

张爱慧,崔群香,杨梦娴,等. 聚乙二醇-6000 胁迫对茄子幼苗生长及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(17):138-142.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.17.022

聚乙二醇-6000 胁迫对茄子幼苗生长及酶活性的影响

张爱慧,崔群香,杨梦娴,朱士农

(金陵科技学院园艺园林学院,江苏南京 210038)

摘要:为研究不同浓度聚乙二醇-6000 胁迫对茄子幼苗生长及保护酶活性的影响,以苏崎 1 号茄子为材料,分别用 5%、10%、15% 聚乙二醇-6000 对茄子幼苗进行处理,测定茄子幼苗干质量、鲜质量、叶绿素含量、净光合速率及酶活性等的变化。结果表明,聚乙二醇-6000 胁迫对茄子幼苗生长有一定的影响。随着干旱胁迫处理浓度的升高,茄子幼苗的干质量、鲜质量变化明显,叶绿素含量逐渐降低,而净光合速率呈现先升高后降低的趋势,在 5% 聚乙二醇-6000 处理下达到最大值,15% 聚乙二醇-6000 处理下净光合速率显著降低;而随着胁迫时间的延长和聚乙二醇-6000 处理浓度的升高,过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性呈现逐渐升高的趋势,处理 3 d 时抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性随聚乙二醇-6000 浓度升高而升高,说明干旱胁迫提高了茄子幼苗的保护酶活性,缓解了干旱胁迫对幼苗的伤害。

关键词:茄子;干旱胁迫;聚乙二醇-6000(PEG-6000);超氧化物歧化酶(SOD);过氧化物酶(POD)

中图分类号:S641.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)17-0138-05

随着全球气候的变化,局部干旱已经成为影响农业生产的最大威胁之一。我国约有 50% 的耕地处于干旱或半干旱地区,干旱胁迫不仅影响植物的生长发育,而且对作物产量和品质都构成了严重威胁^[1]。蔬菜作物是喜水肥的经济作物,提高蔬菜作物的耐旱性或降低其对干旱胁迫的敏感性是增加蔬菜作物产量的有效途径。已有研究发现,一定时间或强度的干旱胁迫能够严重抑制植物地上部及根系的正常生长,影响植物的光合作用,使植物叶片萎蔫、黄化甚至导致植物叶片中的叶绿素发生降解,光合能力迅速减弱,进而造成植物的干物质积

累量下降^[2]。干旱胁迫还导致植物细胞内活性氧积累,加剧细胞的膜脂过氧化程度,导致植物的抗旱能力减弱^[3]。

为了更好地研究干旱对作物的影响,研究者常以聚乙二醇-6000(PEG-6000)作为模拟干旱的理想水势调节剂来研究植物的抗旱性能和机制^[2-4]。近年来,研究者采用 PEG-6000 模拟干旱胁迫,对不同作物的耐旱性能进行了大量研究,其中尤以幼苗期的抗旱性研究较多^[1-5],但 PEG-6000 对植物生长发育的影响是一个复杂的问题,需要进一步研究干旱胁迫模式下植物的耐旱反应及其生理机制。

茄子(*Solanum melongena* L.)属于茄科茄属植物,是我国南北方栽培面积较大的蔬菜之一。茄子生长旺盛、叶面积较大,在茄子生长期需水量较多,一般认为土壤田间持水量达 80% 比较适宜其生长^[6],茄子生长期间的耐旱力弱,在干旱条件下植

收稿日期:2021-09-05

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(21)3028];江苏省大学生创新创业训练计划(编号:202013573059Y)。

作者简介:张爱慧(1970—),女,山东巨野人,硕士,副教授,主要从事设施蔬菜栽培和生理研究。E-mail:zah@jit.edu.cn。

[25] 郝亚利. 基于代谢谱分析的不同光质处理对茶鲜叶品质形成的影响研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2010.

[26] Possart A, Fleck C, Hiltbrunner A. Shedding (far-red) light on phytochrome mechanisms and responses in land plants[J]. Plant Science, 2014, 217/218: 36-46.

