

欧洲鹅耳枥幼苗对盐胁迫的生长及生理响应

周琦¹, 圣倩倩¹, 祝遵凌^{1,2}

(1. 南京林业大学 风景园林学院, 江苏 南京 210037; 2. 南京林业大学 艺术设计学院, 江苏 南京 210037)

摘要: [目的] 探讨欧洲鹅耳枥(*Carpinus betulus*)对盐胁迫的响应及其耐盐性。[方法] 以两年生欧洲鹅耳枥幼苗为材料,用不同浓度 NaCl(0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%)溶液处理幼苗,研究不同盐分胁迫对其幼苗生长及生理生化指标的影响。[结果] (1) 随着盐胁迫的加剧,欧洲鹅耳枥幼苗受到损害程度逐渐加重,相对苗高生长、相对地径生长和总干重均呈下降趋势,而根冠比则逐渐增大;(2) 叶片相对含水量随着盐胁迫程度的增加而下降,且盐浓度越高,时间越久,变化幅度越大;(3) 叶片叶绿素总量、SOD 活性、POD 活性、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量随着盐胁迫程度的增加表现出先升高后降低的趋势;(4) 随着盐浓度的增加和盐害时间的持续,幼苗叶片 MDA 含量、相对电导率和脯氨酸含量总体上呈增大趋势,并在胁迫末期达到最大值。[结论] 欧洲鹅耳枥幼苗在 0.1%~0.2% 盐胁迫下能通过调节保护酶活性和渗透调节物质来减轻危害;而在 0.3% 胁迫下,幼苗自我调节能力受影响,0.4%~0.5% 胁迫对其造成严重的损害,表明欧洲鹅耳枥耐盐性较弱,不宜在滨海地区生长。

关键词: 欧洲鹅耳枥; 盐胁迫; 生长; 生理生化指标

文献标识码:

文章编号: 1000-288X(2015)03-0088-07

中图分类号: Q945.79

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.022

Physiological and Growing Response of *Carpinus Betulus* Seedlings to Salt Stress

ZHOU Qi¹, SHENG Qianqian¹, ZHU Zunling^{1,2}

(1. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Jiangsu, Nanjing 210037, China;

2. College of Arts & Design, Nanjing Forestry University, Jiangsu, Nanjing 210037, China)

Abstract: [Objective] To explore the response of *Carpinus betulus* to salt stress and its salt tolerance. [Methods] Using two year seedlings of *C. betulus* as experimental material, the growth, physiological and biochemical responses of *C. Betulus* were studied under different concentrations of NaCl(0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%). [Results] (1) With salt stress increasing, the damage of plant gradually increased, relative height, and relative diameter and dry weight tended to decline, but root/shoot ratio was increased. (2) Relative water content decreased as salt stress increasing, and the ranges were greater as the salt degrees became higher. (3) The variation trends of total chlorophyll content, SOD activities, POD activities, soluble sugar content and soluble protein content were increased at first then decreased. (4) With the period of salt stress continued, MDA content, relative conductivity and proline content increased, and reached a maximum at last. [Conclusion] *C. betulus* seedlings can improve the characteristics of resistance to salt stress by increasing the activities of protective enzyme system and osmotic adjustment substance under NaCl concentration of 0.1%~0.2%, but its self-regulation ability will be affected under 0.3% NaCl concentration, severe salt stress(0.4%~0.5%) will cause serious damage to the plants. It indicated that *C. betulus* is vulnerable to salt conditions, and it can not grow well in coastal areas.

Keywords: *Carpinus betulus*; salt stress; growth; physiological and biochemical indexes

土壤盐渍化是影响生态环境的重要因素之一,在世界范围内,有近 2.3×10^8 hm² 灌溉土地,其中 1/3

受到盐分胁迫^[1]。中国盐碱地面积大,范围广,主要分布在东部滨海、东北松嫩平原、黄河中上游和甘肃

收稿日期:2014-03-14

修回日期:2014-04-19

资助项目:江苏省科技支撑计划“观赏鹅耳枥良种选育”(BE2012345);江苏省工程技术研究中心建设项目(BM2013478);国家林业局“948”项目(2011-4-44);江苏省“青蓝工程”资助项目(2008);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

第一作者:周琦(1988—),女(汉族),江苏省常州市人,硕士,主要从事园林植物应用、园林植物栽培等研究。E-mail:nihaozhouqi@sina.com。

通信作者:祝遵凌(1968—),男(汉族),河南省固始县人,博士,教授,主要从事园林植物应用、园林植物栽培等研究。E-mail:zhuzunling@aliyun.com。

省河西走廊、新疆、青海等地区^[2],土地利用率低制约着现代农业和经济社会的可持续发展。树木耐盐性研究涉及植物在盐渍环境下各种形态表现和生理过程,乃至个体基因型改变等,目前尚未形成权威的理论体系^[3]。植物受到盐胁迫时,体内会产生大量活性氧,导致膜的氧化伤害;而植物体内存在的过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)等保护酶可清除膜脂过氧化作用产生的丙二醛(MDA),起到保护膜结构的作用^[4];同时,细胞内会主动积累一些渗透调节剂,如可溶性糖和脯氨酸等来保护膜的完整性^[5]。研究植物的耐盐性对于改善盐碱地生态系统和提高土地资源利用率具有十分重要的意义。

欧洲鹅耳枥(*Carpinus betulus*)为桦木科鹅耳枥属植物,原产于欧洲中部,近几年引入中国。其树冠丰满、易修建造型、色彩变化丰富,适应性强^[6],在欧美国家很受欢迎^[7-10]。国外对欧洲鹅耳枥的研究较为深入,主要集中在繁殖、生理及地理分布等方面,并选育了许多园艺品种^[11-12]。国内部分地区对欧洲鹅耳枥也进行引种栽培,并对其繁殖技术、耐旱特性进行了初步研究^[13-16],发现其具有一定的抗旱性。本研究以两年生欧洲鹅耳枥幼苗为材料,通过设置不同盐胁迫梯度,测定其生长及生理生化指标对盐胁迫的响应,以期分析其对盐胁迫的适应性,为欧洲鹅耳枥在国内的引种和应用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料与设计

