

文章编号: 1674-7054(2016)01-0036-07

海水浓度对宝岛蕉幼苗质膜及渗透物质的影响

雷越¹, 曾丽萍¹, 周双云², 张丹¹, 王文昌¹, 李新国¹

(1. 海南大学 热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室/园艺园林学院, 海口 570228;

2. 广西农业科学院 园艺研究所, 南宁 530007)

摘要: 采用不同浓度海水对宝岛蕉(*Musa acuminata* L. AAA Cavendish ‘Formosana’) 幼苗进行不同天数水培处理后质膜及渗透调节物质的响应研究。试验结果表明, 不同浓度海水处理后各指标均显著高于对照, 5% 海水处理胁迫不显著, 10% 和 20% 海水处理胁迫显著; 12 d 5% 海水处理脯氨酸含量增加不显著; 12 d 20% 海水处理因浓度过高抑制根系蛋白质合成; 3 d 10% 海水处理叶片、根系可溶性糖含量显著高于对照, 分别是对照的 130.30% 和 50%; 20% 海水处理对叶片及根系质膜损伤显著, 叶片质膜损伤可逆, 根系损伤不可逆。因此, 海水对根系影响比叶片的显著, 低浓度(5%) 海水可在一定程度提高宝岛蕉幼苗耐盐能力, 高浓度(10% 和 20%) 海水处理对宝岛蕉幼苗构成盐害。宝岛蕉可通过渗透物质调节机制适应一定浓度海水环境。

关键词: 宝岛蕉; 海水; 质膜; 渗透调节物质

中图分类号: S 668.1

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2016.01.006

宝岛蕉(*Musa acuminata* L. AAA Cavendish ‘Formosana’) 是我国香蕉主栽品种之一^[1]。海南淡水资源年分布不均, 但海水资源丰富。海水灌溉的应用可有效节约淡水资源^[2], 在一些盐生和非盐生的植物中已进行了研究, 如对种子萌发^[3]、生理响应机制、适宜灌溉浓度筛选^[4] 等以及通过高盐分含量或与淡水混合的水源灌溉草莓^[5-6]、番茄^[7]、小麦^[8]、向日葵^[9] 和绿豆^[10] 等作物。其研究结果表明海水浓度变化对脯氨酸、可溶性糖含量等有显著影响^[11]。植物积累脯氨酸是其抗盐的保护措施^[12]。适宜的海水浓度与灌溉次数有利于植物生长及生理代谢^[13-15]、提高生物学性状和产量^[14] 以及品质的提高^[15]。膜系统是植物受盐害的主要部位^[16], 海水在一定程度上形成了高盐环境, 随着盐浓度的增加, 质膜受到一定程度的损伤^[17]。受到损伤的质膜会发生严重的脂质过氧化现象, MDA 含量显著增加^[18], 其中, 质膜受到损伤的直观指标表现为细胞内电解质渗出, 相对电导率增大^[19]。如何充分合理地利用海水资源使香蕉实现优质生产成为当今香蕉产业中急需解决的重要问题。但是, 关于海水对香蕉质膜及渗透的影响未见报道, 因此, 笔者通过不同浓度海水处理宝岛蕉, 对其离子及渗透物质进行研究, 旨在为海水农业在香蕉产业中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及处理 宝岛蕉幼苗购自于中国热带农业科学院组培基地。选择 5 叶 1 心(5 片展开叶、1 片未展开叶), 苗高 28~32 cm, 长势均匀、生长状态正常、无病虫害的宝岛蕉组培苗作为试验材料。海水采自海南省海口市白沙门海岸, 海水基本性质见表 1。将宝岛蕉组培苗从育苗钵中取出, 经去土并洗净根系后转入园试营养液^[20] 进行水培, 每 3 d 更换 1 次营养液。培养环境光照强度为 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 光照

收稿日期: 2015-03-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260462); 海南大学中西部计划学科建设项目(ZXBJH-XK008)

作者简介: 雷越(1989-), 女, 海南大学园艺园林学院园艺领域农业推广专业 2012 级硕士研究生。E-mail: LeiYue19890403@163.com

