

NaCl 胁迫对萝卜幼苗叶片生理特征及根尖细胞核形态的影响

代容春, 林荣华, 何文锦, 连玲, 陈由强

(福建师范大学生命科学学院, 福建福州 350108)

摘要: 对 0.00(对照)~0.50 mol·L⁻¹ NaCl 处理 48 h 后萝卜(*Raphanus sativus* L.) 幼苗叶片的叶绿素含量、净光合速率、丙二醛(MDA)含量和相对电导率进行了测定,并观察了根尖细胞核形态变化和胁迫后幼苗生长的恢复状况。测定结果表明:经 0.05 mol·L⁻¹ NaCl 处理后,叶片的叶绿素含量和净光合速率均高于对照(0.00 mol·L⁻¹ NaCl);而用 0.10~0.50 mol·L⁻¹ NaCl 处理后,叶绿素含量和净光合速率均随 NaCl 浓度的提高逐渐降低且与对照差异显著,其中,经 0.35~0.50 mol·L⁻¹ NaCl 胁迫处理后叶片净光合速率降至 0.00 μmol·m⁻²·s⁻¹。随 NaCl 浓度的提高,MDA 含量和相对电导率呈先快速上升而后逐渐下降的趋势,且均与对照差异显著;其中,经 0.30 mol·L⁻¹ NaCl 处理后 MDA 含量最高,经 0.40 mol·L⁻¹ NaCl 处理后相对电导率最高。观察结果显示:经 0.05~0.25 mol·L⁻¹ NaCl 处理后根尖细胞核由规则的圆形向各种不规则形状转变,染色质出现不同程度的浓缩,表现出不同程度的程序性细胞死亡特征;经 0.30~0.50 mol·L⁻¹ NaCl 处理后则出现中空细胞与部分正常细胞并存的现象。经 0.05 和 0.10 mol·L⁻¹ NaCl 处理后,萝卜幼苗可恢复正常生长,且株高与对照无明显差异;而经 0.25~0.50 mol·L⁻¹ NaCl 处理后,幼苗均较难恢复正常生长,且随 NaCl 浓度的提高,幼苗出现枯萎、糜烂现象。研究结果显示:低浓度 NaCl 处理不仅对萝卜幼苗的生长、生理代谢及细胞核形态结构没有明显伤害反而有一定的促进作用,而高浓度 NaCl 胁迫可导致萝卜幼苗不可逆伤害。

关键词: 萝卜; NaCl 胁迫; 生理指标; 根尖细胞; 核形态; 生长恢复

中图分类号: Q945.78; Q945 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2012)03-0063-06

Effect of NaCl stress on physiological characteristics in leaf and cell nuclear morphology in root-tip of *Raphanus sativus* seedlings DAI Rong-chun, LIN Rong-hua, HE Wen-jin, LIAN Ling, CHEN You-qiang (College of Life Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2012, 21(3): 63-68

Abstract: The chlorophyll content, net photosynthetic rate, MDA content and relative electric conductivity in leaf of *Raphanus sativus* L. seedlings treated by 0.00 (CK)-0.50 mol·L⁻¹ NaCl for 48 h were determined, and morphological change of cell nuclear in root-tip and recovery state of seedling growth after NaCl stress were observed. The determination results show that chlorophyll content and net photosynthetic rate in leaf treated by 0.05 mol·L⁻¹ NaCl are all higher than those in the control. While, with 0.10-0.50 mol·L⁻¹ NaCl stressed, chlorophyll content and net photosynthetic rate decrease gradually with rising of NaCl concentration and have the significant difference with the control, in which net photosynthetic rate decreases to 0.00 μmol·m⁻²·s⁻¹ after treated by 0.35-0.50 mol·L⁻¹ NaCl. With rising of NaCl concentration, MDA content and relative electric conductivity appear the trend of rapidly increasing firstly and then gradually decreasing, and all have the significant difference with those of the control. In which, MDA content is the highest after treated by 0.30 mol·L⁻¹ NaCl and relative electric conductivity is the highest after treated by 0.40 mol·L⁻¹ NaCl. The observation result shows that after treated by 0.05-0.25 mol·L⁻¹ NaCl, cell nuclear morphology in root-tip changes from circle to irregular shapes, and chromatin condenses at different degrees, appearing characteristics of programmed

