

韩志平, 张海霞, 张红利, 等. 西瓜幼苗在硝酸钙胁迫下生长和生理指标的变化[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(7): 138–141.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.034

# 西瓜幼苗在硝酸钙胁迫下生长和生理指标的变化

韩志平<sup>1</sup>, 张海霞<sup>2</sup>, 张红利<sup>1</sup>, 王润梅<sup>1</sup>

(1. 山西大同大学生命科学学院/设施农业技术研发中心, 山西大同 037009; 2. 山西大同大学后勤管理处, 山西大同 037009)

**摘要:**采用营养液水培法, 研究  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下小型西瓜幼苗生长、膜脂过氧化和有机渗透调节物质的变化。结果表明, 随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫浓度的提高, 幼苗株高、茎粗、叶片数、最大叶长、最大叶宽及地上部和根系的鲜质量、干质量均明显降低; 叶片光合色素含量表现出“增加—降低”的规律, 质膜透性与丙二醛、抗坏血酸、脯氨酸、可溶性糖含量则明显增加。说明硝酸钙胁迫扰乱了西瓜叶片光合色素代谢, 造成膜脂过氧化, 破坏了细胞膜结构, 导致幼苗生长严重受抑, 同时植株抗氧化能力和渗透调节能力增强, 从而在一定程度上减轻了盐胁迫造成的伤害。

**关键词:**西瓜; 生长;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫; 膜脂过氧化; 渗透调节

**中图分类号:** Q945.78; S651.01

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2019)07-0138-04

随着人们对新鲜蔬菜需求量的日益增长, 我国设施蔬菜产业在近 30 年来迅猛发展, 于 2010 年成为全球栽培面积和产量最大的国家<sup>[1]</sup>。但由于设施内土壤长期得不到雨水淋洗, 以及作物连作和肥水管理不当等, 使得盐分逐年向土壤表层积聚, 造成蔬菜作物生长和产量显著降低, 设施利用效率也不断下降<sup>[2]</sup>。研究表明,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{NO}_3^-$  大量积累既是设施土壤次生盐渍化的主要特征, 也是引起设施作物生理障碍的主导因子<sup>[3]</sup>。 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度过高, 会导致土壤水势降低, 渗透压增大, 细胞失水引起生理干旱, 还会抑制作物对其他有益元素, 如镁、钾、磷的吸收, 影响生理生化的代谢过程, 从而造成蔬菜作物难以立苗, 阻碍了植株生长, 甚至造成植株死亡<sup>[4-5]</sup>。国内外对土壤盐渍化的研究主要集中于  $\text{NaCl}$  胁迫, 有关  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫对植物的伤害以及植物适应  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫的生理机制研究较少。

西瓜 (*Citrulus lanatus* M.) 是世界性的主要园艺作物, 也是国内外设施栽培的主要瓜类作物。西瓜是非盐生植物, 其

根系对盐渍环境反应敏感, 设施土壤次生盐渍化的不断加重, 使西瓜的产量和品质逐年下降<sup>[6]</sup>。目前关于  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫对西瓜植株影响的研究报道很少。为此, 本研究采用营养液水培法, 研究西瓜幼苗在  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下的生长变化并测定了其生理指标, 为深入研究西瓜植株对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫的生理和分子响应奠定基础, 为设施西瓜抗盐栽培提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于 2015 年 4—5 月在山西大同大学生命科学实验教学中心进行。供试材料为北京市特种蔬菜种苗公司提供的小型西瓜品种红小玉。

### 1.2 试验设计

取饱满一致的种子, 用 55 ℃ 温水烫种 15 min 后用清水浸种 6 h, 而后在 28 ℃ 下避光催芽。发芽后播于石英砂基质中育苗, 保持昼温 18~25 ℃, 夜温 10~16 ℃, 每天浇清水保持湿润。子叶展平后, 开始浇灌 0.5 倍 Hoagland's 营养液。2 叶 1 心时, 选择整齐健壮的幼苗移栽于盛有 Hoagland's 营养液的 35 L 水槽中, 通气培养 (30 min/h)。3 叶 1 心时, 设置正常营养液培养 (CK), 含 4 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 胁迫处理共设  $\text{Ca}_1$ 、 $\text{Ca}_2$ 、 $\text{Ca}_3$ 、 $\text{Ca}_4$ 、 $\text{Ca}_5$  5 个,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度分别为 25、50、75、100、125 mmol/L。本试验对照和胁迫处理共 6 个, 每个处理 3 次重复, 每重复 18 株幼苗, 完全随机排列。

