

外源硫化氢处理对板栗幼苗 干旱胁迫抗性的影响

孙晓莉¹, 张鑫荣², 田寿乐¹, 沈广宁¹, 许林¹

(1. 山东省果树研究所, 山东 泰安 271000; 2. 东营市垦利区林业局, 山东 东营 257041)

摘 要:以“黄棚”板栗当年生幼苗为试材,通过水培的方法,研究了15% PEG胁迫下添加0.5、1.0 mmol·L⁻¹ 硫氢化钠(NaHS)对板栗幼苗叶绿素含量、丙二醛(MDA)含量、脯氨酸(Pro)含量及抗氧化酶活性的影响,以研究外源硫化氢调节板栗的抗旱性机制。结果表明:干旱胁迫下,外施NaHS能显著降低板栗幼苗叶片MDA含量,提高叶绿素含量及脯氨酸含量,板栗幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性显著提高,有效地降低了干旱胁迫下细胞膜受损程度,提高了板栗对干旱逆境的适应性,其中0.5 mmol·L⁻¹ NaHS浓度处理效果更好。

关键词:板栗;硫氢化钠(NaHS);干旱胁迫

中图分类号: S 664.204⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)15-0007-06

板栗(*Castanea mollissima*)属壳斗科栗属植物,原产我国,也称中国板栗,被誉为“东方珍珠”,是我国最早被采集食用和驯化栽培的果树之一,由于板栗栽培管理比较简便,耐瘠薄能力相对较强,可作为先锋树种开发改造荒山、丘陵山地,栽培栗树既可以开发干旱瘠薄的砂石山区,又可以发展山区经济,具有重要的现实意义。受地理条件限制,多数栗园无法实施灌溉,致使树体生长势偏弱,产量和品质难以保证^[1]。干旱对板栗产量影响很大,是导致板栗减产的重要原因之一,尤其在板栗开花期与灌浆期。干旱是影响植物生长和

生产的最重要的环境因素之一,它促进活性氧(ROS)的产生,对植物体内糖类、脂质、蛋白和核酸产生不利影响^[2-3],缓解干旱胁迫对板栗生长发育的影响具有重要意义。

硫化氢(hydrogen sulfide, H₂S)作为继一氧化氮(NO)和一氧化碳(CO)之后的新型信号分子,在植物中的生理作用逐渐被挖掘并引起人们的高度关注。与干旱相关的生理功能被慢慢挖掘,有研究表明, H₂S 能作为信号分子响应胁迫条件而产生^[4-5],透过细胞膜扩散,迅速到达线粒体、叶绿体基质,清除诱导膜脂过氧化过量 ROS,降低丙二醛(MDA)等含量,维持较高的过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性,同时抑制脂氧合酶(LOX)活性,从而有效缓解甘薯、大豆和拟南芥干旱引起的氧化伤害,增强植物的抗旱能力。外源施加生理浓度的 H₂S 可以减小拟南芥叶片的气孔孔径,降低蒸腾作用,提高植物对干旱的抵抗力,显著提高幼苗的存活率^[6]。外源 0.6 mmol·L⁻¹ NaHS 预处理可以显著增加玉米幼苗干旱胁迫下根叶相对含水量、叶绿素 a 含量、叶片可溶性糖含量、根系可溶性蛋白质含量及根

第一作者简介:孙晓莉(1986-),女,硕士,助理研究员,现主要从事板栗栽培育种等研究工作。E-mail:runxiaoli@163.com.

责任作者:沈广宁(1979-),男,硕士,副研究员,现主要从事板栗育种等研究工作。E-mail:gnshens@163.com.

