

外源亚精胺对不同盐浓度下黄瓜幼苗 可溶性蛋白表达的影响

杜长霞, 李娟, 郭世荣*, 樊怀福

(南京农业大学园艺学院, 南京 210095)

摘要: 采用营养液水培的方法, 以黄瓜品种‘津春 2 号’为试材, 研究了叶片喷施外源亚精胺(Spd)对不同浓度 NaCl(0、50、75、100 mmol·L⁻¹)胁迫下幼苗植株可溶性蛋白表达的影响。结果表明, 50 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下植株叶片和根系中可溶性蛋白含量提高; 75 mmol·L⁻¹ 和 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫明显降低了幼苗植株叶片和根系中可溶性蛋白的含量。不同浓度 NaCl 胁迫下喷施 Spd 后可溶性蛋白含量在根系中没有明显变化规律, 而叶片可溶性蛋白含量提高。SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)对黄瓜幼苗根系可溶性蛋白分析表明, 至少有 3 种分子量约为 61.5、50、47 kD 蛋白在 50 mmol·L⁻¹ 和 75 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下表达量增强, 但 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下变化不明显; 50 mmol·L⁻¹ 和 75 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下喷施 Spd 后 61.5 kD 和 47 kD 蛋白表达量明显减弱, 50 kD 蛋白甚至消失, 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下 61.5 kD 和 47 kD 蛋白无明显变化, 50 kD 蛋白反而增强。

关键词: 黄瓜; 盐胁迫; 亚精胺; 可溶性蛋白; SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳

中图分类号: Q945; S642.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2007)06-0586-05

Effects of Exogenous Spermdine on Soluble Protein Expression in Cucumber Seedlings under Different Saline Concentrations

DU Chang-Xia, LI Juan, GUO Shi-Rong*, FAN Huai-Fu

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Effects of exogenous spermdine application on soluble protein expression in seedlings of cv. ‘Jinchun No. 2’ cucumber (*Cucumis sativus* L.) were conducted under different salinity treatments by hydroponic culture. The results showed that the soluble protein content both leaves and roots significantly increased under 50 mmol·L⁻¹, but decreased under 75 mmol·L⁻¹ and 100 mmol·L⁻¹ salt treatments. Exogenous 1 mmol·L⁻¹ spermdine spray applied increased the soluble protein content in leaves, but no significant changes in roots. By SDS-PAGE electrophoresis analysis, 61.5 kD, 50 kD and 47 kD protein bands were increasing expressed in roots under 50 mmol·L⁻¹ and 75 mmol·L⁻¹ salt concentration, but not obviously expressed under 100 mmol·L⁻¹ salt concentration. However, when 1 mmol·L⁻¹ spermdine was applied, 61.5 kD and 47 kD protein bands slimly expressed, interestingly, 50 kD protein band disappeared even under 50 mmol·L⁻¹ and 75 mmol·L⁻¹ salt treatments, but increasing salt concentration to 100 mmol·L⁻¹, 61.5 kD and 47 kD protein bands had not obvious changes, then 50 kD protein band expressed obviously.

Key words: Cucumber (*Cucumis sativus* L.); NaCl stress; Spermdine; Soluble protein; SDS-PAGE

随着设施蔬菜生产的发展和复种指数的提高, 设施内土壤次生盐渍化程度不断加重, 严重影响蔬菜产量及品质, 已成为国内外设施栽培中普遍存在的问题^[1]。目前普遍认为, 盐胁迫的发生机制有两点: 一是渗透胁迫; 二是盐分离子的毒害作用, 即特殊离子效应。植物受到环境胁迫时, 一方面需要

降低细胞质离子浓度, 另一方面可通过植物体内生理生化反应, 如形成胁迫蛋白、增加渗透调节物质和脱落酸含量等方式, 增强细胞的渗透压, 稳定细胞质膜及酶类结构, 提高细胞对各种逆境的抵抗能力。