通信作者: 李新国(1977-), 男, 教授, 硕士生导师。研究方向: 果树种质资源遗传育种和栽培生理。E-mail: lixinguo13@163.com

时间 13 h · d⁻¹ 昼温 29 ℃ 夜温 23 ℃ ,设置相对湿度在 80% ~85% 范围内 ,在整个试验培养期间 ,采用 24 h 人工通气的方式来保持培养环境供氧充足 ,预培养时间 3 d。设置 4 个处理 ,即处理 1(T1): 1/2 园试营养液 + 5% 海水(体积比); 处理 2(T2): 1/2 园试营养液 + 10% 海水(体积比); 处理 3(T3): 1/2 园试营养液 + 20% 海水(体积比); 对照: 1/2 园试营养液 + 0% 海水(体积比) 。分别在处理后 0 3 6 9 和 12 d 时测宝岛蕉幼苗第 2 位叶(由上至下) 和整个宝岛蕉幼苗根系的电导率、MDA、脯氨酸、可溶性糖以及可溶性蛋白含量。

1.2 质膜指标的测定 细胞质膜透性用电导仪法^[21]测定 ,以相对电导率(%) 表示。分别在宝岛蕉幼苗叶片及根系取样后用 Mettler Toledo 326 型电导仪分别根据资料方法测电导率值 L_0 , L_1 以及 L_2 ,并通过公式计算质膜相对透性。

$$\text{质膜透性(\%)} = \frac{L_1 - L_0}{L_2 - L_0} \times 100$$

MDA 含量测定采取 TBA(Thiobarbituric acid ,硫代巴比妥酸) 比色法^[21]。分别在 450 ,532 和 600 nm 波长下测定 OD 值 ,按公式计算 MDA 含量。

$$\text{MDA 浓度 } C(\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) = 6.45(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450}$$

$$\text{MDA 含量}(\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}) = \frac{C \times V_T \times V_F}{W \times V_S}$$

1.3 渗透调节物质的测定 脯氨酸含量采用酸性茚三酮比色法^[21]测定。静置稳定分层后 ,以甲苯为比色空白 ,比色测定波长为 520 nm ,以标准脯氨酸的测定结果为依据绘制标准曲线。可溶性蛋白含量参考考马斯亮蓝法^[21]测定 ,在 595 nm 波长下测定其吸光度。可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[21]测定。以去离子水代替可溶性糖提取液作为比色空白设置 ,在 630 nm 波长下测其吸光度。

$$\text{脯氨酸含量}(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}) = \frac{C \times V_T}{W \times V_S}$$

$$\text{可溶性蛋白含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}) = \frac{C \times V_T}{W \times V_S \times 1000}$$

$$\text{可溶性糖(\%)} = \frac{C \times V_T}{W \times V_S \times 10^6} \times 100$$

1.4 数据处理 均采用 SAS 8.0 软件的 ANOVA(方差分析) 过程进行各个处理间差异显著性分析 ,分析中的多重比较分析方法采用 DUNCAN 法。

2 结果与分析

2.1 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗质膜透性的影响 海水培养形成了一定程度的盐胁迫环境 ,对宝岛蕉幼苗叶片以及根系的质膜产生了显著损伤。图 1 表明 6 d 后高浓度(20%) 处理 ,宝岛蕉幼苗叶片的质膜透性显著高于对照和其他处理 ,说明长时间以及高浓度(20%) 海水会对宝岛蕉幼苗叶片膜结构产生显著损伤。如图 1 所示 ,在整个试验周期中 ,各处理宝岛蕉幼苗质膜透性与对照的相对值均未超过 50% ,表明试验中各处理并未对叶片质膜造成永久损伤。宝岛蕉幼苗根系处于直接接触海水的环境中 ,宝岛蕉幼苗质膜透性随处理浓度的增加显著升高。12 d 时 ,10% 和 20% 处理根系相对电导率超过 50% ,表明宝岛蕉幼苗根系已受到不可逆转的伤害。试验结果表明 ,较低浓度时 ,宝岛蕉幼苗根系并未发生不可逆转的损伤 ,说明幼苗质膜没有受到严重的损伤 ,宝岛蕉幼苗根系在整个试验周期中以及高浓度(20%) 海水环境中 ,损伤显著加重。

表 1 海口市白沙门海水基本性质

Tab. 1 Basic properties of seawater in Haikou Baishamen

检测项目	单位	检测结果
Parameters under test	Units	Results
酸碱度(pH)	—	7.17
钠(Na)	g · L ⁻¹	8.59
氯离子(Cl ⁻)	g · L ⁻¹	15.50
钾(K)	m g · L ⁻¹	425.10
镁(Mg)	m g · L ⁻¹	1 130.40
钙(Ca)	m g · L ⁻¹	337.60

