



外源水杨酸对黑麦草幼苗盐胁迫的缓解效应研究^{*}

刘广明¹ 李金彪^{1, 2} 王秀萍³ 杨劲松^{1†} 陈金林² 何丽丹¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 南京林业大学林学院, 南京 210037)

(3 河北省农林科学院滨海农业研究所, 河北曹妃甸 063200)

摘 要 系统分析了黑麦草幼苗在 0.2、0.4、0.6 和 0.8 mmol L⁻¹ 水杨酸分别与 150 mmol L⁻¹ NaCl 盐胁迫复合作用下的生长指标与生理生化指标特征, 探究了外源水杨酸对黑麦草幼苗盐胁迫的缓解效应。结果表明: 施加不同浓度的外源水杨酸均能够显著缓解盐分对黑麦草幼苗的胁迫效应, 盐胁迫下施加外源水杨酸, 可使得黑麦草幼苗株高, 地上、地下部分鲜重和干重均相对增加; 加强了植物体内抗氧化酶系统, 表现为超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的活性显著提高; 减弱了细胞膜脂过氧化作用并降低了质膜破坏程度, 表现为细胞质膜透性和丙二醛含量均显著降低。0.6 mmol L⁻¹ 是所设置的浓度梯度中最佳的水杨酸施用浓度; 与单独 150 mmol L⁻¹ NaCl 盐胁迫相比, 黑麦草幼苗株高增加 43.38%, 地上部分鲜、干重分别增加 37.92% 和 31.36%, 地下部分鲜、干重分别增加 25.46% 和 15.32%; 胁迫处理第 3 天, SOD 活性增加 17.20%, 第 9 天, 丙二醛(MDA)含量降低 27.60%。

关键词 水杨酸; NaCl 胁迫; 黑麦草; 缓解效应; 抗氧化酶; 膜脂过氧化

中图分类号 Q945 **文献标识码** A

盐渍土在我国分布广泛, 从热带到寒温带、滨海到内陆、湿润地区到干旱的荒漠地区, 均有大量盐渍土的分布^[1]。盐害严重影响植物的生长发育, 并且使生态环境日益恶化^[2], 提高植物的耐盐能力是治理盐渍土工作中的关键内容之一。盐胁迫对植物造成的危害主要是使植物体内渗透调节失衡, 水分吸收受到抑制, 造成生理干旱, 进一步导致生物量下降^[3-4]; Na⁺ 的大量积累会破坏植物体内的离子平衡, 最终形成毒害作用, 甚至导致植物死亡^[5]。

黑麦草(*Lolium perenne*)是一种丛生型的多

年生冷季型草坪草, 具有较强的发芽能力和幼苗生长势^[6]。黑麦草建植速度快, 再生性强, 耐践踏, 适应土壤范围广, 广泛用于足球场等运动场草坪的混播组合, 起到先锋和保护草种的作用^[7]。多年生黑麦草对高温、寒冷和干旱环境都有一定的适应性, 但当生长环境盐分过高时, 其生长明显受到抑制^[8]。

水杨酸是一种酚类激素, 可由植物体自身合成, 调节植物的生长发育, 对植物的光合作用、蒸腾作用与离子的吸收与运输也有调节作用。水杨酸亦是一种对植物抗逆性有一定影响的信号分子, 能

^{*} 国家科技基础性工作专项(2015FY110500)、江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(15)1005)和江苏省科技支撑计划项目(BE2013357)资助 Supported by the National Basic Work Project of Science and Technology (No.2015FY110500), the Autonomous Innovation Project of Jiangsu Agricultural Science & Technology (No. CX(15)1005), and the Key Technology R&D Program of Jiangsu Province (No. BE2013357)

[†] 通讯作者 Corresponding author, E-mail: jsyang@issas.ac.cn

作者简介: 刘广明(1975—), 男, 山东邹城人, 博士, 副研究员, 主要从事盐渍土资源利用与生态构建方面的研究。

E-mail: gmliu@issas.ac.cn

收稿日期: 2015-11-06; 收到修改稿日期: 2016-02-23; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2016-04-14