[27] 张欢. 光环境调控对植物生长发育的影响[D]. 南京:南京农业大学,2010.

[28] 史宏志,韩锦峰,远彤,等. 红光和蓝光对烟叶生长、碳氮代谢和品质的影响[J]. 作物学报,1999,25(2):215-220.

[29] 邓江明,蔡群英,潘瑞灿. 光质对水稻幼苗蛋白质、氨基酸含量的影响[J]. 植物学通报,2000,35(5):419-423.

[30] 唐敏,翟秀明,李解,等. 不同物候期茶树品种(系)叶绿素荧光特性研究[J]. 南方农业,2020,14(28):9-12.

[31] 蔡倩,白一光. 果粮间作对仁用杏生长及叶绿素荧光参数的影响[J]. 农业科技与装备,2020(6):1-4.

[32] 徐金涛,庞敏,马新,等. CO₂ 加富对塔玛亚历山大藻叶绿素荧光参数及产毒的影响[J]. 海洋与湖沼,2016,47(3):557-563.

株发育不良,会妨碍花的发育,已形成短柱花,使得果实发育受阻,果形小且无光泽^[7],因此在茄子生长期缺水会严重影响茄子的生长并造成产量降低。本研究以苏琦 1 号茄子为材料,研究聚乙二醇-6000 模拟干旱胁迫下茄子幼苗的抗旱性及其相关酶活性的变化,以期为茄子抗旱栽培及抗旱性鉴定提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

分析纯 PEG-6000,购自国药集团化学试剂有限公司。苏琦 1 号茄子种子,购自江苏省江蔬种苗科技有限公司。

1.2 试验方法

本试验于 2020 年 3 月至 2021 年 1 月在金陵科技学院园艺实验站玻璃温室、实验室内进行。选取整齐一致、饱满的茄子种子,用 50 ℃ 温水浸种 15 min,之后用 100 mg/L GA₃ 浸种 6 h,置于光—暗周期为 16 h(30 ℃)—8 h(20 ℃)的光照培养箱中催芽,待 70% 种子露白后播种,育苗基质为泥炭—珍珠岩—蛭石混合物(体积比为 2:1:1),按常规管理。待幼苗长至 3~4 张真叶时,用自来水将幼苗根系的基质洗净,再将幼苗移栽到盛有营养液的 20 孔水培箱中,接通增氧泵,按常规管理。待茄子幼苗长到 3~4 张真叶时,定植于水培槽中,幼苗缓苗后进行如下 3 种处理:处理 1,5% PEG-6000;处理 2,10% PEG-6000;处理 3,15% PEG-6000。以纯营养液栽培作为对照(CK),共设 3 次重复。分别于 PEG-6000 干旱胁迫 0、3、6 d 时取生长点下第 2~3 张功能叶,测定相关指标。

1.2 相关指标的测定方法

1.2.1 茄子根、茎干、鲜质量的测定 将洗净的茄子幼苗根、茎、叶表面的水分吸干,分别称其质量,即得鲜质量(FW);将称质量的样品装入已知质量的纸袋中,放入鼓风干燥箱中于 105 ℃ 杀青 20 min,然后于 75 ℃ 烘至恒质量后称质量^[8],即得干质量(DW)。

1.2.2 叶绿素含量的测定 分别取不同处理茄子幼苗的最大功能叶,用蒸馏水洗净、吸干表面水分后,剪去叶脉、叶缘,将叶片剪碎,称取 0.1 g 新鲜样品放入 10 mL 离心管中,加入 8 mL 95% 乙醇提取液,盖好盖子,将离心管避光保存,浸提 24 h 后取出,分别在波长 663、645、470 nm 处测定吸光度,并

计算不同处理茄子叶片叶绿素含量。

1.2.3 净光合速率(P_n)的测定 处理第 3 天用便携式叶绿素荧光仪(Li-6400 型,美国 Li-Cor 公司生产)于 10:00 测定茄子叶片的净光合速率。