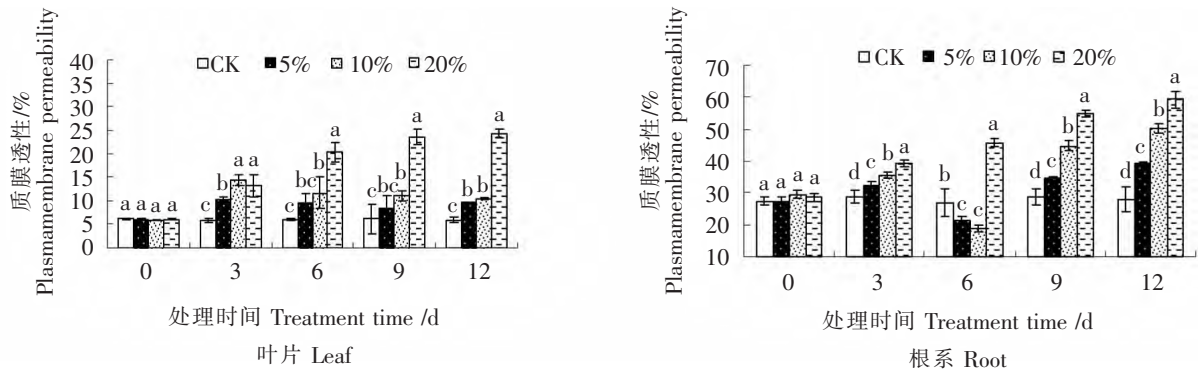


图1 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗质膜透性的影响
不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著,短横线表示标准误差线

Fig.1 Effects of different concentrations of seawater on plasma membrane permeability of Baodao banana seedlings
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. Bar indicates standard error

2.2 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗 MDA 含量的影响 如图 2 所示 20% 浓度的海水处理宝岛蕉幼苗叶片 MDA 含量在整个试验周期中除 12 d 外,均始终显著高于对照,表明 20% 浓度使宝岛蕉幼苗叶片膜脂过氧化程度严重,不利于维持正常宝岛蕉幼苗叶片膜结构。10% 处理浓度下宝岛蕉幼苗叶片 MDA 含量比对照降低了 19.85%;20% 处理浓度宝岛蕉叶片 MDA 含量比对照升高了 6.83%;12 d 时 5% 处理浓度下的宝岛蕉幼苗叶片 MDA 含量比对照降低了 63.67% 5% 浓度处理 MDA 含量在 12 d 时最低,说明此浓度对宝岛蕉叶片的膜结构损伤较小。20% 处理浓度宝岛蕉幼苗根系 MDA 含量在各测定时间分别比对照显著升高 110.12% 87.18% 267.57% 和 103.61%;12 d 时 5% 处理浓度下宝岛蕉幼苗根系 MDA 含量比对照升高了 57.83%;10% 处理浓度下宝岛蕉幼苗根系 MDA 含量比对照降低了 54.38%;20% 处理浓度下宝岛蕉幼苗根系 MDA 含量比对照升高了 103.61%。表明在试验处理过程中,随海水胁迫程度增加宝岛蕉幼苗根系膜脂过氧化程度与叶片有相似趋势,均在高浓度(20%)时表现出膜脂过氧化程度显著加重。低浓度(5%)海水处理可在一定程度上促进宝岛蕉幼苗叶片以及根系的膜质自身调节机制的运行。

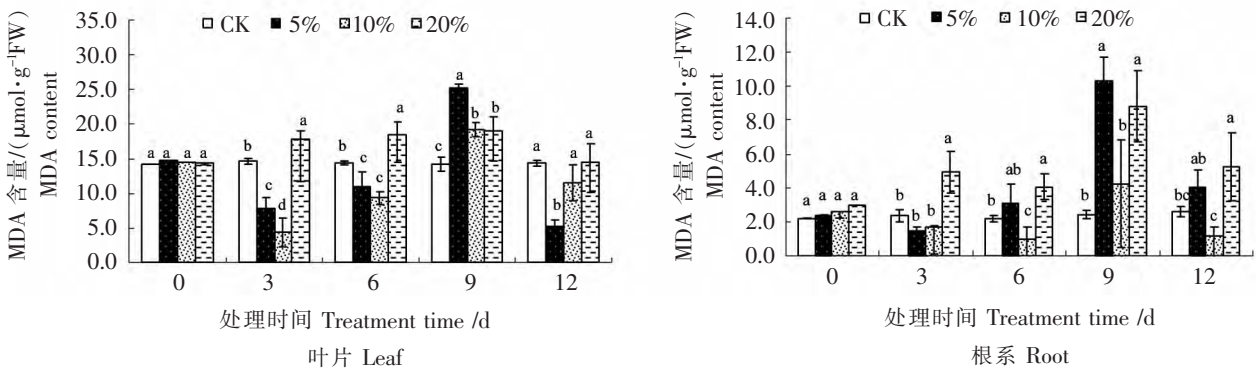


图2 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗 MDA 含量的影响
不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著,短横线表示标准误差线