收稿日期: 2011-10-20

基金项目: 福建省教育委员会资助项目(JB10016)

作者简介: 代容春(1973—),女,福建仙游人,硕士,副教授,主要从事植物生理学和植物细胞工程研究。

cell death (PCD) at different degrees. But treated by 0.30–0.50 mol · L⁻¹ NaCl, there is coexistence phenomenon of empty cells and normal cells in root-tip. After treated by 0.05 and 0.10 mol · L⁻¹ NaCl, the seedlings can resume to normal growth, and seedling height without obvious difference with that of the control. But seedlings after treated by 0.25–0.50 mol · L⁻¹ NaCl can not resume to normal growth and appear to wither and rot phenomenon with rising of NaCl concentration. It is suggested that NaCl treatment with lower concentration not only has no obvious injury but also has a certain promotion impact on growth, physiological metabolism and cell nuclear morphological structure of *R. sativus* seedlings. While, NaCl treatment with higher concentration can cause irreversible damage to *R. sativus* seedlings.

Key words: *Raphanus sativus* L.; NaCl stress; physiological index; root-tip cell; nuclear morphology; recovery growth

盐碱土以土壤含高浓度 Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺ 及 CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 为主要特征,尤其是 Na⁺ 和 Cl⁻ 的含量最高^[1]。由于全球气候变暖、海平面不断上升等自然因素及工农业生产发展、环境污染加剧、淡水资源匮乏、灌溉方法不当等人为因素,导致土壤盐渍化日趋严重,已成为农作物减产的主要原因之一。另外,在设施园艺蔬菜栽培过程中,由于季节性或常年性覆盖,土壤得不到充分的雨水淋洗,导致盐分聚集,引起土壤次生盐渍化,进而影响农作物生长;且随覆盖年限的增加,土壤次生盐渍化程度加剧,导致作物逐年减产^[2-4]。

萝卜 (*Raphanus sativus* L.) 为萝卜属 (*Raphanus* L.) 草本植物^[5],对盐碱有较强的抗性;其根蔬食,是传统的蔬菜作物之一,在植物学上统称为中国萝卜,自古就盛行,明代时已遍及全中国。作者以普遍种植的萝卜品种为实验材料,探讨了经不同浓度 NaCl 胁迫处理后幼苗叶片的净光合速率、相对电导率、叶绿素和丙二醛(MDA)含量等生理指标的变化规律,并观察了萝卜幼苗根尖细胞核形态结构的变化,旨在为探讨萝卜对 NaCl 的耐性机制及设施栽培过程中土壤盐碱化防治措施提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试萝卜种子购自福州永荣种子公司。

1.2 方法

1.2.1 幼苗培养及胁迫处理方法 选择颗粒饱满的萝卜种子,用蒸馏水冲洗3~4次后用蒸馏水于26℃恒温条件下浸泡24h,然后用蒸馏水冲洗干净,分装在垫有2层滤纸的培养皿(直径12cm)中,26℃恒温条件下培养,每天光照12h,光照度2000lx。每天定

时用蒸馏水冲洗种子和萌发的幼苗,并保持培养皿内适宜的湿度。待幼苗出现第2片真叶时,选择根系发达、健壮且生长一致的幼苗转入新培养皿中进行NaCl胁迫处理,每皿20株。

实验设置的NaCl处理液浓度分别为0.00(对照)、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.40、0.45和0.50 mol · L⁻¹,每个培养皿分别加入各处理液80mL,处理萝卜幼苗48h,每隔12h更换1次处理液。然后分别取样进行叶片相关生理指标测定以及根尖细胞核形态观察。每处理设置3次重复。

1.2.2 生理指标测定 胁迫处理结束后取样进行叶片生理指标测定。准确称取0.50g叶片,采用丙酮提取法^{[6]58-61}测定叶绿素含量;准确称取1.00g叶片,采用硫代巴比妥酸法^{[6]227-229}测定丙二醛(MDA)含量。

使用DDS-11C型电导仪(上海雷磁仪器厂生产)测定叶片电导率。准确称取0.20g叶片,加入20.00mL蒸馏水,于室温下浸泡6h,测电导率 E_1 ;之后用沸水浴处理10min,冷却后测电导率 E_2 。按照公式 $E = [(E_1 - E_0) / (E_2 - E_0)] \times 100\%$ 计算各处理叶片的相对电导率(E),其中 E_0 为蒸馏水的电导率。

