

NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗不同部位对蛭石引发的响应

霍文雨^{1,2,*}, 吴凌云^{1,*}, 姚东伟^{1,*}, 朱月林^{2,*}, 李明^{1,**}

¹上海市农业科学院设施园艺研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海201403; ²南京农业大学园艺学院, 南京210095

摘要: 引发作为种子播前处理技术, 可以提高逆境条件下种子活力。本文探讨了盐胁迫下杂交一代番茄2个品种(‘大红合作909’和‘粉红合作906’)幼苗不同部位对蛭石引发的响应。利用蛭石在15°C黑暗条件下对2个番茄品种的种子引发处理5 d, 引发和未引发的种子分别放入浓度为0、100 mmol·L⁻¹ NaCl盐溶液的发芽盒内, (25±1)°C发芽10 d后取根、茎、叶进行各项生理指标的测定。研究显示, 与未引发种子相比, 蛭石引发能显著提高幼苗茎、根干重和鲜重。此外, 蛭石引发能显著降低盐胁迫下茎、根中丙二醛含量, 提高根、茎脯氨酸含量、抗氧化酶活性(SOD、POD、CAT), 积累较多渗透调节物质(游离氨基酸、可溶性蛋白、可溶性糖), 提高了叶绿素含量; 且发现叶绿素b (Chlb)比叶绿素a (Chla), 类胡萝卜素(carotenoid, Car)比叶绿素(a+b)在盐胁迫下稳定。结果表明: 蛭石引发能够提高盐胁迫下番茄幼苗不同器官抗氧化酶活性, 促进渗透调节物质的合成, 降低膜透性和膜脂过氧化水平, 保护光合器官及细胞膜结构的稳定性, 从而提高番茄幼苗的耐盐能力。

关键词: 番茄幼苗; 蛭石引发; 光合色素; 盐胁迫

番茄是世界上重要的蔬菜作物之一, 也是植物遗传学及茄科作物研究中的模式植物。种子快速、整齐的发芽和田间出苗对番茄产量与品质具有重要意义。种子活力是检测种子质量的一个重要指标, 指种子发芽和种胚是否具有生命力的潜在能力, 是决定种子快速、整齐出苗并形成正常幼苗的能力, 性状往往表现在种子发芽、幼苗生长、种子寿命、耐逆性等方面(Sun等2007)。种子引发在延长种子寿命, 促进胁迫下种子发芽(Guan等2009; 黄婷婷等2017)等方面均有报道。在番茄上, 以往研究发现引发能延长种子寿命(吴萍等2015), 促进种子萌发期耐旱性(Al-Karaki 2010)、耐冷性(王玉坤等2015)、耐盐性(Pradhan和Prakash 2015; 张飞等2015)。与常规品种相比, 杂交种有较好的生长优势, 但至今有关引发对番茄杂交种幼苗不同部位在盐胁迫下生理生化特征研究尚少。实际生产中, 不同个体间种子活力存在差异, 往往难以实现种子较高的整齐发芽与出苗速度(Ismail等2005)。此外, 番茄属于中度耐盐作物, 种子萌芽期和幼苗期对盐胁迫比较敏感, 种子能否在盐胁迫条件下健康成苗是植株生长发育的前提, 且随着温室大棚等设施栽培方式的大量使用, 土壤盐害对番茄生产也带来了巨大威胁(Chen等2009)。培育高活力耐性品种是解决上述问题的最有效方法, 但培育难度大, 且费时费力。因此, 有必要研发一种低成本、高效率的种子处理技术以提高番茄种子及幼苗在盐胁迫条件下的活力。本文以番茄杂交种子为材料研究了蛭石引发处理对茎、根

不同部位生长、膜质过氧化程度、渗透调节物质、抗氧化酶活性及光合色素的影响, 旨在为利用蛭石引发处理促进番茄种子萌发与增强幼苗期耐盐性以及探究耐盐生理机制提供理论依据。

材料与方法

1 试验材料与处理

1.1 试验材料

以杂交一代番茄(*Lycopersicon esculentum* M.) 2个品种(‘大红合作909’和‘粉红合作906’)为试验材料, 由上海长种番茄种业有限公司提供。引发蛭石由新疆尉犁新隆有限责任公司提供。

