

# 盐胁迫下 NO 对玉米幼苗生理特性的影响

顾庆龙<sup>1</sup>, 莫亿伟<sup>2</sup>, 涂庆华<sup>3</sup>, 李运合<sup>2</sup>, 胡玉林<sup>2</sup>, 习金根<sup>2</sup>

(1. 扬州教育学院, 江苏 扬州 225009; 2. 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所,

广东 湛江 524091; 3. 抚州职业技术学院, 江西 抚州 344000)

**摘要:** 为探讨外源一氧化氮(NO)供体和清除剂对玉米幼苗抗盐性的影响, 用 50 mmol/L 的 NaCl 浇灌 4 叶期的玉米幼苗造成盐害, 同时加入 10~100 μmol/L 的 NO 生成剂硝普钠(SNP)或清除剂 CPTIO。试验结果表明, 加入 NO 供体 SNP 可以提高玉米叶片中 NO 的含量, 降低超氧阴离子的产生速率, 降低叶片脂氧合酶活性(LOX)、丙二醛(MDA)含量和相对电导率, 提高叶片相对含水量、延缓叶绿素的降解和提高植株干重; 在 SNP 不同的使用浓度中, 以 40 μmol/L 的 SNP 效果最好, 当 SNP 浓度过低和过高时均达不到理想的效果。当 NO 被 CPTIO 清除后则加速玉米的受害程度。因此适当浓度 NO 能够减轻玉米受盐胁迫的伤害。

**关键词:** 玉米幼苗; 一氧化氮; 盐胁迫; 硝普钠; 活性氧

**中图分类号:** S513.01    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0157-06

一氧化氮(Nitric oxide, NO)是动植物中一种非极性、短效、普遍存在的信号分子, 也是生物体中重要的氧化还原信号分子, 主要通过一氧化氮合酶(Nitric oxide synthase)和硝酸还原酶(Nitrate reductase)催化合成, 也可以由非酶促的氧化还原反应产生<sup>[1]</sup>。NO 在植物体内起着重要的信号物质的作用, 如 NO 能提高柱花草(*Stylosant hesguianensis* (Aubl.) Sw.)<sup>[2]</sup>、小麦(*Triticum aestivum* L.)<sup>[3]</sup> 和黑麦草(*Lolium perenne* L.)<sup>[4]</sup>对逆境胁迫的抗性。作为植物体内的一种信号分子, NO 的生物效应也具有双重性, 即低浓度的 NO 能迅速清除脂质自由基, 阻断脂质过氧化以及诱导相关抗氧化酶的基因表达, 提高抗氧化酶的活性; 而高浓度的 NO 对植物的生长却是不利的<sup>[5,6]</sup>。虽然 NO 的作用在其他物种上已有不少的研究, 但是对玉米在盐胁迫条件下抗性的影响则少有报道。

本文以受盐胁迫 4 叶期的玉米幼苗为材料, 研究玉米施用 NO 供体硝普钠(sodium nitroprusside, SNP)和 NO 专一清除剂(2-(4-Carboxyphenyl)-4,4,5,5-tetramethylimidazoline-1-oxyl-3-oxide potassium salt, CPTIO)后, 玉米叶片 NO 的含量及对盐胁迫的抗性变化。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料处理

玉米(*Zea mays* L.)品种为苏玉糯 10 号, 挑选

饱满、大小一致无病虫害的种子, 用蒸馏水冲洗数次, 浸泡种子 2 h 后, 将种子播种在高为 30 cm, 直径为 25 cm 塑料花盆内, 培养基质为泥炭土与珍珠岩, 以 3:1 的比例混匀。每盆种植 4~5 株。玉米出苗后, 每 2 d 用 1/5 浓度的 Hoaglands 营养液浇灌, 待第 4 片叶长出后, 选取长势良好和长势一致的玉米幼苗进行盐胁迫试验, 在 1/5 浓度的 Hoaglands+50 mmol/L NaCl 中分别加入 NO 供体 SNP 或 NO 清除剂 CPTIO, 其中 SNP 的使用浓度为 0, 10, 20, 40, 80, 100 μmol/L; CPTIO 的使用浓度为 0, 10, 20, 40, 80, 100 μmol/L。以只用 1/5 浓度 Hoaglands 的营养液浇灌, 不进行盐胁迫处理作对照(CK)。每个处理用 3 盆玉米苗, 试验设 3 个重复, 当叶片开始出现受害症状时, 取成熟叶测定相关生理指标和玉米幼苗干物质的积累量。

