

网络出版时间:2016-10-09 10:08

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.11.010

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20161009.1008.020.html>

不同培养条件下滨梅幼苗对 NaCl 胁迫的响应

朱 泓, 胡淑英, 张春红, 王小敏, 吴文龙, 李维林

(江苏省中国科学院植物研究所, 江苏 南京 210014)

【摘 要】 【目的】比较不同培养条件下滨梅幼苗耐盐特性差异,并筛选出耐盐能力强的滨梅品种,从而为滨梅耐盐性评价提供依据。**【方法】**以不同种源滨梅组培试管苗为试验材料,分别在组培和水培条件下,以 0, 100, 200 mmol/L NaCl 进行盐胁迫处理,通过观察测定不同种源滨梅叶片盐害及生理生化指标,分析不同培养条件下滨梅幼苗对 NaCl 胁迫的响应情况。**【结果】**盐胁迫 7 d 后,组培和水培滨梅幼苗叶片中 Na^+ 、丙二醛(MDA)、可溶性蛋白(SP)含量、相对电导率(REC)及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性均随 NaCl 处理浓度的升高显著增加;5 种不同来源滨梅幼苗材料盐胁迫生理指标差异显著,其耐盐性强度表现为 $\text{MI} < \text{MA1} < \text{NY} < \text{NJ} < \text{MA2}$,其中 MA2 可耐受 200 mmol/L NaCl,MI 可耐受 100 mmol/L NaCl;组培条件下 40 d 和水培条件下 15 d 后,200 mmol/L NaCl 胁迫下 NY、NJ、MA2 所受盐害强度达到 3 级,MI、MA1 所受盐害强度达到 4 级。**【结论】**不同浓度盐胁迫 7 d 后组培和水培滨梅幼苗耐盐生理指标变化规律一致,滨梅组培试管苗可直接用于耐盐生理指标的测定和耐盐性评价。

【关键词】 滨梅;组织培养;水培;NaCl 胁迫;耐盐性

【中图分类号】 Q494

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)11-0070-07

Responses of *Prunus maritima* Marshall seedlings to NaCl stress under different culturing conditions

ZHU Hong, HU Shuying, ZHANG Chunhong, WANG Xiaomin, WU Wenlong, LI Weilin

(Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

Abstract: 【Objective】 This research investigated the influence of salt stress on physiological characteristics of *Prunus maritima* Marshall seedlings under different culturing conditions and selected new variety with strong salt tolerance. **【Method】** Five provenances of beach plum were treated with 0, 100, and 200 mmol/L NaCl under tissue and water culturing conditions to evaluate their salt-tolerance. **【Result】** With the increase of NaCl concentration, MDA content, Na^+ content, total soluble protein content (SP), relative conductivity, and activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) in leaves of seedlings were significantly increased under both tissue and water culturing conditions 7 days after treatment. The physiological indexes of the five provenances were significantly different with the salt-tolerance in order of $\text{MI} < \text{MA1} < \text{NY} < \text{NJ} < \text{MA2}$, in which MA2 had salt-tolerance of 200 mmol/L NaCl and MI of 100 mmol/L NaCl. After 40 days treatment under tissue culturing and 15 days treatment under water culturing, 200 mmol/L NaCl caused class III salt injury to NY, NJ, and MA2, and class IV to MI and MA1. **【Conclusion】** Salt injury and physicochemical indexes changed similarly under different culturing condi-

【收稿日期】 2015-06-12

【基金项目】 海洋公益性行业科研专项(201505023);江苏省农业三项工程项目(SXGC(2015)332);江苏省木本油料高效栽培示范项目(LYSX[2015]14)

【作者简介】 朱 泓(1982—),男,江苏南京人,助理研究员,理学博士,主要从事植物栽培生理研究。E-mail: gogen@yeah.net

【通信作者】 李维林(1966—),男,陕西汉中,人,研究员,博士,主要从事植物学研究。E-mail: lwlcnb@mail.cnbg.net

tions, indicating that the tube seedlings of beach plum can be used to investigate the physicochemical indexes for salt-tolerance evaluation.