<http://pedologica.issas.ac.cn>



在植物体内触发一系列防御机制。研究表明：施用水杨酸可降低膜渗透性，提高植物耐盐性，如外施水杨酸可增加盐胁迫下草莓叶片中的N、P、K、Mg、Fe、Mn和Cu等几乎所有的元素，降低Na⁺的含量^[9]。NaCl胁迫玉米和母菊时，水杨酸可抑制Na⁺的积累，增加其他矿质元素的含量，从而减轻盐害，提升植物的耐盐性^[10]。本文通过分析不同浓度水杨酸对NaCl胁迫下黑麦草幼苗的生长及生理生化指标的影响，较为系统地揭示了施用外源水杨酸对黑麦草幼苗盐分胁迫的缓解效应，并初步探讨了内在机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

供试材料为“百灵鸟”多年生黑麦草（由常州明远园艺有限公司提供）。试验选取均匀一致的籽粒饱满黑麦草种子，并用0.1%的HgCl₂溶液消毒15~20 min，消毒后用蒸馏水冲洗三次吸干表面水分后备用。用天平称取等量（2.00 g）的黑麦草种子播种于塑料培养盒中，培养盒规格20 cm×15 cm×9 cm，培养基质为灭菌蛭石（每盒200 g）。待黑麦草种子出苗后浇灌1/2 Hoagland营养液（pH调节至6.5±0.1）。于播种第10天（幼苗株高约5 cm）选择长势一致的幼苗进行NaCl溶液和水杨酸的混合浇灌。根据浇灌溶液组成将试验分为6个处理，分别为CK：Hoagland营养液；S：150 mmol L⁻¹ NaCl；SSA1：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.2 mmol L⁻¹ SA（水杨酸）；SSA2：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.4 mmol L⁻¹ SA；SSA3：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.6 mmol L⁻¹ SA；SSA4：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.8 mmol L⁻¹ SA；处理S、SSA1、SSA2、SSA3和SSA4的溶液均由Hoagland营养液配制而成，每个处理重复3次。每隔1d浇灌一次处理液，共四次，分别于浇灌处理液的第0、3、6、9天采集植物样品测定生理指标。

1.2 测定项目与方法

生长指标：直尺测量黑麦草株高增加值（浇灌处理液第9天株高—第0天株高）；植株分地上、地下两部分，万分之一电子天平称量鲜重，置于105℃烘箱杀青15 min，75℃烘干至恒重，称量干重。

生理生化指标：细胞质膜透性的测定采用相对电导率法^[11]。丙二醛（MDA）含量采用硫代巴比妥酸法测定^[12]。超氧化物歧化酶（SOD）

采用氮蓝四唑（NBT）光化还原法测定^[13]，以抑制光还原NBT50%为一个酶活性单位；过氧化物酶（POD）采用愈创木酚法^[14]；过氧化氢酶（CAT）参照Chance和Maehly^[15]方法测定。

1.3 数据处理

采用Excel 2010和SPSS 19.0等软件进行数据的处理与分析作图，显著性检验采用Duncan法。

2 结果与讨论

2.1 水杨酸对NaCl胁迫下黑麦草幼苗生长指标的影响

由表1可知，NaCl对黑麦草幼苗生长具有明显的抑制作用。外源水杨酸的加入使盐胁迫下黑麦草的生长得到了一定程度的缓解，但未缓解至无盐胁迫的对照水平。与单独150 mmol L⁻¹ NaCl胁迫相比，0.2、0.4、0.6和0.8 mmol L⁻¹水杨酸的添加可使黑麦草株高增量分别提高29.01%、30.99%、43.38%和37.46%，黑麦草地上部分鲜重分别增加11.22%、16.67%、37.92%和34.00%，地上部分干重分别增加10.60%、15.68%、31.36%和27.97%；地下部分鲜重分别增加8.49%、14.37%、25.46%和23.53%，地下部分干重分别增加7.26%、8.06%、15.32%和12.90%。

不同浓度的水杨酸对NaCl胁迫下黑麦草幼苗的各项生长指标影响程度不同，综合分析不同处理下黑麦草幼苗株高、鲜重和干重等各项生长指标可知：0.6 mmol L⁻¹水杨酸对150 mmol L⁻¹ NaCl胁迫下黑麦草幼苗生长抑制的缓解效应最显著。

2.2 水杨酸对NaCl胁迫下黑麦草幼苗抗氧化酶活性的影响

盐胁迫常导致植物体内大量氧自由基积累，导致膜结构完整性遭到破坏、叶绿素降解^[16]、蛋白质变性甚至死亡^[17-18]。植物在长期进化过程中形成的逆境适应机制较为完善，其中植物体内的超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）和过氧化氢酶（CAT）等抗氧化酶类^[19]能在盐胁迫下被激活，及时清除活性氧^[20]，保护细胞的完整性^[21]。