### 1.2 测定方法

NO 含量测定, 参照 Zhou 等的测定方法<sup>[7]</sup>, 取 0.5 g 玉米叶片用液氮研磨成粉末, 加入 2 mL 提取液(0.05 M 醋酸缓冲液加入醋酸锌 0.04 g/mL, pH5.6), 再加石英砂研磨成匀浆, 加入 0.1 g 活性炭轻轻搅匀, 4°C 8000 g/min 离心 15 min, 过滤, 用提取液定容, 取 1 mL 上清液加 0.5 mL 2% 对氨基苯磺酸, 5 min 后加 0.5 mL 0.2% α-萘胺, 10 min 后测定 OD540, 按标准曲线算出 NO 含量。

超氧阴离子(O<sub>2</sub><sup>·-</sup>)释放速率测定参照王爱国等的方法进行<sup>[8]</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量测定参照柯德森等的方

收稿日期: 2008-06-02

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2008-05)

作者简介: 顾庆龙(1964—), 男, 副教授, 主要从事植物生物学教学与研究工作。

通讯作者: 莫亿伟, E-mail: ywmo@163.com

法<sup>[9]</sup>。相对含水量按 Lu 等方法<sup>[10]</sup>进行,称取玉米叶片鲜重 0.5 g(FW),然后于蒸馏水中浸泡过夜,取出擦干表面水分立即称量其吸水饱和后质量(T),将其移入烘箱 120 °C 杀青 10 min 后,于 80 °C 烘干至恒重,称材料干重(DW)。按下列公式计算相对含水量:

$$\text{相对含水量(RWC)} = [(FW - DW) / (T - DW)] \times 100\%$$

玉米叶片相对电导率、总叶绿素含量、MDA 含量测定均按《植物生理学实验指导》<sup>[11]</sup>方法进行。试验结果用 Excel 计算与作图,用平均数加标准差表示相关测定值的大小。

## 2 结果与分析

### 2.1 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米叶片 NO 含量的影响

从图 1 可知,玉米幼苗受盐胁迫后,叶片的 NO 含量比对照增加 12.5%~16.4%,说明盐胁迫使玉米叶片 NO 含量增加。当对玉米叶片施用 NO 供体 SNP 后,随着 SNP 浓度的增加,叶片 NO 含量也在增加,但当 SNP 的量超过 40 μmol/L 时,NO 含量最多达 4.25 nmol/g·FW,若 SNP 浓度继续增加,NO 含量则是保持在一定的水平上,不再明显增加。说明叶片 NO 含量并不总是与 SNP 的浓度存在正相关关系。

当用 CPTIO 处理后,随着处理浓度的增加,NO 含量减少,当 CPTIO 浓度为 80 μmol/L 时,NO 含量为 3.03 nmol/g·FW,说明 CPTIO 对 NO 具有清除作用。比对照下降了 9.5%,比单独受盐胁迫的玉米叶片下降 19.7%。

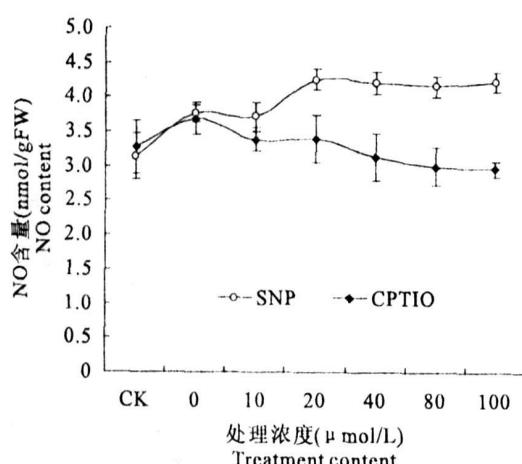


图 1 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米叶片 NO 含量的影响

Fig. 1 Effects treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on the content of nitric oxide in maize leaves

