

营养液 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 浓度对低温胁迫下 黄瓜幼苗叶片 SOD 活性的影响

李 涛, 于贤昌

(山东农业大学园艺科学与工程学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要: 【目的】探讨 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 在黄瓜幼苗抗冷中的作用。【方法】以自根和嫁接黄瓜幼苗为试材, 研究了用含有不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液育苗对幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量、低温胁迫下超氧化物歧化酶 (SOD) 及其同工酶活性和电解质渗漏率的影响。【结果】提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度, 自根黄瓜幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量显著增加, 低温胁迫下其 SOD、Mn-SOD 及 Cu/Zn-SOD 活性均显著增强, 且低温胁迫时间越长活性增强越显著, Fe-SOD 活性和电解质渗漏率则显著降低; 降低营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育嫁接黄瓜幼苗的结果则与之相反。【结论】Cu、Zn 和 Mn 在黄瓜幼苗抗冷性中具有重要作用。以黑籽南瓜为砧木嫁接的黄瓜, 根系吸收 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 能力较强是其抗冷性增强的内在因素之一; 自根黄瓜幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量和 SOD 活性因营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度升高而升高, 从而增强其抗冷性。

关键词: 嫁接黄瓜; 自根黄瓜; 微量元素; 低温胁迫; SOD; 电解质渗漏率

Effects of Different Concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} in Nutrient Solution on Leaf SOD Activity of Grafted and Own-Root Cucumber Seedlings Under Low Temperature Stress

LI Tao, YU Xian-chang

(State Key Laboratory of Crop Biology/College of Horticulture Science and Engineering,
Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong)

Abstract: 【Objective】The aim of this study was to investigate the functions of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} on cold tolerance of cucumber seedling leaves. 【Method】Studies were made on the leaf contents of Cu, Zn and Mn, activities of superoxide dismutase (SOD) and its isoenzymes, and electrolytic leakages of own-root and grafted cucumber seedlings treated by different concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solution under low temperature stress. 【Result】The leaf contents of Cu, Zn and Mn, the activities of SOD, Mn-SOD and Cu/Zn-SOD of own-root cucumber seedlings treated by high concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solution were higher than those of the control, while the Fe-SOD activity and electrolytic leakages were lower. When grafted cucumber seedlings were treated by low concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solution, the results were contrary. 【Conclusion】It showed that Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} played a very important role in cold tolerance of cucumber seedlings. It was proved that the greater absorbability of grafted cucumber seedlings after grafted onto figleaf gourd was one of the important reasons why it could have stronger chilling tolerance than own-root cucumber seedlings. Both the contents of Cu, Zn and Mn in leaves and SOD activity of own-root cucumber seedlings can be increased by elevating the contents of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solution, consequently their chilling tolerance can be enhanced.

Key words: Grafted cucumber; Own-root cucumber; Microelement; Low temperature stress; SOD; Electrolytic leakage

收稿日期: 2006-12-01; 接受日期: 2007-03-27

基金项目: 国家自然科学基金 (30571271) 和山东省自然科学基金 (Y2005D05) 资助

作者简介: 李 涛 (1980-), 男, 山东威海人, 博士研究生, 研究方向为设施蔬菜生理与分子生物学。E-mail: llt327@sdau.edu.cn。通讯作者于贤昌 (1962-), 男, 山东栖霞人, 教授, 研究方向为设施蔬菜生理与分子生物学。Tel: 0538-8246218; E-mail: xcyu@sdau.edu.cn