使用CID光合仪[思爱迪(北京)生态科学仪器有限公司生产]测定叶片的净光合速率。叶室面积65mm×10mm,采用开放式气体通路,空气流速为0.6L · min⁻¹。

1.2.3 根尖细胞核形态观察 剪取长约1cm的萝卜根尖,置于卡诺固定液中固定8~24h。将根尖剪成小块,依次通过体积分数90%、80%和70%乙醇漂洗。然后用解离液[V(浓盐酸):V(乙醇)=1:1]解离至根尖透明即可(一般约10min);用蒸馏水漂洗3次后用改良石炭酸品红染色液染色15min,最后压

片并制成临时装片^[7];于光学显微镜下观察并用显微成像拍摄系统进行拍照。每处理取3个根尖,观察9个视野。

1.2.4 幼苗恢复培养及株高测定 胁迫结束后,每个处理取3株幼苗移至培养液中,采用溶液培养法继续培养,参照文献[6]21-23的植物完全培养液配方配制培养液。1周后观察幼苗的外部形态并测量株高(从茎基部到幼苗顶端的垂直高度),并计算各处理组幼苗株高的平均值。

1.3 数据处理

采用 Excel 和 SPSS 17.0 统计分析软件对实验数据进行处理,采用 LSD 检验法对实验数据进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 经 NaCl 胁迫后萝卜幼苗的形态变化

经不同浓度 NaCl 溶液处理 48 h 后,萝卜幼苗的形态及生长差异较大。经 0.05 mol · L⁻¹ NaCl 处理 48 h,萝卜幼苗叶片比对照组(0.00 mol · L⁻¹ NaCl)更鲜绿且更加肥厚,根部也更加坚硬和粗壮;随 NaCl 浓度的提高,叶色逐渐变成暗绿色;经较高浓度 NaCl 溶液(0.30~0.50 mol · L⁻¹)处理 48 h 后萝卜幼苗叶片出现萎蔫和枯萎现象,且根部出现糜烂现象,甚至叶片也开始糜烂。经 NaCl 胁迫后萝卜幼苗叶片与根系的这种生长状况与植物不同器官的生长相关性有关,当根部由于受 NaCl 伤害而不能进行正常的水分运输时,叶片的正常生理功能也受到影响。

2.2 NaCl 胁迫对萝卜幼苗叶片生理指标的影响

经不同浓度 NaCl 溶液处理 48 h 后萝卜幼苗的叶绿素含量、净光合速率、丙二醛含量及相对电导率见表 1。

2.2.1 对叶绿素含量的影响 由表 1 可以看出:经 0.00~0.50 mol · L⁻¹ NaCl 处理 48 h 后萝卜幼苗叶片的叶绿素含量差异较大;随 NaCl 浓度的提高,叶片叶绿素含量呈现先增加后逐渐下降的变化趋势。经 0.05 mol · L⁻¹ NaCl 处理后,萝卜幼苗叶片叶绿素含量较对照有所增加,但差异不显著。而经 0.10~0.50 mol · L⁻¹ NaCl 处理后,叶片叶绿素含量均显著低于对照且随 NaCl 浓度的提高降幅逐渐增大;经 0.30 mol · L⁻¹ NaCl 处理后叶绿素含量下降为对照的 81.5%;当 NaCl 浓度高于 0.30 mol · L⁻¹ 时,叶绿素含量迅速降低,经 0.50 mol · L⁻¹ NaCl 处理后,叶片叶绿素含量仅为对照的 55.5%。

2.2.2 对净光合速率的影响 表 1 的测定数据表明:经 0.00~0.50 mol · L⁻¹ NaCl 处理 48 h 后萝卜幼苗叶片的净光合速率变化趋势与叶绿素含量变化趋势较为一致,也随 NaCl 浓度提高呈现先增加后下降的趋势。经 0.05 mol · L⁻¹ NaCl 处理后,幼苗的净光合速率显著高于对照及其他各处理组,为对照的 1.30 倍。而经 0.10~0.30 mol · L⁻¹ NaCl 处理后,幼苗的净光合速率均显著低于对照且随 NaCl 浓度的提高迅速降低;经 0.10 mol · L⁻¹ NaCl 处理后,净光合速率下降为对照的 83.2%;而经 0.30 mol · L⁻¹ NaCl 处理后,净光合速率仅为对照的 22.3%。经 0.35~0.50 mol · L⁻¹ NaCl 处理后,幼苗的净光合速率均为