Fig.2 Effects of different concentrations of seawater on MDA content of Baodao banana seedlings
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. Bar indicates standard error

2.3 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗脯氨酸含量的影响 从图 3 可以看出,10% 和 20% 海水浓度处理宝岛蕉幼苗叶片脯氨酸含量显著高于对照,且上升幅度与海水浓度成正比,试验结果表明宝岛蕉幼苗叶片在海水环境下可通过自身渗透物质的调节机制适应一定浓度海水环境。宝岛蕉幼苗根系脯氨酸在 20% 浓度的处理中,在各个测定时间段幼苗根系脯氨酸含量均显著高于对照。5% 和 10% 的浓度处理在 9 d 和 12 d 时差异不显著。实验结果表明,在较长时间的胁迫时间中,5% 和 10% 浓度的海水对宝岛蕉根系的影响程度相似。3 d 时 5% 以及 10% 处理浓度使宝岛蕉幼苗根系脯氨酸含量比对照降低,5% 处理浓度下降不显

著, 10% 处理浓度比对照显著下降 62.24%, 说明 5% 和 10% 处理浓度短时间处理未对根系造成显著的胁迫。处理 12 d 时 5% 浓度处理其叶片脯氨酸含量比对照显著升高 5.46%, 变化不显著; 10% 和 20% 浓度处理其脯氨酸含量分别比对照显著升高 44.38% 和 86.75%。根系处理 12 d 时 5% 和 10% 浓度处理其根系脯氨酸含量分别比对照升高 16.82% 和 8.04%, 变化不显著; 20% 浓度处理其脯氨酸含量比对照显著增加 53.98%。试验结果表明, 随着处理时间的延长, 20% 浓度海水的处理对宝岛蕉幼苗根系的影响较叶片显著。

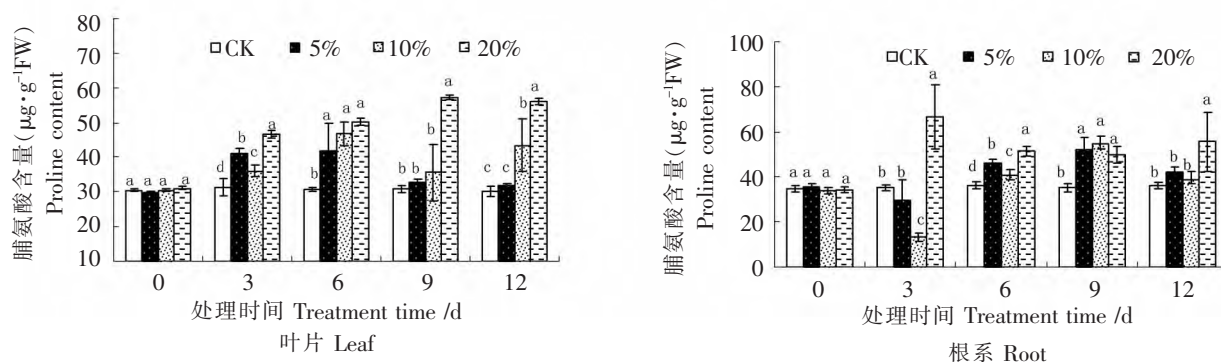


图 3 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗脯氨酸含量的影响

不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著, 短横线表示标准误差线

Fig.3 Effect of different concentrations of seawater on proline content of Baodao banana seedlings

Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. Bar indicates standard error