### 2.2 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米叶片超氧阴离子产生速率的影响

从图 2 可知,在盐胁迫条件下,玉米叶片的超氧阴离子产生速率明显增加,比对照组高 54.2%,说明盐胁迫使玉米超氧阴离子产生速率明显加快。而施用 SNP 后,叶片超氧阴离子的产生速率随着 SNP 浓度增加而下降,当 SNP 浓度达 40 μmol/L 时,超氧阴离子比受盐胁迫而未施用 SNP 的叶片下降 32.9%,说明施用 SNP 能降低超氧阴离子产生的速率,有利于降低盐胁迫造成的氧化伤害。

在盐胁迫的同时,施用 CPTIO 后,叶片的活性氧产生速率比受盐胁迫而未施用 CPTIO 时更大,当使用量为 80 μmol/L 时,超氧阴离子产生速率达到最大值。说明在盐胁迫下,加入 NO 清除剂后,提高了叶片超氧阴离子产生的速率,加大了在盐胁迫条件对玉米叶片造成的氧化伤害。

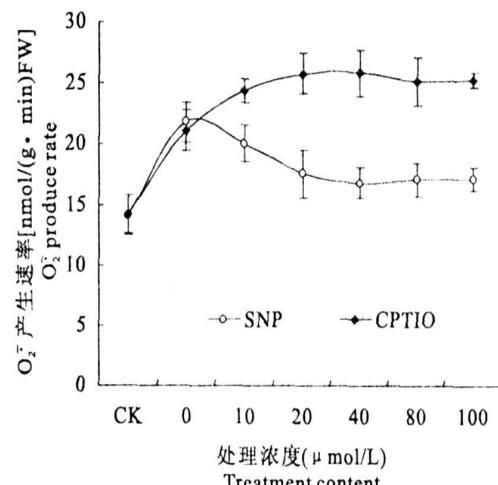


图 2 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米叶片超氧阴离子产生速率的影响

Fig. 2 Effects of treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on superoxidase radicals producive rate in maize leaves

### 2.3 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米叶片 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量的影响

由图 3 可知,与对照相比,在盐胁迫下玉米叶片 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量增加量在 33.3%~37.7% 之间。在施用 SNP,叶片 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量下降,其中 SNP 为 40 μmol/L 时,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量最低,比受盐胁迫而未施用 SNP 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量下降了 21.3%。当施用 CPTIO 浓度为 10~20 μmol/L 时,叶片 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量不断增加,但是当 CPTIO 浓度为 40 μmol/L 时,玉米叶片 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量却略有下降,然后随着 CPTIO 浓度加大,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量则又上升。说明当玉米叶片的 NO 被清除后,

$H_2O_2$  含量增加。

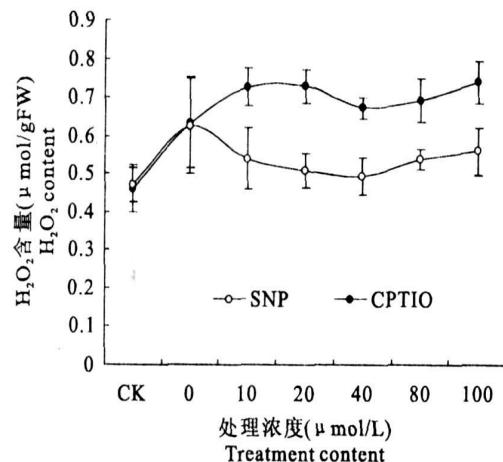


图3 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米叶片  $H_2O_2$  含量的影响

Fig. 3 Effects of treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on  $H_2O_2$  content in maize leaves