1.2.4 茄子幼苗过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性的测定 将从金陵科技学院园艺实验站取回的新鲜样品放在冰袋上剪碎,并称取 0.2 g 放入预冷的研钵中,加入 2 mL 配制好的磷酸缓冲液(0.01 mol/L, pH 值=7.8),在冰浴上充分研磨成匀浆,转入 10 mL 离心管中,于 12 000 r/min、4 ℃ 低温离心 20 min,小心吸取上清液,于 4 ℃ 保存备用。参照王学奎的方法^[9]进行 SOD、POD 及 CAT 活性的测定。

1.2.5 茄子幼苗抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的测定 采用南京建成生物工程研究所提供的 APX 试剂盒测定。

1.3 数据分析

本试验中的数据整理用 Excel 完成,并用 SPSS 24.0 对数据进行新复极差分析和多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 PEG-6000 胁迫对茄子幼苗干、鲜质量的影响

如表 1 所示,随着 PEG-6000 处理浓度的提高,茄子幼苗地下部分干质量、地下部分鲜质量、地上部分干质量、地上部分鲜质量均呈现先上升后下降的趋势。PEG-6000 胁迫 3 d 时,地下部分干质量、鲜质量在 5% PEG-6000 浓度处理下均达到最大值。在 10%、15% PEG-6000 处理下,茄子幼苗地下部分干质量、鲜质量下降,其中 15% PEG-6000 处理的茄子地下部分干质量、鲜质量显著低于对照,分别降低了 35.7%、35.0%。地上部分鲜质量在 15% PEG-6000 浓度处理下较对照降低了 37.6%。胁迫 6 d 时,地下部分干质量、鲜质量在 10%、15% PEG-6000 处理下均有所降低,其中 15% PEG-6000 处理的地下部分干质量、鲜质量显著低于 CK,与 CK 相比分别降低了 43.8%、43.9%。在 10%、15% PEG-6000 处理下,地上部干质量显著下降,与 CK 相比分别降低了 32.4%、37.7%。地下部分干鲜质量比、地上部分干鲜质量比均在 5% PEG-6000 处理下达最大最大值,分别为 16.67%、15.12%。由此可见,低浓度 PEG-6000 处理对茄子幼苗生长的影响较小,随着 PEG-6000 处理浓度的提高,对茄子幼苗生长产生了明显的抑制作用。

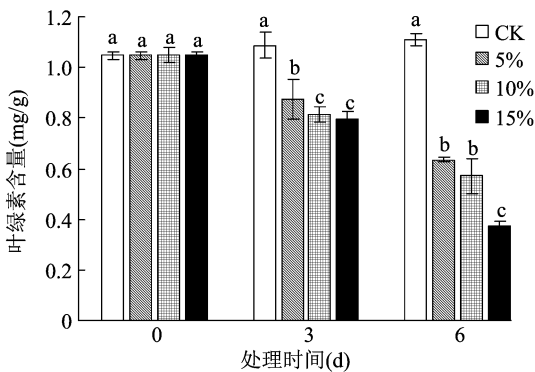
表 1 PEG-6000 对茄子幼苗干、鲜质量的影响

PEG-6000 处理时间 浓度 (%)	(d)	地下部分干质量 (g)	地下部分 鲜质量(g)	地上部分 干质量(g)	地上部分 鲜质量(g)	地下部分干质量/ 鲜质量 (%)	地上部分干质量/ 鲜质量 (%)
0	3	0.14 ± 0.042b	1.03 ± 0.099b	0.37 ± 0.007a	2.66 ± 0.431b	13.59	13.91
5	3	0.22 ± 0.021a	1.74 ± 0.269a	0.43 ± 0.148a	3.41 ± 0.481a	12.64	12.61
10	3	0.12 ± 0.021b	0.87 ± 0.014b	0.31 ± 0.071a	2.49 ± 0.375b	13.79	12.45
15	3	0.09 ± 0.007c	0.67 ± 0.099c	0.28 ± 0.007a	1.66 ± 0.311c	13.43	16.87
0	6	0.16 ± 0.042a	1.23 ± 0.247a	0.34 ± 0.057b	2.73 ± 0.248b	13.01	12.45
5	6	0.23 ± 0.141a	1.38 ± 0.354a	0.57 ± 0.262a	3.77 ± 0.431a	16.67	15.12
10	6	0.14 ± 0.021a	1.00 ± 0.035ab	0.31 ± 0.014b	2.71 ± 0.190b	14.00	11.44
15	6	0.09 ± 0.007b	0.69 ± 0.120b	0.23 ± 0.049c	1.70 ± 0.361c	13.04	13.53