试验在南京林业大学实验教学中心和园林实验室进行。供试欧洲鹅耳枥种子来自于匈牙利,2011年11月进行变温层积处理,次年3月份播种于育苗穴盘中,6月份将长势良好的欧洲鹅耳枥播种苗移栽到花盆中,进行统一的水肥管理。

2013年3月挑选大小一致、生长健壮的幼苗移入大小形状一致的花盆中进行基质栽培,基质为园土:草木灰:蛭石:珍珠岩=1:1:1:1的混合土,每盆土壤干重为500g,每盆栽1株。在条件一致的环境下自然生长,常规管理,培养1个月,进行盐胁迫实验。于4月挑选长势一致的苗木移入花房内适应一段时间,4月中旬开始对苗木进行盐处理。试验设置6个浓度梯度:0%(CK),0.1%,0.2%,0.3%,0.4%,0.5%,每个梯度重复3次,每个重复25株苗。加盐时,每隔7d以对应浓度的NaCl分析纯溶液处理苗木,每盆浇200ml,花盆底放塑料托盘,若有溶液流出,则回倒入盆中。每次浇灌前以去离子水充分淋洗基质,以确保试验设计的准确性。

1.2 测定指标及方法

盐胁迫后7,14,21,28,35,42d早上8点观测植物生长状态,并取中上部第3—5叶位的成熟叶片,立即置入冰袋中,带回实验室进行各项指标的测定。

1.2.1 生长指标测定 在用NaCl溶液处理前测定苗高(H_0)、地径(D_0),试验结束测定苗高(H_1)、地径(D_1),则相对高生长= $H_1 - H_0$;相对地径生长= $D_1 - D_0$ 。盐胁迫处理42d后,分别测定根、茎、叶干重,并计算根冠比=地上部分干重/地下部分干重。

1.2.2 生理指标测定 相对含水量测定采用烘干法^[17];叶绿素(Chl)含量测定采用丙酮乙醇混合液法^[18];超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑法^[17];过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法^[19];丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[17];相对电导率采用电导仪测定法^[20];可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[17];可溶性蛋白质的含量测定采用考马斯亮蓝染色法^[17];脯氨酸含量采用磺基水杨酸法^[21]。

1.3 数据处理方法

所测得数据用Excel 2003处理,分析并绘制指标变化图;采用SPSS 19.0软件进行方差分析和Duncan多重对比。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对欧洲鹅耳枥幼苗生长的影响

2.1.1 相对高生长 盐胁迫后欧洲鹅耳枥相对高生长如表1所示,可知随着盐胁迫加强,欧洲鹅耳枥的相对高生长呈逐渐下降的趋势,且下降幅度存在显著差异。0.1%~0.5%NaCl处理下,分别比对照减少了15.8%,21.9%,48.6%,59.6%和64.4%,且高盐浓度下(0.3%~0.5%)与对照达到极显著差异。方差分析表明不同处理对欧洲鹅耳枥相对高生长的影响达到极显著水平,说明盐胁迫对欧洲鹅耳枥的生长造成了一定的阻碍,且随着盐浓度的增加,伤害效应越明显。

2.1.2 相对地径生长 地径生长量与植物的抗逆性关系密切,是衡量植物生长状况好坏的重要指标之一。由表1可知,随着盐胁迫程度的加强,欧洲鹅耳枥相对地径生长量均不断减少,呈下降趋势,且不同处理之间存在差异。在0.1%盐浓度下,欧洲鹅耳枥均与对照差异不显著,而随着盐浓度的增加,0.2%~0.5%分别比对照极显著下降了19.9%,34.3%,39.8%,49.1%。方差分析表明不同处理对欧洲鹅耳枥相对地径生长的影响达到极显著水平。

表 1 盐胁迫对欧洲鹅耳枥相对高生长、相对地径生长、总干重和根冠比的变化

NaCl 浓度/%	相对高生长/cm	相对地径生长/mm	总干重/g	根冠比
0	4.887±0.404 ^{Aa}	0.072±0.008 ^{Aa}	0.658±0.021 ^{Aa}	0.314±0.002 ^{Ec}
0.1	4.100±0.721 ^{Ab}	0.068±0.004 ^{ABa}	0.618±0.026 ^{Ab}	0.363±0.005 ^{Dd}
0.2	3.800±0.600 ^{Ab}	0.058±0.005 ^{BCb}	0.520±0.017 ^{Bc}	0.383±0.002 ^{Cc}
0.3	2.500±0.436 ^{Bc}	0.047±0.005 ^{CDc}	0.431±0.028 ^{Cd}	0.423±0.006 ^{Bb}
0.4	1.967±0.253 ^{Bc}	0.043±0.006 ^{Dcd}	0.365±0.018 ^{De}	0.476±0.008 ^{Aa}
0.5	1.733±0.252 ^{Bc}	0.037±0.004 ^{Dd}	0.330±0.020 ^{De}	0.482±0.003 ^{Aa}