2.4 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗可溶性蛋白含量的影响 图 4 显示, 宝岛蕉幼苗的叶片经过各浓度海水处理后, 可溶性蛋白含量随着处理时间的增加变化不显著, 但均显著高于对照且与处理浓度的变化成正比; 12 d 时 5% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性蛋白含量比对照升高了 16.30%; 10% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性蛋白含量比对照升高了 33.43%; 20% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性蛋白含量比对照升高了 51.99%, 表明随着处理浓度的升高, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性蛋白含量显著升高; 5% 和 10% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性蛋白含量随处理时间的增加而增加, 且显著高于对照, 说明 5% 和 10% 处理未抑制宝岛蕉幼苗叶片新蛋白质的合成过程; 20% 处理 12 d 时宝岛蕉幼苗叶片可溶性蛋白含量比处理 9 d 显著降低 12%, 说明在高浓度 (20%) 海水处理下, 宝岛蕉幼苗叶片中的新蛋白质的合成过程受到抑制。宝岛蕉幼苗根系 5% 和 10% 处理浓度随着处理时间的增加显著高于对照, 且随着浓度的升高, 显著性增强; 12 d 时 5% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗可溶性蛋白含量比对照升高了 21.65%; 10% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗可溶性蛋白含量比对照升高了 31.28%; 20% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗可溶性蛋白含量比对照升高了 4.27%; 20% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗可溶性蛋白含量在 9 d 和 12 d 时与对照差异不显著, 分别比 10% 浓度处理显著下降 8.38% 和 20.58%, 表明宝岛蕉幼苗根系在高浓度处理下蛋白质合成机制受到了破坏。由此可以看出, 叶片和根系的可溶性蛋白含量变化趋势一致, 且根系受到破坏的程度更为严重。

2.5 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗可溶性糖含量的影响 如图 5 所示, 5% 处理宝岛蕉幼苗叶片可溶性糖含量变化不显著, 表明此浓度对宝岛蕉幼苗叶片的胁迫程度较小。3 d 时 10% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性糖含量比对照显著升高 2 倍, 表明此浓度短时间处理宝岛蕉幼苗叶片的渗透调节作用明显; 12 d 时 5% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性糖含量比对照升高 1.91%; 10% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性糖含量比对照升高了 4.49%; 20% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗叶片可溶性糖含量比对照升高了 15.23%。结果表明, 各处理宝岛蕉幼苗叶片均随着浓度的增加而显著高于对照。宝岛蕉幼苗根系可溶性糖含量随海水处理浓度的升高显著高于对照, 3 d 时, 10% 和 20% 处理浓度下, 宝岛蕉幼苗根系可溶性糖含量升高更为显著; 图 2~5 的结果表明, 20% 处理浓度下, 12 d 时 5% 可溶性糖含量比对照升高了 22.33%; 10% 可溶性糖含量比对照升高了 33.56%; 20% 可溶性糖含量比对照升高了 51.08%, 宝岛蕉

幼苗根系可溶性糖含量比对照增加显著高于叶片,同样在 3 d 时增加显著,宝岛蕉幼苗根系和叶片分别为对照的 130.30% 和 50%。试验数据表明,相同浓度和时间海水处理对宝岛蕉幼苗根系的影响比叶片的更显著。

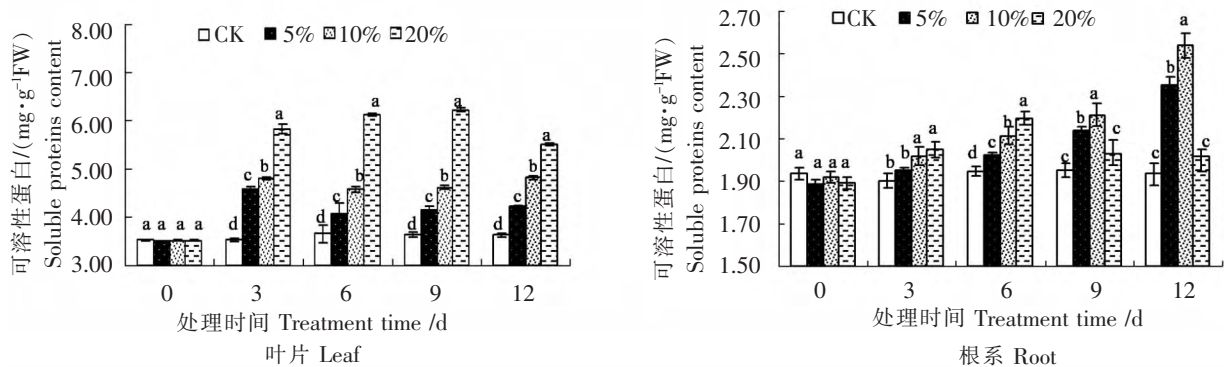


图 4 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗可溶性蛋白含量的影响

不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著,短横线表示标准误差线

Fig.4 Effects of different concentrations of seawater on soluble proteins content of Baodao banana seedlings
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. Bar indicates standard error