1.2 种子引发处理

种子经0.1% HgCl表面消毒5 min后, 按照种子和蛭石1:1.5质量比, 再加入蒸馏水, 其质量为种子和蛭石总质量的70%, 搅拌均匀置于烧杯中, 在15°C黑暗条件下引发5 d, 每天进行搅拌。最佳比例和时间通过预实验筛选测定。引发结束后, 用蒸馏水冲洗干净种子, 用滤纸吸干种子表面水分, 于28°C回干2 d, 直至种子含水量与引发前一致。引发后种子用于下一步发芽试验。

1.3 材料培养处理

试验于2017年2~5月在上海市农业科学院设

收稿 2017-07-03 修定 2017-08-25

资助 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2016)第6-1-5号]。

* 共同第一作者。

** 通讯作者(E-mail: yyl3@saas.sh.cn)。

施园艺技术重点实验室微气候室进行。培养箱内温度为25°C,光照12 h,光强72 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,相对湿度70%。将引发和未引发的番茄种子放入含NaCl浓度分别为0和100 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 双层滤纸的消毒的发芽盒(13 cm×19 cm×16 cm)内,盐溶液及蒸馏水每天更换一次保证盐浓度恒定,防止盐浓度积累。处理10 d后进行生物量的测定,各处理分别取100株幼苗,测量幼苗的鲜重、茎重和根重,105°C杀青10 min,于70°C烘箱中烘至恒重,称其干重。

2 试验方法

2.1 叶绿素含量的测定

发芽10 d时取0.1 g子叶,共3份,放入15 mL带塞试管中,加入5 mL浸提液(丙酮:乙醇:水=4.5:4.5:1,按比例混匀),放置于暗处浸提,期间摇晃2~3次。直到叶片完全变白即可比色。

2.2 生理指标测定

发芽10 d取根和茎进行相应指标的测定。各重复之间混合取样,测定时各样品重复测定3次。超氧化物歧化酶(SOD)活性参照Giannopolitis和Ries(1977)的氮蓝四唑(NBT)方法;愈创木酚过氧化物酶(G-POD)活性参照陈贻竹和B·帕特森(1988)的方法,过氧化氢酶(CAT)活性根据紫外分光光度法测定;MDA含量根据硫代巴比妥酸法测定;可溶性糖含量用蒽酮(王学奎2006)比色法测定,可溶性蛋白质采用考马斯亮蓝G-250方法(李合生2000)测定。游离氨基酸含量的测定采用茚三酮溶液显色法(李合生2000)测定,脯氨酸含量采用王学奎(2006)的磺基水杨酸提取法测定。

2.3 数据分析

试验数据用Microsoft Excel绘图,采用SPSS-19.0统计软件对试验数据进行方差分析和Tukey多重比较。

实验结果

1 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗生长的影响

由表1可知,2个番茄品种‘大红合作909’和‘粉红合作906’在盐胁迫下茎和根的干重、鲜重及含水量均显著降低。盐处理能给幼苗茎、根生长带来不利影响。对植株根系吸水有一定阻碍。

在非盐胁迫下,茎和根的干重、鲜重在蛭石引发下均显著提高,但对根、茎含水量没有显著效果。盐胁迫下幼苗生长变弱,但在蛭石引发处理后显著提高了2个品种茎干重(14%、17%),茎鲜重(16%、33%),但对根干重,根鲜重及根、茎含水量没有显著影响。蛭石引发在盐胁迫和非盐胁迫下对植株的生长有一定的促进作用,使番茄杂交幼苗在盐胁迫下有一定的耐盐特性。

2 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗抗氧化酶活性的影响

为了进一步明确蛭石引发对盐胁迫下杂交一代番茄幼苗生长的影响,对幼苗不同部位氧化酶活性进行了研究。由表2可知,与对照相比2个番茄品种在盐胁迫下SOD活性在茎和根中均显著升高,说明盐对SOD活性有一定刺激作用;POD活性在茎中分别降低7%、21%,在根中分别升高40%、

表1 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗生长的影响

Table 1 Effects of solid matrix priming on the growth of tomato hybrid seedlings under NaCl stress