#### 2.4 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米叶片 LOX 活性的影响

从图 4 可知, 玉米受盐胁迫后, 叶片脂氧合酶(LOX)活性比对照增加 35% 左右, 当施用 SNP 后, 叶片 LOX 活性随着 SNP 浓度增加而下降, 当 SNP 浓度达到  $40 \mu\text{mol/L}$  时, 比受盐胁迫而未施用 SNP 的 LOX 活性下降了 21.8%, 说明施加 SNP 后, 提高了叶片 NO 含量的同时降低了叶片的 LOX 活性, 防止了膜脂的过氧化。

在盐胁迫的同时, 施用 CPTIO 处理后, 叶片的 LOX 活性增加, 当 CPTIO 浓度为  $40 \mu\text{mol/L}$  时, LOX 活性比受盐胁迫而未施用 CPTIO 的玉米增加了 30.1%。说明玉米叶片的 NO 含量降低时, 叶片 LOX 活性增加, 加速了膜脂的过氧化。

#### 2.5 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米叶片 MDA 含量的影响

从图 5 可知, 玉米受盐胁迫后, 叶片 MDA 含量比对照增加 40.3% 左右。说明盐胁迫后造成膜脂过氧化加速, 过氧化产物 MDA 含量明显增加。而在盐胁迫的同时, 施用 SNP 后, 叶片 MDA 含量随着 SNP 浓度的增加而下降, 当 SNP 浓度达  $40\sim80 \mu\text{mol/L}$  时, MDA 含量与单独盐胁迫时相比下降了 23.1% 左右, 说明加入了 SNP 后, 在提高 NO 的同时, 使膜脂过氧化程度降低, 这与 2.4 中所测到的 LOX 活性降低的结果是一致的。

施用 NO 清除剂 CPTIO 后, 叶片的 MDA 含量则不断增加, 说明了 NO 被清除后, 叶片膜脂过氧化

加快, 导致了叶片 MDA 含量的增加, 加剧了盐胁迫对玉米叶片的伤害。

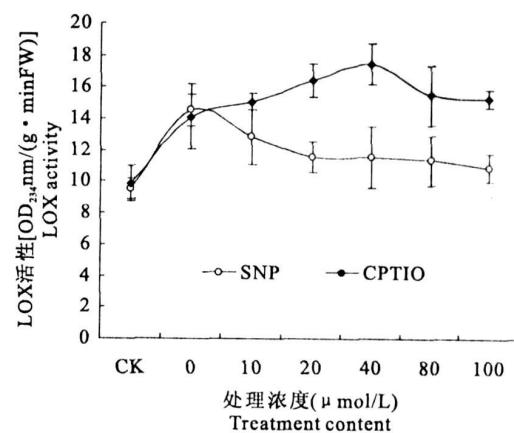


图4 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米叶片 LOX 活性的影响

Fig. 4 Effects of treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on LOX activity in maize leaves

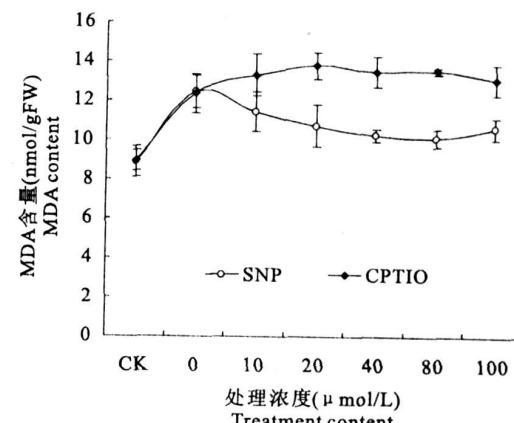


图5 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米叶片 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effects of treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on MDA content in maize leaves

#### 2.6 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米叶片相对电导率的影响

从图 6 可知, 盐胁迫使玉米叶片的相对电导率明显增加, 而在盐胁迫的同时, 施用 SNP 后, 玉米叶片相对电导率随着 SNP 浓度的增加而下降, 当 SNP 浓度达到  $40 \mu\text{mol/L}$  时, 比受盐胁迫而未施用 SNP 处理下降了 6.45%, 说明加入 SNP 后, 在提高叶片 NO 含量的同时, 还有利于保护细胞膜的完整性, 在一定程度上能降低盐胁迫下叶片细胞膜透性, 降低了盐胁迫对玉米叶片的伤害。