0 引言

【研究意义】黄瓜嫁接后抗冷性明显增强, 同时其叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量也显著增加, 弄清二者之间的关系对于研究黄瓜的抗冷机理有重要意义。【前人研究进展】逆境胁迫下, 植物体内产生大量活性氧物质, 尤以 O_2^- 破坏性最大, 其能破坏蛋白质、叶绿体、细胞膜的流动性及核酸等, 引起细胞的死亡和器官的衰老^[1-6]。为消除或减少活性氧物质的损伤, 植物形成了多种防护机制^[7,8]。SOD 是防卫 O_2^- 伤害的第一步, 它可以催化 O_2^- 转化为 H_2O_2 和 O_2 , 而 H_2O_2 可以被过氧化氢酶和抗坏血酸转化为 H_2O ^[9]。因此 SOD 被认为是衡量植物抗冷性的重要指标。SOD 同工酶有 Cu/Zn-SOD、Mn-SOD 和 Fe-SOD 共 3 种, 其辅基分别为 Cu、Zn、Mn 和 Fe^[10]。Cu/Zn-SOD 位于细胞质、叶绿体、细胞核和非原质体; Fe-SOD 位于叶绿体; Mn-SOD 位于线粒体和过氧化物酶体^[10-12]。前人研究证实嫁接黄瓜抗冷性明显高于自根黄瓜, 冷胁迫下前者叶片 SOD 活性也明显高于后者^[13,14]。在温度逆境下嫁接番茄叶片 SOD 活性也明显高于自根番茄^[15]。同时也发现西瓜和葡萄嫁接换根后会引引起矿质养分吸收的增加^[16,17]。【本研究切入点】黄瓜以黑籽南瓜为砧木嫁接后, 其叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量和 SOD 活性及抗冷性明显高于自根黄瓜, 但是叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量的增加与其抗冷性增强之间的关系研究未见报道。【拟解决的关键问题】明确叶片高含量 Mn、Cu 和 Zn 在嫁接黄瓜抗冷性增强中的作用, 探讨以提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度的方式增强自根黄瓜抗冷性的可行性。

1 材料与方 法

1.1 材料及处理

试验于 2006 年 3~4 月在山东农业大学蔬菜实验站进行。试材为津绿 3 号黄瓜, 3 月 5 日播砧木黑籽南瓜 (*Cucurbita ficifolia*), 3 月 6 日播接穗黄瓜, 3 月 19 日采用插接法进行嫁接。3 月 20 日播自根黄瓜, 4 月 10 日当嫁接及自根黄瓜幼苗均长到两叶一心时移入珍珠岩中进行不同浓度的营养液培养。营养液标准配方为 ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$): K_2SO_4 0.75, MgSO_4 0.65, KCl 0.1, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2.0, KH_2PO_4 0.25, EDTA-Fe 0.1, H_3BO_3 1×10^{-2} , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 5×10^{-6} , MnSO_4 1×10^{-2} , CuSO_4 1×10^{-4} , ZnSO_4 1×10^{-3} 。

1.2 试验设计

试验分为 6 个处理: 培育嫁接黄瓜幼苗营养液 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 浓度均为标准营养液的 0.75 倍、0.5 倍及 1 倍, 其余元素浓度不变, 分别记为 0.75×J、0.5×J 及 CK1, 以研究降低营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度是否会减少嫁接黄瓜幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量从而降低其抗冷性。培育自根黄瓜幼苗营养液的 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 浓度均为标准营养液的 3 倍、2 倍及 1 倍, 分别记为 3×Z、2×Z 及 CK2, 以研究提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度是否会增加自根黄瓜幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量从而增强其抗冷性。每天浇灌 2 次营养液。待嫁接和自根黄瓜幼苗长到三叶一心时, 移入人工气候室进行低温胁迫处理, 低温处理前进行昼夜温度为 15℃/10℃的预冷处理, 第 1~5 天为低温胁迫处理, 昼夜温度为 5℃/5℃, 处理过程中每天上午 9:00 取样, 每次取样 3 株, 均取上数第 2 叶, 3 次重复。

1.3 测定项目

黄瓜叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量的测定采用原子吸收的方法; SOD 及其同工酶活性的测定参照 Prochazkova R KD^[18]的方法, 电解质渗漏率的测定以 ORIW TDS 电导仪 (美国产) 测定电导率。按下式计算电解质渗漏率: 电解质渗漏率 (%) = (初电导率 - 空白电导率) × 100 / (终电导率 - 空白电导率)。

1.4 数据处理

数据显著性差异分析采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液对嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量的影响

由表可知, 提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育自根黄瓜, 可显著提高其叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量。降低营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育嫁接黄瓜, 其叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量则显著降低。同时经显著性分析得出 CK1 叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量均显著高于 CK2。

2.2 低温胁迫对不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液培育嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 SOD 活性的影响