Key words: *Prunus maritima* Marshall; tissue culturing; water culturing; NaCl stress; salt-tolerance

滨梅(*Prunus maritima* Marshall)是蔷薇科李属的一种盐生灌木,其根系发达,具有耐旱、耐贫瘠、耐盐碱等方面的抗逆性,可用于海岸滩涂修复和沙丘固定,是一种花果两用的耐盐新经济树种^[1-2]。与扦插繁殖相比,滨梅组织培养具有生长速度快、遗传性状稳定等优点,可作为构建滨梅耐盐性快速评价体系的基础。迄今为止,滨梅组织培养技术和耐盐生理研究已取得了一定进展^[3-9],但仅有少数基于组织培养的耐盐性评价和研究^[10]。为此,本研究设计了基于组织培养和水培条件的 NaCl 胁迫试验,并对不同浓度 NaCl 胁迫下,不同种源滨梅幼苗生长和生理响应变化规律进行了研究,以期为滨梅的耐盐性评价提供快速有效的方法学参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

滨梅材料:从美国纽约、密歇根、马萨诸塞(其中马萨诸塞引进两批,分别来源于 Sandwich 和 Cape Code)引进的滨梅种子,当年播种,9 月份以种子苗半木质化枝条作为外植体进行组织培养;从江苏南京溧水区傅家边引进的滨梅材料,以其 1 年生半木质化枝条作为外植体进行组织培养。对 5 个来源地的滨梅材料进行编号,分别为美国纽约(NY)、密歇根(MI)、Sandwich(MA1)、Cape Code(MA2)、南京(NJ)。

试验仪器:Thermo Scientific Orion Star A, Molecular Devices SPECTRA max PLUS 384。

试验试剂:磷酸缓冲液(pH 7.4),H₂O₂,体积分数 95%乙醇。植物丙二醛(MDA)测定试剂盒、过氧化物酶(POD)测定试剂盒、过氧化氢酶(CAT)测定试剂盒、超氧化物歧化酶(SOD)WST-1 法测定试剂盒、钠测试剂盒、BCA 法蛋白定量试剂盒,均购于南京建成生物工程研究所。

1.2 试验方法

通过组培方式繁殖试管苗,每个种源选取 30 株生长健壮的试管苗,接种在添加 0,100,200 mmol/L NaCl 的 1/2MS+NAA 0.2 mg/L 培养基中(每处理 10 株)^[5],接种后第 7 天取展开的第 3 片功能叶测定生理生化指标,同时每隔 10 d 观察一次组培苗的受害症状,共观察 4 次,最后进行受害性状汇总;

每个种源再选取 12 株生长健壮的试管苗接种在 1/2MS+NAA 0.2 mg/L 培养基中,约 35 d 后生根,将生根的组培苗移出试管进行水培(每处理 4 株),水培溶液分别添加 0,100,200 mmol/L NaCl,水培第 7 天取展开的第 3 片功能叶测定生理生化指标,同时每隔 3 d 观察一次滨梅组培苗的受害症状,共观察 5 次,最后进行受害性状汇总。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 盐害指标 参照阎艳霞等^[11]和杜中军等^[12]的标准,以滨梅叶片颜色变化和脱落情况进行盐害等级划分,0 级:叶片颜色和生长正常;1 级:少量叶尖、叶缘变黄;2 级:部分叶片变黄,萎蔫,有少量叶片脱落;3 级:大部分叶片变黄,萎蔫干枯,有明显落叶;4 级:叶片脱落十分严重或者死亡率超过 50%。

1.3.2 生理生化指标 采用电导法^[13]测定相对电导率(REC);采用试剂盒测定滨梅叶片可溶性蛋白(SP)、丙二醛(MDA)、Na⁺ 含量和抗氧化酶(SOD、CAT、POD)活性。每个样品均设 3 个重复。

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行统计分析,采用 Duncan's 法进行多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对滨梅幼苗生长的影响

在组培条件下,所有单株在添加 100 mmol/L NaCl 的培养基上总体长势都较正常,其中 MA2 种源在 100 mmol/L NaCl 处理下,生长势基本上没有受到影响,只是生根晚于对照(0 mmol/L NaCl)处理(对照处理的单株一般 7 d 左右开始生根,而 100 mmol/L NaCl 处理的需要 20 d);MI 种源耐盐能力明显相对较差,在 100 mmol/L NaCl 处理过程中,20 d 后开始出现少量叶尖、叶缘变黄,40 d 后部分叶片变黄、萎蔫,有少量叶片脱落。在添加 200 mmol/L NaCl 的培养基中,几乎所有材料在处理后的第 4 天叶片开始发黄,20 d 后部分材料茎段开始枯黄,到 40 d 后 MI 和 MA1 的死亡率超过 50%,其他种源在 40 d 时大多数叶片变黄,萎蔫干枯,伴有落叶现象。

在水培条件下,在添加 100 mmol/L NaCl 的水

溶液中,MA2 基本未受 NaCl 胁迫影响;NY 和 NJ 的叶尖、叶缘有些发黄,到第 4、5 次观察时有少量叶片脱落;MI 和 MA1 材料在起始观察时即发现叶片变黄,后 2 次观察时少量叶片开始脱落。在添加 200 mmol/L NaCl 的水溶液中,MI 种源生长势明显弱于其他材料,在第 2 次观察时就发现大量落叶,第 4、5 次观察时植株开始死亡;NY、MA1、NJ 材料在第 2 次观察时,叶片开始发黄和脱落,第 4、5 次观察时大部分叶片变黄,有明显落叶现象,MA1 有部分