图1中，对照CK处理（仅进行Hoagland营养液浇灌）下的黑麦草幼苗的SOD活性最高，且有随时间延长其活性逐渐升高的趋势。胁迫处理的第3天，150 mmol L⁻¹ NaCl处理的SOD活性为

表1 不同处理对黑麦草幼苗生长的影响

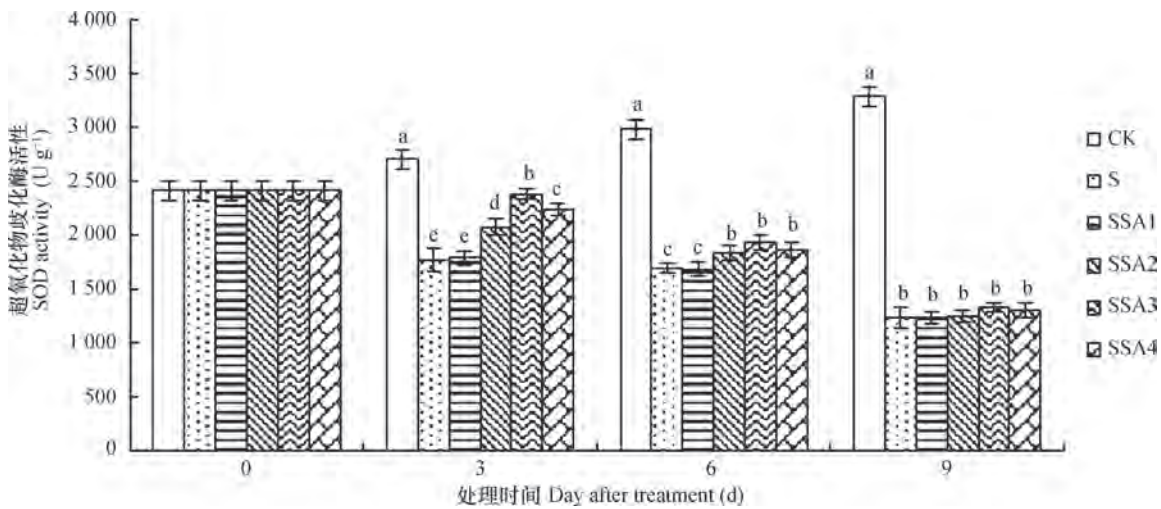
试验处理 Treatment	株高增加值 Plant height increase (cm)	地上部分 Aboveground part		地下部分 Underground part	
		鲜重Fresh weight	干重Dry weight	鲜重Fresh weight	干重Dry weight
		(mg plant ⁻¹)	(mg plant ⁻¹)	(mg plant ⁻¹)	(mg plant ⁻¹)
CK	6.79 ± 0.24a	30.05 ± 0.87a	3.18 ± 0.15a	13.67 ± 0.75a	1.49 ± 0.11a
S	3.55 ± 0.21c	20.94 ± 0.91d	2.36 ± 0.09d	10.37 ± 0.70c	1.24 ± 0.08c
SSA1	4.58 ± 0.31c	23.29 ± 1.82cd	2.61 ± 0.18cd	11.25 ± 1.03bc	1.33 ± 0.09bc
SSA2	4.65 ± 0.28b	24.43 ± 1.37c	2.73 ± 0.19c	11.86 ± 1.09bc	1.34 ± 0.12bc
SSA3	5.09 ± 0.17b	28.88 ± 1.27b	3.10 ± 0.16b	13.01 ± 0.98b	1.43 ± 0.07b
SSA4	4.88 ± 0.28b	28.06 ± 1.29b	3.02 ± 0.16b	12.81 ± 0.74b	1.40 ± 0.06bc

注：试验处理CK：Hoagland营养液；S：150 mmol L⁻¹ NaCl；SSA1：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.2 mmol L⁻¹ SA（水杨酸）；SSA2：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.4 mmol L⁻¹ SA；SSA3：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.6 mmol L⁻¹ SA；SSA4：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.8 mmol L⁻¹ SA，下同。同一列不同字母表示差异显著（*p* < 0.05）
Note：Treatment CK：Hoagland nutrient solution；S：150 mmol L⁻¹ NaCl；SSA1：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.2 mmol L⁻¹ SA；SSA2：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.4 mmol L⁻¹ SA；SSA3：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.6 mmol L⁻¹ SA；SSA4：150 mmol L⁻¹ NaCl+0.8 mmol L⁻¹ SA. The same below. Same column, different letters represent significant difference（*p* < 0.05）