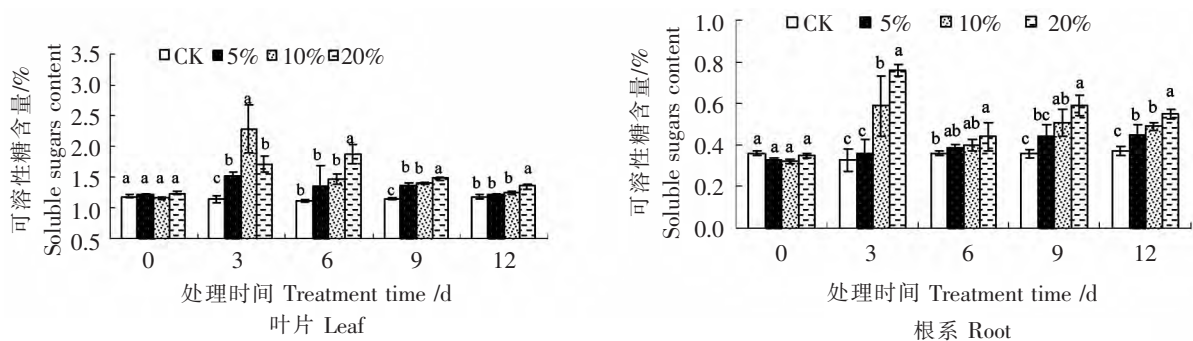


图 5 不同浓度海水处理对宝岛蕉幼苗可溶性糖含量的影响

不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著,短横线表示标准误差线

Fig.5 Effects of different concentrations of seawater on soluble sugars content of Baodao banana seedlings
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level, Bar indicates standard error

3 讨论

用不同浓度的海水配合营养液培养宝岛蕉幼苗所出现的环境变化因素为海水环境,海水不同于单一盐胁迫,但海水中同样有大量的盐分存在。盐离子对于植物的生长生理机制的影响原理复杂,离子组成复杂、植物的生长、生理过程时刻在变化,处于动态的过程,因此,结果差异性较大^[22]。海水作为一种复盐体系,含有丰富的离子、微量元素及有机物质^[11]。

生物膜生理功能的破坏是盐分伤害植株的直接体现和主要途径^[29]。质膜受到破坏的表现 MDA 含量增加以及电导率的增大^[30-32]。试验结果表明,电导率值可直观地反映或 MDA 含量变化,相结合综合研究质膜在逆境下的损伤情况。细胞膜受到损伤后会进一步导致细胞内的物质组成失衡,使其受到其他次生伤害^[33]。本研究中海水的盐浓度达到较高水平时,出现了盐胁迫环境。在此盐胁迫逆境下,宝岛蕉叶片和根系的 MDA、质膜透性显著升高,电导率增大,未出现不可逆转的质膜伤害。在本试验中,宝岛蕉幼苗叶片及根系电导率均随海水处理浓度的增大而升高,同时,宝岛蕉幼苗叶片及根系 MDA 含量较高时,叶片及根系的电导率值也相应较大。试验结果进一步表明了质膜伤害在一定程度上成为了其他次生伤害现象的产生原因,同时表明了当海水的处理浓度过高时会出现盐胁迫现象。相关研究结果表明,低温胁迫下,外源 Ca^{2+} 可以减少低温柑橘愈伤组织膜伤害率^[34],本试验中,由于海水含有大量的 Ca^{2+} ,海水

处理因素作为外源钙成分对宝岛蕉幼苗产生缓解盐胁迫的作用,因此,可在一定程度上缓解其他盐离子对宝岛蕉幼苗造成的盐胁迫。同时,因海水处理形成的高盐分环境,在一定程度上对宝岛蕉幼苗构成了盐分胁迫。盐胁迫逆境下,宝岛蕉幼苗叶片和根系的 MDA 含量显著升高、电导率显著增大,质膜透性显著增加,宝岛蕉幼苗叶片质膜未出现不可逆转的质膜伤害,但幼苗根系质膜在 20% 的高浓度处理中出现了不可逆损伤。