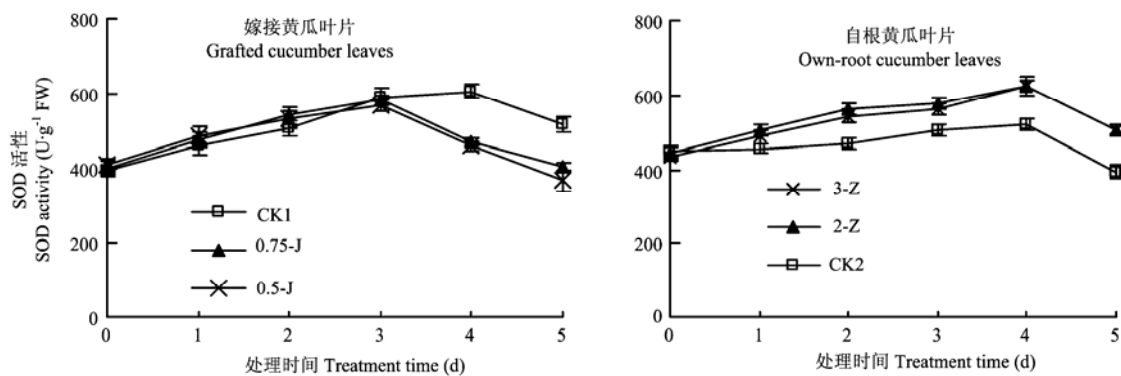
由图 1 可以看出, 低温胁迫前期, 降低营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育的嫁接黄瓜幼苗叶片 SOD 活性之间没有显著差异, 但从第 4 天开始, 0.75×J 和 0.5×J 处理的嫁接黄瓜幼苗叶片 SOD 活性显著降低。由图 1 还可看出, 低温胁迫下, 提高营养

表 不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液对嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量的影响Table Effects of different concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solutions on contents of Cu, Zn and Mn of grafted and own-root cucumber seedling leaves ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ DW)

嫁接黄瓜幼苗叶片 Grafted cucumber seedling leaves				自根黄瓜幼苗叶片 Own-root cucumber seedling leaves			
处理 Treatment	Mn	Cu	Zn	处理 Treatment	Mn	Cu	Zn
CK1	41.35 aA	16.67 aA	60.14 aA	CK2	33.90 cC	11.68 cC	50.29cC
0.75×J	34.60 bB	14.82 bB	56.55 bB	2×Z	43.44 bB	14.68 bB	53.27bB
0.5×J	30.23 cC	13.07 cC	51.74 cC	3×Z	44.19 aA	15.94 aA	57.59aA

在嫁接和自根黄瓜处理内部分别进行统计分析。大、小写字母分别表示差异达极显著水平 ($\alpha=0.01$) 和显著水平 ($\alpha=0.05$)

Statistical analyses were made in grafted and own-root cucumber seedling treatments, respectively. Different capital and small letters indicate significance at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively

图 1 不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液育苗对低温胁迫下嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 SOD 活性的影响Fig. 1 Effects of different concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solutions on leaf SOD activities of grafted and own-root cucumber seedlings under low temperature stress

液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育的自根黄瓜幼苗 (3×Z 和 2×Z) 叶片 SOD 活性显著高于 CK2, 且随低温胁迫时间的延长, 差异越来越显著。以第 5 天为例, 3×Z 和 2×Z 处理的自根黄瓜叶片 SOD 活性分别是 CK2 的 1.28 倍和 1.29 倍。低温胁迫第 5 天, 嫁接与自根黄瓜叶片均受到严重冷害, 致使 CK1 和 CK2 的 SOD 活性明显下降。

2.3 低温胁迫对不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液培育嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 Cu/Zn-SOD 活性的影响

由图 2 可知, 低温胁迫第 2 天, 降低营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育的嫁接黄瓜幼苗叶片 Cu/Zn-SOD 活性开始低于 CK1 处理, 营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度越低, 其叶片 Cu/Zn-SOD 活性也越低, 0.75×J 和 0.5×J 处理的嫁接黄瓜叶片 Cu/Zn-SOD 活性与 CK1 处理之间的差异在第 4 天最显著, 两处理叶片 Cu/Zn-SOD 活性分别为 CK1 处理的

