

水培茄子幼苗对 NaCl 胁迫的响应研究

张爱慧, 王倩, 朱士农, 崔群香

(金陵科技学院园艺园林学院, 江苏 南京 210038)

摘要:以苏崎 1 号茄子幼苗为试验材料, 研究不同浓度 NaCl 溶液和不同 NaCl 胁迫时间对水培茄子幼苗的生长和生理特性的影响。试验结果表明: 茄子幼苗经不同浓度和不同时间的 NaCl 溶液胁迫后, 幼苗生物量、叶绿素含量和光合参数较对照有明显的下降趋势; 幼苗保护酶活性、超氧阴离子产生速率、可溶性蛋白质含量、丙二醛(MDA)含量和过氧化氢含量较对照有明显的增加趋势。研究结果对连作盐渍化土壤条件下茄子栽培具有一定的参考作用。

关键词:水培茄子幼苗; NaCl 胁迫; 生理特性; 保护酶

中图分类号: S641.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2022)02-0080-06

Response of Hydroponic Eggplant Seedlings to NaCl Stress

ZHANG Ai-hui, WANG Qian, ZHU Shi-nong, CUI Qun-xiang

(Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038, China)

Abstract: Taking Suqi 1 eggplant seedlings as materials, the effects of different concentrations of NaCl solution and different NaCl stress time on the growth and physiological characteristics of hydroponic eggplant seedlings are studied. The results show that the biomass, chlorophyll content and light parameters of eggplant seedlings under the different concentrations and different time of NaCl solution stress show a significant downward trend compared with the control. The protective enzyme activity, superoxide anion production rate, soluble protein content, malondialdehyde(MDA) content and hydrogen peroxide content of eggplant seedlings under different concentrations and different time of NaCl solution stress show obvious increasing trend compared with the control. The research results can be used as a reference for eggplant cultivation in continuous cropping saline soil.

Key words: hydroponic eggplant seedlings; NaCl stress; physiological characteristics; protective enzymes

茄子(*Solanum melongena* L.)属茄科植物, 广泛分布于世界各地, 其中亚洲栽培茄子总产量占世界总产量的 74% 左右^[1]。中国是茄子的第二起源中心, 全国各地均有栽培。为了满足冬季蔬菜市场对茄子的需求, 我国的茄子设施栽培面积逐年增加^[2], 目前已基本实现了全年生产和供应。但在常年设施连作栽培条件下, 土壤盐渍化不断加重, 导致茄子产量和品质下降^[3]。植物幼苗期对 NaCl 胁迫极其敏感, 在此阶段土壤中包括 NaCl 在内的各种盐分浓度达到阈值时会造成植物离子毒害的发生^[4]。当植物根系处于高浓度的盐分环境时, 其吸收营养元素的能力就会降低, 植物的正常生长就会受到影响^[5-6]。当茄子种子处

收稿日期: 2022-03-25

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目(CX(210)3028); 江苏省大学生创新创业训练计划项目(202013573059Y)

作者简介: 张爱慧(1970—), 女, 山东巨野人, 副教授, 博士, 主要从事设施园艺教学与科研工作。

于高浓度的 NaCl 溶液环境时,茄子种子的萌发会受到抑制,茄子幼苗净光合速率会降低,从而影响叶绿素的合成^[7-8]。为了解茄子对 NaCl 胁迫的响应,本研究以茄子幼苗为试验材料,研究不同浓度 NaCl 溶液处理水培条件下,茄子幼苗的生长和各种生理指标的变化,从而进一步了解 NaCl 胁迫对茄子幼苗生长及生理特性的影响,以期为茄子耐盐栽培提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

苏崎 1 号茄子种子购自江苏省江蔬种苗科技有限公司。试验药剂为 NaCl 分析纯。

1.2 试验方法

本试验于金陵科技学院幕府校区园艺站和实验室进行。选取整齐一致、饱满的茄子种子,用 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 GA3 溶液浸种 10 h,置于光照培养箱中催芽,当 60% 的种子露白后播种于 32 孔穴盘(育苗基质为泥炭:蛭石:珍珠岩=2:1:1)中,当有 70% 种子出苗后,及时揭去地膜,常规管理。待幼苗长出 3~4 片真叶时,用自来水将幼苗根系上的基质洗净,定植于盛装营养液的 20 孔水培箱中,接通增氧泵。幼苗缓苗后进行 4 个浓度的 NaCl 溶液处理,分别为 50、100、150、200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。以纯营养液培养为对照(CK),重复 3 次。分别在不同浓度 NaCl 溶液处理后的 3 d、6 d 取生长点下第 2~3 片展开叶进行各项指标的测定。