表 1 不同浓度 NaCl 胁迫对萝卜幼苗叶片 4 个生理指标的影响($\bar{X} \pm SD$)¹⁾
Table 1 Effect of NaCl stress with different concentrations on four physiological indexes in leaf of *Raphanus sativus* L. seedlings ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

NaCl 浓度/mol · L ⁻¹ Concentration of NaCl	叶绿素含量/mg · g ⁻¹ Chlorophyll content	净光合速率/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Net photosynthetic rate	丙二醛含量/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ MDA content	相对电导率/% Relative electric conductivity
0.00(CK)	1.46±0.04a	7.13±0.12b	5.54±0.15g	7.47±0.36i
0.05	1.54±0.06a	9.28±0.10a	9.73±0.18d	13.60±0.18h
0.10	1.34±0.06b	5.93±0.28c	10.35±0.16c	19.47±0.55g
0.15	1.25±0.04bc	3.55±0.14d	11.35±0.54bc	20.51±0.56g
0.20	1.23±0.03bc	3.48±0.14d	12.05±0.54b	22.36±0.65f
0.25	1.21±0.04c	1.94±0.06e	12.33±0.56b	28.39±0.67e
0.30	1.19±0.01c	1.59±0.01f	13.91±0.13a	36.60±0.10d
0.35	1.00±0.03d	0.00±0.00g	12.20±0.31b	41.70±0.60b
0.40	0.94±0.04de	0.00±0.00g	9.50±0.37d	56.27±0.06a
0.45	0.89±0.03e	0.00±0.00g	8.26±0.14e	39.30±0.46c
0.50	0.81±0.03f	0.00±0.00g	7.33±0.24f	36.30±0.98d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著(LSD 检验, $P=0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference (LSD test, $P=0.05$).

$0.00 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 表明在 NaCl 浓度大于 $0.35 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的条件下, 萝卜幼苗叶片的光合系统完全被破坏, 光合作用停止。

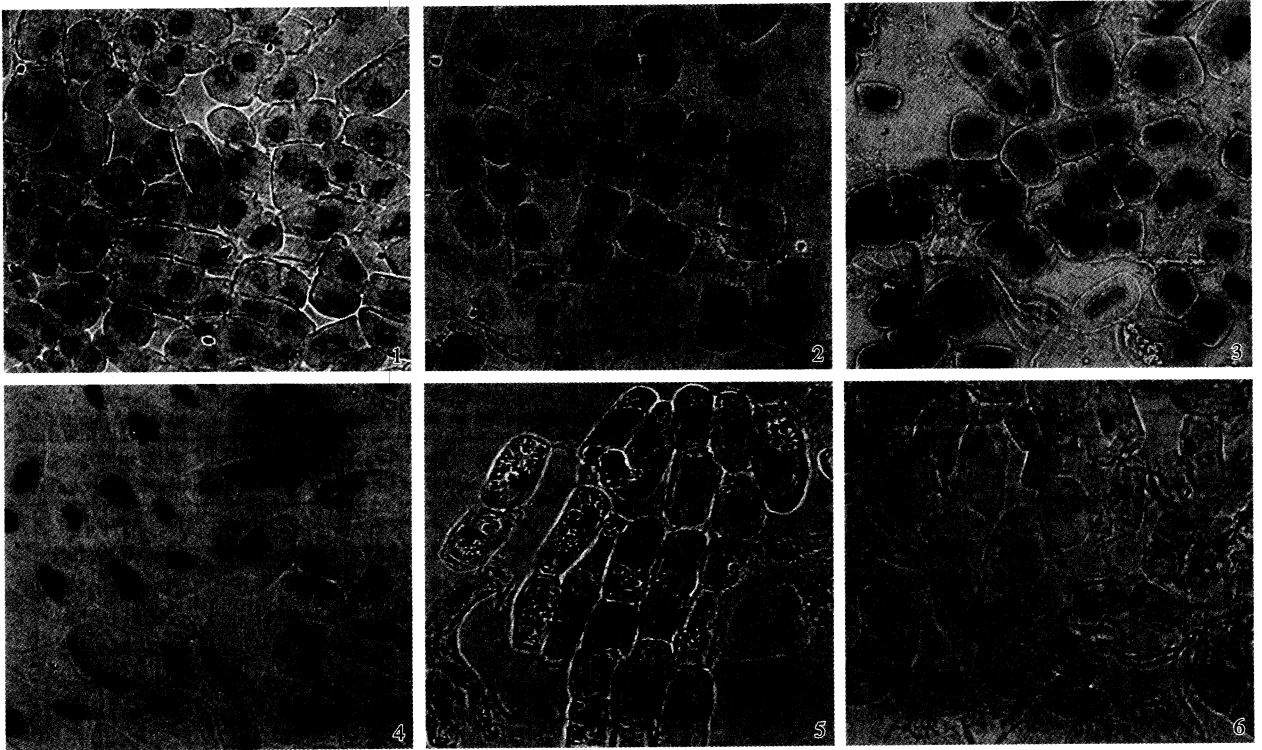
2.2.3 对丙二醛含量的影响 由表 1 还可以看出: 经 $0.00 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理 48 h 后萝卜幼苗叶片的丙二醛(MDA)含量有明显差异, 各处理组 MDA 含量均显著高于对照。经 $0.00 \sim 0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理后, 叶片 MDA 含量随 NaCl 浓度提高呈递增趋势, MDA 含量显著增加; 经 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理后 MDA 含量为对照的 1.76 倍; 经 $0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理后 MDA 含量最高, 达到 $13.91 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, 为对照的 2.51 倍。经 $0.35 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理后, 叶片 MDA 含量显著降低且随 NaCl 浓度提高呈现逐渐降低的趋势, 但也均显著高于对照。导致这一现象的原因可能与较高浓度 NaCl 胁迫条件下更多细胞直接死亡有关。