而在盐胁迫的同时,施用 CPTIO 后,叶片的 NO 得到清除,使细胞膜的透性增大,相对电导率则随着 CPTIO 浓度的增加不断增加,进一步加大了玉米叶片受盐害的程度。

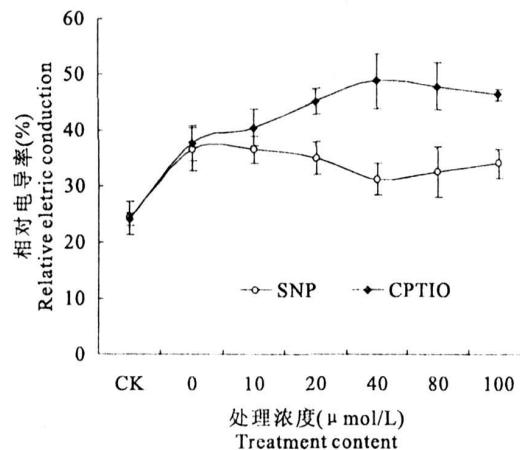


图 6 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米叶片相对电导率的影响

Fig. 6 Effects of treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on relative electric conduction in maize leaves

## 2.7 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米叶片相对含水量的影响

从图 7 可知,盐胁迫使玉米叶片的相对含水量明显下降,与对照相比下降了 10.1% 左右,而在盐胁迫的同时,施用外源 SNP 后,玉米叶片相对含水量随着 SNP 浓度的增加而略有增加,当 SNP 浓度达到 40 μmol/L 时,叶片相对含水量比受盐胁迫而未施用 SNP 处理的玉米增加了 7.1% 左右,说明加入 SNP 后,能提高玉米叶片的相对含水量,降低盐胁迫条件下引起的水分胁迫。

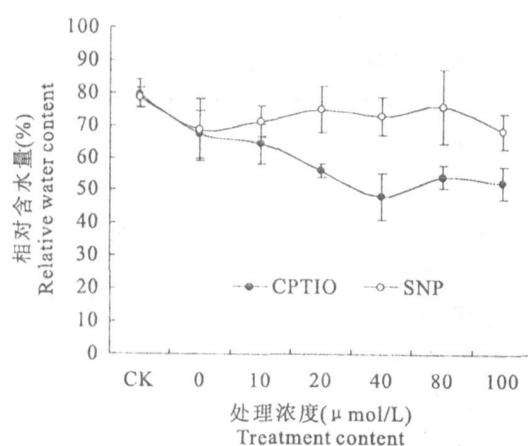


图 7 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米叶片相对含水量的影响

Fig. 7 Effects of treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on relative water content in maize leaves

而在盐胁迫的同时,施用外源 CPTIO 后,在 NO 得到清除的同时,也使玉米叶片相对含水量下降,在一定程度上加大了盐胁迫对玉米叶片的伤害。

## 2.8 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米叶片叶绿素含量的影响

由图 8 可知,盐胁迫使玉米叶片叶绿素含量比对照下降 15.1% 左右,而在盐胁迫同时,施用外源 SNP,玉米叶片叶绿素含量随着 SNP 浓度加大而略有增加,当 SNP 浓度达 40 μmol/L 时,较受盐胁迫而未施用 SNP 处理的玉米叶绿素含量增加了 11.2%,说明加入 SNP 后,能降低盐胁迫条件下叶绿素的降解。但当 SNP 的使用浓度继续增加时,叶绿素含量并不再增加,而呈略有下降的趋势,这可能由于 SNP 浓度过高后释放出的 NO 浓度过大,反而作为自由基对植物造成了伤害。而在盐胁迫的同时,加入 CPTIO 后,玉米叶片叶绿素含量也在下降,说明 NO 得到清除时,加速了盐胁迫对玉米叶片叶绿素的分解。

