

侯江涛,杨雅兰,赵莹菲,等.海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗抗性生理的影响[J].江苏农业科学,2022,50(13):165-170.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.13.027

# 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗抗性生理的影响

侯江涛,杨雅兰,赵莹菲,王诗赞,张志芳

(商丘学院风景园林学院,河南商丘 476000)

**摘要:**以黄瓜幼苗为研究对象,通过测定幼苗生长特性、叶片色素含量、光合特性、渗透调节物质、抗氧化酶活性及丙二醛(MDA)含量,研究不同浓度海藻精叶面喷施对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗抗性生理的影响。结果表明,200 mmol/L NaCl 处理使黄瓜幼苗的正常生长受到显著抑制,而叶面喷施海藻精能有效缓解盐胁迫对黄瓜幼苗造成的不利影响,其中以 2 000 倍稀释液喷施效果最佳。叶面喷施海藻精后黄瓜幼苗叶片中过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性均出现不同程度的提高;可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量增加,MDA 含量降低;叶片色素含量、净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )及气孔导度( $G_s$ )增加,胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )降低。因此推测通过叶面喷施海藻精溶液可能使盐胁迫下植株体内渗透调节物质含量增加,从而加强植物渗透调节能力;使叶片中抗氧化酶活性增强,MDA 含量下降,以减少盐胁迫对膜的损伤程度;此外,叶片色素含量的升高有效增强了植物的光合特性,在这些因素的综合作用下提高了黄瓜幼苗的耐盐能力。

**关键词:**黄瓜;盐胁迫;海藻精;抗性生理;光合特性;抗氧化酶活性

**中图分类号:**S642.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)13-0165-06

土壤盐渍化问题已成为当前农业发展面临的主要问题之一。据不完全统计,我国各类盐碱地面积总计 9 913.3 万  $hm^2$ <sup>[1]</sup>。幼苗是植物产量形成的关键时期,也是对外界胁迫最敏感的阶段。在盐胁迫条件下, $Na^+$ 、 $Cl^-$  等一些离子会对植物产生毒害

作用,破坏酶和细胞的结构,导致光合强度下降,抗氧化酶活性降低<sup>[2]</sup>,同时由于土壤中过量的盐离子,使植物难以吸水,地上部分生长缓慢,叶片枯黄<sup>[3]</sup>。因此,如何缓解盐胁迫对植物造成的危害,在实践上具有重要意义。海藻精是一种以天然海藻为主要原料的新型植物生长调节剂,因其对植物无毒无残留且对环境无污染,在蔬菜<sup>[4]</sup>、水果<sup>[5]</sup>等植物中被广泛利用。许多研究表明,海藻精可有效缓解干旱<sup>[6]</sup>、水分胁迫<sup>[7]</sup>和病菌侵染<sup>[8]</sup>等对植物造

收稿日期:2022-01-18

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:122102110178)。

作者简介:侯江涛(1980—),女,河南新乡人,硕士,副教授,从事园艺植物栽培及应用。E-mail:250647155@qq.com。

其应用[J].植物生理学通讯,1982,18(3):48-50,56.

[18]王国霞,张宁,杨玉珍,等.盐胁迫对红心萝卜种子萌发及幼苗生长的影响[J].西北农业学报,2016,25(5):744-749.

[19]印莉萍,黄勤妮,吴平.植物营养分子生物学及信号转导[M].2版.北京:科学出版社,2006:310-352.

[20]Warne P, Guy R D, Rollins L, et al. The effects of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis, and water use efficiency of *Chenopodium rubrum* [J]. Canadian Journal of Botany, 1990, 68(5):999-1006.

[21]Franco-Navarro J D, Brumós J, Rosales M A, et al. Chloride regulates leaf cell size and water relations in tobacco plants [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 67(3):873-891.

[22]Ge T D, Sui F G, Bai L P, et al. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2012, 34(3):1043-1053.

[23]许大全.光合作用效率[M].上海:上海科学技术出版社,2002:108-109.

[24]Guo J R, Du M, Lu C X, et al. NaCl improves reproduction by enhancing starch accumulation in the ovules of the euhalophyte *Suaeda salsa* [J]. BMC Plant Biology, 2020, 20:262.