品种	处理	茎			根		
		干重/g	鲜重/g	含水量/%	干重/g	鲜重/g	含水量/%
‘大红合作909’	Ck+0	0.142±0.004 ^b	1.330±0.007 ^b	89.300±0.007 ^{ab}	0.093±0.010 ^b	0.900±0.105 ^b	89.600±0.018 ^{ab}
	P+0	0.171±0.007 ^a	1.790±0.004 ^a	90.500±0.002 ^a	0.117±0.003 ^a	1.340±0.040 ^a	91.300±0.004 ^a
	Ck+100	0.116±0.005 ^c	0.920±0.005 ^c	87.400±0.007 ^c	0.068±0.006 ^c	0.550±0.035 ^c	87.500±0.015 ^c
	P+100	0.134±0.001 ^b	1.100±0.004 ^b	87.700±0.100 ^c	0.075±0.003 ^c	0.690±0.105 ^c	89.100±0.014 ^{bc}
‘粉红合作 906’	Ck+0	0.135±0.002 ^b	1.470±0.004 ^b	90.800±0.058 ^{ab}	0.102±0.002 ^{ab}	1.230±0.115 ^b	91.600±0.009 ^{ab}
	P+0	0.172±0.003 ^a	2.200±0.004 ^a	92.200±0.100 ^a	0.115±0.005 ^a	1.530±0.058 ^a	92.600±0.004 ^a
	Ck+100	0.106±0.005 ^c	0.900±0.012 ^c	88.200±0.017 ^b	0.086±0.015 ^{ab}	0.640±0.044 ^c	86.500±0.019 ^c
	P+100	0.127±0.010 ^b	1.350±0.007 ^b	90.600±0.038 ^{ab}	0.083±0.016 ^b	0.650±0.038 ^c	87.100±0.031 ^b

表中数据为平均值±标准差,同一指标不同字母表示差异达5%显著水平。Ck+0, P+0分别表示未引发和引发种子加水发芽, Ck+100, P+100分别表示未引发和引发种子加盐处理。下同。

表2 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗抗氧化酶活性的影响

Table 2 Effects of solid matrix priming on the activities of antioxidant enzymes in tomato hybrid seedlings under NaCl stress

品种	处理	SOD活性/ $U \cdot g^{-1}$ (FW)		POD活性/ $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ (FW)		CAT活性/ $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ (FW)	
		茎	根	茎	根	茎	根
‘大红合作909’	Ck+0	169.450±2.882 ^d	291.350±0.998 ^d	66.000±1.732 ^c	36.130±1.790 ^d	9.067±0.252 ^b	4.767±0.153 ^b
	P+0	208.840±2.201 ^b	298.170±0.166 ^c	74.100±1.704 ^c	43.030±1.704 ^c	10.50±0.265 ^a	5.733±0.289 ^a
	Ck+100	184.820±0.832 ^c	306.720±1.165 ^b	61.667±0.404 ^b	50.470±0.404 ^b	7.767±0.265 ^b	3.200±0.289 ^c
	P+100	234.770±1.664 ^a	315.750±1.012 ^a	88.067±0.115 ^a	59.770±0.116 ^a	8.000±0.173 ^c	4.667±0.404 ^b
‘粉红合作906’	Ck+0	140.634±2.512 ^d	290.870±0.166 ^d	85.633±1.518 ^c	50.667±2.082 ^d	9.400±0.361 ^c	3.987±0.110 ^c
	P+0	204.995±3.328 ^b	297.500±0.440 ^c	94.000±2.646 ^b	62.000±1.000 ^c	11.83±0.058 ^a	5.800±0.100 ^a
	Ck+100	165.610±1.200 ^c	305.960±0.441 ^b	67.667±1.528 ^d	73.867±0.808 ^b	8.767±0.153 ^d	3.520±0.092 ^d
	P+100	239.577±1.664 ^a	315.660±0.333 ^a	108.37±1.387 ^a	84.100±0.529 ^a	10.20±0.173 ^b	4.767±0.116 ^b

46%, 均达到显著水平; CAT在茎、根中均显著降低。不同抗氧化酶发挥的作用不同对同一浓度的盐敏感程度也不同。

在没有盐处理情况下, 蛭石引发显著提高了抗氧化酶活性, 与对照相比, SOD、POD、CAT活性在茎、根中均显著升高。在盐胁迫下, 蛭石引发后显著提高了2个番茄品种在盐胁迫下的保护酶活性, 表明引发处理显著提高了幼苗期间的耐盐能力。SOD、POD、CAT活性在茎、根中均显著升高。以上分析表明引发处理后在盐和非盐胁迫下幼苗茎、根抗氧化酶活性水平高, 细胞膜脂质过氧化程度低, 从而提高了杂交番茄品种幼苗耐盐性。