注:不同小写和大写字母分别表示不同处理之间在 0.05 和 0.01 水平存在显著性差异。下同。

2.1.3 总干重和根冠比 盐胁迫对欧洲鹅耳枥幼苗生物量产生一定程度的影响(表 1),与对照相比,随着盐浓度的升高,欧洲鹅耳枥幼苗总干重不断下降,说明盐胁迫抑制了欧洲鹅耳枥幼苗的生长,且盐浓度越高,抑制作用越明。0.1%盐处理下总干重与对照差异不显著,0.2%~0.5%盐胁迫下,欧洲鹅耳枥总干重分别较对照下降了 21.0%,34.46%,44.50%,49.82%,且与对照差异极显著。欧洲鹅耳枥的根冠比随着盐浓度的升高而增大,且处理组都极显著高于对照组。说明欧洲鹅耳枥地上部分对盐胁迫的敏感度高于根部。以上结果表明,随着 NaCl 胁迫的加重,欧洲鹅耳枥幼苗生长受到影响程度逐渐加重。

2.2 盐胁迫对欧洲鹅耳枥幼苗叶片相对含水量的影响

欧洲鹅耳枥叶片相对含水量随着盐浓度的加重而减小,随着胁迫时间的延长而变小(图 1)。胁迫 7 d 时,各处理差异不显著;胁迫 14 d 时,0.1%处理与对照差异显著,相对含水量较对照增加了 6.8%,0.2%处理与对照差异不显著,0.4%,0.5%处理与对照差异极显著,分别下降了 23.3%,32.6%;随着胁迫时间的加长,到 35 d 时,各处理与对照差异极显著,分别下降了 18.7%,25.7%,38.4%,47.7%,52.8%;胁迫 42 d,0.1%处理与对照差异显著,0.2%~0.5%处理均极显著低于对照。说明,到胁迫后期,高浓度盐胁迫对欧洲鹅耳枥叶片相对含水量造成了严重的影响,而造成植株生长不能正常吸收水分,以致死亡。

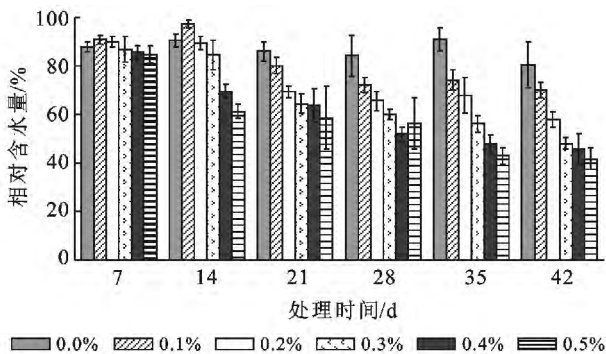


图 1 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥叶片相对含水量的变化

注:0.0%,0.1%,0.2%,0.3%,0.4%,0.5%表示不同的盐浓度。下同。

2.3 盐胁迫对欧洲鹅耳枥叶绿素含量的影响

由图 2 可知,随着胁迫时间的加长,欧洲鹅耳枥叶绿素总量呈先增加后降低的趋势。在 7~35 d 时,0.1%和 0.2%盐处理下欧洲鹅耳枥叶绿素总量均略高于对照,但未达到显著水平,而 0.3%~0.5%盐处理下,叶绿素含量逐渐降低;胁迫 42 d 时,随着盐胁迫的加强,叶绿素含量呈逐渐下降趋势,分别比对照下降了 7.2%,13.8%,32.6%,45.2%,51.4%,且 0.3%,0.4%,0.5%盐处理与对照达到极显著差异。说明低盐浓度(0.1%~0.2%)对欧洲鹅耳枥叶绿素含量影响不大,但是盐浓度超过一定限度之后,严重影响了叶绿素的含量。

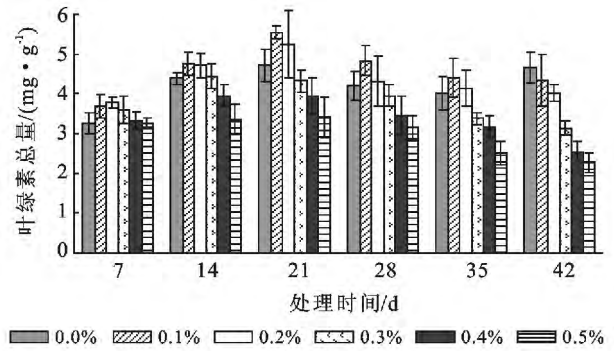


图 2 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥叶片叶绿素总量变化

2.4 盐胁迫对欧洲鹅耳枥幼苗叶片保护酶活性的影响

2.4.1 SOD 活性 由图 3 可以看出:胁迫 7~21 d 时,欧洲鹅耳枥叶片 SOD 活性随着盐胁迫浓度的变大而增加,而到 28~42 d 时,高浓度盐胁迫处理下,SOD 活性逐渐减小。整个试验期间,各处理 SOD 活性随着胁迫时间的延长呈先增加后降低的趋势。7 d 时,除了 0.5%处理比对照显著增加 27.3%,其余均与对照差异不显著;14 d 时,0.1%~0.3%与对照差异显著,分别增加了 20.0%,20.1%,24.4%,0.4%和 0.5%浓度处理下,分别比对照极显著增加了 29.2%,33.8%;到胁迫 28 d 时,0.4%,0.5%处理下 SOD 活性比之前有所下降,但仍高于对照,与对照差异极显著;胁迫末期 42 d 时,0.1%,0.2%处理与对照差异显著,0.3%处理与对照差异不显著,0.4%,0.5%处理