[25]Broadley M, Brown P, Çakmak I, et al. Function of nutrients: micronutrients [M]//Marschner P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Pittsburgh: Academic Press, 2012:197-248.

[26]Rognes S E. Anion regulation of lupin asparagine synthetase: chloride activation of the glutamine-utilizing reactions [J]. Phytochemistry, 1980, 19(11):2287-2293.

[27]王宝增,姚冬琳,王桂香.低浓度 NaCl 对苋菜生长的影响[J].北方园艺,2010(20):64-66.

[28]周峰,张边江,华春,等.氯化胆碱对低盐处理下菠菜光合生理和抗氧化酶的效应[J].华北农学报,2012,27(1):164-167.

成的伤害。Hashem 等研究发现,海藻肥能显著增加油菜叶片中叶绿素含量,提高脯氨酸、酚类物质含量,增强抗氧化酶活性,通过保护细胞膜的完整性来减轻高盐胁迫带来的伤害,改善作物生长和产量<sup>[9]</sup>。李婧等发现,海藻精能够降低丙二醛(MDA)和自由基的积累,提高植物的抗旱性<sup>[10]</sup>。此外,海藻精还能提供氮和矿物质元素,释放植物生长调节激素来调节植物生长,减少因矿物质缺乏而引起的生理障碍,从而提高植物的产量和抗霜冻能力<sup>[11]</sup>。

黄 瓜 (*Cucumis sativus* L.) 属 葫 芦 科 (*Cucurbitaceae*) 黄瓜属 (*Cucumis*) 植物,在我国各地均有栽培,具有高产、优质、经济效益显著等特点<sup>[12]</sup>,黄瓜生产在全国蔬菜产业中占有重要地位。而黄瓜生长过程中对盐胁迫较为敏感,土壤盐渍化会导致黄瓜生长发育受到严重抑制<sup>[13]</sup>。因此,本试验以黄瓜为试验材料,研究叶面喷施海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗生长、叶片光合特性和抗性生理的影响,以期海藻精在农业生产上的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黄瓜品种为富阳 2 号,市售海藻精(海藻酸含量≥21%,郑州银海化工有限公司生产)。

1.2 试验设计

试验于 2021 年 9—12 月在商丘学院园艺园林实训中心玻璃温室中进行。以蒸馏水为溶剂,分别将海藻精稀释为 1 000(T1)、1 500(T2)、2 000(T3)倍液,另设清水对照(CK,纯蒸馏水处理),盐胁迫对照(SS,即 200 mmol/L NaCl + 等量清水)。挑选籽粒饱满的黄瓜种子播种于装有等量基质的 32 穴盘中,待幼苗长出 2 片子叶时,在晴朗无风的天气于 17:00 将海藻精喷施于叶片正反两面,CK 和盐胁迫对照分别喷施等量的蒸馏水,5 d 喷施 1 次,连续喷施 2 次后,至幼苗长至 3 叶 1 心时,对 3 个海藻精处理和盐胁迫对照以灌根的方式,每穴孔灌入 10 mL 200 mmol/L NaCl 溶液模拟盐胁迫,CK 处理浇灌等量的蒸馏水。每个处理设置 3 次重复,每次重复 7 株。盐胁迫 7 d 后,取幼苗叶片测定相关指标。

1.3 指标测定及方法

用直尺测定株高;用称重法测定地上部及地下部鲜质量,采用 RC-FA-224C 电子分析天平(北京睿诚永创科技有限公司)进行测定;采用便携式光合测定系统(Li-6400,美国 LI-COR 公司)测定

叶片光合特性;叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸及 MDA 含量,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)及过氧化氢酶(CAT)活性参考李合生主编的《植物生理生化实验原理和技术》<sup>[14]</sup>测定。

