伤的程度。本研究在镁胁迫下黄瓜幼苗叶片 MDA 含量、 O_2^- 产生速率、 H_2O_2 含量增加;缺镁胁迫增加幅度大,低温加剧了膜脂过氧化。低温下,POD 活性下降,SOD 活性升高,而 CAT 活性与对照差异不显著;适温下,镁胁迫使 POD 活性上升,CAT 活性下降,而 SOD 活性与对照差异不显著;低温、缺镁双重胁迫对植株的伤害较大。但低温和镁胁迫哪一个为主导因素以及在本研究中高镁胁迫的影响较小,是否是因为试验设计的镁离子还没有对黄瓜幼苗造成很大伤害还是其他原因等诸类问题还有待于进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 李延,刘星辉.缺镁胁迫对龙眼叶片衰老的影响[J].应用生态学报,2002,13(3):311-314.
Li Y, Liu X H. Effects of Mg deficiency on senescence of *Docarpus longana* leaves[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2002, 13(3):311-314.
- [2] 杨勇,蒋德安,孙俊威,等.不同供镁水平对水稻叶片叶绿素荧光特性和能量耗散的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(1):79-86.
Yang Y, Jiang D A, Sun J W *et al.* Effects of different Mg nutrition

- levels on chlorophyll fluorescence characteristics and excitation energy dissipation in rice leaves[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(1): 79-86.
- [3] 肖常沛,杨竹青.镁对黄瓜与小白菜生长、养分吸收及某些酶活性的影响[J].华南师范大学学报(自然科学版),2001(4):68-72.
Xiao C P, Yang Z Q. Effects of Mg nutrition on growth, nutrients uptake and enzyme activity in cucumber and Chinese cabbage[J]. J. South China Normal Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2001, (4):68-72.
- [4] 关广晟,屠乃美,肖汉乾,等.镁对烟草生长及叶片叶绿素荧光参数的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(1):151-155.
Guan G S, Tu N M, Xiao H Q *et al.* Effects of Mg nutrition on tobacco growth and chlorophyll fluorescence parameters of tobacco leaves[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(1):151-155.
- [5] 谢小玉,邹志荣,江雪飞.影响无土栽培黄瓜叶片中镁含量的因素研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):85-88.
Xie X Y, Zou Z R, Jiang X F. Effect of different on Mg content in cucumber leaf under soil-less cultivation[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2007, 25(6):85-88.
- [6] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
Gao J F. The experimental guide for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [7] 陈贻竹,帕特森.低温对植物叶片中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化氢水平的影响[J].植物生理学报,1988,14(4):323-328.
Chen Y Z, Patterson B D. The effect of chilling temperature on the level of superoxide dismutase, catalase and hydrogen peroxide in some plant leaves[J]. Acta Phytophysiol. Sin., 1988, 14(4):323-328.
- [8] 王爱国,罗广华.植物的超氧自由基与羟胺反应的定量关系[J].植物生理学通讯,1990,26(6):55-57.
Wang A G, Luo G H. Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plants[J]. Plant Physiol. Commun., 1990, 26(6):55-57.
- [9] 林植芳,李双顺,林桂珠,等.衰老叶片和叶绿体中 H_2O_2 的积累与膜脂过氧化的关系[J].植物生理学报,1988,14(1):16-22.
Lin Z F, Li S S, Lin G Z *et al.* The accumulation of hydrogen peroxide in aenescing leaves and chloroplasts in relation to lipid peroxidation[J]. Acta Phytophysiol. Sin., 1988, 14(1):16-22.
- [10] Ralph P J, Macinnis C M O, Frankart C. Fluorescence imaging application: Effect of leaf age on photokinetics[J]. Plant Physiol., 2005, 81:69-84.
- [11] Hemans C, Verbruggen N. Physiological characterization of Mg deficiency in *Ambitopsis thaliana*[J]. J. Exper. Bot., 2005, 56(418): 2153-2161.
- [12] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Ann. Rev. Physiol., 1982, 33:317-345.
- [13] 郑小林,钟炳辉,陈荣清.钾、钠离子对富钾植物离体叶片气孔运动的影响[J].西北植物学报,2004,24(2):320-323.
Zheng X L, Zhong B H, Chen R Q. Effect of K^+ 、 Na^+ on isolated leaves stomata movement of rich potassium plants[J]. Acta Bot. Bo-reali-Occid. Sin., 2004, 24(2):320-323.