3 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗MDA、脯氨酸含量的影响

由图1-A可知, 与对照相比2个番茄品种在盐胁迫下MDA含量显著升高, 如图1-B可知盐胁迫使幼苗脂质过氧化程度加深, 促进了脯氨酸的积累。

在没有盐处理情况下, 蛭石引发显著降低了MDA含量, 脯氨酸含量分别升高22%、20%, 达到显著水平。在盐胁迫下番茄幼苗MDA含量显著增加, 但在蛭石引发处理后显著降低了番茄幼苗的细胞膜透性和脂质氧化程度, MDA分别降低了22%、21%, 且脯氨酸含量分别增加了18%、17%。以上分析表明引发处理后幼苗细胞膜脂质过氧化程度低, 脯氨酸对其有一定的保护作用, 在一定程度上提高了杂交番茄品种幼苗期间的耐盐性。

4 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗渗透调节物质的影响

由表3可知, 与对照相比2个番茄品种在盐胁迫下游离氨基酸在茎中分别升高13%、14%; 在根中分别升高17%、16%; 游离氨基酸的升高对盐胁迫有一定缓解作用。可溶性蛋白含量在茎中分别降低15%、14%, 在‘大红合作909’根中降低24%, 在‘粉红合作906’升高19%。可溶性糖含量在茎、

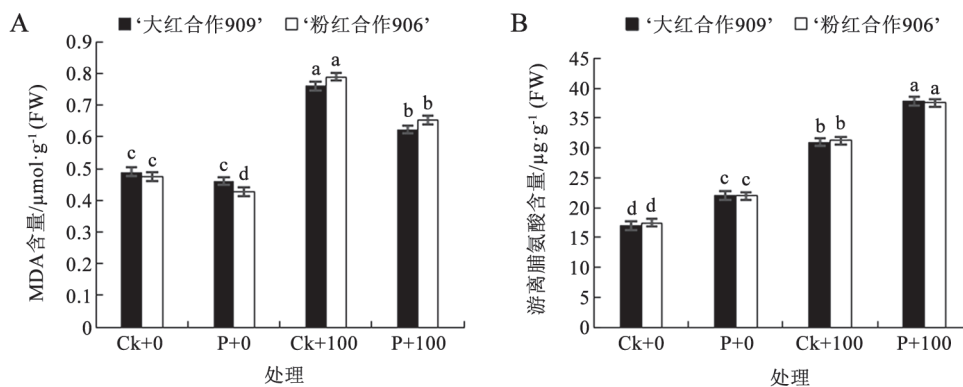


图1 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗MDA及脯氨酸含量的影响

Fig.1 Effects of solid matrix priming on the content of MDA and proline in tomato hybrid seedlings under NaCl stress

图柱上不同小写字母表示同一品种在不同处理间达5%差异显著水平, 下图同。

表3 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗渗透调节物质的影响

Table 3 Effects of solid matrix priming on the content of osmotic substances in tomato hybrid seedlings under NaCl stress

品种	处理	游离氨基酸/mg·g ⁻¹ (FW)		可溶性蛋白/mg·g ⁻¹ (FW)		可溶性糖/mg·g ⁻¹ (FW)	
		茎	根	茎	根	茎	根
‘大红合作 909’	Ck+0	61.597±1.047 ^d	34.197±1.683 ^d	16.660±0.103 ^b	5.474±0.091 ^c	3.584±0.122 ^b	2.746±0.035 ^c
	P+0	73.202±1.058 ^b	42.225±0.262 ^b	17.570±0.476 ^a	7.171±0.094 ^a	4.150±0.040 ^a	3.623±0.181 ^a
	Ck+100	69.363±0.605 ^c	39.869±0.263 ^c	14.160±0.162 ^c	4.174±0.187 ^d	1.684±0.123 ^c	2.221±0.089 ^d
	P+100	80.096±0.799 ^a	49.817±0.799 ^a	16.250±0.101 ^b	6.671±0.154 ^b	2.400±0.090 ^c	3.075±0.098 ^b
‘粉红合作 906’	Ck+0	60.812±0.785 ^d	34.110±2.618 ^d	17.280±0.100 ^d	4.676±0.074 ^d	3.017±0.107 ^b	3.886±0.049 ^b
	P+0	73.202±0.399 ^b	42.487±1.360 ^b	18.396±0.125 ^b	7.799±0.050 ^a	3.348±0.130 ^a	4.278±0.070 ^a
	Ck+100	69.041±0.302 ^c	39.695±0.151 ^c	14.788±0.162 ^c	5.564±0.035 ^c	1.996±0.052 ^d	1.827±0.079 ^d
	P+100	79.834±0.919 ^a	48.857±0.605 ^a	16.865±0.101 ^a	6.797±0.251 ^b	2.215±0.108 ^c	2.156±0.115 ^c