植株死亡;MA2 种源在前 3 次观察时长势都比较正常,仅少许叶片叶缘有些发黄,第 4、5 次观察时大部分叶片变黄,有明显落叶现象,但植株没有死亡。

从表 1 可以看出,5 个种源的滨梅幼苗耐盐性存在一定差异。无论是在组培还是水培条件下,MA2 种源的耐盐性较强(可耐受 200 mmol/L NaCl),而 MI 较弱(仅可耐受 100 mmol/L NaCl),5 个种源材料的受害表现为 $MA2 < NJ = NY < MA1 < MI$ 。

表 1 不同培养条件下 NaCl 处理后滨梅幼苗受盐害等级

Table 1 Injury indexes of *Prunus maritima* with NaCl treatments under different culturing conditions

材料 Material	组培 40 d Tissue culturing 40 d			水培 15 d Water culturing 15 d		
	0 mmol/L	100 mmol/L	200 mmol/L	0 mmol/L	100 mmol/L	200 mmol/L
NY	0	1	3	0	1	3
MI	0	2	4	0	2	4
MA1	0	1~2	4	0	2	3~4
MA2	0	0	3	0	0	3
NJ	0	1	3	0	1	3

2.2 NaCl 胁迫对滨梅扦插苗生理指标的影响

2.2.1 叶片丙二醛和可溶性蛋白含量及细胞膜透性的变化 由表 2 可以看出,经不同浓度 NaCl 处理后,组培和水培条件下滨梅幼苗叶片中 MDA 含量均随 NaCl 浓度增加呈上升趋势,100 mmol/L NaCl 处理 7 d 后,除组培 MA2 样品与对照差异不显著外,所有处理组幼苗叶片中的 MDA 含量均显著高于对照;200 mmol/L NaCl 处理 7 d 后,MDA 含量与对照及 100 mmol/L NaCl 处理相比均显著增加。所有种源在无盐处理时,除组培 MA1 外样品间 MDA 含量差异不显著;在不同盐胁迫水平下,不同种源间 MDA 含量表现出显著差异,但组培和水培

条件下不同种源间 MDA 含量差异排列顺序一致,均为 $MA2 < NJ < NY < MA1 < MI$ 。

在不同盐胁迫水平下,组培和水培滨梅幼苗叶片中 SP 含量变化趋势与 MDA 含量变化趋势一致,不同种源间 SP 含量差异显著,组培和水培条件下不同种源间 SP 含量差异排列顺序一致,均为 $MI < MA1 < NY < NJ < MA2$ 。

在不同盐胁迫水平下,组培和水培滨梅幼苗叶片中 REC 整体变化趋势与 MDA 和 SP 含量变化趋势一致,而 100 mmol/L NaCl 处理 7 d 后,仅 MA1 的 REC 值显著高于对照,该结果表明各种源均表现出较强的耐盐性。

表 2 NaCl 胁迫对不同培养条件下滨梅叶片相对电导率及丙二醛和可溶性蛋白含量的影响

Table 2 Effect of NaCl stress on REC,MDA and SP in leaves of *Prunus maritime* under different culturing conditions

培养条件 Culturing condition	材料 Material	NaCl 浓度/ (mmol · L ⁻¹) NaCl concentration	相对电导率/% REC value	丙二醛含量/ (mmol · g ⁻¹) MDA content	可溶性蛋白含量/(mg · g ⁻¹) Content of soluble protein
组培 Tissue culturing	NY	0	0.186±0.005 a	36.924±0.005 a	0.462±0.002 a
		100	0.195±0.001 ab	41.311±0.183 bc*	0.516±0.002 a*
		200	0.232±0.003 bc*	43.709±0.153 b**	0.591±0.004 bc**
	MI	0	0.188±0.004 a	36.853±0.006 a	0.463±0.001 a
		100	0.204±0.003 a	42.824±0.110 a*	0.495±0.006 b*
		200	0.249±0.005 a*	45.395±0.291 a**	0.557±0.006 b**
	MA1	0	0.181±0.001 ab	36.777±0.002 b	0.463±0.001 a
		100	0.198±0.001 a*	41.752±0.104 b*	0.511±0.003 a*
		200	0.237±0.001 ab**	44.438±0.332 ab**	0.584±0.004 c**
	MA2	0	0.182±0.001 ab	36.871±0.041 a	0.463±0.002 a
		100	0.184±0.002 c	38.428±0.654 d	0.525±0.002 a*
		200	0.219±0.002 c*	40.874±0.695 c*	0.602±0.002 a**
	NJ	0	0.174±0.001 b	36.911±0.002 a	0.461±0.001 a
		100	0.188±0.004 b	40.959±0.100 c*	0.524±0.002 a*
		200	0.221±0.005 c*	43.369±0.210 b**	0.600±0.002 ab**