0.65 倍和 0.54 倍。

低温胁迫下, 提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育的自根黄瓜幼苗叶片 Cu/Zn-SOD 活性明显高于 CK2 处理, 二者的 Cu/Zn-SOD 活性与 CK2 处理之间的差异在第 5 天最显著, 分别为 CK2 处理的 1.42 倍和 1.41 倍。低温胁迫前 3 d, 2×Z 处理的自根黄瓜叶片 Cu/Zn-SOD 活性明显高于 3×Z 处理, 第 4、5 天两者活性基本一致。

2.4 低温胁迫对不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液培育嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 Mn-SOD 活性的影响

由图 3 可知, 低温胁迫下嫁接黄瓜幼苗叶片 Mn-SOD 活性呈一直上升趋势, 营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度越低, 其叶片 Mn-SOD 活性也越低, 胁迫第 5 天 0.75×J 和 0.5×J 处理的嫁接黄瓜幼苗叶片 Mn-SOD 活性与 CK1 处理之间的差异最大, 分别为 CK1 处理的 0.86 倍和 0.76 倍。

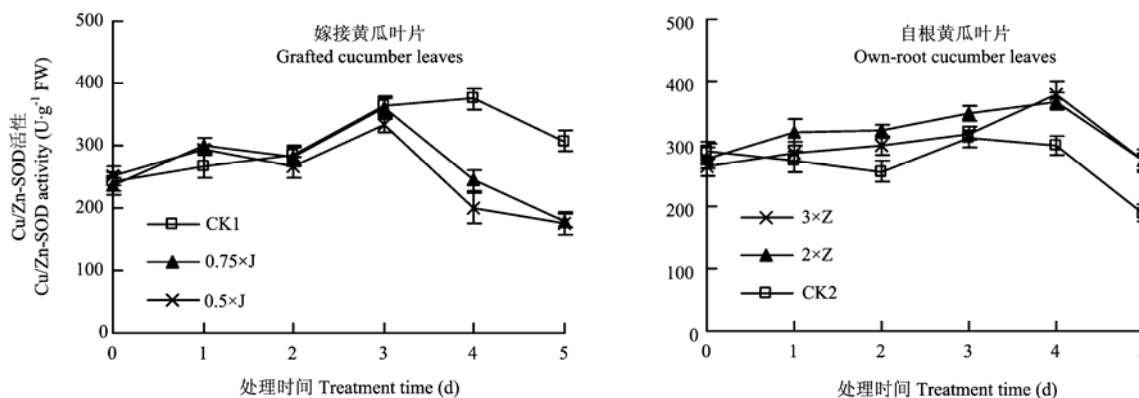


图 2 不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液育苗对低温胁迫下嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 Cu/Zn-SOD 活性的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solutions on leaf Cu/Zn-SOD activities of grafted and own-root cucumber seedlings under low temperature stress

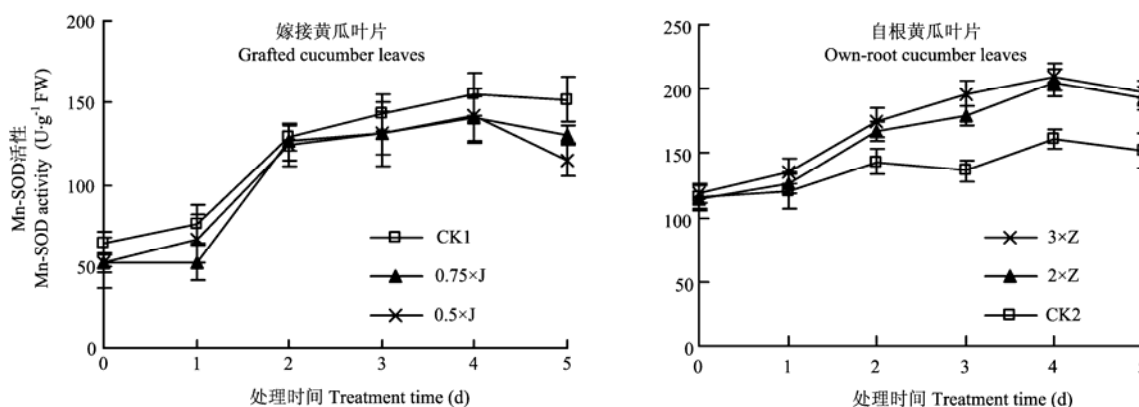


图 3 不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液育苗对低温胁迫下嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 Mn-SOD 活性的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solutions on leaf Mn-SOD activities of grafted and own-root cucumber seedlings under low temperature stress