1.4 数据处理

用 Excel 2019 分析数据及绘图,用 SPSS 25.0 进行显著性方差分析。

2 结果与分析

2.1 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗生长的影响

200 mmol/L NaCl 处理显著降低了黄瓜幼苗的株高、地上部及地下部鲜质量(表 1)。与 CK 相比,盐胁迫对照的株高、地上部及地下部鲜质量分别降低 34.79%、21.85% 和 34.29%。NaCl 和不同浓度海藻精共同处理下对黄瓜幼苗的生长有明显的促进作用,在不同浓度海藻精处理中,以 2 000 倍液处理下黄瓜幼苗株高、地上部及地下部鲜质量达到最大值,株高是盐胁迫对照的 1.59 倍,地上部及地下部鲜质量与盐胁迫对照相比分别显著提高 37.59%、54.35%。同时,2 000 倍液处理黄瓜幼苗各指标均高于 CK,但差异不显著,说明海藻精在缓解 NaCl 对黄瓜幼苗生长的抑制作用的同时,为黄瓜提供氮素和释放植物生长调节激素来促进其幼苗生长。当喷施海藻精 1 000 倍液时,黄瓜幼苗各指标显著低于 2 000 倍液处理。可见,盐胁迫下,喷施一定浓度的海藻精溶液能促进黄瓜幼苗的生长但浓度过高则促进效果不显著。

表 1 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗生长的影响

处理	株高 (cm)	地上部鲜质量 (g)	地下部鲜质量 (g)
CK	14.83 ± 0.60a	5.31 ± 0.20ab	0.70 ± 0.01a
SS	9.67 ± 0.22c	4.15 ± 0.15c	0.46 ± 0.08b
T1	10.23 ± 0.31c	4.30 ± 0.18c	0.56 ± 0.02b
T2	12.02 ± 0.28b	5.05 ± 0.14b	0.57 ± 0.02b
T3	15.40 ± 0.18a	5.71 ± 0.25a	0.71 ± 0.01a

注:同列数据后不同小写字母表示各处理在 0.05 水平上差异显著,下表同。

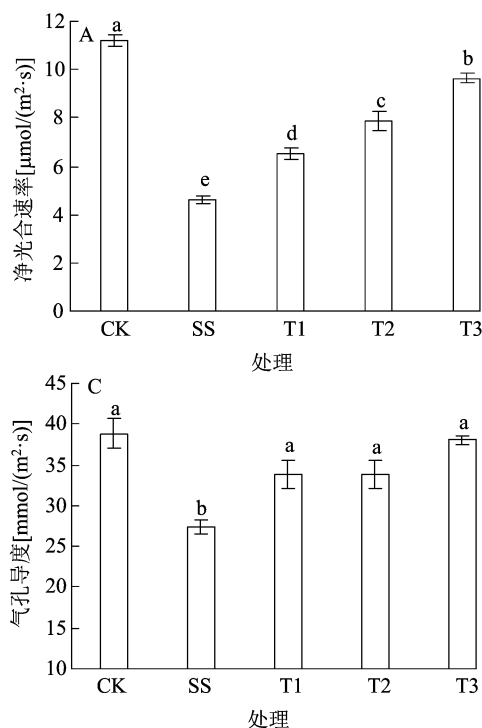
2.2 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片色素含量的影响

200 mmol/L NaCl 处理显著降低了黄瓜幼苗叶片色素的含量(表 2)。与 CK 相比,盐胁迫对照叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a + b 及类胡萝卜素含量均下降,分别降低 37.59%、62.22%、47.53%

和 42.86%。与盐胁迫对照相比,用不同稀释倍数的海藻精溶液处理后,黄瓜幼苗叶片中各色素含量均升高,其中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a + b 含量的差异达到显著性水平,提高幅度分别为 26.51% ~ 56.63%、41.18 ~ 158.82%、29.91% ~ 87.18%。在盐胁迫下,海藻精 1 000 倍液处理与盐胁迫对照相比,提高了黄瓜幼苗叶片类胡萝卜素含量,但差异未达到显著水平。可见,喷施海藻精溶液能减轻盐胁迫对黄瓜幼苗叶片光合色素的伤害,但恢复不到原有水平。黄瓜幼苗叶片色素含量随海藻精溶液浓度的降低呈现上升趋势,其中在海藻精 2 000 倍液处理时各指标达到最大值。

### 2.3 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片光合特性的影响

200 mmol/L NaCl 处理使黄瓜幼苗净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 及气孔导度 ( $G_s$ ) 显著降低 (图 1)。与 CK 相比,盐胁迫对照的  $P_n$ 、 $T_r$  及  $G_s$  分别降