1 773.0 U g⁻¹，NaCl胁迫与水杨酸复合处理中，0.6 mmol L⁻¹水杨酸+150 mmol L⁻¹ NaCl处理（SSA3）的SOD活性与仅 150 mmol L⁻¹ NaCl胁迫处理（S）相比增加最多，增加了17.2%，显著高于其他复合处理。至胁迫处理第9天，各添加水杨酸与NaCl复合处理与仅NaCl胁迫处理的黑麦草SOD活性相比无显著差异。由此可知，NaCl胁迫使黑麦草幼苗的SOD活性显著降低，添加不同浓度水杨酸后的NaCl胁迫处理下的黑麦草幼苗SOD活性与单

独NaCl胁迫处理相比有所升高，但仍低于无盐对照（CK）。NaCl胁迫处理下，黑麦草幼苗SOD活性有随水杨酸浓度增加先升高后降低的趋势。

图2和图3显示的分别为不同处理对黑麦草幼苗过氧化物酶（POD）和过氧化氢酶（CAT）活性的影响。由图可知，胁迫处理第3、第6天，SSA3和SSA4处理的POD活性显著低于CK，显著高于处理SSA1、SSA2和处理S；第9天，各添加水杨酸处理与仅NaCl胁迫处理的黑麦草POD活性相比无显著



注：图中不同字母表示同一处理时间不同处理间差异显著（*p* < 0.05）。下同
Note：Different letters represent significant difference（*p* < 0.05） between different treatments at the same treatment time. The same below

图1 水杨酸和NaCl处理下黑麦草幼苗超氧化物歧化酶活性

Fig. 1 SOD activity of the *Lolium perenne* seedlings under SA and NaCl treatment

差异, 且显著低于对照。胁迫处理第3天, SSA2的CAT活性显著低于对照, 显著高于S、SSA1、SSA3和SSA4, 第6天和第9天, 各添加水杨酸处理与仅NaCl胁迫处理的黑麦草POD活性相比无显著差异, 且显著低于对照。由此可知, 不同处理对黑麦草幼

苗POD和CAT活性的影响规律类似于对SOD活性的影响, NaCl胁迫使黑麦草幼苗的POD和CAT活性显著降低, 添加不同浓度水杨酸后NaCl胁迫下的黑麦草幼苗POD和CAT活性与单独NaCl胁迫处理相比有所升高。



图2 水杨酸和NaCl处理下黑麦草幼苗过氧化物酶活性

Fig. 2 POD activity of the *Lolium perenne* seedlings under SA and NaCl treatment

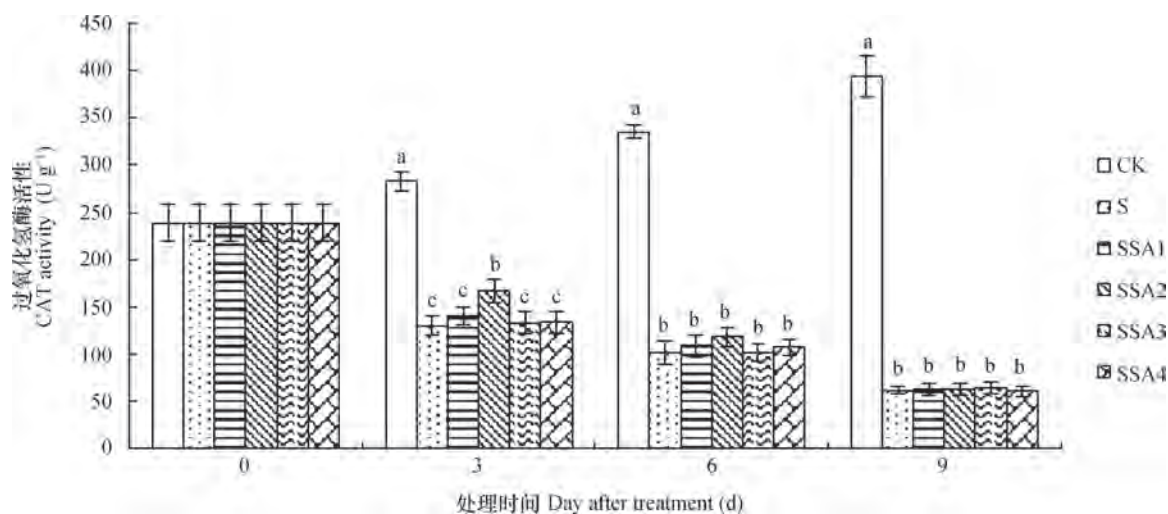


图3 水杨酸和NaCl处理下黑麦草幼苗过氧化氢酶活性

Fig. 3 CAT activity of the *Lolium perenne* seedlings under SA and NaCl treatment