表 2(续) Continued table 2

培养条件 Culturing condition	材料 Material	NaCl 浓度/ (mmol · L ⁻¹) NaCl concentration	相对电导率/% REC value	丙二醛含量/ (mmol · g ⁻¹) MDA content	可溶性蛋白含量/(mg · g ⁻¹) Content of soluble protein
水培 Water culturing	NY	0	0.196±0.001 ab	36.375±0.474 a	0.466±0.001 a
		100	0.215±0.001 ab*	42.733±0.310 ab*	0.547±0.002 b**
		200	0.243±0.004 abc**	46.561±0.185 bc**	0.538±0.001 ab*
	MI	0	0.198±0.001 a	36.710±0.001 a	0.466±0.005 a
		100	0.224±0.006 a	43.228±0.217 a*	0.526±0.001 c*
		200	0.259±0.008 a*	47.180±0.081 a**	0.516±0.003 c*
	MA1	0	0.191±0.001 c	36.370±0.014 a	0.466±0.001 a
		100	0.218±0.001 ab*	42.987±0.008 a*	0.536±0.005 bc*
		200	0.247±0.001 ab**	46.776±0.146 ab**	0.532±0.001 b*
	MA2	0	0.192±0.001 c	36.085±0.078 a	0.466±0.002 a
		100	0.193±0.001 c	41.166±0.025 c*	0.566±0.001 a**
		200	0.228±0.003 c*	45.327±0.136 d**	0.543±0.002 a*
	NJ	0	0.194±0.001 bc	36.250±0.010 a	0.466±0.001 a
		100	0.208±0.003 b*	42.351±0.004 b*	0.561±0.005 a*
		200	0.231±0.004 bc**	46.142±0.007 c**	0.540±0.005 ab*

注:同列数据后标不同小写字母表示不同种源在相同处理条件下差异显著($P<0.05$);“**”表示单个种源在不同 NaCl 处理下显著高于标记“*”和未标记处理($P<0.05$),“*”表示单个种源在不同 NaCl 处理下显著高于未标记处理($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significantly different ($P<0.05$) on same NaCl stress. The double asterisks and single asterisk indicate significant difference ($P<0.05$) for same provenance. Means followed by double asterisks are significantly higher than single asterisk.