收稿日期: 2017-11-17

基金项目: 山西省农业科技攻关项目 (编号: 20150311010-1); 山西省大同市农业科技攻关项目 (编号: 201468-2)。

作者简介: 韩志平 (1976—), 男, 山西孟县人, 博士, 副教授, 主要从事设施园艺与无土栽培、园艺植物逆境生理研究。E-mail: hanzhiping0215@163.com。

[14] 白江涛, 白建军, 王磊, 等. 基于 GIS 的关中—陕南地区降水量空间插值分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(33): 20872–20876, 20895.

[15] 傅德印. Q 型系统聚类分析中的统计检验问题[J]. 统计与信息论坛, 2007, 22(3): 10–14.

[16] 高永刚, 那济海, 顾红, 等. 黑龙江省马铃薯气候生产力特征及区划[J]. 中国农业气象, 2007, 28(3): 275–280.

[17] 谷晓岩, 李凤英, 张燕. 两维图论聚类法在农业区划中的应用——以山东省十七地市为例[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(3): 62–64.

[18] 宋运红, 李振祥, 孙连辉, 等. 马氏距离与欧氏距离方法在地球

化学异常处理中的对比[J]. 吉林地质, 2008, 27(4): 125–128, 137.

[19] 霍利岭, 张有会, 王志巍, 等. 基于兰氏距离的 H. 264/AVC 帧内快速算法[J]. 电视技术, 2010, 34(2): 19–21.

[20] 巨瑜芳, 雷小锋, 戴斌, 等. 基于傅里叶变换和连通图的聚类分析方法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(8): 2837–2840.

[21] 刘汉丽, 裴韬, 周成虎. 用于时间序列聚类分析的小波变换和特征量提取方法[J]. 测绘科学技术学报, 2014, 31(4): 372–376, 382.

[22] 郭春雪, 沈宁, 胡良平. 基于标准化变换的求和法: 一种新的样品聚类分析方法[J]. 四川精神卫生, 2017, 30(3): 211–216.

1.3 指标测定

处理 9 d 后每个处理取 8 株幼苗,用常规方法测量株高、茎粗、根长、叶片数、最大叶长、最大叶宽,并称量地上部和根系的鲜质量和干质量,同时计算含水量。

取生长点下第 2 张完全展开叶测定各生理指标。光合色素提取参照沈伟其的方法<sup>[7]</sup>并略加改进,打孔取叶圆片置于乙醇丙酮混合液中,暗提取完全变白后测定  $D_{440\text{ nm}}$ 、 $D_{645\text{ nm}}$ 、 $D_{663\text{ nm}}$ ,按王素平等的公式<sup>[8]</sup>计算叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb)和类胡萝卜素 (Car)含量。丙二醛(MDA)含量测定参照文献<sup>[9]</sup>,质膜透性测定用电导仪<sup>[10]</sup>,抗坏血酸 (AsA)含量测定参照文献<sup>[11]</sup>;脯氨酸含量测定用茚三酮法<sup>[12]</sup>,可溶性糖含量测定用蒽酮法<sup>[10]</sup>。125 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫的幼苗,第 4 天开始死苗,第 9 天死苗率超过 50%,故未测定生理指标。