多胺(Pamines, PAs)在植物体内能影响 DNA、RNA 和蛋白质的生物合成, 促进生长发育, 延迟衰

收稿日期: 2007-04-09, 修回日期: 2007-06-08。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30571263)。

作者简介: 杜长霞(1983-), 女, 硕士研究生, 主要从事设施园艺与无土栽培研究。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: srguo@njau.edu.cn)。

老,提高抗逆性,甚至与植物的生存密切相关^[2]。亚精胺(Spermidine, Spd)属于多胺类化合物中的三胺,研究发现,外施 Spd 能够逆转滨藜(*Atriplex centralasiatica*)叶片受到的盐胁迫效应^[3],外源 Spd 可明显减轻盐胁迫对黄瓜(*Cucumis sativus* L.)幼苗的伤害^[4]。本试验以黄瓜幼苗为材料,在温室环境下,研究叶片喷施外源 Spd 对不同盐浓度胁迫条件下幼苗可溶性蛋白含量及其表达特性的影响,初步探讨植物抗盐性的分子生物学机理。

1 材料和方法

1.1 供试材料

试验于2006年9~11月在南京农业大学玻璃温室内进行,供试黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种为盐敏感型的‘津春2号’,种子由天津科润农业科技股份有限公司黄瓜研究所提供。选取饱满、整齐一致的种子,55℃温汤浸种15 min, (29±1)℃培养箱催芽,将发芽的种子播于装有石英砂的育苗盘中,昼温25~30℃、夜温15~18℃。待第3片真叶长出时,挑选生长一致的幼苗定植于营养液水培槽内,营养液采用日本山崎黄瓜配方^[5],pH值为6.5±0.1,EC值为2.2~2.5 ms·cm⁻¹,气泵通气(40 min/h),缓苗3 d后于下午5:30开始处理。

1.2 试验处理

本试验共设8个处理:A,正常营养液栽培(CK);B,正常营养液+叶片喷施1 mmol·L⁻¹ Spd(CK+Spd);C,正常营养液+50 mmol·L⁻¹ NaCl(50 NaCl);D,正常营养液+50 mmol·L⁻¹ NaCl+叶片喷施1 mmol·L⁻¹ Spd(50 NaCl+Spd);E,正常营养液+75 mmol·L⁻¹ NaCl(75 NaCl);F,正常营养液+75 mmol·L⁻¹ NaCl+叶片喷施1 mmol·L⁻¹ Spd(75 NaCl+Spd);G,正常营养液+100 mmol·L⁻¹ NaCl(100 NaCl);H,正常营养液+100 mmol·L⁻¹ NaCl+叶片喷施1 mmol·L⁻¹ Spd(100 NaCl+Spd),A、C、E、G 4个处理分别喷施等量的蒸馏水作为对比。喷施方法同B、D、F、H。NaCl(北京化学试剂公司,含量≥99.5%,规格AR)使用浓度50、75、100 mmol·L⁻¹,处理当天直接加入营养液中。亚精胺(Spd)为SIGMA公司产品,白色固体,配制母液于4℃冰箱保存,使用时稀释到1 mmol·L⁻¹,现配现用,处理当天开始到试验结束为止,每天下午5:30用小型喷雾器进行叶片喷施,叶面、叶背喷洒均匀,以药液附于叶面但不下滴为准。

1.3 测试方法

1.3.1 可溶性蛋白测定

处理后第3、6、9 d分别取幼苗的叶片和根系,先用自来水冲洗干净,再用蒸馏水冲洗2~3次,取0.5 g和1.0 g的叶片、根系,分别加入1.2 mL和1.0 mL预冷的可溶性蛋白提取缓冲液。可溶性蛋白提取缓冲液为30 mmol·L⁻¹ Tris-HCl pH 8.7,含蔗糖0.7 mol·L⁻¹、DTT 1 mmol·L⁻¹、AsA 1 mmol·L⁻¹、EDTA 1 mmol·L⁻¹、MgCl₂ 1 mmol·L⁻¹和PMSF 1 mmol·L⁻¹,充分匀浆后置于Ependorf管中,加入少许活性碳在旋涡振动混和仪上去除叶绿素,12000 g,4℃离心15 min,倒出上清液,再离心1次,上清液即为可溶性蛋白提取液^[6]。可溶性蛋白质含量使用Bradford的方法^[7]测定。标准蛋白质溶液由牛血清白蛋白(AMRESCO分装)配制。