均低于对照,说明此时,高浓度盐胁迫欧洲鹅耳枥清除过氧化物自由基的能力降低。

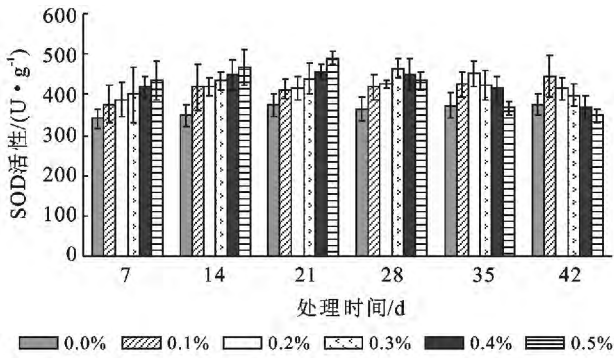


图 3 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥叶片 SOD 活性变化

2.4.2 POD 活性 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥叶片 POD 活性变化如图 4 所示。在不同盐浓度下,POD 活性的变化趋势不同:0.1%和 0.2%盐胁迫处理下 POD 活性随着时间的延长不断变大,0.3%~0.5%盐胁迫处理下,POD 活性随着时间的延长呈先增加后减小的趋势。7 d 时,各处理 POD 活性均高于对照,其中 0.2%,0.4%,0.5%处理与对照差异极显著;21 d 时,各处理 POD 活性比对照极显著增加了 40.0%,49.3%,59.1%,96.4%,87.2%,其中 0.4%,0.5%处理 POD 活性达到试验期间的最大值,分别为 344.3 U/(g·min),328.2 U/(g·min),之后活性逐渐下降。胁迫 42 d 时,0.1%和 0.2%处理 POD 活性达到最大值,分别为 356.0 U/(g·min),380.9 U/(g·min),与对照分别极显著增加了 65.4%,77.0%,而 0.4%和 0.5%处理 POD 活性均低于对照。

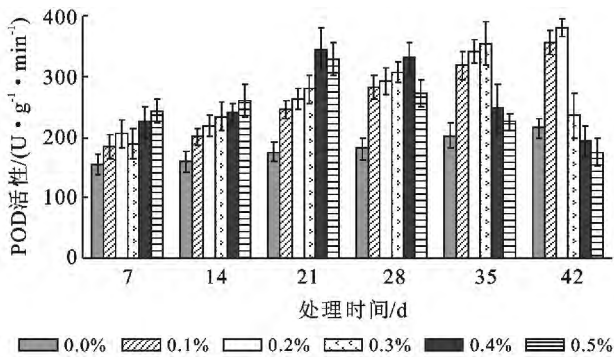


图 4 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥叶片 POD 活性变化

2.5 盐胁迫对欧洲鹅耳枥叶片丙二醛含量和质膜透性的影响

2.5.1 MDA 含量 由图 5 可以看出欧洲鹅耳枥 MDA 含量随着盐胁迫加强而增大,随着胁迫时间的延长而呈递增趋势。在胁迫 7 d 时,各处理 MDA 含量差异不显著;14 d 时,0.1%~0.3%处理与对照差异不显著,0.4%,0.5%处理与对照差异显著,分别上

升了 37.2%,47.3%;21d 时,0.1%,0.2%处理与对照差异不显著,0.3%处理与对照差异显著,0.4%,0.5%处理与对照差异极显著;到胁迫 35d 时,0.3%~0.5%处理与对照差异极显著,分别增加了 66.2%,97.2%和 116.9%;42d 时,0.2%~0.5%处理分别比对照极显著增加了 63.4%,63.7%,67.9%和 106.5%。说明到胁迫后期(35~42 d)时,细胞膜脂过氧化作用强烈,高浓度盐胁迫对欧洲鹅耳枥幼苗产生严重的影响。

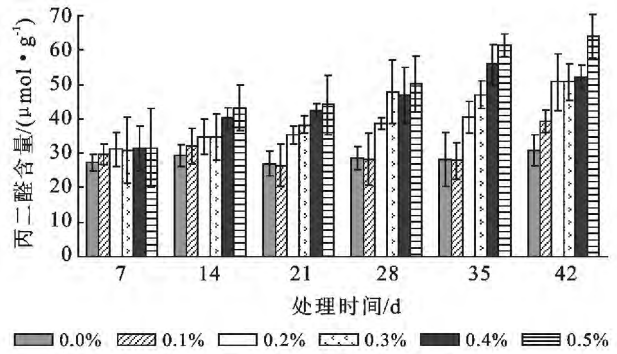


图 5 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥幼苗丙二醛的变化

2.5.2 质膜透性 逆境条件下,相对电导率可以反映植物细胞膜受损伤程度。如图 6 所示,随着盐胁迫的加强和胁迫时间的延长,欧洲鹅耳枥幼苗细胞膜透性不断增加,说明盐胁迫对植物的细胞膜造成损坏,并随着盐胁迫的加强,损伤不断加大。在盐胁迫 14 d 时,0.1%~0.3%处理与对照差异不显著,而 0.4%和 0.5%处理比对照极显著增加了 30.8%和 83.8%;胁迫 21 d 时,各处理比对照分别增加了 30.4%,34.4%,42.1%,47.8%,55.2%,其中 0.3%~0.5%处理与对照差异极显著,0.1~0.4%处理相对电导率的增幅达到胁迫期间的最大值;21 d 以后,各处理不同时期相对电导率变化趋于稳定,但均维持在较高的水平,说明胁迫中后期,盐胁迫对欧洲鹅耳枥细胞膜伤害严重。