1.3 相关指标的测定

1.3.1 生物量的测定

用吸水纸将洗净的茄子幼苗根、茎及叶表面水分迅速吸干,并对样品分别称重,即为鲜重(FW)。将称重后的样品,装入已知重量的牛皮纸袋中,做好标记封好袋口,放入鼓风干燥箱中 $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青 20 min,然后将烘箱的温度降低到 $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$,烘至恒重,称取其重量,即为干重(DW)。

1.3.2 相关生理指标的测定

采用 95% 乙醇溶液浸提法测定叶绿素含量^[8];参照文献^[9]的方法测定过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)及超氧化物歧化酶(SOD)的活性;采用考马斯亮蓝 G-250 方法测定可溶性蛋白质含量^[10];参照文献^[11]的方法测定超氧阴离子产生速率;采用硫代巴比妥酸法(TBA 比色法)测定丙二醛含量^[9];采用南京建成生物有限公司提供的过氧化氢试剂盒测定过氧化氢含量。

1.3.3 光合参数的测定

NaCl 胁迫处理 3 d 时,利用便携式光合仪(LI-6400 型,由美国 LI-COR 公司生产)于上午 10:00 左右测定茄子叶片的光合参数。

1.3.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理,并且运用 SPSS 24.0 软件对数据利用新复极差法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对水培茄子幼苗生物量的影响

由表 1 可知,随着 NaCl 溶液处理浓度的增加,茄子幼苗的各生物量呈下降趋势。NaCl 溶液胁迫 3 d 时,200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理茄子幼苗的各生物量均显著低于 CK 和其他浓度处理,较 CK 分别降低了 63.63%、49.02%、60.98%、65.61%。NaCl 胁迫 6 d 时,200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理茄子幼苗的各生物量下降到最低,分别为 0.05 g、0.46 g、0.14 g、0.72 g,显著低于 CK,较 CK 分别降低了 68.75%、54%、60%、69.23%。

2.2 NaCl 胁迫对水培茄子幼苗光合参数的影响

由表 2 可知,随着 NaCl 溶液处理浓度的增加,茄子幼苗叶片净光合速率呈下降趋势,其中 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理叶片净光合速率最低,与 CK 相比下降了 48.02%,150 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理次之,与 CK 相比下降了 38.58%,两者与 CK 相比差异显著,其余处理与 CK 相比差异不显著。

茄子幼苗叶片气孔导度(Gs)随着 NaCl 溶液处理浓度的增加呈下降趋势,其中 200 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理时叶片气孔导度最低,较 CK 下降了 80.95%,各处理与 CK 差异显著。

茄子幼苗蒸腾速率(Tr)随着 NaCl 溶液处理浓度的增加呈下降趋势,其中 NaCl 溶液处理浓度为 200 mmol · L⁻¹时,茄子幼苗叶片蒸腾速率最低为 0.31 g · m⁻² · h⁻¹,与 CK 相比下降了 74.80%,除 50 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理外,其余处理与 CK 的差异均达到显著水平。

胞间 CO₂ 浓度(Ci)随着 NaCl 溶液处理浓度的增加呈下降趋势,其中 200 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理时胞间 CO₂ 浓度最低,为 83.33 μmol · mol⁻¹,较 CK 相比下降了 60.19%,各处理与 CK 差异显著。

以上结果表明,随着 NaCl 溶液处理浓度的增加,水培茄子幼苗的光合作用受到严重的影响(如表 1 和表 2 所示)。

表 1 NaCl 胁迫对水培茄子幼苗生物量的影响

胁迫时间/d	处理浓度/(mmol · L ⁻¹)	地下部分干重/g	地下部分鲜重/g	地上部分干重/g	地上部分鲜重/g
3	CK	0.11±0.021a	1.02±0.012a	0.41±0.077a	2.21±0.014a
	50	0.10±0.049a	0.96±0.019a	0.34±0.006b	1.22±0.052b
	100	0.08±0.007b	0.62±0.033b	0.27±0.063c	1.13±0.063b
	150	0.06±0.004c	0.59±0.007b	0.21±0.021c	1.10±0.043b
	200	0.04±0.028d	0.52±0.010c	0.16±0.035d	0.76±0.036c
6	CK	0.16±0.014a	1.0±0.014a	0.35±0.006a	2.34±0.037a
	50	0.11±0.049b	0.96±0.007a	0.32±0.009ab	2.30±0.075a
	100	0.11±0.002b	0.56±0.009b	0.30±0.001ab	1.41±0.005b
	150	0.06±0.004c	0.47±0.004c	0.21±0.009b	0.97±0.007bc
	200	0.05±0.001c	0.46±0.009c	0.14±0.008c	0.72±0.006c