渗透调节物质的积累是植物在受到环境胁迫时很普遍的一种代谢适应现象^[23]。脯氨酸在渗透调节机制中的作用在于其作为一种渗透剂,作用于细胞内部提高细胞内渗透势进而保护细胞蛋白质结构以及防止酶失活,此外,脯氨酸可以为植物在去除盐胁迫恢复正常过程中提供养分、动力以及反映条件^[24]。本试验中,海水浓度的升高促进了脯氨酸的积累,当脯氨酸出现含量增加的情况时,在一定程度上缓解了海水浓度升高对宝岛蕉幼苗产生的盐胁迫损伤,说明脯氨酸作为渗透调节物质,通过其含量的增加可以缓解和恢复盐胁迫对植物的损伤。许多研究结果表明,盐胁迫下植物体内可溶性糖是重要的渗透调节物质^[25]。在本研究中,可溶性糖含量随着处理浓度的增加而显著升高,有效缓解了盐胁迫的伤害,更直观准确地表明了可溶性糖在海水处理浓度选择中具有的重要参考作用。植物在盐胁迫环境下通过增加细胞内的水分来维持高浓度的可溶性蛋白质,以维持渗透平衡,缓解伤害^[26]。本研究涉及到的渗透调节物质有:脯氨酸、可溶性糖以及可溶性蛋白。结果表明,宝岛蕉幼苗叶片及根系的脯氨酸含量随着海水浓度的增大而显著升高,且处理时间越长,升高幅度越显著。在高盐浓度下,脯氨酸的积累过程依赖于鸟氨酸的充分表达^[27]。脯氨酸含量的变化,可从渗透调节的生理显现来评价耐盐性和抗性^[28]。在本试验过程中,宝岛蕉幼苗叶片及根系脯氨酸、可溶性糖以及可溶性蛋白含量显著升高,这与之前众多盐胁迫研究中的现象一致,表明海水浓度控制的重要性以及过高的海水浓度造成的相似的盐胁迫效果,这些渗透调节物质在本试验中起到了有效缓解海水对宝岛蕉幼苗叶片及根系造成的胁迫损伤,提高了宝岛蕉在海水环境中的适应能力。

参考文献:

- [1] 刘伟鑫, 张建平, 金志强, 等. 不同温度处理对宝岛蕉果皮色泽的影响[J]. 热带作物学报, 2014, 35(3): 471–475.
- [2] 王金环, 韩立民. 海水灌溉农业的内涵、特征及发展对策建议[J]. 浙江海洋学院学报(人文科学版), 2013(04): 6–10.
- [3] 徐加涛, 张雷, 史玉文, 等. 海水胁迫对青葙种子发芽的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(30): 18488–18489, 18500.
- [4] 杨小锋, 李劲松, 杨沐, 等. 生菜海水灌溉适宜浓度的筛选[J]. 北方园艺, 2011(18): 1–5.
- [5] 张伟. 咸水灌溉浅谈[J]. 水利天地, 2011, 12: 43–44.
- [6] 张伟. 咸水灌溉研究进展[J]. 山西水利科技, 2012(1): 12–13, 39.
- [7] 杨洁. 宁夏日光温室番茄、西瓜微咸水净化灌溉模式试验研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.
- [8] 吴纪中, 刘妍妍, 王冲, 等. 人工海水胁迫下小麦种质资源的耐盐性筛选与鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(5): 948–953.
- [9] 寇伟锋, 刘兆普, 郑宏伟. 海水胁迫对向日葵苗期生长及矿质营养吸收特性的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(5): 521–525.
- [10] 关洪斌, 于卫霞, 田明忠, 等. 海水胁迫下水杨酸对绿豆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 1748–1749.
- [11] 秦呈迎, 程文静, 唐龙祥. 海水灌溉对椰子幼苗叶片若干生理特性的影响[J]. 热带农业科学, 2012, 32(03): 6–10.
- [12] Santa-Cruz A, Acostam, Rusa, et al. Short-term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species[J]. Plant Physiol Biochem, 1999, 37(1): 65–71.
- [13] 王茂文, 洪立洲, 刘冲, 等. 海水灌溉下北美海蓬子盐肥耦合效应的研究[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(01): 80–84.
- [14] 白洋. 海冰水灌溉对土壤水盐特性及棉花产量品质的影响[D]. 北京: 首都师范大学, 2011.
- [15] 张国霞, 胡玉娇, 华珞, 等. 海冰水灌溉对盐碱地棉花产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(05): 25–30.
- [16] 刘洋. 不同甜菜品种对盐碱胁迫的生理生化响应[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [17] 汪月霞, 孙国荣, 王建波, 等. NaCl 胁迫下星星草幼苗 MDA 含量与膜透性及叶绿素荧光参数之间的关系[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 122–129.
- [18] 孙伟泽. 不同浓度盐胁迫下苜蓿丙二醛含量变化[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 1905–1906.
- [19] 张春平. 不同外源物质提高盐胁迫下黄连种子及幼苗抗逆性机理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.