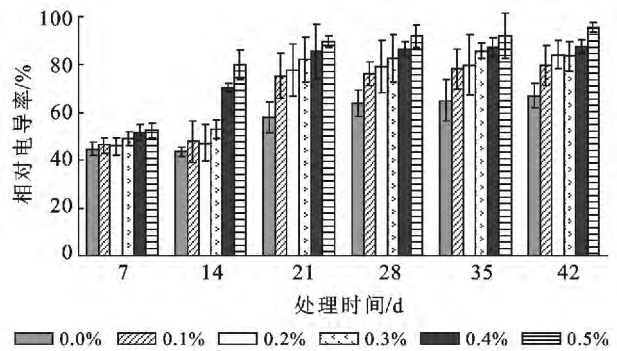


图 6 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥幼苗相对电导率的变化

2.6 盐胁迫对欧洲鹅耳枥幼苗渗透调节物质的影响

2.6.1 可溶性糖含量 由图 7 可知,随着盐胁迫程度的加剧,欧洲鹅耳枥叶片可溶性糖含量在胁迫前期上升,在后期逐渐下降,随处理时间延长呈显著变化。0.1%~0.3%处理可溶性糖含量在胁迫 35 d 时达到最大值,而 0.4%和 0.5%处理在 28 d 即达到最大值,之后显著下降。在 7 d 时,各处理变动幅度不大;胁迫 14 d 时,0.1%~0.4%处理与对照差异不显著,而 0.5%处理与对照差异显著,可溶性糖含量增加了 65.3%;到 28 d 时,各处理可溶性糖含量分别比对照增加了 28.7%,55.6%,59.0%,84.7%和 93.0%,且 0.2%~0.5%处理与对照差异均极显著;35 d 时,高浓度胁迫(0.3%~0.5%)处理随浓度的加重可溶性糖含量不断下降,0.5%处理下比对照降低了 7.4%;到胁迫 42 d 时,0.4%和 0.5%处理比对照分别下降了 6.7%和 13.5%。说明欧洲鹅耳枥在盐胁迫下,可以通过增加可溶性糖含量来调节细胞浓度,但到胁迫后期,超过一定盐浓度情况下,其生长受阻,可溶性糖含量显著下降。

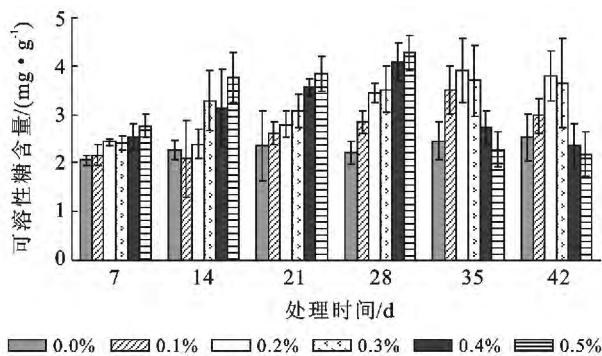


图 7 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥幼苗可溶性糖含量的变化

2.6.2 可溶性蛋白含量 不同盐分对欧洲鹅耳枥可溶性蛋白含量的影响如图 8 所示,由图可知,随着胁迫时间的延长,欧洲鹅耳枥叶片可溶性蛋白含量呈先缓慢上升后逐渐下降的趋势,且随盐分浓度的增加而下降。胁迫初期(7~14 d),各处理差异不显著;到胁迫 35 d 时,0.1%和 0.2%处理分别比对照增加了 6.0%和 2.2%,0.3%~0.5%处理分别比对照下降了 4.0%,10.6%和 19.9%,0.5%处理与对照差异极显著;胁迫 42 d 时,0.2%和 0.4%处理与对照差异显著,0.5%处理与对照差异极显著,比对照降低了 13.1%。说明重度盐胁迫下,欧洲鹅耳枥可溶性蛋白含量合成受阻,生长受到影响。

2.6.3 游离脯氨酸含量 由图 9 可知,欧洲鹅耳枥叶片脯氨酸含量随着盐分浓度的增加总体呈上升的趋势;随着胁迫时间的持续,不同浓度盐胁迫下脯氨

酸含量的变化趋势不同;0.1%处理与对照差异不显著;0.2%处理随胁迫时间的延长先缓慢上升,在胁迫末期下降;而 0.3%~0.5%处理随着时间的持续不断增大,并在胁迫末期达到最大值。7 d 时,各处理差异不显著;14 d 时,0.4%和 0.5%处理与对照差异极显著;到胁迫 28 d 时,各处理比对照分别增加了 10.0%,52.7%,86.7%,53.7%和 60.7%,其中 0.3%处理与对照差异极显著;到胁迫末期(42 d)时,0.3%~0.5%处理脯氨酸含量分别为 0.49 $\mu\text{g/g}$,0.60 $\mu\text{g/g}$,0.62 $\mu\text{g/g}$,分别比对照极显著增加了 124.7%,171.3%和 182.0%。

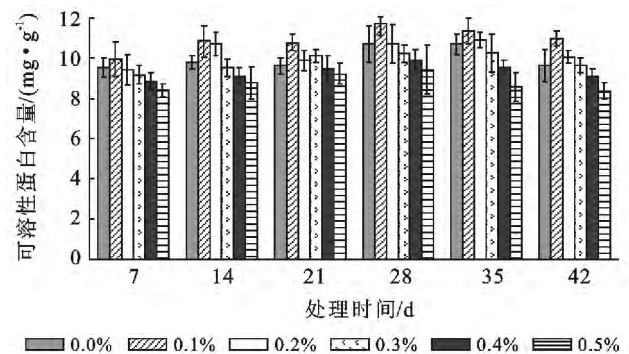


图 8 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥幼苗可溶性蛋白含量的变化

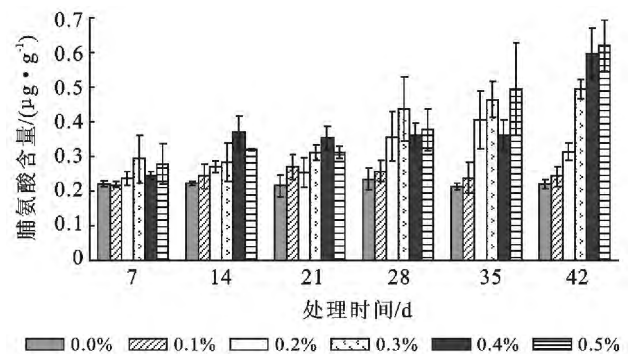


图 9 不同盐分处理下欧洲鹅耳枥幼苗脯氨酸含量的变化

3 结论与讨论

生长量和生物量是植物对盐胁迫反应的综合体现,也是植物耐盐性的直接指标^[22]。相对高生长可表示植物受害的轻重^[23];一般植物的抗逆性越强,苗木地径越大^[24]。试验结果表明:0.3%~0.5%盐胁迫下,欧洲鹅耳枥幼苗的株高、地径及生物量都明显低于对照,而且根冠比与对照组之间差异极显著,说明,欧洲鹅耳枥只能忍受低浓度(0.1%~0.2%)的盐分胁迫。这一结论与前人对观光木^[25]、紫穗槐^[26]、落羽杉^[27]等研究结果一致,说明高盐胁迫对欧洲鹅耳枥的影响较大,超过其忍耐限度。