根中均显著降低。不同渗透调节物质在盐胁迫下变化不同。

在没有盐处理情况下,蛭石引发显著提高了渗透调节物质的含量,与对照相比游离氨基酸、可溶性蛋白和可溶性糖在茎、根中均显著升高。引发处理可以提高渗透调节物质的含量,能有效地调节细胞的渗透势,维持细胞水分平衡,从而提高番茄种番茄幼苗的耐盐性。在盐胁迫下,蛭石引发后茎、根渗透物质总量高于对照,使茎、根有较好的渗透调节能力。茎和根中游离氨基酸、可溶性蛋白和可溶性糖含量均显著高于对照处理。以上分析表明引发处理后在盐和非盐胁迫下幼苗茎、根渗透调节物质含量较高,可以缓解盐胁迫带来的水分胁迫,从而减轻盐胁迫带来的不利影响。

5 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗光合色素含量的影响

由表4可知,与对照相比2个番茄品种在盐胁迫

下显著降低了光合色素水平。可见光合色素对盐胁迫比较敏感,对植物的伤害较大。

在没有盐处理情况下,蛭石引发显著提高了‘粉红合作906’Chla、Chlb、Chl(a+b)和Car含量,分别为3%、30%、10%和35%。对‘大红合作909’引发效果不显著。在盐胁迫下,蛭石引发后显著提高了光合色素含量。以上分析表明后在盐胁迫下,引发处理可以缓解盐胁迫对光合色素的降解,从而减轻盐胁迫带来的不利影响。

讨 论

盐对种子发芽、幼苗生长的影响已在多种作物上有所报道,研究表明低浓度的盐对种子萌发和幼苗生长有促进作用,高浓度则有抑制作用。幼苗干重是光合产物的积累,只有在苗期积累一定的干物质,才能为以后的生长发育奠定基础。本实验结果显示,100 mmol·L⁻¹ NaCl降低了番茄杂交一代2个品种幼苗的干物质和相对含水量。但

表4 蛭石引发对NaCl胁迫下杂交一代番茄幼苗光合色素含量的影响

Table 4 Effects of solid matrix priming on the content of photosynthetic pigments in tomato hybrid seedlings under NaCl stress

品种	处理	叶绿素a/ mg·g ⁻¹ (FW)	叶绿素b/ mg·g ⁻¹ (FW)	叶绿素(a+b)/ mg·g ⁻¹ (FW)	类胡萝卜素/ mg·g ⁻¹ (FW)	叶绿素/ mg·g ⁻¹ (FW)
‘大红合作909’	Ck+0	1.319±0.045 ^a	0.571±0.029 ^a	1.890±0.017 ^a	0.415±0.020 ^b	2.305±0.030 ^b
	P+0	1.371±0.024 ^a	0.587±0.073 ^a	1.958±0.051 ^a	0.511±0.013 ^a	2.469±0.060 ^a
	Ck+100	0.388±0.008 ^c	0.217±0.074 ^c	0.605±0.002 ^c	0.155±0.001 ^c	0.759±0.003 ^c
	P+100	0.969±0.003 ^b	0.416±0.005 ^b	1.385±0.001 ^b	0.295±0.018 ^d	1.680±0.018 ^d
‘粉红合作906’	Ck+0	1.232±0.005 ^b	0.448±0.004 ^b	1.681±0.005 ^b	0.345±0.005 ^b	2.025±0.005 ^b
	P+0	1.266±0.016 ^a	0.584±0.022 ^a	1.850±0.017 ^a	0.464±0.002 ^a	2.314±0.015 ^a
	Ck+100	0.379±0.004 ^d	0.170±0.01 ^d	0.550±0.007 ^d	0.133±0.011 ^d	0.683±0.018 ^d
	P+100	0.964±0.009 ^c	0.285±0.035 ^c	1.250±0.026 ^c	0.240±0.011 ^c	1.489±0.021 ^c