2.2.2 叶片保护酶活性的变化 NaCl 胁迫对不同 响见图 1~2。
培养条件下滨梅叶片 SOD、CAT 和 POD 活性的影

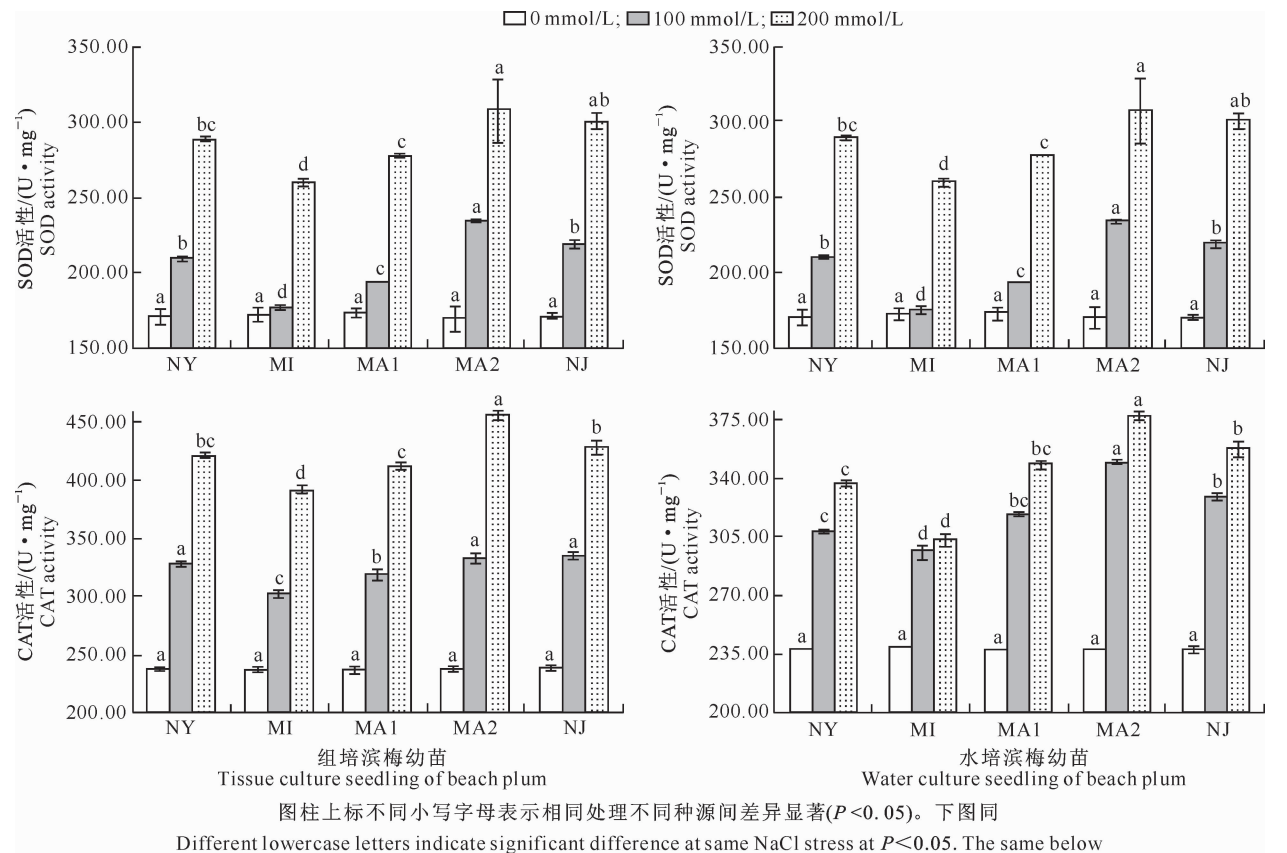


图 1 NaCl 胁迫对不同培养条件下滨梅叶片 SOD 和 CAT 活性的影响
Fig. 1 Effect of NaCl stress on SOD and CAT activity in leaves of
Prunus maritima under different culturing conditions

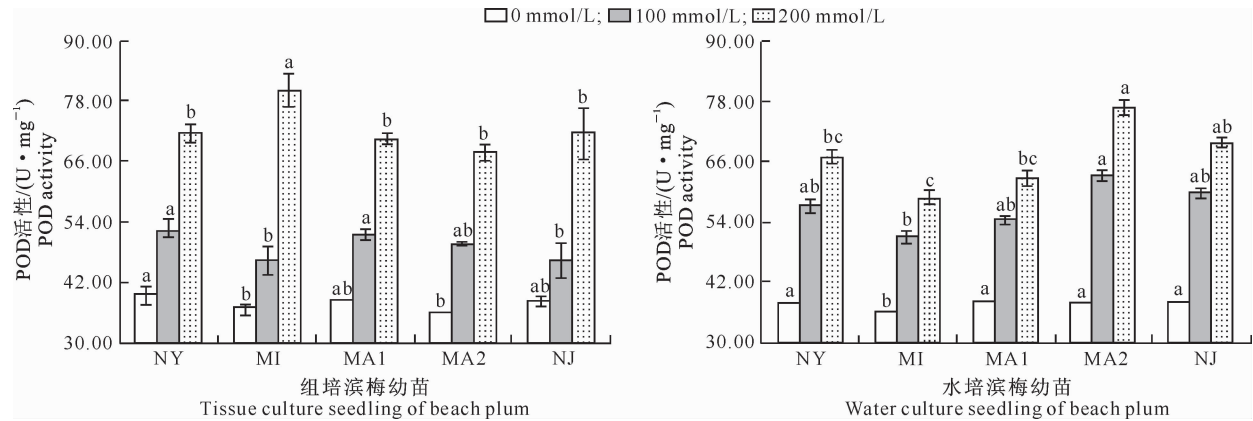


图 2 NaCl 胁迫对不同培养条件下滨梅叶片 POD 活性的影响
Fig. 2 Effect of NaCl stress on POD activity in leaves of *Prunus maritime* under different culturing conditions

由图 1~2 可见,作为植物体内保护酶系统的活性氧清除剂,除水培 MI 试验组 CAT 活性(100~200 mmol/L NaCl 胁迫)以及组培 MI 试验组 SOD 活性(0~100 mmol/L NaCl 胁迫)外,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性均随着 NaCl 浓度增加呈显著上升趋势,该结果表明盐胁迫激发了保护酶活性^[14-15],对滨梅植株细胞膜起到稳定和保护作用。无盐胁迫时,不同种源滨梅幼苗 SOD 和 CAT 及水培试验组 POD 活性无显著差异。随着 NaCl 胁迫强度的增加,SOD、CAT 和 POD 活性发生显著变化,不同培养条件下各种源保护酶活性变化规律有一定差异,组培条件下 SOD 和 CAT 活性变化规律均为 MI<MA1<

NY<NJ<MA2,POD 未呈现清晰的变化规律;水培试验组 SOD 活性变化规律为 MI<NY<MA1<MA2<NJ,CAT 和 POD 活性变化规律均为 MI<MA1<NY<NJ<MA2。