基金项目:山东省农业科学院青年科研基金资助项目(2016YQN29);国家自然科学基金资助项目(31301733, 31501742);国家科技支撑计划课题资助项目(2013BAD14B04)。

收稿日期:2017-04-11

系活力,提高玉米幼苗对干旱环境的适应能力^[7]。而 H_2S 作为外源性物质对板栗幼苗水分生理方面的影响尚鲜见报道,该试验以板栗当年生幼苗为试材,在 PEG 模拟干旱胁迫下对板栗幼苗进行根施外源 NaHS,研究了外源 H_2S 对于干旱胁迫下板栗幼苗抗氧化等生理特性的影响,以便揭示外源 H_2S 调控干旱胁迫下板栗幼苗水分生理特性的机制,以期对板栗水分管理措施中的应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为“黄棚”板栗当年生幼苗,黄棚幼苗培育:选取饱满且均匀一致的种子,于当年冬季与沙子混匀,层积 2 个月,然后播种于 $13\text{ cm} \times 14\text{ cm}$ 营养钵,基质为草炭:蛭石:珍珠岩=2:1:1。正常管理,当待幼苗长至 7 片真叶时选取长势一致的幼苗于 1/2 Hoagland 营养液中培养,24 h 后转移至 1/2 Hoagland 营养液配制的处理液中待用。

1.2 试验方法

参考预处理选择 0.5 、 $1.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS,设置处理如下:1)CK:单独 1/2 Hoagland 营养液处理,3 株为一小区;2)PEG:单独 15% PEG(用 1/2 Hoagland 营养液)处理;3)NaHS 0.5:单独 1/2 Hoagland 营养液处理 + $0.5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理;4)NaHS 1.0:单独 1/2 Hoagland 营养液处理 + $1.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理;5)PEG + NaHS 0.5:15% PEG + $0.5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理;6)PEG + NaHS 1.0:15% PEG + $1.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理;各处理 24 h 后取样品进行相关生理指标测定。

1.3 项目测定

脯氨酸含量采用磺基水杨酸提取茚三酮显色法测定^[8];丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定^[8];叶绿素相对含量采用 SPAD-502 PLUS 叶绿素测定仪,选取每个处理从上方数第 3 片叶等功能叶片测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性采用试剂盒(南京建成生物工程研究

所)测定。

1.4 数据分析

试验数据采用 DPS v7.05 软件进行分析,采用 Excel 2003 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片叶绿素含量的影响

由图 1 可以看出,在未添加外源 NaHS 的情况下,与对照相比,PEG 处理下叶绿素含量下降;在添加外源 NaHS 的情况下,CK + $0.5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 和 CK + $1.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理组叶绿素含量较 CK 分别增长 7.0% 和 4.4%,差异不显著;而 PEG + $0.5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 和 PEG + $1.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理较单独 PEG 处理组均有所增长且差异显著,分别高于单独 PEG 胁迫 15.5% 和 12.7%,结果表明,外源硫化氢处理可以提高干旱胁迫下板栗幼苗叶片叶绿素含量,且 $0.5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 效果优于 $1.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS。

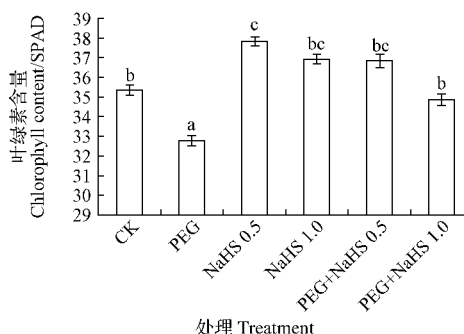


图 1 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of exogenous hydrogen sulfide on chlorophyll content in leaves of chestnut seedlings

2.2 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片丙二醛(MDA)含量的影响

植物体内 MDA 含量是植物细胞膜质过氧化程度的体现,可以体现逆境胁迫对植物体尤其细胞膜质的伤害程度^[9],如图 2 所示,未添加外源 NaHS 的情况下,PEG 胁迫下板栗叶片 MDA 含量升高,高于 CK 73.9%,差异显著。添加外源 NaHS 处理下,CK + $0.5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 和

CK+1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理组 MDA 含量较 CK 处理略有上下波动,但差异不显著;而 PEG+0.5 mmol·L⁻¹ NaHS 和 PEG+1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理较单独 PEG 处理组 MDA 含量显著下降,低于单独 PEG 胁迫 19.6%和 13.0%,以 0.5 mmol·L⁻¹ NaHS 处理组表现较好。