1.3.2 SDS-PAGE

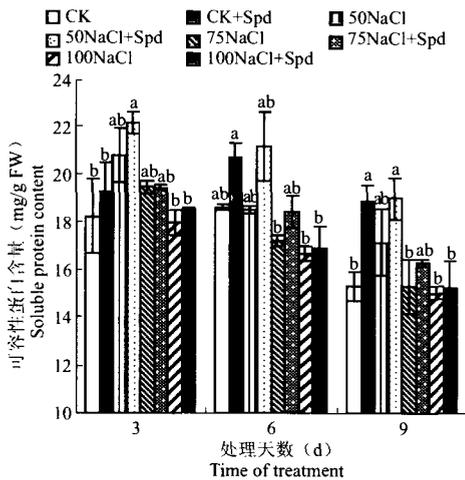
采用Laemmli^[8]不连续十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)方法,w₁(凝胶浓度,浓缩胶)=5%,w₂(分离胶)=12.5%,凝胶厚度为1 mm。电泳各样品均按Bradford法^[7]测定的蛋白浓度进行等量上样,每个泳道根系35 μL,叶片25 μL。电极缓冲液为Tris-甘氨酸(pH=8.3)系统,电泳5~6 h。凝胶用考马斯亮兰R-250染色过夜,脱色至背景色透明后经自动凝胶图像分析仪(型号JS-380,上海培清科技有限公司)处理得电泳图。根据蛋白质迁移率测定蛋白质的分子量,标准蛋白质试剂为SDS-PAGE电泳低分子量标准蛋白质(SDS-PAGE molecular weight markers for proteins, MBI Fermentas生产)。电泳所需试剂均由AMRESCO公司生产。

试验均为3个重复。所有数据用SAS软件进行单因素方差分析,并对平均数用Duncan's新复极差法进行多重比较。

2 结果和分析

2.1 外源 Spd 对根系可溶性蛋白含量的影响

从图1中可以看出,与对照相比,50 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫处理后第3 d和第6 d可溶性蛋白显著高于对照,分别为对照的139.04%和114.9%,随后下降,胁迫第9 d时为对照的113.76%;75 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫处理也提高了可溶性蛋白含量,但在处理期间与对照和单独50 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫之间的差异均没有达到显著水平;100 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫条件下可溶性蛋白含量反而下降,整个处理期间其



图中不同小写字母表示同期处理间差异达5%显著水平,下同
Different normal letters among the same times of treatment mean significant difference at 5% level. The same as below

图1 外源Spd对不同浓度NaCl胁迫下黄瓜幼苗根系可溶性蛋白含量的影响

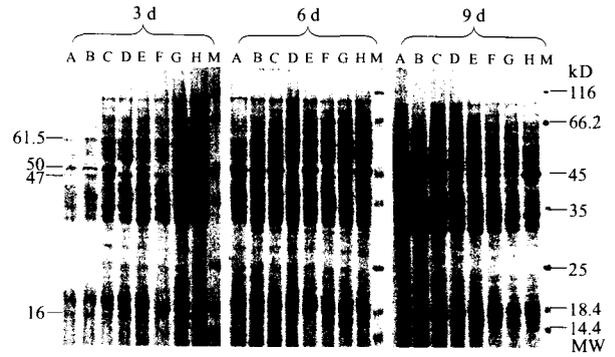
Fig. 1 Effects of exogenous spermidine on soluble protein content in roots of cucumber seedlings under different saline concentrations

均低于 50 mmol·L⁻¹ 和 75 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫处理,并在处理第 6 d 和第 9 d 时低于对照,但差异均不显著。