2.3 水杨酸对NaCl胁迫下黑麦草幼苗膜系统的影响

正常生长情况下, 植物细胞内自由基的产生与清除处于动态平衡, 而当植物处于盐胁迫时, 这种动态平衡就会遭到破坏^[5, 22], 导致自由基大量积累, 进而产生膜脂过氧化作用^[23], 膜内的磷脂双分子层中含有的不饱和脂肪酸链被过氧化分解, 从而造成膜的损伤和破坏, 使膜系统的完整性丧失,

导致电解质外渗, 严重时可导致植物死亡^[24-25]。

丙二醛 (MDA) 作为膜脂过氧化作用的主要产物之一, 其含量的高低和细胞质膜透性的变化是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标^[26]。由图4可知, CK处理的黑麦草幼苗的MDA含量保持在较低水平, 且在黑麦草生长过程中保持相对稳定。NaCl的胁迫处理使黑麦草幼苗的

MDA含量显著升高，水杨酸的加入有抑制MDA含量升高的作用。一定范围内，随水杨酸浓度增加，抑制作用先增强后减弱。其中， 0.6 mmol L^{-1} 的水杨酸处理对MDA含量升高的抑制作用最为明显。胁迫处理第9天， 0.6 mmol L^{-1} 的水杨酸与 150 mmol L^{-1} NaCl胁迫复合作用下黑麦草幼苗MDA含量较单独 150 mmol L^{-1} NaCl胁迫处理降低了27.60%。

图5显示的是不同处理不同时期细胞膜透性的情况，细胞膜透性直观地反映了细胞质膜受伤害

程度。由图可知，黑麦草幼苗细胞质膜的透性与幼苗体内的丙二醛含量呈相似变化规律，亦表现为CK的细胞膜透性最小且保持相对稳定，NaCl胁迫使黑麦草幼苗的细胞膜透性增大，外源水杨酸的加入减小了盐胁迫下细胞质膜透性增加的程度。 0.6 mmol L^{-1} 水杨酸对 150 mmol L^{-1} NaCl胁迫下黑麦草幼苗质膜透性增大的缓解作用最为明显，相对减轻了膜脂过氧化作用对细胞造成的伤害。