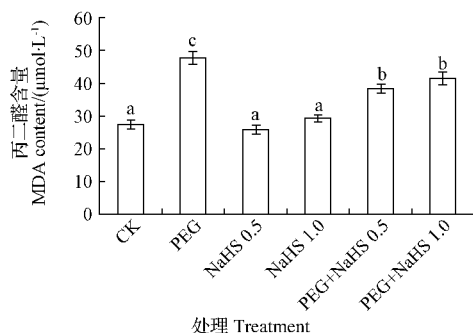


图 2 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片 MDA 含量的影响

Fig. 2 Effect of exogenous hydrogen sulfide on MDA content in leaves of chestnut seedlings

2.3 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片脯氨酸含量的影响

由图 3 可知,未添加外源 NaHS 处理下,干旱胁迫下叶片脯氨酸含量上升,高于 CK 35.1%,差异显著,而添加外源 NaHS 处理下,CK+1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理组叶片脯氨酸含量略高于 CK 处理,但差异不显著;而 PEG+0.5 mmol·L⁻¹ NaHS 和 PEG+1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理较单独 PEG 处理组脯氨酸含量显著升高,分别高于单独 PEG 胁迫处理 15.8%和 21.5%,表明干旱胁迫下脯氨酸含量升高,而添加一定浓度的外源 NaHS 可以促进脯氨酸积累,其中 1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理条件下脯氨酸积累更显著。

2.4 外源硫化氢对干旱胁迫下抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性的影响

如图 4 所示,未添加外源 NaHS 处理下,干旱胁迫下板栗叶片 SOD 活性明显升高,高于 CK 28.5%;而添加外源 NaHS 处理,CK+0.5 mmol·L⁻¹ NaHS 处理下叶片 SOD 活性显著高于 CK,而 CK+1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理下叶片 SOD 活性与 CK 处理下差异不显著。干旱胁迫下,PEG+0.5 mmol·L⁻¹ NaHS 和 PEG+1.0 mmol·L⁻¹

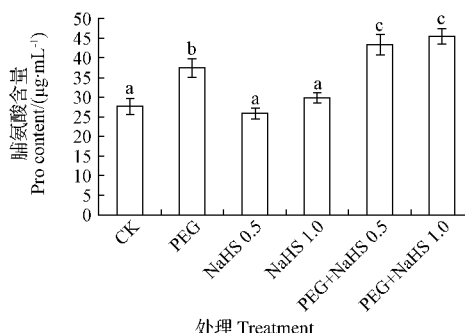


图 3 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片脯氨酸含量的影响

Fig. 3 Effect of exogenous hydrogen sulfide on Pro content in leaves of chestnut seedlings

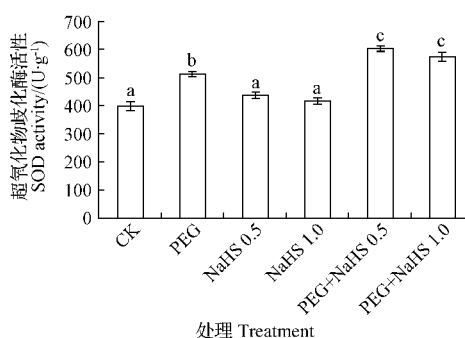


图 4 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片 SOD 活性的影响

Fig. 4 Effect of exogenous hydrogen sulfide on SOD activity in leaves of chestnut seedlings

NaHS 处理较单独 PEG 处理组 SOD 活性显著升高,分别高于单独 PEG 处理 17.5%和 11.9%。

由图 5、6 可知,POD 和 CAT 活性的变化趋势与 SOD 相似而略有差别,其中未添加外源 NaHS 干旱胁迫下叶片 POD 活性显著高于 CK,而添加外源 NaHS 处理,CK+1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理下叶片 POD 活性低于 CK,CK+0.5 mmol·L⁻¹ NaHS 处理下叶片 POD 活性略高于 CK 而差异不显著,PEG+0.5 mmol·L⁻¹ NaHS 和 PEG+1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理较单独 PEG 处理相比叶片 POD 活性显著升高,分别高于单独 PEG 处理 39.9%和 29.5%。未添加外源 NaHS 处理下 CAT 活性变化与 SOD、POD 活性变化一致,而添加外源 NaHS 处理下,CK+0.5 mmol·L⁻¹ NaHS 处理组叶片 CAT 活性显著高于 CK,CK+1.0 mmol·L⁻¹ NaHS 处理下叶片