- [20] 张建新. 不同浓度园试营养液配方对生菜生长的影响[J]. 安徽农业科学 2005 33(12): 2302–2303 2317.
- [21] Cramer G R, Abdel B R, Seemann J R. Salinity calcium interactions on root growth and osmotic adjustment of two corn cultivars differing in salt tolerance[J]. Journal of Plant Nutrition, 1990, 13: 1453–1462.
- [22] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [23] 张蜜. 脯氨酸代谢在甘菊和切花菊抵御非生物胁迫中的作用机制[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [24] 赵旭, 杨振华, 赵静, 等. NaCl 胁迫对罂粟幼苗生长及生理特性的影响[J]. 安徽农业科学 2015 43(1): 3–6.
- [25] 孙锦. 菠菜对海水胁迫响应的生理机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [26] 段才绪. 射干幼苗对眼见胁迫的响应机制以及外源物质硝普钠(SNP)、亚精胺(Spd)对其伤害缓解作用的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [27] 赵福庚, 刘友良. 盐胁迫激活大麦幼苗脯氨酸合成的鸟氨酸途径[J]. 植物生理学报 2001 43(1): 36–40.
- [28] 马秀芳, 沈秀英. 不同耐旱性玉米品种对干旱的生理生化反应[J]. 沈阳农业大学学报 2002 33(3): 167–170.
- [29] Levitt J. Responses of Plants to Environmental Stresses[M]. New York: Academic Press, 1980.
- [30] Sudhakar C, Lakshmi A, Giridarakumar S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus Alba* L.) under NaCl salinity[J]. Plant Science, 2001, 161: 613–619.
- [31] Meloni D A, Oliva M A, Martinez C A, et al. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49: 69–76.
- [32] 郭彦, 张文会, 魏秀俭, 等. 6-BA 对盐胁迫下大豆幼苗生理指标的影响[J]. 作物杂志 2006(1): 14–15.
- [33] 黄鹤丽, 林电, 章金强, 等. 水分胁迫对巴西香蕉幼苗水分状况、质膜透性和根系活力的影响[J]. 基因组学与应用生物学 2009 28(4): 740–744.
- [34] 李新国, 张建霞, 孙中海. Ca^{2+} 信号系统对低温下柑橘膜质过氧化和抗氧化酶的影响[J]. 广西植物 2007 27(4): 643–648.

Effects of Different Concentrations of Seawater on Plasma Membrane and Osmolytes of Baodao Banana Seedlings

LEI Yue¹, ZENG Liping¹, ZHOU Shuangyun², ZHANG Dan¹, WANG Wenchang¹, LI Xinguo¹

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Protection and Developmental Utilization of Tropical Crop Germplasm Resources/ College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 2. Horticultural Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China)

Abstract: Seedlings of Baodao banana (*Musa acuminata* L. AAA cavendish. cv. ‘Formosana’) were treated with different concentrations of seawater at different time to study the response of their plasma membrane and osmolytes to the seawater. After treated with different concentrations of seawater, Baodao banana seedlings were higher in content of proline, soluble sugar, soluble protein and MDA and higher in plasma membrane permeability under the 5% seawater treatment but significantly higher under the 10% and 20% seawater treatment than the control. At day 12 after treatment the proline content was not significantly increased under 5% seawater stress, but the 20% seawater treatment inhibited root protein synthesis due to high seawater concentration. At day 3, the leaves and roots of the seedlings under 10% seawater treatment showed significantly higher soluble sugar content (130% and 50% higher) than those of the control, respectively. The 20% seawater treatment caused significant damage to the plasma membrane of leaf and root, and the leaf membrane damage was reversible but root damage was irreversible. Therefore, seawater had significantly higher effect on the roots than the leaves. Low concentration (5%) of seawater can improve the salt tolerance of the Baodao banana seedlings to some extents, whereas high concentration (10% and 20%) of seawater caused salt damage to the Baodao banana seedlings. The results showed that Baodao banana can adapt to a given concentration of seawater environment by their osmotic adjustment mechanism.

Keywords: Baodao banana; seawater; plasma membrane; osmolyte.