注:表中同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

表 2 NaCl 胁迫对水培茄子幼苗光合参数的影响

处理浓度/(mmol · L ⁻¹)	净光合速率(Pn)/(μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	气孔导度(Gs)/(mmol · m ⁻² · s ⁻¹)	蒸腾速率(Tr)/(g · m ⁻² · h ⁻¹)	胞间 CO ₂ 浓度(Ci)/(μmol · mol ⁻¹)
CK	10.60±0.482a	0.21±0.055a	1.23±0.023a	209.33±25.658a
50	10.34±1.203a	0.10±0.029b	1.11±0.010ab	165.00±24.637b
100	9.73±1.645a	0.08±0.062b	0.76±0.030b	161.66±22.954b
150	6.51±1.005b	0.07±0.224b	0.35±0.051c	143.33±15.270b
200	5.51±0.752b	0.04±0.006c	0.31±0.044c	83.33±18.847c

2.3 NaCl 胁迫对水培茄子幼苗叶绿素含量的影响

由图 1 可知,随着 NaCl 溶液处理浓度的增加和 NaCl 胁迫时间的延长,茄子幼苗叶绿素含量呈下降趋势。在 NaCl 胁迫 3 d 和 6 d 两种情况下,各浓度处理叶绿素含量均显著低于 CK,其中 200 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理幼苗叶绿素含量下降到最低,显著低于其他处理。

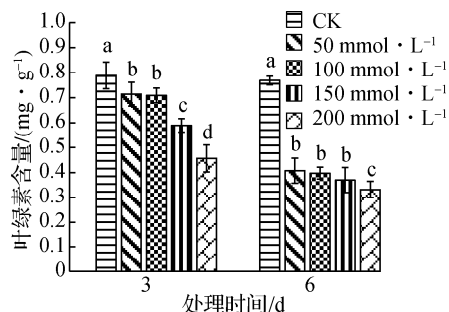
2.4 NaCl 胁迫对水培茄子幼苗保护酶活性的影响

2.4.1 对过氧化氢酶(CAT)活性的影响

由图 2 可知,同一浓度处理条件下,随着 NaCl 胁迫时间的延长,茄子幼苗叶片 CAT 活性呈增加趋势。NaCl 胁迫 3 d 时,茄子幼苗叶片 CAT 活性随着 NaCl 溶液处理浓度的增加呈增加趋势,200 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理茄子幼苗叶片中 CAT 活性达到最大,各处理 CAT 活性均显著高于 CK。

NaCl 胁迫 6 d 时,茄子幼苗叶片 CAT 活性随着 NaCl 溶液处理浓度的增加呈先增加后降低的趋势,100 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理茄子幼苗叶片中的 CAT 活性达到最大,150 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理次之,各处理 CAT 活性均显著高于 CK。以上结果表明,一定浓度 NaCl 胁迫后 CAT 活性提高,增强了茄子

幼苗叶片清除过氧化氢的能力,降低了自由基和活性氧对茄子幼苗叶片的伤害。



注:图中不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

图1 NaCl胁迫对水培茄子幼苗叶绿素含量的影响

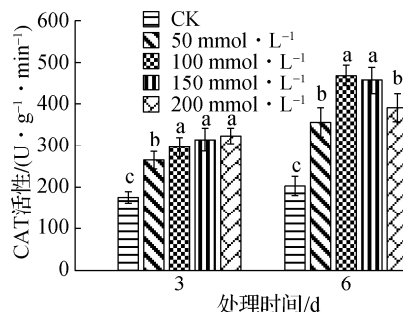


图2 NaCl胁迫对水培茄子幼苗CAT活性的影响

2.4.2 对过氧化物酶(POD)活性的影响

由图3可知,同一NaCl胁迫时间条件下,随着NaCl溶液处理浓度的增加,茄子幼苗叶片中POD活性呈先增加后降低的趋势;同一浓度处理条件下,随着NaCl胁迫时间的延长,茄子幼苗叶片中POD活性呈增加的趋势。NaCl胁迫3d时,100 mmol · L⁻¹ NaCl溶液处理茄子幼苗叶片中POD活性达到最大值,50 mmol · L⁻¹ NaCl溶液处理次之,各处理POD活性均显著高于CK。NaCl胁迫6d时,150 mmol · L⁻¹ NaCl溶液处理茄子幼苗叶片中POD活性达到最大值,100 mmol · L⁻¹ NaCl溶液处理次之,各处理POD活性均显著高于CK。