柱上不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。图 2、图 3 同

图 1 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片光合特性的影响

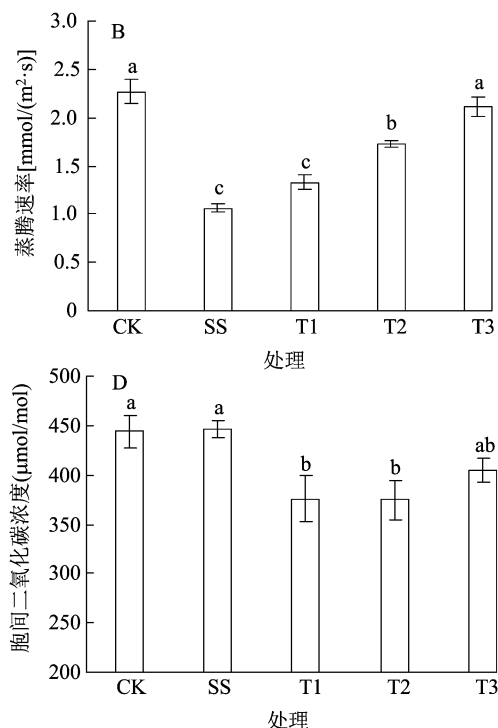
### 2.4 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片渗透调节物质含量的影响

由图 2 - A 可知,与 CK 相比,盐胁迫对照的幼苗可溶性蛋白含量显著增加;与盐胁迫对照相比,不同浓度海藻精处理下黄瓜幼苗可溶性蛋白含量均有所提高,海藻精稀释 1 500、2 000 倍时,可溶性

表 2 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗色素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素 a + b 含量 (mg/g)	类胡萝卜素含量 (mg/g)
CK	1.33 ± 0.05a	0.90 ± 0.05a	2.23 ± 0.06a	0.21 ± 0.01a
SS	0.83 ± 0.02c	0.34 ± 0.02d	1.17 ± 0.01d	0.12 ± 0.03d
T1	1.05 ± 0.07b	0.48 ± 0.05c	1.52 ± 0.12c	0.14 ± 0.01cd
T2	1.23 ± 0.04a	0.60 ± 0.02b	1.83 ± 0.06b	0.17 ± 0.01bc
T3	1.30 ± 0.01a	0.88 ± 0.01a	2.19 ± 0.01a	0.20 ± 0.01a

低 59.02%、53.30%、29.51%,但胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 降低未达到显著水平。与盐胁迫对照相比,在不同浓度海藻精处理中,海藻精 2 000 倍液处理下黄瓜幼苗叶片的  $P_n$ 、 $T_r$  及  $G_s$  达到最大值,分别是盐胁迫对照的 2.10、1.99、1.39 倍,  $C_i$  比盐胁迫对照降低 9.12%,但无显著性差异。可见,盐胁迫会使黄瓜幼苗叶片中叶绿素降解加快,导致光合作用下降,而海藻精能缓解盐胁迫对光合作用的抑制作用。



蛋白含量较盐胁迫对照分别提高 2.41%、2.77%,且达到显著差异,1 000 倍液处理下可溶性蛋白含量较盐胁迫对照提高 0.84%,但差异未达到显著水平。由图 2 - B 可知,与 CK 相比,盐胁迫对照降低了黄瓜幼苗的可溶性糖含量,但无显著性差异;在不同浓度海藻精处理中,海藻精 2 000 倍液处理下

黄瓜幼苗可溶性糖含量达到最大值,与盐胁迫对照相比显著提高 75.32%。由图 2 - C 可知,盐胁迫对照黄瓜幼苗的脯氨酸含量与 CK 相比显著增加;与盐胁迫对照相比,不同浓度海藻精处理均可显著提高黄瓜幼苗的脯氨酸含量,当海藻精稀释 2 000 倍时,黄瓜幼苗的脯氨酸含量最高,与其他处理相比差异达到显著水平,且较盐胁迫对照提高 51.63%。以上结果说明,海藻精能提高黄瓜幼苗渗透调节物质含量,增强其在盐胁迫下的渗透调节能力。