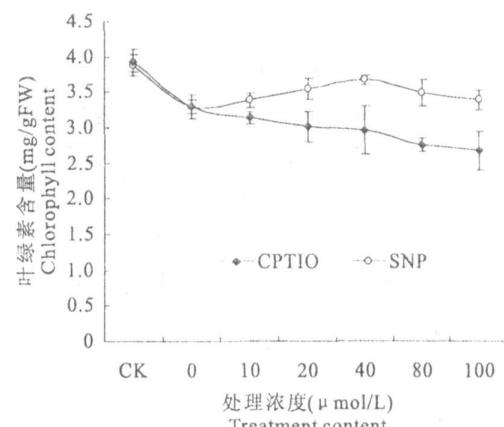


图 8 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米叶片叶绿素含量的影响

Fig. 8 Effects of treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on chlorophyll content in maize leaves

## 2.9 SNP 及 CPTIO 对盐胁迫下玉米幼苗干物质积累量的影响

盐胁迫能使玉米幼苗植株干物质积累量降低。从图 9 可知,当玉米幼苗受到 50 mmol/L 的盐胁迫时,植株干重比对照植株的干重下降 26.2% 左右,而在盐胁迫的同时,施用外源的 SNP,玉米幼苗干物质积累量随着 SNP 浓度加大而略有增加,当 SNP 浓度达 40 μmol/L 时,玉米幼苗植株的干重比单独受盐胁迫的玉米植株干重增加了 17.7%,说明加入 SNP 后,能降低盐胁迫的伤害,促进盐胁迫下玉米幼苗的生长,提高了其干物质的积累量使植株干重

增加。但当 SNP 的浓度过高时,反而使植株的干重有所下降。

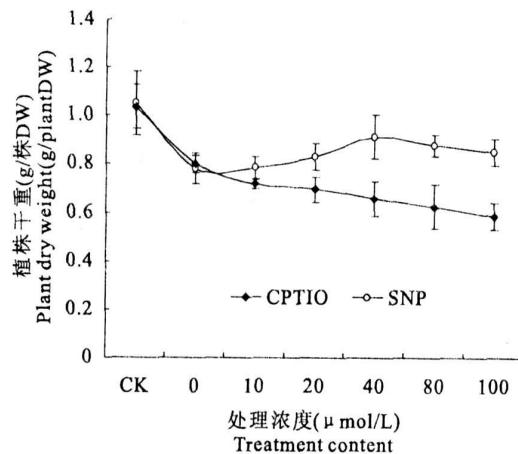


图 9 不同浓度的 SNP 和 CPTIO 处理对玉米植株干重的影响

Fig. 9 Effects of treatments with different concentrations of SNP and CPTIO on dry weight of maize seedlings

### 3 讨 论

#### 3.1 NO 的生理功能具有浓度和剂量的双重效应

本研究结果表明,玉米幼苗在盐胁迫条件下,加入一定浓度的 NO 供体 SNP 后,叶片中 NO 的含量增加,提高了玉米幼苗对盐胁迫的抗性;当使用 CPTIO 对 NO 进行清除后,玉米叶片的 NO 含量就明显降低,玉米受盐害的程度加剧。说明盐胁迫条件下,NO 作为一种信号分子对调控玉米的耐盐性有着重要的作用。

从本试验结果可知,SNP 虽然能提高玉米幼苗对盐胁迫能力的抗性,但并不是随 SNP 使用浓度增加,玉米对盐胁迫的抗性就增强的,这与刘建新等发现,低浓度的 SNP 能够缓解盐胁迫对黑麦草幼苗根生长的抑制作用,高浓度 SNP 则抑制盐胁迫下根的生长的结果是一致的<sup>[4]</sup>。低浓度 NO 可作为抗氧化剂对  $O_2^-$  等活性氧分子(ROS)有清除作用,而且能够诱导抗氧化酶基因的表达,从而具有保护作用;但高浓度 NO 与  $O_2^-$  相互作用生成大量的过氧亚硝酸阴离子( $OONO^-$ ),过氧亚硝酸阴离子经质子化后形成具有强氧化性的过氧亚硝酸(HOONO),能破坏生物大分子的结构与功能,具有更强的生物毒性。有研究表明,低浓度的 NO 可以有效地缓解渗透胁迫下小麦叶片中 ROS 的伤害,减少膜脂过氧化产物 MDA 的量,而高浓度的 NO 则起了相反的作用<sup>[6]</sup>。