提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育的自根黄瓜幼苗叶片 Mn-SOD 活性从胁迫第 1 天开始高于 CK2 处理, 且随胁迫时间的延长差异越来越显著, 第 5 天 $3\times Z$ 和 $2\times Z$ 处理的自根黄瓜幼苗叶片 Mn-SOD 活性分别是 CK2 处理的 1.30 倍和 1.27 倍。低温胁迫过程中, 提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育的自根黄瓜幼苗叶片 Mn-SOD 活性一直显著高于 CK1 处理的嫁接黄瓜叶片 Mn-SOD 活性。

2.5 低温胁迫对不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液培育嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 Fe-SOD 活性的影响

由图 4 可知, 低温胁迫下, 嫁接黄瓜幼苗叶片 Fe-SOD 活性与其营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度

成反比例关系, 营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度越高, Fe-SOD 活性越低, 第 4 天 $0.5\times J$ 和 $0.75\times J$ 处理的嫁接黄瓜幼苗叶片 Fe-SOD 活性分别是 CK1 处理的 1.19 倍和 1.55 倍。提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育的自根黄瓜幼苗也呈现出相似的规律, 低温胁迫第 4 天 $3\times Z$ 和 $2\times Z$ 处理的自根黄瓜幼苗叶片 Fe-SOD 活性分别是 CK2 处理的 0.87 倍和 0.88 倍。

2.6 低温胁迫对不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液培育的嫁接及自根黄瓜幼苗叶片电解质渗漏率的影响

电解质渗漏率是反映植物在逆境胁迫下细胞膜透性变化的重要生理指标, 其大小与作物的抗冷性呈负相关。由图 5 可知, 低温胁迫下, 随着营养液中 ($\text{Cu}^{2+}+$

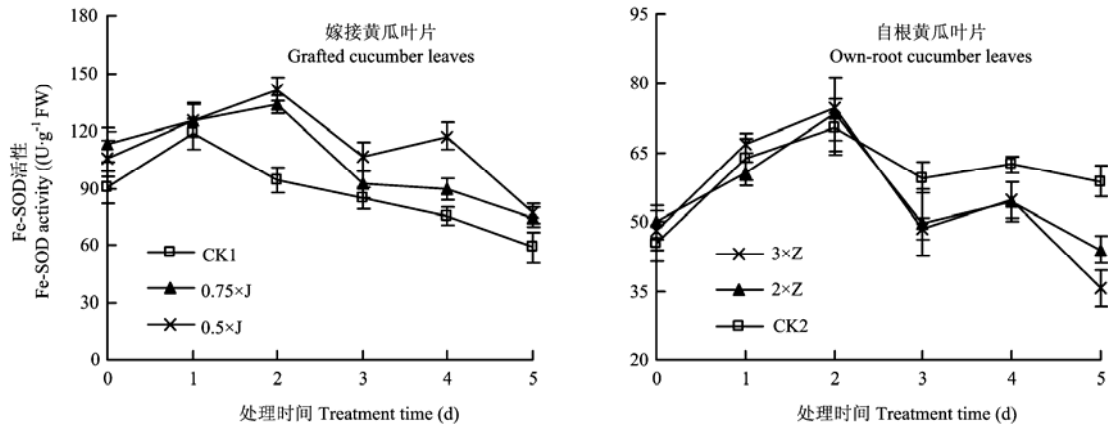


图 4 不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液育苗对低温胁迫下嫁接及自根黄瓜幼苗叶片 Fe-SOD 活性的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solutions on leaf Fe-SOD activities of grafted and own-root cucumber seedlings under low temperature stress