2.2.4 对相对电导率的影响 植物细胞电解质外渗率的高低在一定程度上可以反映植物细胞膜透性的变化。由表 1 可见: 经 $0.00 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处

理 48 h 后萝卜幼苗叶片的相对电导率均显著高于对照, 且随 NaCl 浓度的提高呈先逐渐增大而后又减小的趋势, 其中 $0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理组幼苗的相对电导率最高。在浓度 $0.00 \sim 0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内, 随 NaCl 浓度提高, 叶片相对电导率呈逐渐增大的趋势, 说明随 NaCl 胁迫强度增大, 细胞膜伤害加重。而经更高浓度 NaCl 胁迫处理后, 叶片相对电导率反而下降, 可能的原因是高浓度 NaCl 的伤害已超过幼苗的耐受能力, 部分细胞膜的半透性完全丧失, 细胞内含物流失所致。

2.3 经 NaCl 胁迫后萝卜幼苗根尖细胞核的形态变化

经 $0.00 \sim 0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理 48 h 后萝卜幼苗根尖细胞核的形态特征见图 1。由图 1 可见: 对照组 ($0.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl) 根尖细胞形状规则, 细胞核呈圆形且核膜完整, 染色边缘清晰, 颜色较深的颗粒状染色质均匀分布在细胞核内 (图 1-1)。经不同浓度 NaCl 处理后, 根尖细胞的细胞核形态发生了不同程度的变化 (图 1-2 ~ 6), 随 NaCl 浓度的提高, 细胞核开



1: $0.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl (CK); 2: $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl; 3: $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl; 4: $0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl; 5: $0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl; 6: $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl.

图 1 经不同浓度 NaCl 处理后萝卜幼苗根尖细胞核的形态变化

Fig. 1 Change on cell nuclear morphology in root-tip of *Raphanus sativus* L. seedlings treated by NaCl with different concentrations

始由原来规则的圆形向各种不规则形状转变,核内的染色质明显凝集到核膜的边缘,并浓缩成三角形、弯月形等,且随 NaCl 浓度的提高细胞核收缩程度逐渐加大,染色质颜色也越来越深。经 $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理后有些细胞的细胞核消失,出现了不同程度的凋亡特征。

此外,经更高浓度 NaCl ($0.30 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 处理后,萝卜幼苗根尖细胞中除出现部分空细胞外,同时还存在部分细胞核浓缩程度很小的根尖细胞(因根尖糜烂严重,装片质量欠佳,未示出)。这可能与高浓度 NaCl 胁迫条件下细胞的瞬间死亡有关。