注:同一处理时间的不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 PEG-6000 胁迫对茄子幼苗叶绿素含量的影响

叶绿素是光合作用的主要色素之一,其含量的高低对植物光合能力的影响较大。由图 1 可知,与对照相比,不同浓度 PEG-6000 处理显著降低了茄子幼苗叶绿素含量,随着 PEG-6000 胁迫浓度的增加、胁迫时间的延长,茄子幼苗中的叶绿素含量逐渐降低。PEG-6000 处理 3 d 时,各处理叶绿素含量均显著低于 CK,与 CK 相比分别降低了 19.2%、24.5%、26.0%。PEG-6000 处理 6 d 时,随着 PEG-6000 浓度的提高,叶绿素含量的降低幅度增加,与 CK 相比分别降低了 48.2%、48.5%、66.2%,各处理与 CK 间的差异均达到显著水平。



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下图同

图 1 PEG-6000 对茄子幼苗叶片叶绿素含量的影响

2.3 PEG-6000 胁迫对茄子幼苗净光合速率的影响

在用 PEG-6000 处理 3 d 时,测定茄子幼苗的光合参数,结果见表 2。由表 2 可以看出,随着 PEG-6000 处理浓度的增加,茄子幼苗的净光合速率呈先升高后降低的趋势,其中 5%、10% PEG-6000 处理的茄子幼苗净光合速率较 CK 提高,分别为 11.80、

10.03 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,但二者与 CK 间没有显著差异。在 15% PEG-6000 处理下,茄子幼苗的净光合速率下降为 7.04 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,显著低于 CK 和其他处理,与 CK 相比降低了 29.2%。在 5%、10% PEG-6000 处理下,茄子幼苗蒸腾速率与对照相比差异不显著,当 PEG-6000 浓度达到 15% 时,叶片蒸腾速率较 CK 显著下降,仅为 0.54 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,且显著低于其他处理。随着 PEG-6000 处理浓度的提高,茄子幼苗气孔导度先升高后降低。

表 2 不同浓度 PEG-6000 胁迫对茄子幼苗光合参数的影响

PEG-6000 浓度 (%)	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度 [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	蒸腾速率 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
0	9.94 ± 1.331a	0.13 ± 0.013b	1.75 ± 0.217a
5	11.80 ± 1.947a	0.17 ± 0.005b	1.41 ± 0.184a
10	10.03 ± 1.254a	0.33 ± 0.428a	1.90 ± 0.384a
15	7.04 ± 0.488b	0.02 ± 0.002c	0.54 ± 0.045b

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.4 PEG-6000 胁迫对茄子幼苗 CAT 活性的影响

CAT 是活性氧清除系统中的重要反应酶之一,在逆境条件下有明显变化,一定程度上可以反映植物体受到逆境胁迫后自身应对外界伤害能力大小的一种调节机制。由图 2 可知,在 PEG-6000 胁迫下,茄子幼苗的 CAT 活性均有所提高,随着处理时间和胁迫程度的增加,CAT 活性呈现逐渐上升的变化趋势。处理 3 d 时,各 PEG-6000 处理的 CAT 活性均高于 CK,其中 15% PEG-6000 处理的 CAT 活性最大,为 4.38 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,与 CK 间的差异达到显著水平($P < 0.05$),与对照相比提高了 58.12%。处理 6 d 时,各 PEG-6000 处理的 CAT 活性均显著高于 CK,其中 15% PEG-6000 处理的 CAT 活性达到最大值,为 5.31 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,与 CK 间差异显著。