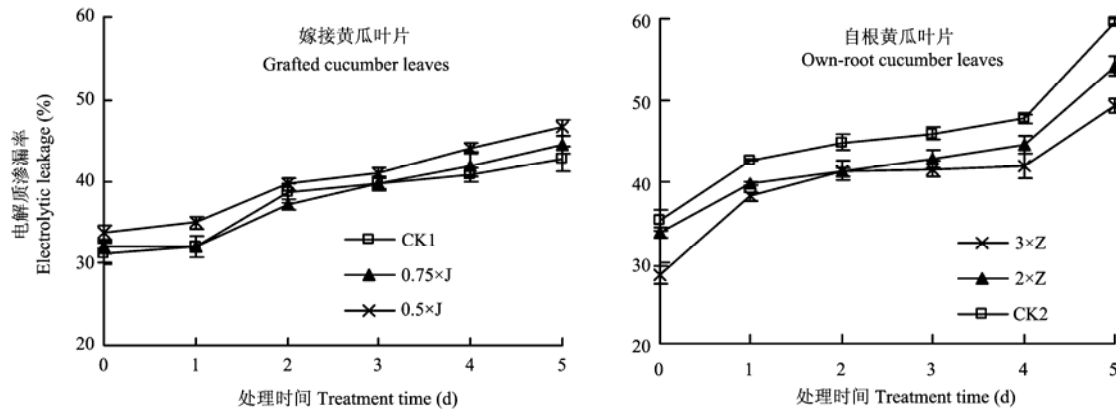


图 5 不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液育苗对低温胁迫下嫁接及自根黄瓜幼苗叶片电解质渗透率的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} as a whole in nutrient solutions on electrolytic leakage of grafted and own-root cucumber seedlings under low temperature stress

$\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度的升高, 自根黄瓜叶片电解质渗透率呈降低趋势; 随着营养液中 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度的降低, 嫁接黄瓜叶片电解质渗透率呈升高趋势, 在 3 个浓度处理中, ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度最低的 $0.5\times\text{J}$ 处理叶片电解质渗透率始终明显高于其它两个处理。

3 讨论

用含有不同 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度营养液育苗, 黄瓜幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量随营养液中 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度的增加而升高, 随其浓度的降低而减少, 这与在茶树^[19]、芥菜^[20]、苦瓜^[21]、

蜜橘^[22]和油菜^[23]上的研究结果相一致。因此在黄瓜无土栽培中可通过调节营养液 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 浓度来改变黄瓜对 Cu、Zn 和 Mn 等元素的吸收量, 进而达到影响黄瓜某些生理特性的目的。

SOD 是植物体内清除活性氧物质的重要酶, 被誉为植物抵御逆境伤害的第一道防线, 其活性是衡量植物抗逆性的重要指标。周国庆等研究认为, Cu、Zn 和 Mn 元素组配施用能明显提高秧苗体内 SOD 活性, 增强幼苗抗寒性^[24]。邵邻相等在研究了高浓度 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 营养液对水稻幼苗 SOD 活性的影响后认为, Cu^{2+} 使水稻幼苗 SOD 活性增强最大, 其次是 Zn^{2+} , Mn^{2+} 使 SOD 活性降低^[25]。徐晓燕等也得出营养液缺

Cu^{2+} 或 Zn^{2+} 、缺 Cu^{2+} 和 Zn^{2+} , 水稻幼苗叶片 SOD 活性均明显降低, 缺 Cu^{2+} 的 SOD 活性比缺 Zn^{2+} 低得多的结论^[26]。本试验得出提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度, 可使低温胁迫下自根黄瓜幼苗叶片 SOD 活性显著增强, 电解质渗漏率明显降低; 降低营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度, 则使低温胁迫下嫁接黄瓜幼苗叶片 SOD 活性显著降低, 电解质渗漏率明显升高。

本研究从两方面证实黄瓜叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量与其 SOD 活性密切相关, 而 SOD 活性中 Mn-SOD 和 Cu/Zn-SOD 发挥了主要作用, 二者活性之和占 SOD 活性的 85% 以上, 这主要是因为 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 是 SOD 同工酶的辅基, 叶片较高 Cu、Zn 和 Mn 含量是其 SOD 活性增强的前提。由此也证实了黄瓜以黑籽南瓜为砧木嫁接以后, 根系较强的吸收 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 能力是其抗冷性增强的内在原因之一。但是提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度培育的自根黄瓜幼苗叶片 SOD 活性仍低于嫁接黄瓜对照处理 (CK1), 电解质渗漏率则高于 CK1, 表明仍有其它因素影响嫁接黄瓜抗冷性的增强。试验中, $2\times Z$ 与 $3\times Z$ 两处理的黄瓜幼苗叶片 SOD 活性基本一致, 表明并不是营养液中 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度越高, SOD 活性越强。本试验结果仅说明了营养液中 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 浓度作为一个整体发生变化时, 可以改变黄瓜叶片的抗冷性。但是 3 种离子中是哪一种或两种在增强 SOD 活性中发挥主导作用, 还有待研究。