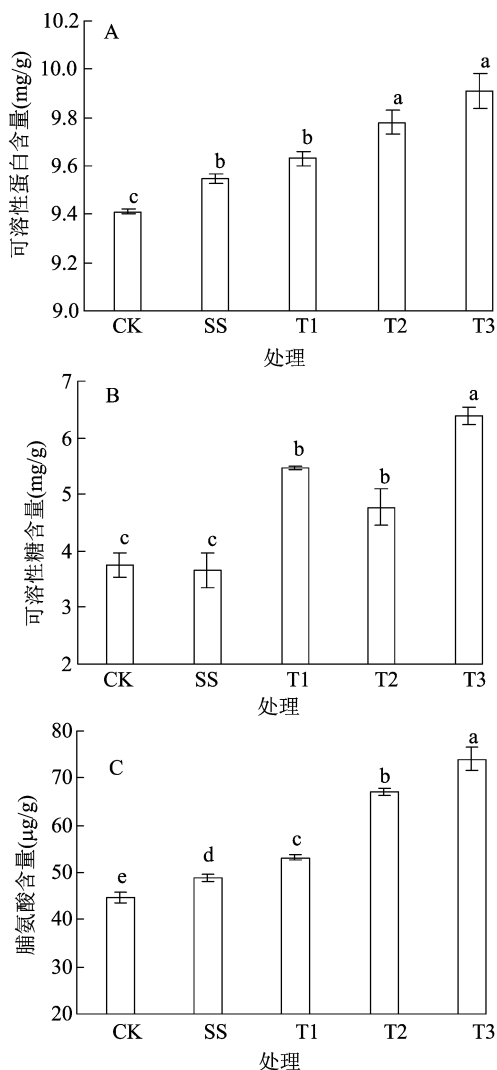


图2 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片渗透调节物质含量的影响

## 2.5 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片抗氧化酶活性及 MDA 含量的影响

与 CK 比较,200 mmol/L NaCl 处理使黄瓜幼苗叶片抗氧化酶活性及 MDA 含量均有不同程度的提高(图 3)。由图 3 - A、图 3 - B 可知,在不同浓度海藻精处理中,以 2 000 倍液处理后黄瓜 SOD 及 POD 活性达到最大值,与盐胁迫对照相比,分别显著提

高 84.61%、38.46%。由图 3 - C 可知,在 NaCl 胁迫下,经海藻精 1 500 倍液处理后黄瓜 CAT 活性最高,与盐胁迫对照相比, CAT 活性显著提高 54.55%。由图 3 - D 可以看出,正常条件下(CK)黄瓜叶片 MDA 含量为 7.18  $\mu\text{mol/g}$ ,在 NaCl 处理后,MDA 含量有所提高。在 NaCl 处理下,当海藻精稀释倍数为 1 000 倍时,相比盐胁迫对照无显著变化,但经海藻精 2 000 倍液处理后,黄瓜叶片 MDA 含量最低,比盐胁迫对照显著降低 27.91%。可见,盐胁迫会导致黄瓜叶片抗氧化酶活性下降,MDA 含量增加,海藻精处理后能明显提高黄瓜叶片抗氧化酶活性,降低 MDA 含量,减少膜的损伤程度。

## 3 结论与讨论

盐胁迫会使植物正常生长代谢过程受到抑制,造成植株生长矮小、叶片焦黄等问题<sup>[15]</sup>。张涛等研究发现,在 150 mmol/L 盐胁迫条件下,辣椒幼苗的株高、地上部鲜质量及根总体积均显著降低<sup>[16]</sup>。然而有研究发现,海藻肥能显著提高黄瓜、番茄全株鲜质量和根冠比<sup>[17]</sup>。本试验结果表明,盐胁迫会抑制黄瓜株高及全株鲜质量,经过不同浓度的海藻精处理,黄瓜幼苗生长显著高于盐胁迫对照,其中以海藻精 2 000 倍液处理效果最佳。说明海藻精可以促进黄瓜幼苗生长,提高生物量的积累,为后期黄瓜的优质、高产奠定基础。