随着盐浓度的增加,欧洲鹅耳枥幼苗叶片相对含

水量明显下降,这可能与叶片组织中钠离子大量积累、叶片渗透增加密切相关。土壤盐分会影响土壤渗透势,造成植物吸水困难,使植物生长受抑制。张海波等^[28]对盐桦的研究发现当盐桦幼苗叶片相对含水量低于 50% 时,盐桦生长受到很大伤害。叶绿素是光合作用的重要物质,其含量的高低可以反映植株的生长状况和光合能力的大小^[29]。本研究发现,0.1%~0.2% 盐胁迫下欧洲鹅耳枥叶绿素含量高于对照,说明低盐浓度能增强欧洲鹅耳枥光合作用,对其生长影响不大,而随着胁迫时间的延长,其叶绿素含量先增加后降低,这与陈书明^[30]对欧李的研究结果相一致。程钧等^[31]对盐胁迫下红桉木幼苗生长及生理指标研究时发现,盐胁迫前期,红桉木叶片叶绿素含量略高于对照,进一步证实 Na^+ 是植物生长的必须元素。

盐胁迫会导致植物体内活性氧、 H_2O_2 等有害物质大量积累,对蛋白质、核酸等生物大分子造成损伤^[32],而 SOD、POD 等抗氧化酶能有效地消除活性氧自由基,防止膜的氧化破坏。通常盐胁迫下,植物体内 SOD 酶活性大小与植物的耐盐性有较高的相关^[33],POD 酶能有效清除活性氧自由基,其活性强弱也是衡量植物对逆境的适应性和抵抗能力的重要指标之一^[34]。大量实验证明,盐胁迫下植物体内 SOD、POD 活性的升高是植物是适应盐胁迫的重要途径^[35-36]。严理等^[37]发现深山含笑幼苗在盐胁迫下 POD 含量、SOD 含量随着盐浓度增大而增大。本试验中,随着盐胁迫程度的加重和胁迫时间的延长,SOD 和 POD 活性呈先上升后下降的趋势;低盐浓度处理时,欧洲鹅耳枥体内的保护酶系统活性升高将体内产生的自由基清除,但其清除调节能力有限,到了盐胁迫后期,0.3%~0.5% 盐胁迫下 SOD 酶和 POD 酶开始下降,这可能是到后期盐胁迫程度超过了植物的耐受范围,蛋白质合成减少,保护酶大量消耗,酶活性下降使幼苗的存活与生长受影响。

盐胁迫造成的叶片细胞膜损伤和破坏,使其透性加大,膜系统的完整性丧失,MDA 大量合成^[38],MDA 具有很强的细胞毒性,其含量高低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^[39]。有学者研究认为 MDA 含量和细胞膜透性的增加与植物耐盐性强弱呈负相关^[40]。本试验发现,随着盐分浓度的增加,欧洲鹅耳枥幼苗叶片中 MDA 含量一直呈上升趋势,且均高于对照组,说明盐胁迫下欧洲鹅耳枥的膜保护系统遭到破坏,原生质膜被破坏程度较大。在植物抗逆性研究中,细胞膜透性变化已经成为一个公认的指标^[41]。欧洲鹅耳枥质膜相对透性随盐胁迫加重也显著增加,表明生物自由基诱发的膜脂过氧化

作用较强,细胞受到的损伤也较大,这前人对与对油桐^[42]的研究结果相一致。

植物能通过渗透调节来适应环境变化,参与渗透调节的物质包括无机离子和有机物^[43]。可溶性糖能维持细胞基本结构,减轻植物在盐胁迫下受到的生理干旱,提高其耐盐性^[44]。脯氨酸在植物细胞适应环境胁迫过程中起着重要作用,当植物受渗透胁迫而造成生理缺水时,体内脯氨酸会大量积累^[45]。有学者认为逆境下脯氨酸积累的多少可以作为植物抗逆性强弱的生理指标^[46]。张丽平等^[47]研究发现,盐胁迫下黄瓜叶片内脯氨酸和可溶性糖含量升高。欧洲鹅耳枥的可溶性糖含量和可溶性蛋白含量随着盐胁迫加强在前期上升,后期下降,而脯氨酸含量则不断上升。可能是因为盐胁迫下欧洲鹅耳枥细胞能积累大量可溶性糖,增加细胞原生质浓度以适应盐胁迫,但随着胁迫时间的持续,细胞膜受损害严重,胞内物质外渗,可溶性糖含量又逐渐减少,说明可溶性糖和可溶性蛋白虽然可以作为欧洲鹅耳枥的渗透调节物质,但其调节作用有限。脯氨酸的积累可降低细胞的水势,调节渗透平衡,避免细胞在盐胁迫下脱水死亡。欧洲鹅耳枥在后期高浓度盐胁迫下已不能正常生长,脯氨酸的大量积累是否可作为其耐盐性指标,还是更适合作为其胁迫伤害指标,仍有待研究。武香等^[48]在研究盐胁迫下不同盐生植物渗透调节响应时,也提出这一问题。目前关于脯氨酸含量与植物抗盐性关系仍有争议,需作进一步探索。