数据用 SPSS 软件进行方差分析,用 Excel 软件作图。

表 1  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗形态指标的变化

处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	根长 (cm)	叶片数 (张/株)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)
CK	12.61 ± 0.48a	2.01 ± 0.05a	18.41 ± 0.58a	6.88 ± 0.30a	5.45 ± 0.08a	4.99 ± 0.15a
Ca <sub>1</sub>	10.73 ± 0.52b	1.89 ± 0.06ab	19.25 ± 0.61a	6.50 ± 0.42a	5.09 ± 0.10b	4.41 ± 0.13b
Ca <sub>2</sub>	9.50 ± 0.30c	1.84 ± 0.04b	16.17 ± 0.49b	6.13 ± 0.23a	4.55 ± 0.13c	3.73 ± 0.11c
Ca <sub>3</sub>	6.78 ± 0.36d	1.77 ± 0.05bc	13.58 ± 0.57c	4.88 ± 0.40b	4.22 ± 0.07d	3.56 ± 0.10cd
Ca <sub>4</sub>	5.38 ± 0.28e	1.69 ± 0.04cd	12.55 ± 0.63c	4.25 ± 0.25bc	3.93 ± 0.11d	3.41 ± 0.10cd
Ca <sub>5</sub>	4.88 ± 0.28e	1.60 ± 0.05d	9.88 ± 0.42d	3.88 ± 0.23c	3.40 ± 0.17e	3.22 ± 0.11d

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间达到 0.05 水平显著差异。下表同。

2.1.2 生物量和含水量 由表 2 可知,除地上部含水量和根系鲜质量在 25、50 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下、根系含水量在 100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下与 CK 无显著差异外,地上部和根系的鲜质量、干质量和含水量均随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度提高而降低,且与 CK 差异显著。地上部鲜质量、干质量、含水量在 100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,分别比 CK 降低 49.82%、25.85%、5.55%;在 125 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,分别比

2 结果与分析

2.1  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗生长的变化

2.1.1 形态指标 表 1 中的数据显示,除茎粗和根长在 25 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下、叶片数在 25、50 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下与 CK 无显著差异外,其他各形态指标均随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度的提高而降低,且与 CK 差异显著。在 100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,株高、茎粗、根长、叶片数、最大叶长、最大叶宽分别比 CK 降低 57.34%、15.92%、31.83%、38.23%、27.89%、31.66%;在 125 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,株高、茎粗、根长、叶片数、最大叶长、最大叶宽分别比 CK 降低 61.30%、20.40%、46.33%、43.60%、37.61%、35.47%。说明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫显著抑制了西瓜幼苗的形态建成,且随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度增大,抑制作用明显增大。

CK 降低 62.08%、36.10%、7.82%。根系鲜质量、干质量、含水量在 100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,分别比 CK 降低 45.45%、38.79%、0.78%;在 125 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,分别比 CK 降低 67.57%、57.17%、2.19%。说明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫显著抑制了西瓜幼苗的生物量积累,且随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度增大,抑制程度明显增大,且对地上部含水量的抑制程度明显大于根系。

表 2  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗生物量和含水量的变化

处理	地上部			根系		
	鲜质量(g)	干质量(g)	含水量(%)	鲜质量(g)	干质量(g)	含水量(%)
CK	1.991 ± 0.098a	0.205 ± 0.010a	89.59 ± 0.43a	0.737 ± 0.053a	0.050 ± 0.005a	93.19 ± 0.53ab
Ca <sub>1</sub>	1.635 ± 0.074b	0.172 ± 0.007b	89.43 ± 0.28a	0.645 ± 0.031a	0.039 ± 0.003b	94.03 ± 0.19a
Ca <sub>2</sub>	1.428 ± 0.069c	0.164 ± 0.008bc	88.37 ± 0.52ab	0.663 ± 0.030a	0.038 ± 0.003b	94.25 ± 0.29a
Ca <sub>3</sub>	1.259 ± 0.105c	0.156 ± 0.009bc	87.25 ± 0.58b	0.547 ± 0.040b	0.035 ± 0.004bc	93.56 ± 0.14ab
Ca <sub>4</sub>	0.999 ± 0.060d	0.152 ± 0.009c	84.62 ± 0.22c	0.402 ± 0.033c	0.030 ± 0.003c	92.46 ± 0.13b
Ca <sub>5</sub>	0.755 ± 0.053e	0.131 ± 0.010d	82.58 ± 0.38d	0.239 ± 0.015d	0.021 ± 0.002d	91.15 ± 0.67c

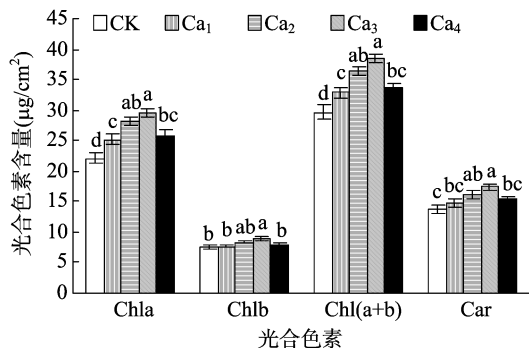
2.2  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗光合色素含量的变化