2.2.3 叶片 Na⁺ 含量的变化 由图 3 可见,随着盐胁迫强度的增加,组培和水培条件下各种源滨梅幼苗叶片中的 Na⁺ 含量均显著升高;不同种源在无盐胁迫下 Na⁺ 含量差异不大,而随着 NaCl 处理浓度增加,各种源 Na⁺ 含量差异达到显著水平,且在 100 和 200 mmol/L NaCl 处理后,组培和水培条件下不同种源间 Na⁺ 含量差异排列顺序相同,各种源滨梅幼苗叶片中的 Na⁺ 含量从低到高分别为 MA2<NJ<NY<MA1<MI。

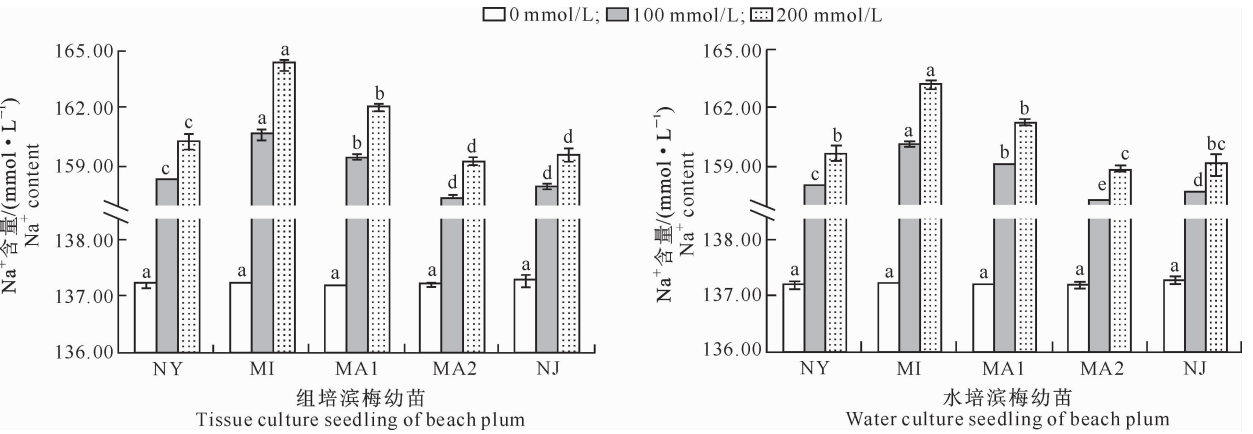


图 3 不同浓度 NaCl 处理下滨梅叶片钠离子含量的变化
Fig. 3 Effect of NaCl treatment on content of Na⁺ in leaves of *Prunus maritime* after

3 结论与讨论

盐胁迫下,植物的盐害情况最直观地反映了其对不同浓度盐处理的耐受性。在 100 mmol/L NaCl

的胁迫下,随着胁迫时间的延长,MI 和 MA1 等耐盐能力较弱的种源开始出现叶尖、叶缘变黄现象,逐渐发展到叶片变黄、萎蔫,叶片从下逐渐向植株顶部脱落,而种源 MA2 则基本未受影响;在 200

mmol/L NaCl 的胁迫下,几乎所有种源在短时间内开始发黄,随着胁迫时间的延长,MI 和 MA1 植株茎段开始枯萎并伴随出现植株死亡。除此之外,植株叶片中 MDA 含量、REC 值、SP 含量、Na⁺ 含量和保护酶(SOD、CAT、POD)活性均为评价植株耐盐性的重要生理指标。本试验中,仅有 MA1(组培)的这些生理指标均随盐处理浓度增加显著变化,MI(水培)、MA2(水培)以及除 MA1 外组培试验组叶片 REC 值均仅在 200 mmol/L NaCl 的胁迫下显著升高,该变化趋势与盐胁迫下盆栽滨梅幼苗的响应规律类似^[16-18]。随着 NaCl 浓度的增加,滨梅叶片 Na⁺ 含量显著升高,除 MA2(组培)、NY(水培)、MI(水培)、MA1(水培)和 NJ(水培)外,其他处理叶片可溶性蛋白含量均随盐处理浓度增加显著增加。本试验中,因盐胁迫而形成的高含量可溶性蛋白可能帮助维持植物细胞较低的渗透势,降低盐分对细胞膜系统的伤害。此外,SOD、POD、CAT 都是重要的抗氧化酶,这 3 种酶活性均随 NaCl 处理浓度的升高显著升高,能有效遏制活性氧含量的上升,避免活性氧对膜脂造成伤害。滨梅叶片中的 MDA 含量只有在高浓度盐处理下才显著增加,而低浓度盐处理时增加不明显,也表明低浓度盐处理下滨梅体内活性物质能有效地防止膜系统受到伤害。不同种源滨梅幼苗间的生理指标差异显著,其中 MA2 具有良好的耐盐性,在盐胁迫下具有较低的 MDA 含量、REC 值和 Na⁺ 含量,同时具有较高的 SP 含量和保护酶活性,植株受盐害程度最低;相比之下,MI 的耐盐能力较弱,在盐胁迫下具有较高的 MDA 含量、REC 值和 Na⁺ 含量,同时具有较低的 SP 含量和保护酶活性,受到的盐害最为严重。经比较,本研究中 5 个种源滨梅幼苗的耐盐性强弱顺序为 MI<MA1<NY<NJ<MA2。