2.4.3 对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

由图4可知,同一NaCl胁迫时间条件下,随着NaCl溶液处理浓度的增加,茄子幼苗叶片中SOD活性呈先增加后降低的趋势。在NaCl胁迫3d和6d两种情况下,茄子幼苗叶片中SOD活性均在100 mmol · L⁻¹ NaCl溶液处理时达最大值,各浓度处理的SOD活性均显著高于CK。

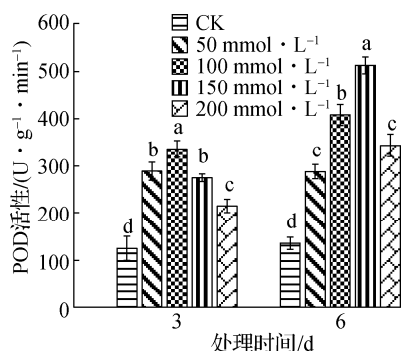


图3 NaCl胁迫对水培茄子幼苗POD活性的影响

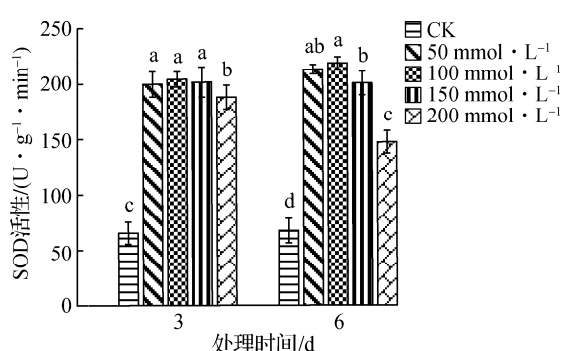


图4 NaCl胁迫对水培茄子幼苗SOD活性的影响

2.5 NaCl胁迫对水培茄子幼苗超氧阴离子产生速率的影响

由图5可知,同一NaCl胁迫时间条件下,随着NaCl溶液处理浓度的增加,茄子幼苗叶片超氧阴离子产生速率呈先增加后降低的趋势;同一浓度处理条件下,随着NaCl胁迫时间的延长,茄子幼苗叶片超氧阴离子产生速率呈增加趋势。在NaCl胁迫3d和6d两种情况下,茄子幼苗叶片超氧阴离子产生速率均在150 mmol · L⁻¹ NaCl溶液处理时达到最大值,各浓度处理的超氧阴离子产生速率均显著高于CK。

2.6 NaCl胁迫对水培茄子幼苗可溶性蛋白质含量的影响

由图6可知,同一NaCl胁迫时间条件下,随着NaCl溶液处理浓度的增加,茄子幼苗叶片可溶性蛋白质含量呈先增加后降低的趋势;同一浓度处理条件下,随着NaCl胁迫时间的延长,茄子幼苗叶片可溶性蛋白质含量呈增加的趋势。在NaCl胁迫3d和6d两种情况下,茄子幼苗叶片可溶性蛋白质含量均在100 mmol · L⁻¹ NaCl溶液处理时达到最大值,各浓度处理的可溶性蛋白质含量均显著高于CK。