作物对逆境环境的反应是许多因素综合影响的结果,土壤结构、植物生长阶段以及遗传差异等因素都会对植物耐盐能力产生影响,本试验通过对欧洲鹅耳枥耐盐性的研究,发现欧洲鹅耳枥对盐胁迫较为敏感,在低盐浓度(0.1%~0.2%)下能够生长,但其耐盐能力有限,盐分浓度超过 0.2% 对其生长造成显著影响。欧洲鹅耳枥不宜在盐碱地生长,沿海地区、干旱及半干旱地区对其引种栽培需进行更为深入的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 刘祖棋,张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994:222-285,369-371.
- [2] 魏博娴. 中国盐碱土的分布与成因分析[J]. 水土保持应用技术,2012(6):27-28.
- [3] 王洪春. 植物抗性生理讲座[J]. 植物生理学通讯,1981(6):72-81.
- [4] 马焕成,王沙生. 胡杨膜系统的盐稳定性及盐胁迫下的代谢调节[J]. 西南林学院学报,1998,18(1):15-23.
- [5] Bowler C, Slooten L, Vandenbranden S, et al. Manga-

- nese superoxide dismutase can reduce cellular damage mediated by oxygen radicals in transgenic plants [J]. *The EMBO Journal*, 1991, 10(7):1723-1732.
- [6] 周正. 世界主要用材树种概论[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997, 192-193.
- [7] Paula M. Carpinus L. The woody plant seed manual [M]. Washington D. C.: USDA Forest Service, 2008, 328-332.
- [8] Goldsmith F B. Threats to woodland in an urban landscape: A case study in Greater London [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1988, 16(3):221-228.
- [9] Macdonald B. Practical woody plant propagation for nursery growers [M]. Portland: Timber Press, 1986.
- [10] Chalupa V. Micropropagation of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) [J]. *Biologia Plantarum*, 1990, 32(5):332-338.
- [11] 祝遵凌, 许圆圆. 欧洲鹅耳枥繁殖技术研究 [J]. *安徽农业大学学报*, 2012, 39(1):88-91.
- [12] Zhu Zunling, Lin Qingmei. Formative arts and landscape application of European Hornbeam [J]. *Advanced Building Materials and Structural Engineering*, 2012(461):620-623.
- [13] 祝遵凌, 林庆梅, 许圆圆. 欧洲鹅耳枥种子层积过程中贮藏物质及酶活性的变化 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2013, 37(6):157-160.
- [14] 祝遵凌, 许圆圆, 林庆梅. 欧洲鹅耳枥种子层积过程中内源激素含量的变化 [J]. *上海交通大学学报: 农业科学版*, 2013, 31(5):50-53.
- [15] 祝遵凌, 许圆圆, 王飒. 欧洲鹅耳枥种子变温层积过程中结构的变化 [J]. *东北林业大学学报*, 2013, 41(7):1-5.
- [16] 王飒, 周琦, 祝遵凌. 干旱胁迫对欧洲鹅耳枥幼苗生理生化特征的影响 [J]. *西北植物学报*, 2013, 33(12):2459-2466.
- [17] 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, 1999.
- [18] 张宪政. 植物叶绿素含量测定: 丙酮乙醇混合液法 [J]. *辽宁农业科学*, 1986(3):26-28.
- [19] 郑炳松. 现代植物生理生化技术研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [20] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导 [M]. 第 2 版: 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [21] 孙学文, 刘艳芳. 用甲苯萃取与未经萃取测定脯氨酸含量的比较: 磺基水杨酸法 [J]. *河北科技师范学院学报*, 2006, 20(4):26-28.
- [22] 夏阳, 林杉, 张福所, 等. 淋洗对盐胁迫下大豆生长和矿质营养基因型差异影响的研究 [J]. *土壤学报*, 2003, 40(1):155-159.
- [23] 王玉祥, 刘静, 乔来秋, 等. 41 个引种树种的耐盐性评定与选择 [J]. *西北林学院学报*, 2004, 19(4):55-58.
- [24] 杨燕, 刘庆, 林波, 等. 不同施水量对云杉幼苗生长和生理生态特征的影响 [J]. *生态学报*, 2005, 25(9):2152-2158.
- [25] 谢安德, 王凌晖, 潘启龙, 等. 盐分胁迫对观光木幼苗生长及生理特性的影响 [J]. *西北林学院学报*, 2012, 27(2):22-25.
- [26] 闫永庆, 朱虹, 刘兴亮, 等. 盐胁迫对紫穗槐生长发育及生理特性的影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2008, 39(12):31-35.
- [27] 汪贵斌, 曹福亮. 盐胁迫对落羽杉生理及生长的影响 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2004, 27(3):11-14.
- [28] 张海波, 曾幼玲, 兰海燕, 等. 盐胁迫下盐桦生理响应的变化分析 [J]. *云南植物研究*, 2009, 31(3):260-264.
- [29] 金雅琴, 李冬林, 丁雨龙, 等. 盐胁迫对乌桕幼苗光合特性及叶绿素含量的影响 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2011, 35(1):29-33.
- [30] 陈书明, 吉仙枝. 欧李对碳酸盐胁迫的光合响应 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(35):17473-17475.
- [31] 程钧, 张晓平, 方炎明. 不同浓度 NaCl 胁迫对红桧木幼苗生长及部分生理指标的影响 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26(6):142-145.
- [32] 陈晓亚, 汤章城. 植物生理与分子生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007:536-537.
- [33] Sreenivasulu N, Grimm B, Wobus U, et al. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*) [J]. *Physiologia Plantarum*, 2000, 109(4):435-442.
- [34] 周建, 尤扬, 于丽娜. 盐胁迫对五角枫幼苗生长及生理特性的影响 [J]. *广东农业科学*, 2012(8):53-56.
- [35] 周希琴, 吉前华. 盐胁迫下木麻黄幼苗抗氧化酶活性的变化及 Ca^{2+} 对它的调控 [J]. *植物生理学通讯*, 2004, 40(2):184-186.
- [36] 王瑞刚, 陈少良, 刘力源, 等. 盐胁迫下 3 种杨树的抗氧化能力与耐盐性研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(3):46-52.
- [37] 严理, 陈铭显, 刘延男, 等. 盐胁迫对深山含笑苗木生长及生理指标的影响 [J]. *林业科技*, 2013, 38(4):14-17.
- [38] 齐曼·尤努斯, 李秀霞, 李阳, 等. 盐胁迫对大果沙枣膜脂过氧化和保护酶活性的影响 [J]. *干旱区研究*, 2005, 22(4):503-507.
- [39] 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 [J]. *生态学报*, 2002, 22(4):503-507.
- [40] Ye Chunjiang, Zhao Kefu. Effects of adaptation to elevated salinity on some enzymes salt-tolerance in vivo and physiological changes of eelgrass [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(7):788-794.