在设施中采用无土栽培是克服蔬菜生产连作障碍和在盐碱地种植蔬菜两大难题的最有效的解决方式之一, 在未来必定会得到大力推广。黄瓜是设施栽培的主要品种, 但在中国北方地区冬春季极易遭受冷害而减产, 因此在无土栽培中, 可在低温来临之前提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度, 这将在一定程度上增强黄瓜的抗冷性, 减轻冷害引起的减产, 这也是本研究结果的实际意义所在。

4 结论

Cu、Zn 和 Mn 在黄瓜幼苗叶片 SOD 活性和抗冷性中具有重要作用。黄瓜以黑籽南瓜为砧木嫁接以后, 根系吸收 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 能力较强是其抗冷性增强的内在原因之一。提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度, 能增加黄瓜幼苗叶片 Cu、Zn 和 Mn 含量, 增强 SOD 活性并进而增强其抗冷性。提高营养液 ($\text{Cu}^{2+}+\text{Zn}^{2+}+\text{Mn}^{2+}$) 整体浓度可能成为防范黄瓜冷害

的一条有效途径。

References

- [1] Prasad T K, Anderson M D, Martin B A, Steward C R. Evidence for chilling induce oxidative stress in maize seedlings and regulatory role for hydrogen peroxide. *The Plant Cell*, 1994, 6: 65-74.
- [2] Shaaltiel Y, Gressel J. Multienzyme oxygen radical detoxification system correlation with paraquat resistance in *Coniza bonariensis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 1986, 26: 22-28.
- [3] Scandalios J G. Oxygen stress and superoxide dismutases. *Plant Physiology*, 1993, 101: 7-12.
- [4] Cadenas E. Biochemistry of oxygen toxicity. *Annual Review Biochemistry*, 1989, 58: 79-110.
- [5] Bowler C, Van Montagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1992, 43: 83-116.
- [6] Scebbba F, Sebastiani L, Vitagliano C. Changes in activity of antioxidative enzymes in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings under cold acclimation. *Physiologia Plantarum*, 1998, 104: 747-752.
- [7] Jahnke L S, Hull M R, Long S P. Chilling stress and oxygen metabolizing enzyme in *Zea mays* and *Zea diploperennis*. *Plant Cell and Environment*, 1991, 14:97-104.
- [8] Hodges D M, Andrews C J, Johnson D A, Hamilton R I. Antioxidant enzyme and compound responses to chilling stress and their combining abilities in differentially sensitive maize hybrids. *Crop Science*, 1997, 37: 857-863.
- [9] Miyake C, Asada K. Ferredoxin-dependent photoreduction of the monodehydroascorbate radical in spinach thylakoids. *Plant Cell Physiology*, 1994, 35(4): 539-549.
- [10] Sandalio L M, Palma J M, del Río L A. Localization of manganese-superoxide dismutase in peroxisomes isolated from *Pisum sativum* L. *Plant Science*, 1987, 51: 1-8.
- [11] van Camp W, Bowler C, Villarroel R, Tsang E W T, van Montagu M, Inzé D. Characterization of iron superoxide dismutase cDNAs from plants obtained by genetic complementation in *Escherichia coli*. *The Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1990, 87: 9903-9907.
- [12] Ogawa K I, Kanematsu S, Asada K. Intra- and extra-cellular localization of "cytosolic" CuZn-superoxide dismutase in spinach leaf and hypocotyl. *Plant Cell Physiology*, 1996, 37(6): 790-799.
- [13] 于贤昌, 邢禹贤, 马红, 魏珉, 冯妍. 黄瓜嫁接苗抗冷特性研究. *园艺学报*, 1997, 24(4): 348-352.