CAT 活性略有升高,与 CK 差异不显著。PEG + $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 和 PEG + $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理下 CAT 活性均显著高于单独 PEG 处理,分别高于单独 PEG 处理 16.4%和 12.0%。

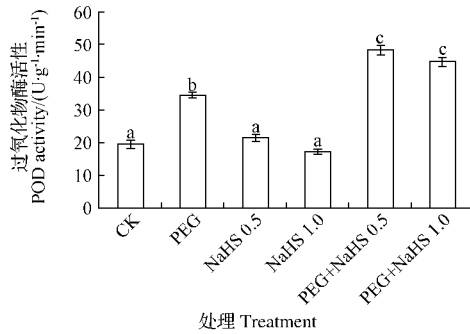


图5 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片 POD 活性的影响

Fig. 5 Effect of exogenous hydrogen sulfide on POD activity in leaves of chesnut seedlings

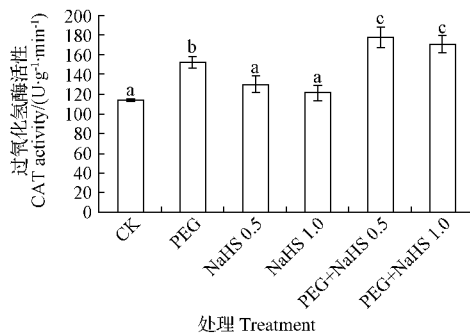


图6 外源硫化氢对干旱胁迫下板栗叶片 CAT 活性的影响

Fig. 6 Effect of exogenous hydrogen sulfide on CAT activity in leaves of chesnut seedlings

3 讨论与结论

干旱是植物常见胁迫之一,研究干旱胁迫下植物的抗旱机制是减少干旱对植物造成损失的主要途径之一。叶绿素是光合作用过程中最重要的光合色素之一,叶绿素含量变化可以反映植物受干旱胁迫的程度^[10]。该研究结果表明,干旱胁迫下,板栗幼苗叶片叶绿素含量下降,而适宜浓度的外源 NaHS 处理可以提高叶片叶绿素含量,且 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 效果优于 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS,表明适宜浓度 NaHS 可以增强幼苗叶绿素合成能力,增强对逆境的适应性,从而提高板栗

幼苗的抗旱性。

脯氨酸是既富含能量、又富含氮的化合物^[11],是逆境条件下植物体内氮和能量的一种贮存库,对降低细胞内溶质的渗透势、维持细胞内酶正常的结构和构象具有重要意义。在干旱胁迫下,植物体内积累大量脯氨酸,起到渗透调节的作用,防止细胞脱水^[12]。该试验结果表明,干旱胁迫下板栗叶片脯氨酸含量升高,而添加外源 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 和 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理叶片脯氨酸含量显著高于单独干旱胁迫处理,表明板栗幼苗在干旱胁迫下能有效积累脯氨酸来改变细胞渗透势,从而改变自身的渗透调节能力以提高板栗抗旱能力,其中 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理下脯氨酸积累更显著,抗旱能力更强。

丙二醛(MDA)是植物在受到伤害时细胞膜发生膜脂过氧化作用而形成的最终分解产物,其含量高低反应表植物细胞遭受逆境伤害的程度和膜脂过氧化程度^[9,13-14]。该研究中,干旱胁迫下叶片 MDA 含量升高,表明植物遭受逆境胁迫,植物细胞遭到破坏,而干旱胁迫下添加 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 和 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理降低了 MDA 的积累,保护了板栗叶片细胞膜结构的稳定性,从而缓解干旱胁迫对板栗幼苗的伤害,提高板栗抗旱能力,添加 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理效果更好。