光合作用是植物合成有机物的重要途径,在植物生长发育过程中占有重要地位。植物体中光合作用的进行主要依靠光合色素的参与,光合色素在光吸收阶段起着重要作用,它的含量往往对植物光合能力起决定性作用<sup>[18]</sup>。盐胁迫能够抑制光合作用,显著降低叶片的叶绿素相对含量<sup>[19]</sup>,但经海藻精处理后,在一定程度上能减轻盐胁迫对光合作用的抑制作用,促进有机物的积累,提高植物的耐盐性<sup>[20]</sup>。本试验结果表明,盐胁迫下幼苗叶绿素含量、 $P_n$ 、 $T_r$  和  $G_s$  等显著低于对照,叶绿素含量的降低一方面可能是因为叶绿素合成酶活性降低,导致叶绿素合成下降,另一方面由于盐胁迫导致叶绿体结构受到破坏,使叶绿素的降解加快<sup>[21]</sup>。而黄瓜光合速率的下降原因可能与盐胁迫下气孔的开度有关。但海藻精处理后盐胁迫下黄瓜叶片中的光合色素含量及光合相关指标显著上升。说明海藻精能够抑制黄瓜叶片光合色素的降解,稳定类囊体膜结构,保证盐胁迫下黄瓜叶片的光合能力,提高净