5%、10%、15% PEG-6000 处理的 CAT 活性分别比 CK 提高了 30.63%、41.04%、61.74%，5%、10% PEG-6000 处理间 CAT 活性差异不显著。

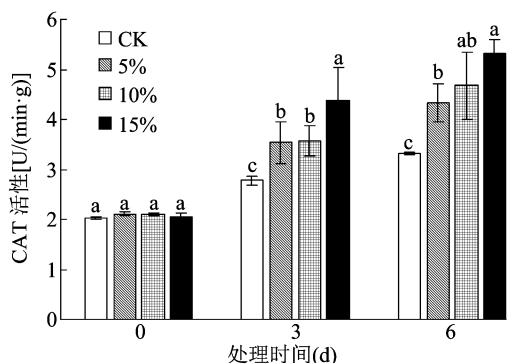


图2 PEG-6000 对茄子幼苗叶片 CAT 活性的影响

2.5 PEG-6000 胁迫对茄子幼苗 SOD 活性的影响

SOD 活性反映了机体清除自由基的能力,活性的高低可反映植物对逆境的抵御能力。由图 3 可知,干旱胁迫显著增加了茄子幼苗的 SOD 活性,随着处理时间和胁迫程度的增加,幼苗 SOD 活性呈现逐渐上升的变化趋势。用 PEG-6000 处理 3 d 时,5% PEG-6000 处理的 SOD 活性最低,为 143.49 U/(g·min);在 10%、15% PEG-6000 处理下,SOD 活性上升,与对照相比差异均显著,其中 15% PEG-6000 处理的 SOD 活性最高,为 198.86 U/(g·min) 与对照相比提高了 22.3%。用 PEG-6000 处理 6 d 时,与 CK 相比,各 PEG-6000 处理的 SOD 活性均显著提高;在 15% PEG-6000 处理下,SOD 活性达到最高值,为 197.00 U/(g·min);5%、10%、15% PEG-6000 处理的 SOD 活性分别比 CK 提高了 10.26%、14.31%、16.82%。

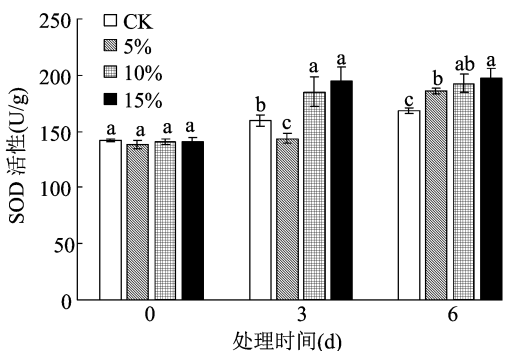


图3 PEG-6000 对茄子幼苗叶片 SOD 活性的影响

2.6 PEG-6000 胁迫对茄子幼苗 POD 活性的影响

如图 4 所示,干旱胁迫显著提高了茄子幼苗的 POD 活性,随着 PEG-6000 处理时间和胁迫程度的

增加,POD 活性呈现逐渐上升的变化趋势。PEG-6000 处理 3 d 时,10%、15% PEG-6000 处理的 POD 活性显著高于 CK,其中 15% PEG-6000 处理的 POD 活性最大,为 6.59 U/(g·min),10%、15% PEG-6000 处理的 POD 活性与 CK 相比分别提高了 76.41%、83.07%,5% PEG-6000 处理的 POD 活性与 CK 间没有显著差异。处理 6 d 时,随着 PEG-6000 浓度升高,各处理的 POD 活性与 CK 相比有较大幅度提高,其中 15% PEG-6000 处理的 POD 活性达到最大值,为 10.17 U/(g·min);各 PEG-6000 处理的 POD 活性均显著高于 CK ($P < 0.05$),分别提高了 0.70、1.09、1.57 倍;不同处理的 POD 活性表现为 15% PEG-6000 > 10% PEG-6000 > 5% PEG-6000 > CK,各 PEG-6000 处理与 CK 间的差异均显著。