植物体正常生理活动过程中,植物体内活性氧(ROS)的形成与消除处于动态平衡状态,而当植物体受到逆境胁迫时,ROS 超量积累导致细胞膜质发生过氧化,膜结构受伤害,严重影响植物生长发育^[15]。植物体内存在酶促和非酶促 2 类 ROS 清除系统,其中 SOD、POD、CAT 是酶促系统的重要组成元素,可防御 ROS 伤害,它们的活性变化一方面反应细胞内 ROS 与其清除系统之间的平衡状态,另一方面可以反应植物对干旱胁迫的适应性^[16]。该研究结果表明,干旱胁迫下,板栗叶片中的 SOD、POD、CAT 活性显著高于 CK,表明板栗幼苗在受逆境伤害下,自身调节提高了 3 种酶活性从而应对干旱胁迫造成的 ROS 伤害,而添加外源 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 和 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 进一步提高了板栗叶片 3 种酶活性,从而清除细胞内过量 ROS,缓解干旱胁迫对细胞的氧化损伤,进一步提高板栗抗旱性,

与前人研究结果一致^[12],以 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 浓度表现最好。

综上所述,PEG 模拟干旱胁迫下,添加外源 NaHS 可缓解干旱胁迫对板栗幼苗叶片造成的伤害,与 PEG 胁迫处理相比,添加外源 NaHS 可以提高叶片叶绿素含量,提高幼苗叶片的脯氨酸含量,降低丙二醛的积累,并提高抗氧化酶 SOD、POD、CAT 的活性,从而减轻干旱胁迫对板栗叶片膜脂过氧化作用的伤害,减轻活性氧积累对细胞造成的氧化损伤,进一步提高板栗抗旱能力,其中添加 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理效果优于 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS,而硫化氢对植物干旱胁迫下植物其它生理生化反应的影响尚待进一步研究。

参考文献

- [1] 田寿乐,沈广宁,许林,等.不同节水灌溉方式对干旱山地板栗生长结实的影响[J].应用生态学报,2012,23(3):639-644.
- [2] RHIZOPOULOU S,PSARAS G K. Development and structure of drought-tolerant leaves of the Mediterranean shrub *Capparis spinosa* L. [J]. Ann Bot,2003,92:377-383.
- [3] SRIVASTAVA A K,LOKHANDE V H,PATADE V Y,et al. Comparative evaluation of hydro-,chemo-,and hormonal-priming methods for imparting salt and PEG stress tolerance in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) [J]. Acta Physiol Plant,2010,32:1135-1144.
- [4] ZHANG H,JIAO H,JIANG C X,et al. Hydrogen sulfide protects soybean seedlings against drought-induced oxidative stress[J]. Acta Physiologiae Plantarum,2010,32(5):849-857.
- [5] ZHANG H,YE Y K,WANG S H,et al. Hydrogen sulfide counteracts chlorophyll loss in sweet potato seedling leaves and alleviates oxidative damage against osmotic stress[J]. Plant Growth Regulation,2009,58(3):243-250.
- [6] JIN Z P,SHEN J J,QIAO Z J,et al. Hydrogen sulfide improves drought ristance in *Arabidopsis thaliana* [J]. Biochem Biophys Res Commun,2011,414(3):481-486.
- [7] 单长卷,赵元增.外源硫化氢对干旱胁迫下玉米幼苗水分生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):80-84.
- [8] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [9] BAILLY C,BENAMAR A,CORBINEAU F,et al. Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase,catalase and glutathione reductase activities in sunflower seed as related to deterioration during accelerated aging [J]. Plant Physio,1996,197:104-110.
- [10] 裴宗平,余莉琳,汪云甲,等.4种干旱区生态修复植物的苗期抗旱性研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(3):204-208.
- [11] KISHORE K,MONG Z,MIAO G H,et al. Overexpression of pyrroline-5-carboxy-latesynt hetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants[J]. Plant Physiology,1995,108(4):1387-1394.
- [12] 李永生,方永丰,李玥,等.外源硫化氢对 PEG 模拟干旱胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J].核农学报,2016,30(4):813-821.
- [13] 颜淑云,周志宇,邹丽娜,等.干旱胁迫对紫穗槐幼苗生理生化特性的影响[J].干旱区研究,2011,28(1):139-144.
- [14] 周玲,王乃江.干旱胁迫下文冠果幼苗叶片的生理响应[J].西北林学院学报,2012,27(3):7-11.
- [15] YORDANOVA R Y,CHRISTOV K N,PETROVA L P. Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding [J]. Environmental and Experimental Botany,2004,51:93-101.
- [16] 金忠民,沙伟,臧威,等.干旱胁迫对白三叶幼苗保护酶的影响[J].东北林业大学学报,2010,38(7):52-53.