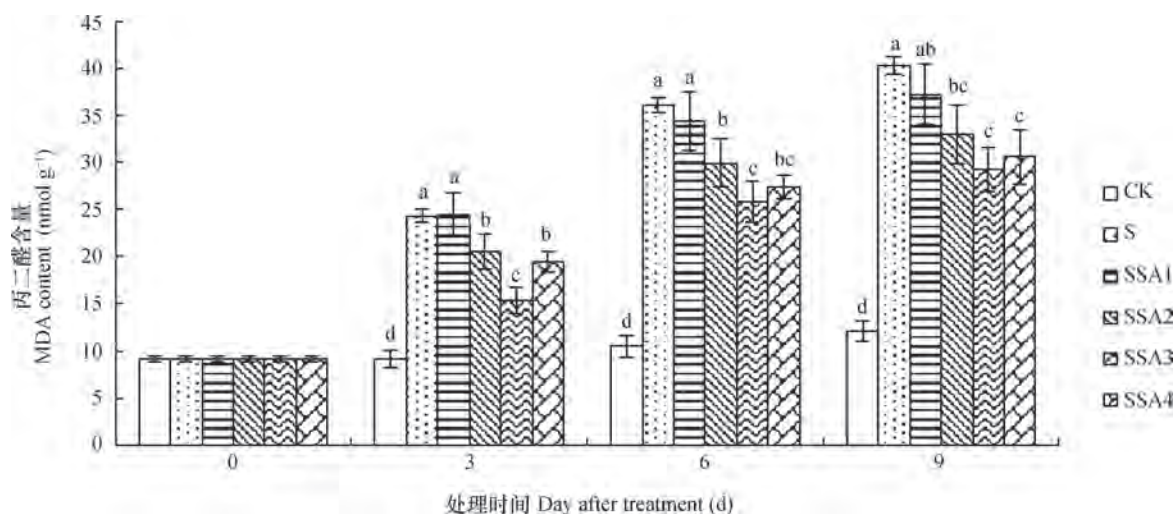


图4 水杨酸和NaCl处理下黑麦草幼苗丙二醛含量

Fig. 4 MDA content in the *Lolium perenne* seedlings under SA and NaCl treatment

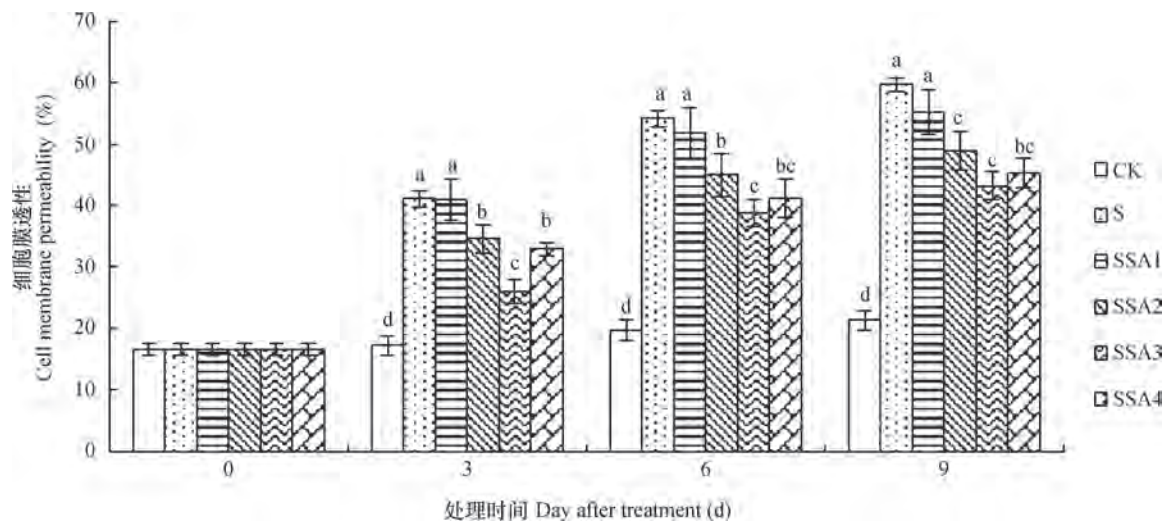


图5 水杨酸和NaCl处理下黑麦草幼苗细胞膜透性

Fig. 5 Cell membrane permeability of the *Lolium perenne* seedlings under SA and NaCl treatment

由以上结果的分析可知，盐胁迫对黑麦草幼苗的生理生化指标产生了一系列的不良影响，而水杨酸的加入可通过增加细胞内SOD、POD、CAT等抗氧化酶的活性清除过多的氧自由基，并能够通过

缓解膜脂过氧化伤害，维持细胞膜结构的完整性和功能的运行，从而在一定程度上对黑麦草的生理生化过程起到保护作用。其中， 0.6 mmol L^{-1} 水杨酸缓解效果最好。

3 结 论

不同浓度水杨酸的施用可不同程度缓解盐胁迫对黑麦草幼苗造成的伤害,与NaCl胁迫情况下相比:株高和地上及地下部分鲜、干重均增加;超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶等抗氧化酶活性提高;幼苗体内的丙二醛含量降低,细胞质膜透性减小等,从而加强了植物体内抗氧化酶系统,有效维持了细胞质膜系统的完整性,保证了植物体内各种生理生化过程的正常进行。在所设置的浓度梯度中,0.6 mmol L⁻¹的外源水杨酸施用浓度,对黑麦草幼苗在150 mmol L⁻¹ NaCl胁迫的缓解效应最佳。