本试验也表明,当 NO 被 CPTIO 清除后,叶片的 NO 含量下降,在一定程度上也使玉米幼苗受害更加明显,如相对电导率增加,叶绿素含量降低加剧

等。因此 NO 作为一种植物的信号分子,在植物体内适宜的浓度才能起到最佳的生物学效应,浓度过高或过低的都无法使信号物质发挥作用,无法正常地调控 NO 下游的信号转导,起不到提高植物抗逆境能力的作用。

#### 3.2 NO 提高玉米耐盐性的可能机制

本研究表明,盐胁迫使玉米叶片的  $O_2^-$  产生速率加大,  $H_2O_2$  含量增多。在盐胁迫的同时,加入适量的 NO 供体 SNP 后,在提高 NO 含量的同时,降低  $O_2^-$  的产生速率,降低叶片内  $H_2O_2$  的含量,也降低了 LOX 的活性,使 MDA 含量降低,最终提高了盐胁迫下玉米叶片细胞膜的完整性,使相对电导率降低。同时,加入 NO 的供体后,可能促进了渗透物质含量的提高,保持较高的相对含水量,也使玉米叶片叶绿素不受影响。从而在一定程度上降低了盐胁迫对玉米幼苗的伤害程度,这与王宪叶等在小麦受到 PEG 处理后产生渗透胁迫得到的结果是一致的<sup>[5]</sup>。

对于 NO 如何能提高植物对逆境胁迫的抗性问题,前人的研究结果认为,NO 作为一个信号分子通过调节抗氧化能力来提高植物对逆境胁迫的抗性,如 NO 能通过提高番茄幼苗的抗氧化能力来提高对盐胁迫的抗性<sup>[12]</sup>,也有研究认为,NO 不但能影响抗氧化酶活性而且 NO 可能直接起到对 ROS 的清除作用<sup>[13,14]</sup>。Zhang 等通过半定量 PCR 研究表明,NO 作为细胞内一种信号分子,其作用位点可能位于抗氧化酶基因调节上游,因为加入 SNP 后,提高了多种抗氧化酶的基因表达量<sup>[15]</sup>。当 NO 受到 CPTIO 清除后,加重了玉米幼苗受盐害的程度,可能是 NO 的浓度达不到在盐胁迫条件下,玉米叶片所需要的最适生理浓度剂量的要求。而适宜的 NO 浓度能降低玉米叶片在盐胁迫下活性氧的产生速率与含量,降低氧化伤害从而提高了盐胁迫下玉米叶片细胞膜的完整性,使盐胁迫条件下的玉米幼苗植株干物质积累量增加。

从本研究结果可知,在盐胁迫的条件下,玉米叶片保持一定剂量的 NO 是必需的。对玉米幼苗使用 40  $\mu\text{mol/L}$  SNP 效果最好,当 SNP 浓度过低或过高时均达不到理想的效果。当 SNP 浓度过高时,玉米叶片里的 NO 含量也不再明显增加,说明了可能与玉米叶片的一氧化氮合酶(NOS)所需的适宜的底物浓度有关的,其原因有待于深入研究。

#### 参 考 文 献:

- [1] Río L A, Corpas F J, Barroso J B. Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants[J]. Phytochemistry, 2004, 65, 783—792.
- [2] Zhou B, Gue Z, Xing J, et al. Nitric oxide is involved in abscisic acid-induced stomatal closure in *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Physiology, 2002, 130, 187—196.