Effect of Exogenous Hydrogen Sulfide on Resistance of Drought Stress of Chestnut Seedlings

SUN Xiaoli¹,ZHANG Xinrong²,TIAN Shoule¹,SHEN Guangning¹,XU Lin¹

(1. Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong 271000; 2. Dongying City Kenley Area Forestry Bureau, Dongying, Shandong 257041)

Abstract: One-year-old seedling of chestnut 'Huangpeng' was used as test material, a hydroponic experiment was carried out to study the effects of exogenous hydrogen sulfide at the concentration of $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ on the chlorophyll content under 15% PEG stress, malondialdehyde(MDA), proline(Pro) and the activities of antioxidant enzymes of chesnut seedlings were studied, to investigate the related mechanisms of exogenous hydrogen sulfide regulation of drought stress of chesnut. The results showed that under drought stress spraying exogenous hydrogen sulfide obviously reduced the content of MDA, and significantly increased the contents of chlorophyll

doi:10.11937/bfy.20170693

低磷胁迫下两种柑橘砧木的 磷效率特征及其根系性状差异

鲁 敏

(贵州大学 农学院, 贵州省果树工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550025)

摘 要:以土橘(*Citrus chuana* Hort.)和枳(*Poncirus trifoliata* Raf.)为试材,在砂培条件下,研究不同供磷条件下其生物量、磷素积累量、根系性状的差异,从根系性状差异的角度阐述2种柑橘对低磷胁迫的响应特征及适应机理,为找出影响柑橘磷素(P)吸收的主要因素和通过根系塑性提高养分利用效率的遗传改良提供参考依据。结果表明:枳砧木磷效率为91.22%,土橘为53.24%。低P胁迫下枳砧木P吸收效率显著降低(降幅70%),P转移效率、P利用效率显著提高(增幅分别为59%、300%);土橘P吸收效率、P转移效率显著降低(降幅分别为87%、6%),P利用效率显著提高(增幅200%)。土橘根冠比在低P胁迫下显著增加,增幅为120%,而枳根冠比却显著降低,降幅为24%。低P胁迫下2种柑橘砧木的根系总长度、总表面积、体积、平均直径、根系游离氨基酸总量、脯氨酸和羟脯氨酸含量都显著降低。试验表明,相较而言枳为P高效柑橘种质,土橘为P低效种质。增大根冠比,降低根系总长度、总表面积、体积、根尖数、根系游离氨基酸总量和脯氨酸含量以降低P吸收、转移效率,提高P利用效率是柑橘种质适应低磷环境的突出表现,这在P低效种质土橘中表现尤其明显。而P高效种质枳在低磷环境中却能保持正常的根尖数,降低根冠比并提高P转移效率,同时羟脯氨酸含量与P转移效率呈显著负相关。

关键词:柑橘;磷效率;根系;游离氨基酸

中图分类号: S 666.105⁺.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)15-0012-06

磷是植物生长的必需营养元素之一,参与了植物的光合作用、呼吸代谢、能量转化、信号转导、

作者简介:鲁敏(1984-),女,四川乐山人,博士,讲师,现主要从事果树生理与分子生物学等研究工作。E-mail: 48181266@qq.com.

基金项目:贵州大学引进人才科研资助项目(贵大人基合字[2011]07号)。

收稿日期:2017-04-11

生物大分子合成以及酶活性的调节等,在植物整个新陈代谢过程中扮演着十分重要的角色。但贵州喀斯特山地由于石漠化严重,有效磷严重缺乏^[1],难以满足植物生长的需求。因此,研究植物磷高效吸收利用土壤磷的机制,利用磷高效植物基因资源,提高植物对土壤磷素的吸收利用效率,可以降低植物生产中对化肥的依赖,促进农业可持续发展的稳定发展。

and proline, and the activities of SOD, POD, CAT. The previous evidence showed that exogenous hydrogen sulfide was favorable to decrease the damage degree of cell membrane under drought stress, which enhance the ability of resisting drought stress in chesnut leaves. 0.5 mmol · L⁻¹ NaHS concentration was better.

Keywords: chesnut; NaHS; drought stress