参 考 文 献

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993: 402—404
Wang Z Q. Salt-affected soils in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993: 402—404
- [2] 曾华宗, 罗利军. 植物抗旱、耐盐基因概述. 植物遗传资源学报, 2003, 4 (3) : 270—273
Zeng H Z, Luo L J. A review on plant drought and salt tolerance gene (In Chinese). Journal of Plant Genetic Resources, 2003, 4 (3) : 270—273
- [3] Rahnema A, James R A, Poustini K. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. Functional Plant Biology, 2010, 37 (3) : 255—263
- [4] 崔云玲, 王生录, 陈炳东, 等. 不同品种油葵对盐胁迫响应研究. 土壤学报, 2011, 48 (5) : 1051—1058
Cui Y L, Wang S L, Chen B D, et al. Responses of different varieties of oil sunflower to salt stress (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48 (5) : 1051—1058
- [5] 龙明秀, 许岳飞, 何学青, 等. NaCl胁迫下紫花苜蓿幼苗抗氧化酶活性的研究. 草地学报, 2012, 20 (1) : 83—87
Long M X, Xu Y F, He X Q, et al. Antioxidant enzymes activities of *Medicago sativa* L. Seedling under salt stress (In Chinese). Acta Agrestia Sinica, 2012, 20 (1) : 83—87
- [6] 崔雪梅. NaCl对草坪型高羊茅和多年生黑麦草发芽的影响. 武汉: 华中农业大学, 2009
Cui X M. Effects of NaCl on germination of *Lawn tall Fescue* and *Lolium perenne* (In Chinese). Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009
- [7] 孙吉雄. 冷地型足球场草坪混播组合多年生黑麦草最佳含量的研究. 草业学报, 1995, 4 (4) : 66—70
Sun J X. The study on the optimum ratio of *Lolium perenne* in mixed-seedling cool season sportfield turf (In Chinese). Acta Prataculturae Sinica, 1995, 4 (4) : 66—70
- [8] Hu L, Li H, Pang H. Responses of antioxidant gene, protein and enzymes to salinity stress in two genotypes of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) differing in salt tolerance. Journal of Plant Physiology, 2012, 169 (2) : 146—156
- [9] Karlidag H, Yildirim E, Turan M. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. Scientia Agricola., 2009, 66 (2) : 180—187
- [10] 孟雪娇, 邸昆, 丁国华. 水杨酸在植物体内的生理作用研究进展. 中国农学通报, 2010, 26 (15) : 207—214
Meng X J, Di K, Ding G H. Progress of study on the physiological role of salicylic acid in plant (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26 (15) : 207—214
- [11] Yang G, Rhodes D, Joly R. Effects of high temperature on membrane stability and chlorophyll fluorescence in glycinebetaine-deficient and glycinebetaine-containing maize lines. Australian Journal of Plant Physiology, 1996, 23 (4) : 437—443
- [12] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999
Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences. Experimental guide for modern plant physiology (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999
- [13] 郭红伟, 郭世荣, 刘来, 等. 辣椒连作对土壤理化性状、植株生理抗性及其离子吸收的影响. 土壤, 2012, 44 (6) : 1041—1047
Guo H W, Guo S R, Liu L, et al. Effects of continuous cropping on physical and chemical properties of soil, physiological resistance and ion absorption of pepper (In Chinese). Soils, 2012, 44 (6) : 1041—1047
- [14] 李美如, 刘鸿先, 王以柔, 等. 钙对水稻幼苗抗冷性的影响. 植物生理学报, 1996, 22 (4) : 379—384
Li M R, Liu H X, Wang Y R, et al. Effect of calcium on the cold-resistance of rice seedlings (In Chinese). Acta Phytophysiological Sinica, 1996, 22 (4) : 379—384
- [15] Chance B, Maehly A C. The assay of catalases and peroxidases. Methods of Biochemical Analysis, 1954, 1: 357—424
- [16] 仲玉婷. 外源GA₃和SA对德国鸢尾耐盐性的影响. 南