图 1 显示,叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量均随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度的提高表现为“升高—降低”的规律,在 75 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下达到最高值。在 25、100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下,叶绿素 b 和类胡萝卜素含量与 CK 均无显著差异;在 50 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下,叶绿素 a 和类胡萝卜素含量显著高于 CK;在 75 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,各光合色素含量均显著高于 CK。叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量在 50 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,分别比 CK 增加 27.03%、

11.88%、18.94%;在 75 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,分别比 CK 增加、33.64%、18.94%、27.22%;在 100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,分别比 CK 增加 16.59%、4.48%、12.21%。说明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫导致西瓜幼苗光合色素代谢紊乱,使其含量随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度的提高而发生明显波动。

2.3  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗膜质过氧化的变化

由图 2 可知,除 MDA 含量在 25 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下与 CK 无显著差异外,叶片 MDA 含量、相对电导率和抗坏血酸含量均随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度提高而明显增加,与 CK 差异



不同小写字母表示不同处理间达到 0.05 水平显著差异。下图同  
图1  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗光合色素含量的变化

显著。MDA 含量、相对电导率和抗坏血酸含量在 75 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下, 分别比 CK 增加 42.30%、49.10%、81.79%; 在 100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下, 分别比 CK 增加

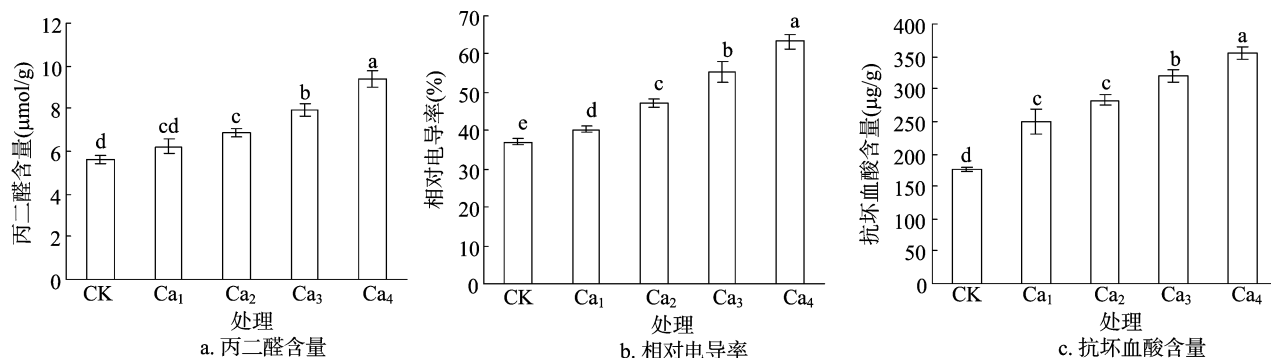


图2  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗膜脂过氧化的变化

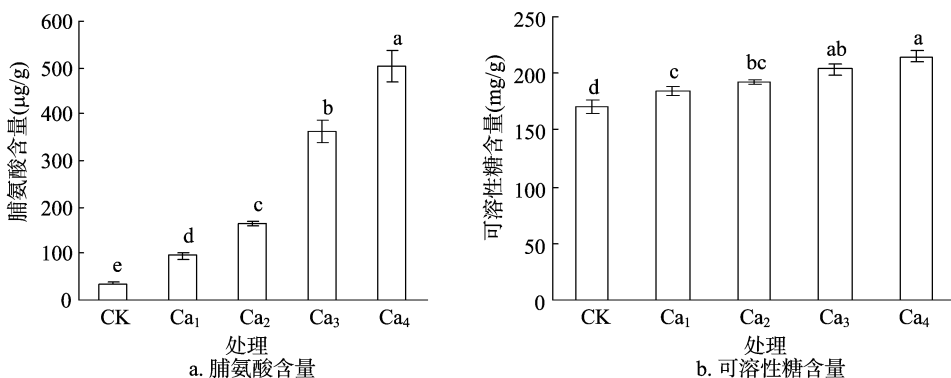


图3  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗渗透调节物质含量的变化

### 3 讨论与结论

由于盐胁迫可引发渗透胁迫、离子毒害、矿质营养缺乏和过氧化伤害等次生胁迫, 非盐生植物在盐渍环境下生长会受到严重抑制<sup>[13-14]</sup>。本研究中,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗的生长受到了显著抑制, 75 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下幼苗生长显著降低, 但仍能维持生长发育; 100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下植株萎蔫、濒临死亡; 125 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下幼苗死亡率超过 50%。结合生长和生理指标的变化, 75 mmol/L 是西瓜幼苗对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫耐受性的阈值浓度。