蛭石引发后盐胁迫下2个品种的根、茎积累了更多渗透调节物质(游离氨基酸、可溶性蛋白、可溶性糖),导致干物质增加,且有利于吸收更多的水分,在一定程度上提高了相对含水量。较多的水分有利于刺激合成更多渗透调节物质,更有利于保护在盐胁迫下的番茄幼苗(Azooz 2009),提高了番茄杂交一代幼苗的耐盐性。

幼苗期是对盐胁迫较为敏感的阶段,在此过程中会产生大量ROS。ROS与种子活力密切相关,它会引起细胞膜的脂质过氧化作用,导致MDA积累、细胞内可溶物质外渗。MDA是膜脂过氧化的产物,在一定程度上可以表示细胞膜脂过氧化的程度和植物对逆境条件反应的强弱。研究表明,在盐胁迫下,脂质过氧化程度增加,导致MDA含量显著升高,蛭石引发后MDA含量显著降低,表现出较好的耐盐特性,该结果与以往研究结果相似(Zhang 2014; 刘彦文等2010; Azooz 2009)。脯氨酸变化作为一种抗逆指标,在盐胁迫下其含量增强(岳利军等2016),蛭石引发后显著提高了脯氨酸的积累,增强了植株在盐胁迫下的适应性,进一步证明了蛭石引发能有效缓解盐胁迫。

植物的保护酶系统(SOD、POD、CAT)在缓解胁迫方面起着重要作用,它可以清除体内的活性氧,以避免对植物造成伤害。实验研究结果表明,经 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl溶液胁迫后茎、根CAT活性的变化与茎POD活性有着不同程度的降低,茎、根中SOD和根中POD活性增强,和马婷等(2016)在盐胁迫下抗氧化酶活性增强结果相似。抗氧化酶活性在不同的部位对植株的保护力不同,但在蛭石引发后抗氧化酶活性均显著增强,有利于形成盐胁迫下的适应性。

很多研究表明,受盐分影响比较敏感的是叶绿素(刘彦文等2010)。当植物受到盐害时,其含量会下降,而且下降幅度越大,受害越严重,进而影响植物光合作用的强度和植株生长,使得植株生长缓慢,叶型变少,加速对植株的危害(Krieg和Hutmacher 1986)。盐胁迫下植物叶片色素含量与植物抗盐性及盐的种类、浓度有关,耐盐植物比盐敏感植物的色素含量变化小。

本实验中,盐处理降低了杂交一代番茄2个品种幼苗的光合色素含量,其中Chla含量比Chlb含

量、Chl (a+b)含量比Car含量在盐胁迫下降低的多;蛭石引发后Chla含量比Chlb、Chl (a+b)含量比Car升高的多。结果表明盐胁迫对Chla的伤害较Chlb伤害大,对总叶绿素的伤害较Car的伤害大,而蛭石引发显著增加了总叶绿素含量,增加幅度高于Car。在高盐胁迫下植物叶片中叶绿素含量下降(王素平等2006),而蛭石引发有效地提高了叶绿素含量,特别是的Chla、Car含量(张春平2012)。因此,蛭石引发后较强植株活力可以保护盐胁迫下的光合器官(Eraslan等2007)以减轻ROS造成的伤害,植株叶绿素含量的增加,增强了光合干物质的积累,从而增强植株的耐盐性。马金虎等(2010)在高粱上也发现引发处理在一定程度上提高了高粱幼苗对盐胁迫的适应性。

综上所述,引发对不同作物的苗期研究已有很多,但对幼苗不同部位抗氧化特性及耐盐特性研究较少,本文研究可以提供一定的理论基础。综上所述,在 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl胁迫下,引发后的番茄幼苗茎、根抗氧化酶活性、渗透调节物质、叶绿素含量等方面均表现出明显优势,具有较强的耐盐能力。引发处理可能对种子萌发后基因表达有一定影响,从而提高植物抗盐胁迫能力,但这种效应又可能与一系列酶的协调作用有关,目前关于种子引发处理的作用还缺乏分子生物学依据,有待深入研究。