Yu X C, Xing Y X, Ma H, Wei M, Feng Y. Study on low temperature

- tolerance in grafted cucumber seedlings. *Acta Horticulturae Sinica*, 1997, 24(4): 348-352. (in Chinese)
- [14] 于贤昌, 邢禹贤, 马红, 魏珉. 不同砧木与接穗对黄瓜嫁接苗抗冷性的影响. *中国农业科学*, 1998, 31(2): 41-47.
- Yu X C, Xing Yu Y X, Ma H, Wei M. Effect of different rootstocks and scions on chilling tolerance in grafted cucumber seedlings. *Scientia Agricultura Sinica*, 1998, 31(2): 41-47. (in Chinese)
- [15] Rivero R M, Ruiz J M, Sánchez E, Romero L. Does grafting provide tomato plants an advantage against H₂O₂ production under conditions of thermal shock? *Physiologia Plantarum*, 2003, 117:44-50.
- [16] Bavaresco M, Fregoni M, Frascini P. Investigations on iron uptake and reduction by excised roots of different grapevine rootstocks and *V. vinifera* cultivar. *Plant and Soil*, 1991, 130: 109-113.
- [17] Romero L, Belakbir A, Ragala L, Romero L, Ruiz J M. Response of plant yield and leaf pigments to saline conditions: the effectiveness of different rootstocks in melon plants (*Cucumis melo* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, 1997, 43(4): 855-862.
- [18] Prochazkova D, Sairam R K, Srivastava G C, Singh D V. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science*, 2001, 161: 765-771.
- [19] 韩文炎, 许允文. 铜与锌对茶树生育特性及生理代谢的影响. V. 铜锌交互作用对茶树生长和生理的效应. *茶叶科学*, 1996, 16(2): 99-104.
- Han W Y, Xu Y W. Physiological effects of Cu and Zn on the development and the physiological metabolism of tea plants. V. Effect of interaction between Cu and Zn on the growth of tea plants. *Journal of Tea Science*, 1996, 16(2): 99-104. (in Chinese)
- [20] 王松华. 不同品种芥菜对 Cu 胁迫响应的差异. *生物学杂志*, 2005, 22(1): 30-32.
- Wang S H. Different responses to Cu stress of different *Brassica juncea* L. species. *Journal of Biology*, 2005, 22(1): 30-32. (in Chinese)
- [21] 施木田, 陈如凯. 锌对苦瓜叶片碳代谢及相关酶活性的影响研究. *中国生态农业学报*, 2004, 12(1): 56-58.
- Shi M T, Chen R K. Effects of zinc on carbon metabolism and its enzymes activities in leaves of balsam pea. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1): 56-58. (in Chinese)
- [22] 刘成明, 秦焯南. 铁锰元素对温州密桔光合生理的营养及营养诊断研究. *西南农业大学学报*, 1996, 18(1): 29-33.
- Liu C M, Qin X N. Effects of Mn and Fe on photosynthetic physiology of citrus seedling and their nutrient diagnosis. *Journal of Southwest Agricultural University*, 1996, 18(1): 29-33. (in Chinese)
- [23] 曾琦, 耿明建, 张志江, 周文兵, 朱端卫. 锰毒害对油菜苗期 Mn、Ca、Fe 含量及 POD、CAT 活性的影响. *华中农业大学学报*, 2004, 23(3): 300-303.
- Zeng Q, Geng M J, Zhang Z J, Zhou W B, Zhu D W. Effects of Mn toxicity on the content of Mn, Ca, Fe and the activities of POD and CAT in *Brassica napus* L. at seedling stage. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2004, 23(3): 300-303. (in Chinese)
- [24] 周国庆. 几种微量元素配施对杂交早稻秧苗的效应. *作物研究*, 2000, (1): 12-14.
- Zhou G Q. The effects of some kinds of microelements on chilling tolerance of early rice. *Crop Research*, 2000, (1): 12-14. (in Chinese)
- [25] 邵邻相, 黄伯钟, 丁淑静. 锌、锰、铁和铜离子对水稻幼苗生长及 SOD 活性的影响. *种子*, 2001, (6): 16-19.
- Shao L X, Huang B Z, Ding S J. Effects of zinc manganese ferrous and copper on growth and superoxide dismutase activity of rice seedlings. *Seed*, 2001, (6): 16-19. (in Chinese)
- [26] 徐晓燕, 杨肖娥. 锌、铜对水稻幼苗生长及超氧化物歧化酶的影响. *山西农业大学学报*, 1997, 17(2): 113-115.
- Xu X Y, Yang X E. Effects of copper and zinc on growth and superoxide dismutase activity of rice seedlings. *Journal Shanxi Agricultural University*, 1997, 17(2): 113-115. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)