与对照相比,正常条件下喷施 Spd 可溶性蛋白含量升高,并在第 6 d 和第 9 d 差异达显著水平;与单独 50 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫处理相比,盐胁迫下喷施 Spd 在第 6 d 和第 9 d 进一步提高了根系内可溶性蛋白的含量,在处理第 6 d 时差异达显著水平;75 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下喷施 Spd 与 75 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫处理比较,可溶性蛋白含量下降,但整个处理期间差异不显著;与单独 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫处理相比,盐胁迫下喷施 Spd 后也进一步提高了可溶性蛋白含量,在整个试验处理期间差异没有达到显著水平。

2.2 外源 Spd 对根系可溶性蛋白 SDS-PAGE 图谱分析

从图 2 根系电泳图谱中可以看到,与对照(A)和正常生长下喷施 Spd(B)相比,分子量约为 50 kD 蛋白在单独 50 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫(C)处理中表达量明显增强,但在外源喷施 Spd 后(D)该蛋白消失;75 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫(E)下,蛋白表达量明显低于 C 处理,外源喷施 Spd(F)后,在处理第 3 d 和第 6 d 时该蛋白同 D 处理一样消失,但到第 9 d 该蛋白重新出现;100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下喷施 Spd(H)与单独 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫(G)下相比,该蛋白



MW: Molecular weight (kD). A: CK; B: CK + Spd; C: 50 mmol/L NaCl; D: 50 mmol/L NaCl + Spd; E: 75 mmol/L NaCl; F: 75 mmol/L NaCl + Spd; G: 100 mmol/L NaCl; H: 100 mmol/L NaCl + Spd; M: Marker

图2 外源Spd对不同浓度NaCl胁迫下黄瓜幼苗根系可溶性蛋白的SDS-PAGE图谱

Fig. 2 Effects of exogenous spermidine on SDS-PAGE soluble protein profiles in roots of cucumber seedlings under different saline concentrations

又重新出现,且随着处理时间的延长,表达量逐渐增强,变化趋势明显不同于 C 和 E 两个盐胁迫处理。

分子量约为 61.5 kD 和 47 kD 蛋白在 C 和 E 下表达量增强,但在外源喷施 Spd 后 D 和 F 表达量明显减弱;但在 G 和 H 两处理间该蛋白表达没有明显差异。随着盐处理浓度的升高和处理时间的延长,蛋白表达量降低。

在处理第 3 d 时,16 kD 蛋白在 A、B、C 和 D 4 个处理中均表达,且表达量基本一致,但随着盐浓度的升高,该蛋白消失;到处理第 6 d 时,该蛋白在所有 8 个处理中都消失;但到处理第 9 d 时,该蛋白在 E、F、G 和 H 处理中表达。

2.3 外源 Spd 对叶片可溶性蛋白含量的影响

从图 3 可以看出,50 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,叶片可溶性蛋白含量提高,在胁迫第 3 d 达到最高值,在第 6 d 和第 9 d 逐渐下降,整个处理期间与对照相比差异均不显著;75 mmol·L⁻¹ 和 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫处理下可溶性蛋白含量在第 6 d 均显著低于对照和 50 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫处理。整个试验处理期间,随着盐浓度的升高和处理时间的延长,叶片中可溶性蛋白含量总体呈逐渐下降的趋势。

正常条件和 50、75、100 mmol·L⁻¹ NaCl 条件下分别喷施 Spd,叶片可溶性蛋白含量均提高,其中第 9 d 时正常生长条件下喷施 Spd 可溶性蛋白含量显著高于对照。