植物组织培养和水培均是盐胁迫试验中的常见培养方式^[19-21]。盐害试验结果表明,相同强度的盐胁迫下水培滨梅幼苗受到的盐害更强,在胁迫后植株更早地产生黄叶、萎蔫和落叶现象。尽管如此,本试验中不同种源的组培幼苗受盐害强弱顺序与水培一致;不同水平盐胁迫 7 d 后,相同种源组培滨梅幼苗叶片 MDA 含量、REC 值、SP 含量、Na⁺ 含量以及保护酶活性的变化规律均与水培保持一致;除保护酶外,不同种源组培滨梅幼苗的耐盐性指标强弱顺序也与水培保持一致。综上所述,滨梅幼苗的组培盐胁迫试验结果与水培盐胁迫试验结果有较高一致性。该结果暗示,在进行滨梅耐盐性评价时,为了达

到快速、简便的目的,可以直接在组培条件下对试管苗进行耐盐性评估。

[参考文献]

- [1] Rieger M. Salt stress resistance of peach and four North American *Prunus* species [J]. *Acta Horticulturae*, 2001, 557: 181-192.
- [2] 王小敏,张春红,吴文龙,等. 开发滨梅作为滩涂和荒地适种的多用途新经济植物 [J]. *林业调查规划*, 2012, 37(2): 73-75.
Wang X M, Zhang C H, Wu W L, et al. Develop beach plum as a new multipurpose crop for coastal beach and waste land in China [J]. *Forest Inventory and Planning*, 2012, 37(2): 73-75.
- [3] 方 遼,龚津平,闫道良,等. 耐盐果树滨梅微繁殖体系的建立 [J]. *南京大学学报(自然科学)*, 2006, 42(5): 490-498.
Fang K, Gong J P, Yan D L, et al. The micropropagation establishment of *Prunus maritima* [J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 2006, 42(5): 490-498.
- [4] 闫道良,王 光,方 遼,等. 滨梅的组织培养和快速繁殖 [J]. *植物生理学通讯*, 2006, 42(5): 921.
Yan D L, Wang G, Fang K, et al. Tissue culture and rapid propagation of *Prunus maritima* Marshall [J]. *Plant Physiology Journal*, 2006, 42(5): 921.
- [5] 付素静,周玉珍. 滨梅的组织培养技术研究 [J]. *广西农业科学*, 2009, 40(8): 969-971.
Fu S J, Zhou Y Z. Tissue culture technology for *Prunus maritima* Marshall [J]. *Guangxi Agriculture Sciences*, 2009, 40(8): 969-971.
- [6] 胡淑英,王小敏,张春红,等. 滨梅茎段组织培养研究 [J]. *安徽农业大学学报*, 2012, 39(5): 816-820.
Hu S Y, Wang X M, Zhang C H, et al. Tissue culture with the stem of *Prunus maritima* Marshall [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2012, 39(5): 816-820.
- [7] 胡淑英,张春红,王小敏,等. 滨梅组培苗玻璃化成因及其克服技术研究 [J]. *中国南方果树*, 2013, 42(5): 37-41.
Hu S Y, Zhang C H, Wang X M, et al. Study on the causes and prevention methods of vitrification in tissue culture of beach plum (*Prunus maritima* Marshall) [J]. *South China Fruits*, 2013, 42(5): 37-41.
- [8] 宰学明,郝振萍,张焕仕,等. NaCl 胁迫下 AM 真菌对滨梅叶片中抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响 [J]. *植物生理学报*, 2013, 49(1): 41-46.
Zai X M, He Z P, Zhang H S, et al. Effects of AM fungi on ascorbate-glutathione cycle metabolism in leaves of *Prunus maritima* Marshall under NaCl stress [J]. *Plant Physiology Journal*, 2013, 49(1): 41-46.
- [9] 宰学明,夏连全,闫道良,等. 外源 Ca²⁺ 对高温强光胁迫下滨梅幼苗的保护效应 [J]. *西北植物学报*, 2011, 31(3): 558-563.
Zai X M, Xia L Q, Yan D L, et al. Protective effect of exogenous Ca²⁺ on beach plum seedlings under high temperature and strong light stress [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2011, 31(3): 558-563.
- [10] 闫道良,郭予琦,宰学明,等. 不同浓度 NaCl 对离体培养的滨