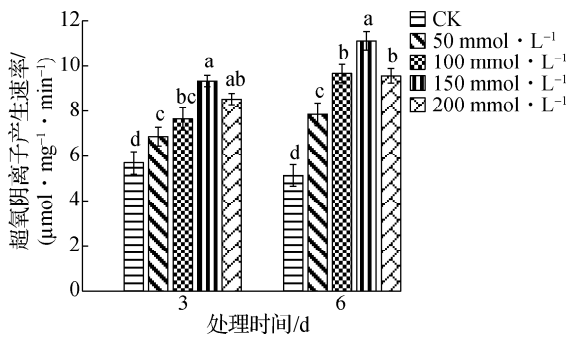


图5 NaCl胁迫对水培茄子幼苗超氧阴离子产生速率的影响

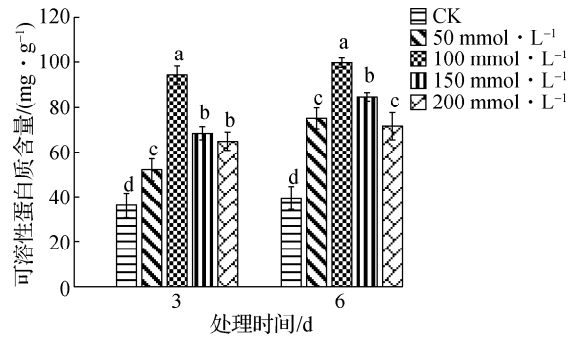


图6 NaCl胁迫对水培茄子幼苗可溶性蛋白质含量的影响

2.7 NaCl胁迫对水培茄子幼苗丙二醛(MDA)含量的影响

由图7可知,同一NaCl胁迫时间条件下,随着NaCl溶液处理浓度的增加,茄子幼苗叶片中的MDA含量呈增加趋势;同一浓度处理条件下,随着NaCl胁迫时间的延长,茄子幼苗叶片中的MDA含量呈增加趋势。在NaCl胁迫3d和6d两种情况下,茄子幼苗叶片中的MDA含量均在200 mmol·L⁻¹ NaCl溶液处理时达到最大值,除50 mmol·L⁻¹ NaCl溶液处理外,其余处理的MDA含量均显著高于CK。

2.8 NaCl胁迫对水培茄子幼苗过氧化氢含量的影响

由图8可知,同一NaCl胁迫时间条件下,随着NaCl溶液处理浓度的增加,茄子幼苗叶片中过氧化氢含量呈增加趋势;同一浓度处理条件下,随着NaCl胁迫时间的延长,茄子幼苗叶片中过氧化氢含量呈增加的趋势。在NaCl胁迫3d和6d两种情况下,茄子幼苗叶片过氧化氢含量均在200 mmol·L⁻¹ NaCl溶液处理时达到最大值,各处理过氧化氢含量均显著高于CK。以上结果表明,茄子幼苗经不同浓度的NaCl溶液处理后,膜脂过氧化程度加剧,过氧化氢含量显著提升。

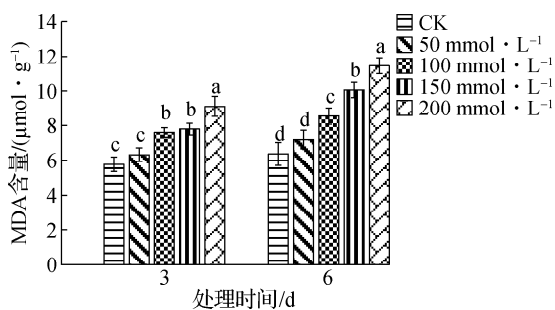


图7 NaCl胁迫对水培茄子幼苗MDA含量的影响

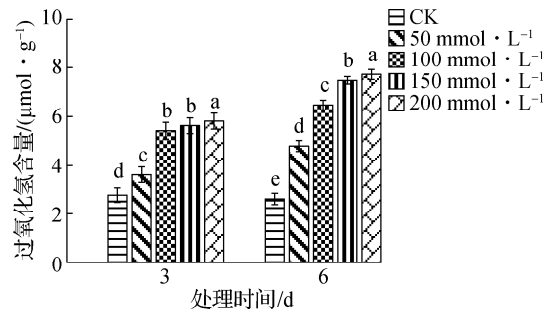


图8 NaCl胁迫对水培茄子幼苗过氧化氢含量的影响

3 结论与讨论

不同茄子品种苗期耐盐性存在一定差异,吴宏琪等^[12]对不同类型茄子品种耐盐性进行研究,发现绿茄和长茄类品种耐盐性较强,圆紫茄品种耐盐性最弱;张宇等^[13]对190份茄子种质资源进行盐胁迫处理,发现刺茄、蒜芥茄、马来亚茄、眉州墨茄和天津二茺茄等5个品种具有较强的耐盐性。同一品种在不同的盐浓度胁迫条件下,茄子苗期生长及生理特性受到的影响不同,如本试验中随着NaCl溶液处理浓度的增加,茄子幼苗生物量明显下降,其中200 mmol·L⁻¹ NaCl溶液处理时,茄子幼苗的生物量显著下降。任艳芳等^[10]认为随着盐浓度的增加,莴苣幼苗的生物量呈现降低趋势,这与本试验得出结果相似。NaCl胁迫不仅影响植物生长,对其生理生化特性也有明显影响。本试验中在同一NaCl胁迫时间条件下,随着NaCl溶液处理浓度的增加,茄子幼苗叶绿素含量和净光合速率呈下降趋势,表明高浓度盐分使叶绿体遭