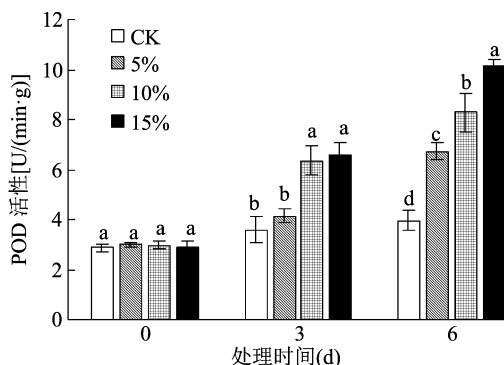


图4 PEG-6000 对茄子幼苗叶片 POD 活性的影响

2.7 PEG-6000 胁迫对茄子幼苗 APX 活性的影响

由图 5 可知,各处理茄子幼苗的 APX 活性与 CK 间的差异均显著 ($P < 0.05$),5%、10%、15% PEG-6000 处理的 APX 活性分别比 CK 提高了 32.96%、49.16%、26.25%。PEG-6000 处理 3 d 时,随着 PEG-6000 处理浓度的增加,茄子幼苗中 APX 活性逐渐上升,并且各 PEG-6000 处理的 APX 活性均显著高于 CK,其中 15% PEG-6000 处理的 APX 活性最大,为 2.09 U/(g·min);5%、10%、15% PEG-6000 处理分别比 CK 提高了 18.14%、24.24%、41.50%。PEG-6000 处理 6 d 时,10% PEG-6000 处理的 APX 活性最高,为 2.67 U/(g·min);而 15% PEG-6000 处理的 APX 活性低于 10% PEG-6000 处理,表明长时间高浓度的胁迫剂处理可能对植物造成了生理上的伤害。

3 结论与讨论

在干旱胁迫下,植物为了保证自身正常生长,

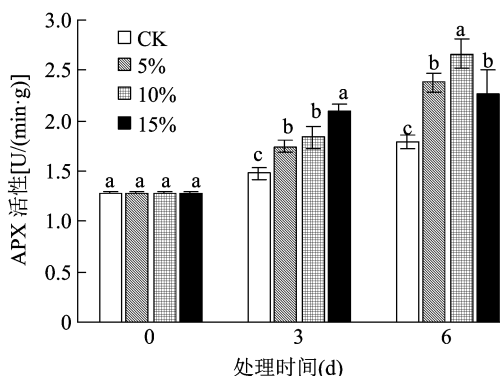


图5 聚乙二醇-6000 对茄子幼苗叶片 APX 活性的影响

通过长期进化形成了特有的抗旱模式,如通过减小叶面积来减弱蒸腾作用,进而减少水分散失或使根系更加发达、根系量增加、叶表面蜡质层增厚等。干旱胁迫还会引起植物根系从土壤中吸收水分、养分受到抑制,导致植物根系中的养分、根系活力下降,进而影响植物地上部进行光合作用等生理进程,使得植物地上部的碳水化合物积累量和有机物含量降低^[10]。通常在干旱胁迫初期植物叶片生长所受影响较大,植物叶片常出现萎蔫现象。随着干旱胁迫的进一步增强或胁迫时间的延长,植物中的相对含水量会呈现下降的趋势^[2-5]。干旱作为一种环境胁迫因素,会促进植物内部物质代谢加快,在短期内提高物质的积累量。本研究结果表明,随着干旱胁迫程度的增加,茄子幼苗的叶绿素含量呈降低趋势,而干质量、鲜质量和净光合速率呈现先升高后降低的变化趋势,在 5% PEG-6000 处理下达到最大值,说明适度胁迫有利于茄子幼苗生长,而当胁迫程度超过植物体本身能承受的范围后,植物幼苗生长量便会下降。