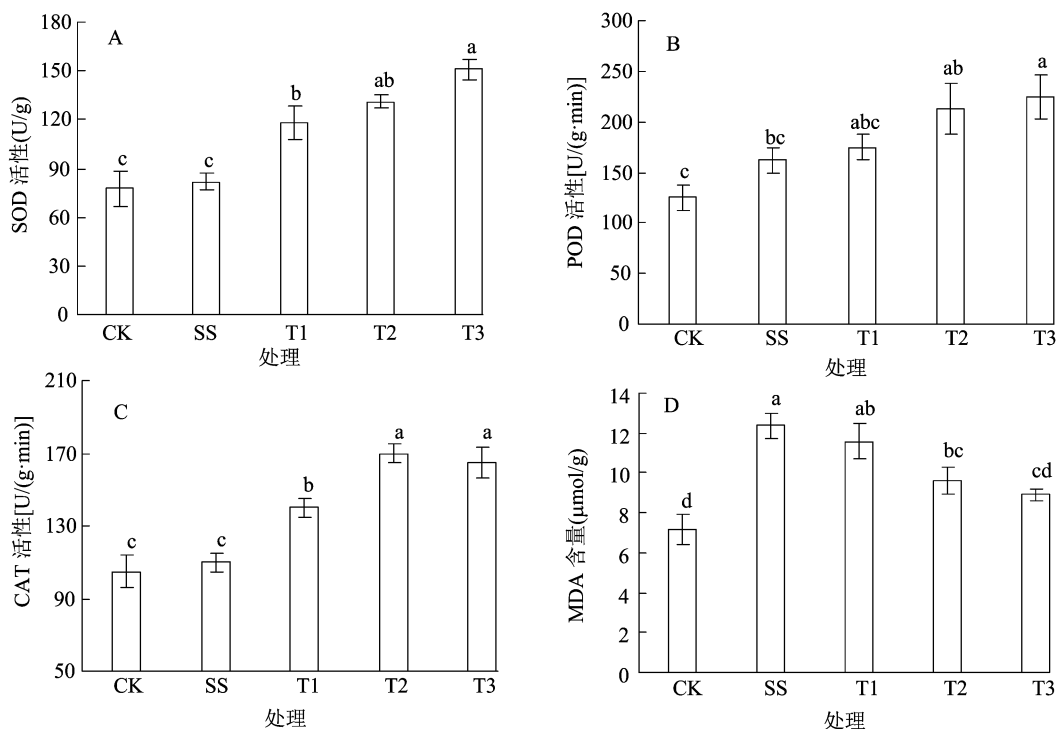


图3 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片抗氧化酶活性及 MDA 含量的影响

光合速率,增强黄瓜对盐胁迫的抵抗能力。

渗透调节物质在维持植物体内渗透平衡,保护生物膜结构、稳定酶及清除植物体内自由基中扮演重要角色,植物体内渗透调节物质主要有脯氨酸、可溶性糖及可溶性蛋白等,渗透调节物质的积累能使植物在逆境下的耐受能力得到提高<sup>[22]</sup>,正常条件下植物体内脯氨酸含量较低,但在胁迫条件下会显著增加,这主要是植物为了保护体内酶活性以及维持细胞膜的正常结构,应对胁迫的一种自我调节保护措施<sup>[23]</sup>。崔丹丹等研究发现,海藻肥能够提高菜心体内可溶性蛋白、可溶性糖及脯氨酸含量,增强体内渗透调节能力以抵御干旱胁迫<sup>[24]</sup>。本试验结果表明,盐胁迫下黄瓜幼苗体内的可溶性蛋白及脯氨酸含量均有不同程度的增加,可能是由于盐胁迫下,植株幼苗体内钠离子和氯离子浓度增加,打破了细胞的正常渗透压,导致幼苗受到渗透胁迫,此时幼苗体内渗透调节物质会不断增加以减少盐胁迫带来渗透损伤。与盐胁迫对照相比,盐胁迫下施加海藻精提高了黄瓜幼苗可溶性蛋白、可溶性糖及脯氨酸含量。其中,以海藻精 2 000 倍液处理效果最佳。说明海藻精能促进幼苗体内渗透物质积累,降低盐胁迫对细胞结构的损伤,加强渗透调节能力,提高黄瓜在盐胁迫下的耐性。

正常环境条件下,植物体内活性氧 (ROS) 含量

会保持动态平衡,但当植物受到外界干旱、盐碱等胁迫时,会破坏平衡状态<sup>[25]</sup>。ROS 的大量积累会对细胞产生毒害,而植物能通过体内的 SOD、POD 及 CAT 等抗氧化酶来清除过量的 ROS,并改善盐胁迫下的细胞氧化还原稳态<sup>[26]</sup>。MDA 可以反映生物膜的损伤程度,常作为衡量植物活性氧损伤程度的指标之一,在盐胁迫下,植物会积累大量的活性氧,导致氧化应激,进而导致丙二醛水平升高,细胞膜功能障碍,甚至造成细胞死亡<sup>[27-28]</sup>。杨建军等研究发现,在 NaCl 胁迫下,黄瓜幼苗 SOD、POD 及 CAT 酶活性均明显降低,MDA 含量显著上升,使细胞膜结构的完整性遭到破坏<sup>[29]</sup>。此次研究中发现,盐胁迫使植物体内 SOD、POD 及 CAT 酶活性有所增加,这与向警等的研究结果<sup>[30]</sup>一致,可见当黄瓜幼苗受到盐胁迫时,会通过增强抗氧化活性来抵御不良伤害。同时,与 CK 相比单独用 NaCl 处理后,黄瓜幼苗中 MDA 含量明显增加,但再用不同浓度的海藻精处理后,会降低 MDA 含量,减轻盐胁迫下细胞膜的损伤程度,提高抗氧化酶活性,有效清除盐胁迫产生的 ROS,提高黄瓜幼苗的抗盐能力。

综上所述,盐胁迫会抑制黄瓜幼苗生长,降低可溶性蛋白、可溶性糖及脯氨酸等渗透调节物质含量,提高 MDA 含量,破坏细胞膜结构的稳定性,降低植物体内叶绿素含量,影响光合作用。叶面喷施

不同浓度海藻精可以显著增加盐胁迫下黄瓜幼苗体内渗透调节物质含量,增强植物渗透调节能力,提高 SOD、POD 及 CAT 活性,清除大量 ROS,降低 MDA 含量。最终显著提高黄瓜幼苗叶绿素含量,增强光合特性,促进植物生长。综合不同的浓度效果,初步筛选出在 200 mmol/L NaCl 胁迫下,喷施海藻精 2 000 倍液最有利于缓解黄瓜幼苗受到的盐胁迫损伤,减轻盐胁迫对黄瓜幼苗的毒害作用,增强植物的抗盐碱能力。