2.4 外源Spd对叶片可溶性蛋白SDS-PAGE图谱分析

从叶片电泳图 4 中可以看出,在试验处理第 3、

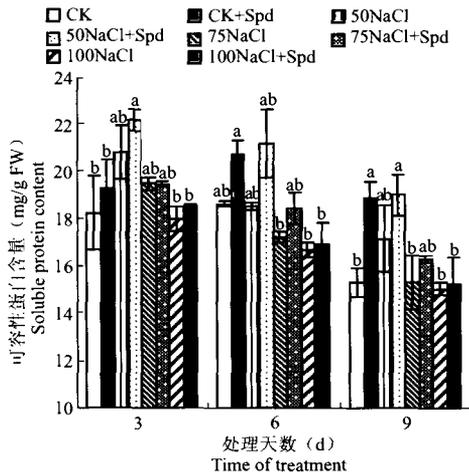
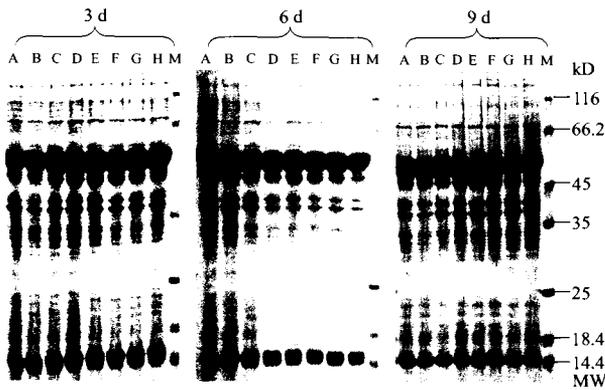


图 3 外源 Spd 对不同浓度 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片可溶性蛋白含量的影响

Fig. 3 Effects of exogenous spermidine on soluble protein content in leaves of cucumber seedlings under different saline concentrations



What need notes refer to Fig.2

图 4 外源 Spd 对不同浓度 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片可溶性蛋白的 SDS-PAGE 图谱

Fig. 4 Effects of exogenous spermidine on SDS-PAGE soluble protein profiles in leaves of cucumber seedlings under different saline concentrations

6、9 d 中,对照、50、75、100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫以及分别喷施 Spd 后,各处理间可溶性蛋白表达均无明显差异。

3 讨论

本试验结果表明,与对照相比,在 50 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下黄瓜幼苗叶片和根系可溶性蛋白含量增加,75 mmol·L⁻¹ 和 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下可溶性蛋白含量逐渐降低,这与前人在桑树(*Morus alba*)^[9] 研究中的结果一致。植物在逆境下增加可溶性蛋白可以束缚更多的水分,减缓植物因渗透胁迫而造成的伤害,50 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下黄瓜幼苗

体内的可溶性蛋白含量提高,是植物本身对环境胁迫的一种适应机制。植物渗透适应常表现为无机离子或低分子量有机溶质的累积。另一种可能是植株本身为了避免胁迫造成伤害诱导产生一些抗逆蛋白质,如干旱相关蛋白、解毒酶、水分通道蛋白等,这些新增加的蛋白质种类和含量与植物的抗逆性密切相关。在一定盐浓度胁迫下,植株为适应盐胁迫而进行的蛋白质合成反应优于分解反应,因此表现出蛋白含量升高的现象,其后随着盐浓度的升高和胁迫时间的延长合成反应受到不同程度的抑制,逐渐表现出蛋白质分解加强而合成降低的盐害现象。

盐胁迫下,不同蛋白的表达是不同的。一些可溶性蛋白(如抗氧化酶)在盐胁迫下显著增加,盐诱导春小麦(*Triticum aestivum*)^[10] 和黄瓜^[11] 中可溶性蛋白含量增加;在 0、50、100、200 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下,转基因棉花(*Gossypium hirsutum* L.) 幼苗叶片中可溶性蛋白含量增加,在茎中下降,根中可溶性蛋白含量在 50 mmol·L⁻¹ 和 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下下降^[12]。可溶性蛋白对盐胁迫的响应与不同品种对盐胁迫的耐性相关^[13]。