参考文献

- Al-Karaki GN (1998). Response of wheat and barley during germination to seed osmopriming at different water potential. *J Agro Crop Sci*, 181 (4): 229–235
- Azooz MM (2009). Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance. *Int J Agric Biol*, 11 (4): 343–350
- Chen S, Gollop N, Heuer B (2009). Proteomic analysis of salt-stressed tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings: effect of genotype and exogenous application of glycinebetaine. *J Exp Bot*, 60 (7): 2005–2019
- Chen YZ, Patterson BD (1988). The effects of chilling temperature on the level of superoxide dismutase, catalase and hydrogen peroxide in some plant leaves. *Acta Phytophysiol Sin*, 14 (4): 323–328 (in Chinese with English abstract) [陈贻竹, B·帕特森 (1988). 低温对植物叶片中超氧化物歧化酶、过氧化酶和过氧化氢酶的影响. *植物生理学报*, 14 (4): 323–328]
- Eraslan F, Inal A, Gunes A, Alpaslan M (2007). Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxic-

- ty. *Sci Hort*, 113 (2): 120–128
- Giannopolitis N, Ries SK (1977). Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol*, 59: 309–314
- Guan YJ, Jin HU, Wang XJ, Shao CX (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *J Zhejiang Univ Sci B*, 10 (6): 427–433
- Huang TT, Niu ZH, Ding ZS, Ding XH, Gao QH, Cao GY, Xiang CY, Du J (2017). Effects of salicylic acid on drought tolerance of maize seed germination in early stage. *Seed*, 36 (2): 33–37 (in Chinese with English abstract) [黄婷婷, 牛志浩, 丁振山, 丁希政, 高巧红, 曹高焱, 向春阳, 杜锦(2017). 水杨酸对玉米种子萌发早期耐旱性的影响. *种子*, 36 (2): 33–37]
- Ismail AI, El-Araby MM, Hegazi AZA, Moustafa SMA (2005). Optimization of priming benefits in tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) and changes in some osmolytes during the hydration phase. *J Asia Plant Sci*, 4 (6): 691–701
- Krieg DR, Hutmacher RB (1986). Photosynthetic rate control in sorghum: stomatal and nonstomatal factors. *Crop Sci*, 26 (1): 112–117
- Li HS (2000). Principle and Technology of Plant Physiological and Biochemical Experiment. Beijing: Higher Education Press (in Chinese) [李合生(2000). 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社]
- Liu YW, Li M, Yao DW, Zhu YL (2010). Effects of vermiculite on germination and seedling growth of lettuce seeds at high temperature. *Acta Agrar Shanghai*, 26 (3): 56–59 (in Chinese with English abstract) [刘彦文, 李明, 姚东伟, 朱月林(2010). 蛭石引发对高温下茎用莴苣种子萌发和幼苗生长的影响. *上海农业学报*, 26 (3): 56–59]
- Ma JH, Guo SJ, Wang YG, Yang XH, Shi Q (2010). Effects of seed priming on biomass allocation and osmotic substance contents of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seedlings under salt stress. *Chin J Ecol*, 29 (10): 1950–1956 (in Chinese with English abstract) [马金虎, 郭数进, 王玉国, 杨小环, 石强(2010). 种子引发对盐胁迫下高粱幼苗生物量分配和渗透物质含量的影响. *生态学杂志*, 29 (10): 1950–1956]
- Ma T, Teng YJ, Li CX, Yang YL (2016). Changes of ROS metabolizing enzyme activities in *Limonium aureum* seedlings under salinity stress. *Plant Physiol J*, 52 (2): 177–186 (in Chinese with English abstract) [马婷, 滕玉瑾, 李翠祥, 杨颖丽(2016). 盐胁迫下黄花补血草幼苗ROS代谢酶活性的变化. *植物生理学报*, 52 (2): 177–186]
- Pradhan N, Prakash P (2015). Seed priming in tomato (Osmopriming with PEG 6000 on salt tolerance of tomato genotypes) (PhD thesis). India: Banaras Hindu University
- Sun Q, Wang JH, Sun BQ (2007). Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms. *J Integr Agric*, 6 (9): 1060–1066
- Wang SP, Guo SR, Hu XH, Li J, Jiao YS (2006). Effects of NaCl stress on the content of photosynthetic pigments in the leaves of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling. *Acta Agric Univ Jiangxiensis*, 28 (1): 32–38 (in Chinese with English abstract) [王素平, 郭世荣, 胡晓辉, 李璟, 焦彦生(2006). 盐胁迫对黄瓜幼苗叶片光合色素含量的影响. *江西农业大学学报*, 28 (1): 32–38]
- Wang XK (2006). Principles and Techniques of Plant Physiological and Biochemical Test. Beijing: Higher Education Press, 5 (in Chinese) [王学奎(2006). 植物生理生化试验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 5]
- Wang YK, Zhao M, Du CY, Wang LP, Wang FX (2015). Effects of exogenous substances on chilling tolerance of tomato seedlings. *Jiangsu Agric Sci*, 43 (2): 160–161 (in Chinese with English abstract) [王玉昆, 赵敏, 杜彩云, 王丽萍, 王浮霞(2015). 外源物质引发处理对番茄幼苗耐冷性的影响. *江苏农业科学*, 43 (2): 160–161]
- Wu P, Song SH, Li L, Xing BT, Ding HF (2015). Effects of priming treatment on storage and longevity of tomato seed. *Chin Veget*, (4): 36–40 (in Chinese with English abstract) [吴萍, 宋顺华, 李丽, 邢宝田, 丁海凤(2015). 引发处理对番茄种子保存和寿命的影响. *中国蔬菜*, (4): 36–40]
- Yue LJ, Cui YN, Yuan K, Kang K, Wang SM (2016). The osmotic adjustment in *Pugionium cornutum* subjected to salt stress. *Plant Physiol J*, 52 (4): 569–574 (in Chinese with English abstract) [岳利军, 崔彦农, 袁坤, 康建军, 王锁民(2016). NaCl胁迫下沙芥的渗透调节作用. *植物生理学报*, 52 (4): 569–574]
- Zhang CP (2012). Effects of different exogenous substances on stress resistance mechanism of *Coptis chinensis* seeds and seedlings under salt stress (PhD thesis). Chongqing: Southwest University (in Chinese with English abstract) [张春平(2012). 不同外源物质提高盐胁迫下黄连种子及幼苗抗逆性机理研究(博士论文). 重庆: 西南大学]
- Zhang F, Zhu K, Wang YQ, Zhang ZP, Zhou JQ (2016). Effects of seed priming on the physiological characteristics of sorghum seedlings under saline stress. *Agric Res Arid Areas*, 34 (5): 47–53 (in Chinese with English abstract) [张飞, 朱凯, 王艳秋, 张志鹏, 邹剑秋(2016). 种子引发对盐渍土壤条件下高粱芽苗生理特性的影响. *干旱地区农业研究*, 34 (5): 47–53]
- Zhang M (2014). Osmopriming improves tomato seed vigor under aging and salinity stress. *Afr J Biotechnol*, 11 (23): 6305–6311