有研究认为,渗透调节是植物体内主要的调节途径,植物体内膨压的降低会引起渗透保护液的积累,以此保持植物体内的水分^[2]。当植物体内水分亏缺时,脯氨酸、可溶性蛋白等渗透物的积累量增加,相关生理变化有利于植物对逆境胁迫的适应性。渗透调节过程中常见脯氨酸含量变化,脯氨酸是一种蛋白质原五碳 α -氨基酸,研究者早已发现其在植物中是一种渗透调节物质。干旱胁迫后,植物叶片中的脯氨酸含量明显升高^[3]。脯氨酸的调节作用有利于维持细胞渗透调节,增强细胞保水能力,从而满足正常生长所需水分和促进根部吸水,因此脯氨酸含量变化常常作为植物耐旱能力筛选指标中的生化标记物之一。

本研究发现,茄子幼苗在遭受干旱胁迫时会生

成活性氧自由基,活性氧阴离子的产生可能参与细胞膜脂过氧化作用^[3]。研究发现,当细胞受到逆境胁迫时,抗氧化酶活性降低,导致细胞中自由基不断积累,进而加速了膜脂过氧化反应,最终破坏膜系统,进而对植物体造成伤害,最终可能导致细胞死亡。因此,为抵抗逆境造成的伤害,植物体内的抗氧化保护酶系统 SOD、POD、CAT 和 APX 会参与调节反应,尤其在胁迫初期酶活性变化明显^[11-12],随着胁迫程度的加剧,保护酶系统清除活性氧的能力受到抑制。本研究结果表明,干旱胁迫显著增加了茄子幼苗中的 CAT、SOD、POD 活性,随着处理时间和胁迫程度的增加,呈现逐渐上升的趋势,各处理与对照间的差异均显著,表明活性氧清除系统在植物耐旱反应中具有重要作用,有关干旱胁迫下植物活性氧清除机制仍需要深入研究。

参考文献:

- [1] 刘敏洁,刘文辉,张永超,等. 聚乙二醇模拟干旱胁迫对老芒麦幼苗生长及次生代谢部分产物的影响[J]. 草地学报,2020,28(5):1355-1362.
- [2] 王玉珏,付秋实,郑 禾,等. 干旱胁迫对黄瓜幼苗生长、光合生理及气孔特征的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(5):12-18.
- [3] 吴雪霞,查丁石,邵 翔. 低温胁迫对茄子幼苗生长、抗氧化酶活性和渗透调节物质的影响[J]. 江苏农业学报,2008,24(4):471-475.
- [4] 高 昆,张明阳. 干旱胁迫对番茄种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 山西大同大学学报(自然科学版),2017,33(6):56-59.
- [5] 王惠珍,陆国弟,胡茹英,等. 聚乙二醇-6000 模拟干旱胁迫下硅对蒙古黄芪种子萌发特性和幼苗质量的影响[J]. 甘肃中医药大学学报,2020,37(1):31-36.
- [6] 张艳红. 露地茄子优质栽培技术要点[J]. 吉林蔬菜,2019(3):24-25.
- [7] 徐云民. 茄子生长习性与环境条件[J]. 吉林农业,2017(12):86.
- [8] 张爱慧,王 倩,朱士农,等. ALA 对低温胁迫下丝瓜幼苗生理及酶活性的影响[J]. 金陵科技学院学报,2019,35(2):81-84.
- [9] 王学奎. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006:282-287.
- [10] 姚启伦,霍仕平,张俊军. 玉米自交系响应高温、干旱胁迫的关键基因及通路[J]. 江苏农业学报,2021,37(1):29-37.
- [11] 张小微,王玉萍. 水杨酸对 PEG-6000 胁迫下茄子种子活力和幼苗抗旱性的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2019,54(1):103-109.
- [12] 李 田,刘海河,车寒梅,等. 聚乙二醇对茄子种子活力及幼苗生理特性的影响[J]. 河北农业大学学报,2016,39(3):14-18.