高等植物中常见的多胺有腐胺(Put)、亚精胺(Spd)、精胺(Spm)等。盐胁迫下施用外源 Put 能够抑制淀粉酶和蛋白酶活性,提高核酸和光合色素含量,促进盐胁迫下菜豆(*Phaseolus vulgaris*) 幼苗的生长;并促进了耐盐水稻(*Oryza sativa* L.) 禾苗的生长,促进脯氨酸和内源 Put 在叶中的积累,防止叶绿素降解和阻碍蛋白质、RNA 含量的下降^[14]。叶面喷施 Spm 水溶液可以抑制盐胁迫下玉米(*Zea mays* L.) 叶中 MDA 积累,减少细胞膜透性,延缓叶绿素分解,提高蛋白质含量,增加地上部分与根系的鲜重、干重和株高,显示 Spm 具有增强抗盐能力的作用^[15]。本试验表明,盐胁迫下叶面喷施 Spd 根系内可溶性蛋白含量没有明显的变化规律,可能与 NaCl 胁迫浓度以及 Spd 的施用方式和 Spd 在植物体内运输有关,有待进一步研究。但在叶片中,对照以及 3 种盐浓度梯度下,喷施 Spd 后可溶性蛋白含量均提高,其中 50 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下喷施 Spd 最明显。

一些植物中已经鉴别出了几种盐诱导蛋白,并且被分成两个不同的类别,一种是盐胁迫蛋白,仅仅由于盐胁迫而在植物体内积累;另一种是盐相关蛋白,这种蛋白是对高温、低温、涝害和高低矿物质营养的响应而产生的^[16]。研究烟草(*Nicotiana tabacum*)^[17] 盐诱导特征蛋白过程中,发现了一种分子量为 26 kD 的蛋白,后来被命名为渗透调素。与未受胁迫

迫植株相比,在受到盐胁迫的松叶菊(*Lampranthus spectabilis*)^[18,19]中类似渗透调素的蛋白含量相对增加,同时发现40、34、32、29、14 kD这5种多肽在盐胁迫下积累。在盐胁迫处理的萝卜(*Raphanus sativus*)^[20]中发现了22 kD的蛋白,盐胁迫引起叶片中该蛋白的积累,23~25 kD蛋白在盐胁迫下显著增加。在玉米^[21]根中,盐诱导4种分子量为61、51、39、29 kD多肽的积累。

从本试验黄瓜幼苗根系 SDS-PAGE 电泳图谱(图2)中看出,试验处理期间,分子量约为61.5、50.47 kD蛋白在单独50 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫中表达量明显增强。随着处理时间的延长,表达量有逐渐降低的趋势,这可能由于植株已经适应了盐胁迫环境,从而在胁迫后期盐胁迫相关蛋白表达减少以至不表达。与单独50 mmol·L⁻¹和75 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫相比,分别喷施Spd后,这些蛋白在试验处理期间表达明显减弱,50 kD蛋白甚至消失,推测这些蛋白可能与Spd缓解短期盐胁迫伤害有关。不同于50 mmol·L⁻¹和75 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫,与单独100 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫相比,外源喷施Spd后,在处理第6 d和第9 d,50 kD蛋白表达逐渐增强,这可能是由于黄瓜幼苗在单独100 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下,生长严重受抑制,达到了黄瓜幼苗生长的极限盐浓度,这种盐诱导蛋白表达被抑制;在100 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下喷施Spd后虽然没有明显缓解盐害,但在一定程度上稍微减轻了这种极限盐害作用,所以50 kD蛋白在100 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下喷施Spd后表达又有所增强。

上述可溶性蛋白表达效应是一个动态的变化过程,与根系相比,叶片中可溶性蛋白的变化不明显,黄瓜叶片对盐胁迫敏感程度比较低,可能是由于营养液栽培环境下根系比叶片较早地接触到这种盐胁迫的环境所造成,也有可能与本试验Spd直接处理叶片有关,也可进一步说明Spd对盐胁迫的缓解效应。

参考文献:

- [1] 刘志媛,朱祝军,钱亚榕,喻景权.等渗Ca(NO₃)₂和NaCl对番茄幼苗生长的影响[J].园艺学报,2001,28(1):31-35.
- [2] Akihiro I, Takashi M, Yoshie H, Takashi A, Masanori T, Hikaru S, Yumiko S, Tomohiko K, Hiroaki H, Daisuke S, Satoshi T, Yoshibumi, Taku T. Spermidine synthase genes are essential for survival of *Arabidopsis* [J]. *Plant Physiology*, 2004, 135(3): 1565-1573.
- [3] 江行玉,赵可夫,窦君霞. NaCl胁迫下外源亚精胺和二环己基胺对滨藜内源多胺含量和抗盐性的影响[J].植物生理学通讯,1999,35(3):188-190.
- [4] 段九菊,郭世荣,康云艳.外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗活性氧水平和抗氧化酶活性的影响[J].园艺学报,2006,33(3):634-639.
- [5] 郭世荣.无土栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.114.
- [6] 黄雪梅,宋松泉,傅家瑞.在蔗糖预培养诱导耐脱水过程中黄皮胚轴的水分状态 and 可溶性蛋白含量的变化[J].植物生理与分子生物学报,2006,32(2):245-251.
- [7] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. *Analysis of Biochemistry*, 1976, 72: 248-254.
- [8] Laemmli U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4[J]. *Nature*, 1970, 227: 680.
- [9] Agastian P, Kingsley S J, Vivekanandan M. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes[J]. *Photosynthetica*, 2000, 38: 287-290.
- [10] Ashraf M, O'Leary J W. Changes in soluble proteins in spring wheat stressed with sodium chloride [J]. *Biol Plant*, 1999, 42(1): 113-117.
- [11] 樊怀福,郭世荣,杜长霞,焦彦生,栗娜娜,段九菊.外源NO对NaCl胁迫下黄瓜幼苗氮化合物和硝酸还原酶活性的影响[J].西北植物学报,2006,26(10):2063-2068.
- [12] Jiang L J, Duan L S, Tian X L, Wang B M, Zhang H F, Zhang M C, Li Z H. NaCl salinity stress decreased *Bacillus thuringiensis* (Bt) protein content of transgenic Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 55: 315-320.
- [13] Sibole J V, Cabot C, Poschenrieder C, Barcelo J. Efficient leaf ion partitioning, an overriding condition for abscisic acid controlled stomatal and leaf growth responses to NaCl salinization in two legumes [J]. *J Exp Bot*, 2003, 54: 2111-2119.
- [14] Ibrahim M Z. Response of bean (*Phaseolus vulgaris*) to exogenous putrescine treatment under salinity stress [J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2004(2): 219-225.
- [15] 段辉国,袁澍,刘文娟,林宏辉.多胺与植物逆境胁迫的关系[J].植物生理学通讯,2005,41(4):531-536.
- [16] Ali G, Srivastava P S, Iqbal M. Proline accumulation, protein pattern and photosynthesis in regenerants grown under NaCl stress [J]. *Biol Plant*, 1999, 42(1): 89-95.
- [17] Singh N K, Bracken C A, Hasegawa P M, Handa A K, Buckel S, Hermodson M A, Pfankoch F, Regnier F E, Bressan R A. Characterization of osmotin, a thaumatin-like protein associated with osmotic adjustment in plant cells [J]. *Plant Physiology*, 1987, 85: 529-536.
- [18] Thomas J C, Bohnert H J. Salt stress perception and plant growth regulators in the halophyte *Mesembryanthemum crystallinum* [J]. *Plant Physiology*, 1993, 103: 1299-1304.
- [19] Yen H E, Zhang D Z, Lin J H, Edwards G E, Ku M S B. Salt-induced changes in protein composition in light-grown callus of *Mesembryanthemum crystallinum* [J]. *Physiologia Plantarum*, 1997, 101(3): 526-532.
- [20] Lopez F, Vansuyt G, Fourcroy P, Case-Delbart F. Accumulation of a 22-kDa protein and its mRNA in the leaves of *Raphanus sativus* in response to salt stress or water stress [J]. *Physiologia Plantarum*, 1994, 91: 605-614.
- [21] Tamas L, Huttova J, Mistrik I. Impact of aluminium NaCl and growth retardant tetcyclacis on growth and protein composition of maize roots [J]. *Biologia*, 2001, 56(4): 441-448.