- 梅茎段增殖生长和几种生理指标的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(2): 273-275.
- Yan D L, Guo Y Q, Zai X M, et al. Effects of different concentrations of NaCl on growth and some physiological indexes of stem segments in beach plum (*Prunus maritima* Marshall) [J]. Plant Physiology Communications, 2008, 44(2): 273-275.
- [11] 阎艳霞, 王玉魁, 张 东. 不同枣品种对 NaCl 胁迫的适应性研究 [J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(4): 338-341.
- Yan Y X, Wang Y K, Zhang D. Study on physiological adaptability of different jujube species to NaCl stress [J]. Journal of Henan Agriculture University, 2008, 42(4): 338-341.
- [12] 杜中军, 翟 衡, 罗新书, 等. 苹果砧木耐盐性鉴定及其指标判定 [J]. 果树学报, 2002, 19(1): 4-7.
- Du Z J, Zhai H, Luo X S, et al. Salt tolerance identification on apple root stocks [J]. Journal of Fruit Science, 2002, 19(1): 4-7.
- [13] 李冬顺, 杨劲松, 周 静. 黄淮海平原盐渍土壤浸提液电导率的测定及其换算 [J]. 土壤通报, 1996, 27(6): 285-287.
- Li D S, Yang J S, Zhou J. Determination and conversion of extracting liquid conductivity of saline soil from Huanghuaihai Plain [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1996, 27(6): 285-287.
- [14] 夏更寿, 王加真. 高盐胁迫对沟叶结缕草叶片抗氧化酶活性的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2009, 32(1): 30-33.
- Xia G S, Wang J Z. Effects of NaCl on *Zoysia matrella* [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2009, 32(1): 30-33.
- [15] 冯 蕾, 白志英, 路丙社, 等. NaCl 胁迫对色木槭和流苏膜脂过氧化及抗氧化酶活性的影响 [J]. 西北林学院学报, 2008, 23(4): 5-7.
- Feng L, Bai Z Y, Lu B S, et al. Effect of salt stress on membrane-lipid peroxidation and resistant-oxidation enzyme activities of *Acer mono* and *Chionanthus retusus* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(4): 5-7.
- [16] 王利民, 陈金林, 梁珍海, 等. 盆栽滨梅幼苗对 NaCl 胁迫的响应 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34(3): 89-92.
- Wang L M, Chen J L, Liang Z H, et al. Responses of beach plum (*Prunus maritima*) seedlings to NaCl stress using pot culture experiments [J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition), 2010, 34(3): 89-92.
- [17] 朱 泓, 黄 涛, 刘勇军, 等. NaCl 胁迫对滨梅扦插苗生物量和水分积累的影响 [J]. 西北植物学报, 2015, 35(2): 356-363.
- Zhu H, Huang T, Liu Y J, et al. Growth and water content of beach plum cutting seedlings under salt stress [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2015, 35(2): 356-363.
- [18] 黄 涛, 朱 泓, 王小敏, 等. 盆栽滨梅扦插苗对 NaCl 胁迫的响应 [J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(9): 102-106.
- Huang T, Zhu H, Wang X M, et al. Responses of potted cutting seedlings from beach plum (*Prunus maritima*) to NaCl stress [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2014, 42(9): 102-106.
- [19] 陈阳春, 张本厚, 贾明良, 等. 盐胁迫对半夏组培苗生长及生理指标的影响 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 62-66.
- Chen Y C, Zhang B H, Jia M L, et al. Effect of NaCl stress on the physiological characteristics of *Pinellia ternata* (Thunb.) tissue culture seedlings [J]. Jiangsu Agriculture Sciences, 2014, 42(12): 62-66.
- [20] 马翠兰, 刘星辉, 庄伟强, 等. 水培条件下 NaCl 胁迫对坪山柚实生苗生理生化特性的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2005, 14(3): 16-20.
- Ma C L, Liu X H, Zhuang W Q, et al. Effect of NaCl stress on the physiological and biochemical characteristics of *Citrus grandis* 'Pingshanyou' seedlings under hydroponic culture condition [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2005, 14(3): 16-20.
- [21] 宋立奕, 方升佐. 水培青檀幼苗对 NaCl 胁迫的生理响应 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(2): 94-98.
- Song L Y, Fang S Z. Physiological responses of *Pteroceltis tatarinowii* seedlings under hydroponic culture to NaCl stress [J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition), 2006, 30(2): 94-98.