3 结论

退耕 3 a 后,牛恋缓冲带浅表地下水埋深明显变浅,其土壤有机碳和全氮含量明显增高,土壤全磷、Olsen-P、Al-P 和 Fe-P 含量明显降低,而 O-P 含量增加。但是海埂缓冲带和兴隆缓冲带浅表地下水埋深与其对应农田没有显著差异,其土壤理化性质和无机磷组分与其对应农田的没有显著差异。这表明 3 a 内退耕没有直接对土壤恢复和无机磷组分产生效应,而浅表地下水埋深可能是直接影响土壤恢复和土壤磷素形态分布的重要因素之一。3 a 内退耕通过抬高地下水水位加速土壤磷素淋失从而降低土壤潜在淋失风险。土壤有机碳含量、土壤密度和 pH 值等缓冲带土壤恢复有效指标对土壤磷素组分有显著影响。因此,短期内,滇池湖滨建设应该通过控制其地下水埋深来权衡土壤恢复和土壤磷素淋失。

[参 考 文 献]

- [1] 单艳红,杨林章,王建国. 土壤磷素流失途径、环境影响及对策[J]. 土壤,2004,36(6):602-608.
- [2] Hesleth N, Brooks P C. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching [J]. J. Environ Qual., 2000,29(1):105-110.
- [3] Djodjic F, Borling K, Bergstrom L. Phosphorus leaching in relation to soil type and soil phosphorus content[J]. J. Environ. Qual., 2004,33(2):678-684.
- [4] 李丽,高俊琴,雷光春,等. 若尔盖不同地下水水位泥炭湿地土壤有机碳和全氮分布规律[J]. 生态学杂志,2011,30(11):2445-2449.
- [5] 张平究,赵永强,孟向东,等. 退耕还湖后安庆沿江湿地土壤理化性质变化[J]. 土壤通报,2011,42(6):1319-1323.
- [6] 邱亚群,甘国娟,刘伟,等. 湖南典型土壤磷素剖面分布特征及其流失风险[J]. 中国农学通报,2012,28(8):223-227.
- [7] 向万胜,童成立,吴金水,等. 湿地农田土壤磷素的分布、形态与有效性及磷素循环[J]. 生态学报,2001,21(12):2067-2073.
- [8] 张杨珠,蒋有利,黄运湘,等. 稻作制、有机肥和地下水位对红壤性水稻土磷的吸持作用的影响[J]. 土壤学报,1998,35(3):328-336.
- [9] Heckrath G, Brookes P C, Poulton P R, et al. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the broad balk experiment[J]. J. Environ. Qual., 1995,24(3):904-910.
- [10] 王彩绒,胡正义,杨林章,等. 太湖典型地区蔬菜地土壤磷素淋失风险[J]. 环境科学学报,2005,25(1):76-80.
- [11] 吕家珑, Fortune S, Brooks P C. 土壤磷淋溶状况及其 Olsen 磷“突变点”研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(2):142-146.
- [12] 何电源. 潜育性和次生潜育化水稻土的形成及改良途径的研究总结报告[J]. 农业现代化研究,1984(6):1-20.
- [13] Edward M, Thomas W. Soil and Their Management: A Sino-European Perspective [M]. London and New York: Elsevier Applied Science, 1999:321-338.
- [14] 杨丽娟,李天来,周崇峻. 塑料农田内长期施肥对菜地土壤磷素组成及其含量影响[J]. 水土保持学报,2009,23(5):205-208.
- [41] 谢承陶. 盐渍土改良原理与作物抗性[M]. 北京:中国农业科技出版社,1993:245-247.
- [42] 梁惠萍,雷利堂,王凌晖,等. 盐胁迫对油桐幼苗生长及生理特性的影响[J]. 北方园艺,2013(12):51-54.
- [43] 刘岩,彭学贤,谢友菊,等. 植物抗渗透胁迫基因工程研究进展[J]. 生物工程进展,1997,17(2):31-38.
- [44] Heuer B. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants[J]. Plant Science, 2003,165(4):693-699.
- [45] Delauney A J, Verma D P S. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants[J]. The Plant Journal, 1993, 4(2):215-223.
- [46] 姚元干,石雪晖,杨建国,等. 辣椒耐热性与叶片质膜透性及几种生化物质含量的关系[J]. 湖南农业大学学报,2000,26(2):97-99.
- [47] 张丽平,王秀峰,史庆华,等. 黄瓜幼苗对氯化钠和碳酸氢钠胁迫的生理响应差异[J]. 应用生态学报,2008,19(8):1854-1859.
- [48] 武香,倪建伟,张华新,等. 盐胁迫下不同盐生植物渗透调节的生理响应[J]. 东北林业大学学报,2012,40(8):29-33.

(上接第 94 页)