到破坏导致叶绿素含量下降,这与过晓明等^[14]、赵跃锋等^[15]的研究结果一致。此外,NaCl 胁迫时,植物体内活性氧含量升高,但是随着 NaCl 溶液处理浓度的增加,植物体内活性氧大量积累,导致植物细胞遭受活性氧的伤害^[2]。植物体内重要的保护酶包括 SOD、CAT 和 POD 等,对活性氧具有清除作用,可减轻活性氧对植物细胞造成的伤害^[6]。本试验结果表明,茄子幼苗随着 NaCl 胁迫浓度的升高和胁迫时间的延长,叶片中的保护酶活性较 CK 有一定的升高,表明茄子幼苗在 NaCl 胁迫下,体内的保护酶系统被启动,用来减轻活性氧带来的伤害。

水培茄子在不同浓度和不同时间 NaCl 胁迫下,苗期表型和生理特性均发生明显变化。当 NaCl 溶液处理浓度高于 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,茄子幼苗的各项生理指标均受到严重影响,最终导致茄子植株生长缓慢、萎蔫。当 NaCl 溶液处理浓度达到 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 且胁迫时间较长时,植株生长基本停滞,下部叶片明显失水萎蔫,主根系生长受阻,须根停止生长且部分须根退化,这可能是水培茄子经 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理 6 d 后植株鲜重和干重显著降低的原因。本试验在 NaCl 胁迫条件下进行茄子幼苗生长情况的分析,对连作盐渍化土壤条件下茄子栽培具有一定的参考作用。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1999
- [2] 高倩,冯棣,刘杰,等. 外源物缓解植物盐分胁迫的作用机理及其分类[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(11):2030 - 2044
- [3] 张玲,王华,徐强,等. NaCl 胁迫对茄子幼苗生理指标的影响[J]. 安徽农业大学学报,2014,41(6):965 - 970
- [4] 付丽,刘加珍,陶宝先,等. 盐生植物对盐渍土壤环境的适应机制研究综述[J]. 江苏农业科学,2021,49(15):32 - 39
- [5] 吕金印,赵晖,冯万健. NaCl 胁迫对甜高粱幼苗保护酶活性等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(6):133 - 137
- [6] 柯勇超,刘昱,赵燕春,等. 园林植物盐胁迫生理和分子机制研究进展[J/OL]. 分子植物育种,(2022 - 01 - 06)[2022 - 02 - 16]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220106.1038.002.html>
- [7] 赵跃锋,任晓雪,陈昆. 盐胁迫对茄子种子萌发、光合指标及叶绿素荧光参数的影响[J]. 天津农业科学,2018,24(8):4 - 6,10
- [8] 吴雪霞,查丁石,朱宗文,等. 外源 24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 植物生理学报,2011,47(6):607 - 612
- [9] 王学奎,黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2015
- [10] 任艳芳,何俊瑜,何师加. 盐胁迫对茼蒿种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2008(8):35 - 36
- [11] 王爱国,罗广华. 植物的超氧化物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
- [12] 吴宏琪,林碧英,李彩霞,等. 不同茄子品种幼苗期耐盐性评价[J]. 河南农业科学,2020,49(10):92 - 100
- [13] 张宇,马乐,卢垚,等. 茄子种质资源耐盐性鉴定及耐盐评价指标筛选[J]. 中国蔬菜,2018(9):14 - 23
- [14] 过晓明,张楠,马代夫,等. 盐胁迫对 5 种甘薯幼苗叶片叶绿素含量和细胞膜透性的影响[J]. 江苏农业科学,2010,38(3):93 - 94
- [15] 赵跃锋,陈昆,张清华. 盐胁迫对茄子光合特性、叶绿素荧光及保护酶活性的影响[J]. 山西农业科学,2018,46(11):1797 - 1799,1906

(责任编辑:谭彩霞)