2.4 经 NaCl 胁迫后萝卜幼苗的生长恢复状况

经 $0.00 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理 48 h 后的萝卜幼苗继续用植物培养液培养,观察其生长恢复状况。结果表明:经 NaCl 处理后,萝卜幼苗的生长状况有明显差异,且与 NaCl 浓度密切相关。经 0.05 和 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理后萝卜幼苗可恢复正常生长,培养 1 周后平均株高分别为 8.07 和 7.68 cm ,与对照无明显差异 (7.96 cm); 经 0.15 和 $0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理后,多数幼苗能够恢复生长,但株高均小于对照,平均株高分别为 5.37 和 4.84 cm ; 经 $0.25 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理后,幼苗均较难恢复正常生长,多数幼苗出现枯萎、糜烂现象。

3 讨 论

盐胁迫是影响植物生命活动的主要环境因子之一,在胁迫状态下植物的正常生命活动受到影响,其内部结构和外部形态将发生一系列的变化。经 $0.05 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理后,萝卜幼苗叶片的叶绿素含量、净光合速率、丙二醛(MDA)含量和相对电导率均发生了变化,且对根尖细胞核形态和幼苗的生长状况也有一定的影响。其中,经较低浓度 NaCl 胁迫处理后萝卜幼苗仍可恢复正常生长,受到的伤害是可逆的;而经高浓度 NaCl 胁迫处理后,萝卜幼苗难以恢复正常生长,受到了不可逆的伤害。

叶绿素是光合作用过程中最重要的色素,其含量与光合作用的强弱有关。经低浓度 ($0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) NaCl 处理后萝卜幼苗叶片叶绿素含量升高同时净光合速率上升,而经高浓度 ($0.10 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) NaCl 处理后萝卜幼苗叶片叶绿素含量下降同时净光合速率也下降,说明叶绿素含量与净光合速率相关。在高

浓度 NaCl 胁迫条件下,萝卜幼苗叶片叶绿素含量和净光合速率明显降低,可能是由于 NaCl 胁迫加剧了叶绿素降解,使大量叶绿体遭到破坏,影响了类囊体膜的稳定性,从而降低叶绿体对光能的吸收,造成光合作用降低。这与 Downton 等^[8]有关“菠菜(*Spinacia oleracea* L.)叶片叶绿素含量降低是引起光合速率降低的主要原因”的结论相一致。李晓燕等^[9]认为:在盐碱逆境下,叶绿素和叶绿体蛋白的解离会使叶绿素酶活性下降,从而促使叶绿素分解,使叶绿素含量下降。低浓度的 NaCl 可能促进叶绿素的合成,叶绿素含量增加则光合作用增强,这与月见草(*Oenothera biennis* L.)对 NaCl 胁迫的生理响应一致^[10]。

细胞膜是产生原初胁迫和次级胁迫反应的主要部位。NaCl 浓度在 $0.00 \sim 0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内,萝卜幼苗叶片 MDA 含量呈现快速上升的趋势,而相对电导率则是在 $0.00 \sim 0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下表现为快速上升的趋势。出现这一结果的原因可能是:在各种逆境条件下,植物细胞内大量的不饱和脂肪酸在生物自由基的作用下易诱发膜脂过氧化反应,从而引起 MDA 含量相应上升,并使膜透性增强、离子外渗^[11-14]。但在 NaCl 浓度超过 $0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的条件下 MDA 含量下降,而相对电导率则在 NaCl 浓度超过 $0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的条件下下降,与萝卜幼苗生理代谢受到不可逆伤害有关。

在 NaCl 胁迫条件下萝卜幼苗根的生长速率随 NaCl 浓度的升高而减慢,并伴随有根毛大量减少、根生长畸形并腐烂的现象。而通过根尖细胞形态观察发现:NaCl 胁迫能诱导萝卜幼苗产生程序性细胞死亡(PCD)特征,如细胞核浓缩变形等,从而对不良环境做出响应。在低浓度 NaCl 胁迫条件下萝卜幼苗叶片比对照更加鲜绿且肥厚,但随 NaCl 浓度的升高叶片逐渐变为暗绿色,最终出现萎蔫、枯萎甚至糜烂。而在低浓度 NaCl 条件下,根尖细胞核的形态变化不明显;但在较高浓度 NaCl 胁迫条件下,细胞核浓缩程度相当严重甚至消失。表明 NaCl 胁迫对萝卜幼苗地上部分生长的影响与根系的伤害程度有关。根系不但对地上部分有支持作用,而且更重要的是能吸收外界环境中的水、肥,影响地上部分的生长,故二者有相互联系和相互制约的关系^[15-17]。但由于根系生长的特殊性及其研究手段的局限性,与地上部分相比,对逆境条件下植物根系的生理变化研究还相对较少,因此,应加强胁迫条件下植物根系生理代谢的相关研究。