- acid-induced antioxidant activities in *Stylosanthes guianensis* [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56: 3223–3228.
- [3] 邵瑞鑫, 上官周平. 外源 NO 调控小麦幼苗生长与生理的浓度效应 [J]. 生态学报, 2008, 28(1): 301–309.
- [4] 刘建新, 胡浩斌, 王鑫. 外源 NO 对盐胁迫下黑麦草幼苗根生长抑制和氧化损伤的缓解效应 [J]. 植物研究, 2008, 28(1): 7–13.
- [5] 王宪叶, 沈文飚, 徐朗莱. 外源一氧化氮对渗透胁迫下小麦幼苗叶片膜脂过氧化的缓解作用 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(2): 195–200.
- [6] 王俊红, 魏小红, 龙瑞军, 等. 外源一氧化氮对渗透胁迫下小麦幼苗叶片膜脂过氧化的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2008, 43(1): 77–81.
- [7] Zhou B, Guo Z, Liu Z. Effects of abscisic acid on antioxidant systems of *stylosanthes guianensis* (aublet) sw. under chilling stress [J]. *Crop Science*, 2005, 45(2): 599–605.
- [8] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧物自由基与羟胺反应的定量关系 [J]. 植物生理学通讯, 1990, (6): 55–57.
- [9] 柯德森, 孙谷畴, 王爱国. 低温诱导绿豆黄化幼苗乙烯产生过程中活性氧的作用 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2003, 29(2): 127–132.
- [10] Lu S, Guo Z, Peng X. Effects of ABA and S—3307 on drought resistance and antioxidative enzyme activity of turfgrass [J]. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2003, 78(5): 663–666.
- [11] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 110–165.
- [12] 吴雪霞, 朱月林, 朱为民, 等. 外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下番茄幼苗生理影响 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(3): 575–581.
- [13] 刘鹏程, 王辉, 程佳强, 等. NO 对小麦叶片干旱诱导膜脂过氧化的调节效应 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(1): 141–145.
- [14] Zhang A, Jiang M, Zhang J, et al. Mitogen-activated protein kinase is involved in abscisic acid-induced antioxidant defense and acts downstream of reactive oxygen species production in leaves of maize plants [J]. *Plant Physiology*, 2006, 141: 475–487.
- [15] Zhang Y, Yang J, Lu S, et al. Overexpressing SgNCED1 in Tobacco Increases ABA Level, Antioxidant Enzyme Activities, and Stress Tolerance [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2008, 27: 151–158.

## Enhancement of exogenous nitric oxide to maize seedlings' resistance to salt stress

GU Qing-long<sup>1</sup>, MO Yi-wei<sup>2\*</sup>, TU Qing-hua<sup>3</sup>, LI Yun-he<sup>2</sup>, HU Yu-lin<sup>2</sup>, XI Jin-gen<sup>2</sup>

(1. Yangzhou College of Education, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

2. South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences,

Zhanjiang, Guangdong 524091, China; 3. Fuzhou Vocational and Technical College, Fuzhou, Jiangxi 344000, China)

**Abstract:** To investigate whether maize (*Zea mays L.*) seedlings' tolerance to salt stress could be enhanced by exogenous nitric oxide, stress was made to maize seedlings at 4-leaf stage with 50 mmol/L of NaCl, and meanwhile various content of NO donor sodium nitroprusside(SNP) and NO scavenger CPTIO (2-(4-Carboxyphenyl)-4, 4, 5, 5-tetramethylimidazoline -1-oxyl-3-oxide potassium salt) were added. The results showed that, with its concentration at 10~100 μmol/L SNP, the NO donor, could increase significantly the content of nitric oxide (NO), chlorophyll and relative water content in leaves, but decreased the super oxidase radicals generating rate and LOX activities of leaves, meanwhile the content of malondialdehyde (MDA) and relative conductance were reduced but the dry weight of maize seedling was increased, and 40 μmol/L SNP had the most satisfactory effect, while higher or lower SNP content had no such satisfactory effect. The stress to the growth of maize was accelerated when NO was eliminated by NO scavenger (CPTIO). So it could be concluded that proper content of NO could enhance maize seedlings' resistance to salt stress. While the effect was distinctly different when treated with 10~100 μmol/L NO scavenger CPTIO. These results suggested that the propriety NO content can enhance maize seedlings' resistance to salt stress.

**Key words:** maize seedling; nitric oxide; salt stress; sodium nitroprusside; reactive oxygen