环境因子的改变会引起光合色素含量的变化, 最终影响

67.09%、70.63%、101.52%。说明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫对西瓜幼苗造成了过氧化伤害, 细胞膜结构被严重破坏, 胞内电解质大量外渗, 且随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度提高, 膜质过氧化伤害程度加剧; 同时抗坏血酸含量显著增加, 有利于增强  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下幼苗的抗氧化能力。

#### 2.4 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下西瓜幼苗有机渗透调节物质含量的变化

由图 3 可以看出, 叶片脯氨酸和可溶性糖含量均随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度提高而明显增加, 与 CK 差异显著, 且脯氨酸含量的增加幅度远大于可溶性糖含量。脯氨酸、可溶性糖含量在 75 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下, 分别比 CK 增加 933.78%、19.50%; 在 100 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下, 分别比 CK 增加 1339.41%、26.14%。说明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫促进了西瓜幼苗体内脯氨酸和可溶性糖的合成和积累, 这些物质的积累有利于提高植株的渗透调节能力, 减轻渗透胁迫对幼苗的伤害。

到作物的生长、产量和品质<sup>[15]</sup>。许多研究表明, 盐胁迫抑制了光合色素的合成, 促进其分解, 导致其含量显著降低<sup>[16-17]</sup>。但也有报道表明, 盐胁迫下叶片光合色素含量增加<sup>[8,18]</sup>。本试验中, 叶片光合色素含量随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度提高呈“增加—降低”的规律, 在 75 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下达到最大值, 在 125 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下观察到存活的幼苗叶片小而枯黄。结合形态指标和前人的研究, 推测 50 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  以下浓度生长降低幅度很小而叶绿素含量增加是由于幼苗对  $\text{Ca}^{2+}$  和 N 的吸收促进了叶绿素的合成; 75 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下叶绿素含量增加是由于盐胁迫下叶片生长缓慢, 导致叶绿体收缩, 产生了“浓缩”效应<sup>[19]</sup>; 在 100 mmol/L

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下叶绿素含量仍高于对照,则是由于叶绿素酶活性提高,同时叶绿素与叶绿体蛋白间的结合变得松弛,使其易于提取,导致测得的含量增加<sup>[20]</sup>。

盐胁迫导致细胞内活性氧大量产生,造成植物的原初伤害——膜脂中不饱和脂肪酸的过氧化,导致其终产物 MDA 含量和质膜透性显著增加<sup>[19,21]</sup>。这种情况诱导细胞内保护酶活性和非酶抗氧化剂含量增加,从而减轻或消除活性氧对膜脂的伤害<sup>[14]</sup>。抗坏血酸是植物体内天然的非酶抗氧化剂,能够在抗坏血酸过氧化物酶催化下将  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解成  $\text{H}_2\text{O}$ <sup>[21-22]</sup>。本研究中,随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度的提高,西瓜幼苗 MDA 含量、质膜透性和抗坏血酸含量显著增加。说明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下细胞内自由基大量生成,造成膜脂过氧化加剧,细胞膜结构被严重破坏,同时诱导幼苗抗氧化能力增强,以清除大量产生的活性氧,有助于部分缓解  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫对幼苗的过氧化伤害。