参考文献:

- [1] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-320.
- [2] 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤, 2004, 36(1): 25-29.
- [3] 黄毅, 张玉龙. 保护地生产条件下的土壤退化问题及其防治对策[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 212-216.
- [4] 王洪春. 植物抗盐生理[J]. 植物生理学通讯, 1981(6): 72-81.
- [5] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第三十三卷[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 36-39.
- [6] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [7] 刘祖洞, 江绍慧. 遗传学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 208-212.
- [8] DOWNTON W J S, GRANT W J, ROBINSON S P. Stomatal closure fully accounts for the inhibition of photosynthesis by abscisic acid[J]. Plant Physiology, 1985, 77: 85-88.
- [9] 李晓燕, 宋占年, 董志贤. 植物的盐胁迫生理[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(3): 106-111.
- [10] 闫道良, 孙一香, 宗松哈. 不同质量分数 NaCl 对月见草生理指标的影响[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7): 54-55.
- [11] 周虹, 范巧佳, 郑顺林, 等. 春季水分胁迫对川芎叶片相对含水量及保护酶活性的影响[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(2): 132-137.
- [12] 孙国荣, 阎秀峰. 盐胁迫对星星草幼苗保护酶系统的影响[J]. 草地学报, 2001, 9(1): 34-38.
- [13] 王善广, 张华云, 孙秀兰, 等. 生物膜与果树抗寒性[J]. 天津农业科学, 2000, 6(1): 37-40.
- [14] 尹增芳, 何祯祥, 王丽霞, 等. NaCl 胁迫下海滨锦葵种子萌发和幼苗生长过程的生理特性变化[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(1): 14-17.
- [15] 王立德, 廖红, 王秀荣, 等. 植物根毛的发生、发育及养分吸收[J]. 植物学通报, 2004, 21(6): 649-659.
- [16] 苗海霞, 孙明高, 夏阳, 等. 盐胁迫对苦楝根系活力的影响[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2005, 36(1): 9-12, 18.
- [17] 汪承润, 蒋继宏, 屈艾, 等. 钪离子溶液诱导蚕豆根尖细胞凋亡的初步研究[J]. 中国稀土学报, 2004, 22(5): 692-697.

(责任编辑: 惠红)

《生物质化学工程》2013年征订启事

《生物质化学工程》是由国家林业局主管、中国林业科学研究院林产化学工业研究所主办、面向国内外公开发行的全国生物质化工行业的技术类期刊。为美国《化学文摘》(CA)收录期刊;RCCSE中国核心学术期刊(A);2010年中国农业核心期刊;“中国期刊全文数据库”、“中文科技期刊数据库”、“万方数据——数字化期刊群”和“CEPS中文电子期刊服务”全文收录期刊;“中国学术期刊综合评价数据库”统计源期刊;《CAJ-CD规范》执行优秀期刊。并被《乌利希国际期刊指南》收录。

报道范围:可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等;主要报道内容为松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的最新研究成果。主要栏目为研究报告、综述评论、行业热点和国内外信息等。读者对象:在生物质化学工业、林产化学工业、林业、农业、森工、能源、轻工、化工、环保、医药、食品、土产、商检、外贸等行业从事科研、教学、生产、经营、设计等工作的相关人士。

本刊为双月刊,A4开本,56页,单月月底出版。全国各地邮局发行,邮发代号28-205;国内每期定价人民币10元,全年定价人民币60元;国外发行代号BM2743,国外全年定价60美元;也可直接向编辑部订阅。编辑部地址:江苏省南京市锁金五村16号林化所内(邮编210042);电话:025-85482492;传真:025-85482493;E-mail:bce@vip.163.com;网址:http://www.bce.ac.cn。

欢迎订阅和投稿!欢迎来电来函联系广告业务!