## 参考文献:

- [1] 张成冉,徐广海,宋朝玉,等. 糖浸种对盐胁迫玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子,2021,40(8):51-56.
- [2] Porcel R, Aroca R, Azcon R, et al. Regulation of cation transporter genes by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in rice plants subjected to salinity suggests improved salt tolerance due to reduced Na<sup>+</sup> root-to-shoot distribution[J]. Mycorrhiza, 2016, 26(7):673-684.
- [3] Sheng M, Tang M, Zhang F F, et al. Influence of arbuscular mycorrhiza on organic solutes in maize leaves under salt stress[J]. Mycorrhiza, 2011, 21(5):423-430.
- [4] 何锐,谭星,高美芳,等. 添加不同浓度海藻肥对水培芥蓝生长及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(11):2051-2059.
- [5] 姜洁,龚一富,郭蓉,等. 海藻生物肥对草莓产量和品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(5):1032-1037.
- [6] Hernández-Herrera R M, Santacruz-Ruvalcaba F, Ruiz-López M A, et al. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. Journal of Applied Phycology, 2014, 26(1):619-628.
- [7] 袁良明,霍治国,郑馥琪,等. 海藻精对玉米种子萌发及苗期水分胁迫的影响[J]. 玉米科学, 2019, 27(1):62-68.
- [8] Carrasco-Gil S, Hernandez-Apaolaza L, Lucena J J. Effect of several commercial seaweed extracts in the mitigation of iron chlorosis of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. Plant Growth Regulation, 2018, 86(3):401-411.
- [9] Hashem H A, Mansour H A, El-Khawas S A, et al. The potentiality of marine macro-algae as bio-fertilizers to improve the productivity and salt stress tolerance of canola (*Brassica napus* L.) plants[J]. Agronomy, 2019, 9(3):146.
- [10] 李婧,高小佳,章孜亮. 海藻精对于早胁迫下小白菜种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2021(6):36-42.
- [11] Sridhar S, Rengasamy R. Potential of seaweed liquid fertilizers (SLFS) on some agricultural crop with special reference to protein profile of seedlings[J]. International Journal Development Research, 2011(7):55-57.
- [12] Miao Y X, Wang X Z, Gao L H, et al. Blue light is more essential than red light for maintaining the activities of photosystem II and I and photosynthetic electron transport capacity in cucumber leaves [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(1):87-100.
- [13] 刘东让,董邵云,苗晗,等. 黄瓜耐盐胁迫遗传育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2021(7):14-23.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [15] 王庆彪,王艳萍,令狐波,等. 盐胁迫对萝卜幼苗生长及 *RsCAT* 和 *RsSOD* 基因表达的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(6):1-6.
- [16] 张涛,马肖静,朱新红,等. NaCl 胁迫对不同耐盐性辣椒幼苗生理生化指标的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(12):38-43.
- [17] 崔维香,刘正一,王明鹏,等. 海藻提取液对黄瓜·番茄种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(15):28-33, 53.
- [18] 高星李,李若婵,温祥珍,等. 红光和远红光比例对盐胁迫下黄瓜幼苗生长和光合特性的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(10):36-41.
- [19] Zhao H Y, Liang H Y, Chu Y B, et al. Effects of salt stress on chlorophyll fluorescence and the antioxidant system in *Ginkgo biloba* L. seedlings[J]. HortScience, 2019, 54(12):2125-2133.
- [20] 王向丽. 外源海藻肥缓解番茄幼苗盐胁迫的效果分析及生理机理[D]. 洛阳:河南科技大学, 2019.
- [21] 章华婷,金则新,赵喆,等. 盐胁迫对濒危植物夏蜡梅生长及光合生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(7):142-146.
- [22] Miller G, Suzuki N, Ciftci-Yilmaz S, et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses[J]. Plant Cell and Environment, 2010, 33(4):453-467.
- [23] Sun Y, Wang H, Liu S. Exogenous application of hydrogen peroxide alleviates drought stress in cucumber seedlings[J]. South African Journal of Botany, 2016, 106:23-28.
- [24] 崔丹丹,杨锦,耿银银,等. 海藻肥对菜心抗旱性的影响及其机理探究[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(7):1185-1197.
- [25] 刘婷婷,卫旭阳,翟锡姣,等. 外源褪黑素对盐渍环境下黄瓜幼苗生长的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(3):125-132.
- [26] Foyer C H, Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling[J]. New Phytologist, 2000, 146(3):359-388.
- [27] Lee D H, Kim Y S, Lee C B. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Journal of Plant Physiology, 2001, 158(6):737-745.
- [28] 高婷,张杰,马瑞红,等. NaCl 胁迫对黑籽南瓜生长和生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(6):122-124.
- [29] 杨建军,张国斌,郁继华,等. 盐胁迫下内源 NO 对黄瓜幼苗活性氧化代谢和光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19):3778-3788.
- [30] 向警,黄倩,鞠春燕,等. 外源褪黑素对盐胁迫下水稻种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 植物生理学报, 2021, 57(2):393-401.