盐胁迫对植物伤害的原因之一是渗透胁迫造成细胞水分的亏缺。植物为维持正常的生理代谢,需要通过渗透调节降低细胞水势,促进细胞吸收外界水分<sup>[23]</sup>。非盐生植物在盐胁迫下可通过大量合成和积累脯氨酸、可溶性糖、甜菜碱等小分子溶质,降低细胞渗透势,促进细胞吸收水分,维持胞质溶胶与环境的渗透平衡,同时缓解活性氧对细胞的过氧化伤害,保证膜结构的稳定性和完整性<sup>[14,21,24-25]</sup>。本试验中,幼苗脯氨酸和可溶性糖含量均随  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度提高而显著增加,说明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下植株的渗透调节能力增强,且脯氨酸在渗透调节中的贡献大于可溶性糖,这是西瓜植株对盐胁迫的一种适应性反应,有利于增强植株对盐胁迫的抵抗能力。

总之, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下西瓜幼苗光合色素代谢紊乱、膜脂过氧化加剧,使植株生长严重受抑,同时细胞抗氧化能力和渗透调节能力增强,在一定程度上减轻了盐胁迫造成的伤害。在设施西瓜生产中,除了培育耐盐西瓜品种、合理施肥灌水等措施外,还可通过转基因、施用外源物质等方法提高植株的抗氧化或渗透调节能力,从而保证其正常的生长发育。

#### 参考文献:

- [1] 张真和,马兆红. 我国设施蔬菜产业概况与“十三五”发展重点——中国蔬菜协会副会长张真和访谈录[J]. 中国蔬菜,2017(5):1-5.
- [2] 陈绍荣,邵建华,王喜江,等. 我国土壤盐渍化的综合治理[J]. 化肥工业,2013,40(5):65-69.
- [3] 杨春霞,张艳,李彩虹,等. 宁夏设施土壤盐分离子组成及含量变化特点[J]. 西北农业学报,2014,23(1):201-206.
- [4] 王敏,王秀峰,夏燕飞,等. 硝酸盐胁迫下外源脱落酸对黄瓜幼苗生长及抗氧化酶活力的影响[J]. 山东农业科学,2012,44(3):21-24,28.
- [5] Sun Y D, Luo W R, Li X Z, et al. Effects of  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  stress on the growth and physiological indexes of cucumber seedlings [C]. International Conference on Environmental Science and Information

- Application Technology,2009:268-271.
- [6] 张振贤. 蔬菜栽培学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:176-185.
- [7] 沈伟其. 测定水稻叶片叶绿素含量的混合液提取法[J]. 植物生理学通讯,1988(3):62-64.
- [8] 王素平,郭世荣,胡晓辉,等. 盐胁迫对黄瓜幼苗叶片光合色素含量的影响[J]. 江西农业大学学报,2006,28(1):32-38.
- [9] Rao K M, Sresty T S. Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses[J]. Plant Science,2000,157(1):113-128.
- [10] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006:208-210.
- [11] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:315-316.
- [12] 蔡庆生. 植物生理学实验[M]. 北京:中国农业大学出版社,2013:175-177.
- [13] Yeo A. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology [J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49(323):915-929.
- [14] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2005,60(3):324-349.
- [15] 张其德. 盐胁迫对植物及其光合作用的影响(中)[J]. 植物杂志,2000(1):28-29.
- [16] Zhang R H, Li J, Guo S R, et al. Effects of exogenous putrescine on gas-exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of NaCl-stressed cucumber seedlings[J]. Photosynthesis Research, 2009,100(3):155-162.
- [17] 魏国强,朱祝军,方学智,等. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1754-1759.
- [18] 韩志平,张海霞,李林霞,等. 硝酸钙胁迫对南瓜幼苗生长和膜脂过氧化的影响[J]. 河南农业科学,2015,44(5):117-120.
- [19] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993:230-231.
- [20] Stroganov B P. Structure and function of plant cell in saline habitats [M]. New York:Halsted Press,1973:78-83.
- [21] 陈晓亚,汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2007:533-551.
- [22] 江绪文,李贺勤,王建华. 盐胁迫下黄芩种子萌发及幼苗对外源抗坏血酸的生理响应[J]. 植物生理学报,2015,51(2):166-170.
- [23] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. Plant, Cell & Environment,2002,25(2):239-250.
- [24] Ashraf M, Foolad M R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance [J]. Environmental and Experimental Botany,2007,59(2):206-216.
- [25] 陈阳春,张本厚,贾明良,等. 盐胁迫对半夏组培苗生长及生理指标的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):62-66.