Response of different organs in tomato hybrid seedlings to solid matrix priming under NaCl stress

HUO Wen-Yu^{1,2,*}, WU Ling-Yun^{1,*}, YAO Dong-Wei^{1,*}, ZHU Yue-Lin^{2,*}, LI Ming^{1,**}

¹Shanghai Key Lab of Protected Horticultural Technology, Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; ²College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Priming can improve seed vigor under stress conditions as a seed sowing treatment technique. This study investigated the responses of different organs of two tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) hybrid seedlings ('Red cooperation 909' and 'Pink cooperation 906') to solid matrix priming under salt stress. The seeds of two tomato varieties were primed with solid matrix for 5 d at 15°C in the dark. Physiological indexes of un-priming and priming varieties were measured at (25±1)°C for 10 d under 0, 100 mmol·L⁻¹ NaCl solution respectively. Results showed that dry and fresh weights of stem and root were significantly increased, while content of MDA was decreased compared with seedlings without priming. Furthermore, the increase in the content of proline, chlorophyll and the activity of antioxidant enzymes and more osmotic substances accumulation were detected during the seedling growth period with priming under salt stress. It was found that Chlb was stable than Chla, carotenoid was stable than Chl (a+b). The results suggested that solid matrix priming could improve salt tolerance ability of tomato seedlings by increasing the activities of antioxidant enzymes, promoting osmotic substances synthesis in different organs, thereby decreasing membrane permeability and lipid peroxidation to protect the stability of cell membrane structure and photosynthetic apparatus.

Key words: tomato seedling; solid matrix priming; photosynthetic pigments; salt stress

Received 2017-07-03 Accepted 2017-08-25

This work was supported by Shanghai Science and Technology on Agricultural Key Research Projects (Grant No. Shanghai Agricultural Science and Technology (2016) No. 6-1-5).

*Co-first author.

**Corresponding author (E-mail: yyl3@saas.sh.cn).