- 京：南京林业大学，2011
- Zhong Y T. Effects of exogenous GA3 and SA on the salt resistance of *Iris germanica* (In Chinese) . Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011
- [17] Shi Q H, Ding F, Wang X F, et al. Exogenous nitric oxide protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2007, 45 (8) : 542—550
- [18] Watanabe K, Tanaka T, Hotta Y, et al. Improving salt tolerance of cotton seedlings with 5-aminolevulinic acid. *Plant Growth Regulation*, 2000, 32 (1) : 97—101
- [19] Xu R, Yamada M, Fujiyama H. Lipid peroxidation and antioxidative enzymes of two turfgrass species under salinity stress. *Pedosphere*, 2013, 23 (2) : 213—222
- [20] 蒋光华, 母少东, 李浩, 等. 不同植烟区土壤对中上部烟叶抗氧化系统及部分质量指标的影响. *土壤*, 2014, 46 (6) : 1157—1163
- Jiang G H, Mu S D, Li H, et al. Study of different tobacco-planting soils on antioxidant system and partial quality indexes in middle and upper tobacco leaves (In Chinese) . *Soils*, 2014, 46 (6) : 1157—1163
- [21] Zhao M, Tian Q, Zhang W. Nitric oxide synthase-dependent nitric oxide production is associated with salt tolerance in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 2007, 144 (1) : 206—217
- [22] Marcum K B, Pessarakli M. Salinity tolerance of ryegrass turf cultivars. *HortScience*, 2010, 45 (12) : 1882—1884
- [23] 樊瑞苹, 周琴, 周波, 等. 盐胁迫对高羊茅生长及抗氧化系统的影响. *草业学报*, 2012, 21 (1) : 112—117
- Fan R P, Zhou Q, Zhou B, et al. Effects of salinization on growth and the antioxidant system of tall fescue (In Chinese) . *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21 (1) : 112—117
- [24] Liang Y, Hu F, Yang M, et al. Antioxidative defenses and water deficit-induced oxidative damage in rice (*Oryza Sativa* L.) growing on non-flooded paddy soils with ground mulching. *Plant and Soil*, 2003, 257 (2) : 407—416
- [25] 何丽丹, 刘广明, 杨劲松, 等. 根施甜菜碱缓解黑麦草幼苗盐胁迫效应研究. *土壤学报*, 2013, 50 (5) : 1054—1059
- He L D, Liu G M, Yang J S, et al. Mitigative effect of root-application of glycinebetaine on salt stress of *Lolium perenne* seedlings (In Chinese) . *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (5) : 1054—1059
- [26] 李明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. *生态学报*, 2002, 22 (4) : 503—507
- Li M, Wang G X. Effect of drought stress on activities of cell defense enzymes and lipid peroxidation in *Glycyrrhiza uralensis* seedlings (In Chinese) . *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (4) : 503—507

Effect of Extraneous Salicylic Acid Mitigating Salt Stress on Ryegrass (*Lolium perenne*) Seedlings

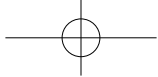
LIU Guangming¹ LI Jinbiao^{1, 2} WANG Xiuping³ YANG Jingsong^{1†} CHEN Jinlin² HE Lidan¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

(3 Institute of Coast Agriculture, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Caofeidian, Hebei 063200, China)

Abstract 【Objective】Salicylic acid (SA) , a kind of phenolic hormone, Could Vegulate the growth and development of Plants, and affect stress resistance of Plants. This investigation is to explore effect of extraneous salicylic acid mitigating salt stress on *Lolium perenne* seedlings. 【Method】A pot experiment was carried out, using vermiculite as medium in the pots (20 cm × 15 cm × 9 cm each) for cultivation of *Lolium perenne*, in greenhouse. The experiment was designed to have two levels of salt stress (0 and 150 mmol L⁻¹ NaCl) and 5 levels of extraneous SA (0, 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 mmol L⁻¹) to form 6 treatments, that is treatments CK, S, SSA1, SSA2, SSA3 and SSA4. After germination, *Lolium perenne* seedlings began to get watered with 50% Hoagland nutrient solution (6.5 ± 0.1 in pH) . NaCl solution



and salicylic acid were added with the solution on D0 (the 10th day after sowing) when the seedlings was approximately 5 cm in height and then watered once every other day. So the seedlings were watered a total of four times. The seedlings in the treatments were sampled four times on D0, D3, D6 and D9 for systematic analysis of physiological and biochemical indices. 【Result】 Results show that application of extraneous salicylic acid, regardless of concentration, significantly mitigated salt stress on *Lolium perenne* seedlings; relatively improved the seedlings in plant height, and fresh and dry weights of shoot and root; significantly increased the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT), thus strengthening the antioxidant enzyme system of the plants; reduced membrane lipid peroxidation and hence damage of the membrane, which was manifested in reduction of cell membrane permeability and malondialdehyde (MDA) content. Compared with Treatment S ($150 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$), Treatment SSA3 was the most prominent in the effect of mitigating salt stress. It increased the plant height of the *Lolium perenne* seedlings by 43.38%, the fresh and dry weight of the shoot by 37.92% and 31.36%, respectively and the fresh and dry weight of the root by 25.46% and 15.32%, respectively. On D3, SOD activity in the seedlings increased by 17.20%, and on D9, MDA content decreased by 27.60%. 【Conclusion】 To sum up, 0.6 mmol L^{-1} salicylic acid is the optimal rate among all the concentrations designed to mitigate salt stress of $150 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ on *Lolium perenne* seedlings.

Key words Salicylic acid; NaCl stress; *Lolium perenne*; Mitigating effect; Antioxidant enzyme; Membrane lipid peroxidation

(责任编辑: 陈荣府)