

文章编号: 1674 - 7054(2012)02 - 0166 - 08

不同浓度的 NaCl 处理对海马齿叶片中 Na⁺ 和 K⁺ 含量的影响

韩冰^{1,2}, 庞永奇², 常丽丽², 王东阳^{1,2}, 王旭初²

(1. 海南大学 农学院 海南 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院 热带生物技术研究所在 海南 海口 571101)

摘 要: 为了解 Na⁺ 在植物盐境生长时发挥的作用, 笔者采用不同浓度的 NaCl (0, 300, 600, 900 mmol · L⁻¹) 处理, 研究盐生草本植物海马齿 (*Sesuvium portulacastrum*) 叶片中 Na⁺ 和 K⁺ 的变化规律。结果表明, 300 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 处理条件下海马齿的生物量显著增加; 原子吸收光谱与 X-Ray - 能谱 - 扫描电镜分析结果显示, 海马齿的叶片中积累了大量的 Na⁺, 且随着 NaCl 浓度的增加, Na⁺ 含量呈显著增加而 K⁺ 含量降低。这表明 Na⁺ 作为海马齿的营养元素在一定浓度范围内可以促进植株生长, 但其浓度过高时则影响钾离子的吸收产生毒害作用。

关键词: 盐生植物; 海马齿; 钠离子 (Na⁺); 钾离子 (K⁺); 盐胁迫

中图分类号: Q 945.78

文献标志码: A

土壤盐渍化是影响农作物产量的非生物胁迫因素之一, 正逐渐成为全球性的问题。植物细胞中过高的盐离子浓度会使得植物产生渗透胁迫、离子失衡和营养缺乏^[1-6]等问题。根据植物对盐胁迫的适应能力大小, 通常将植物划分为盐生植物 (Halophytes) 和甜土植物 (Glycophytes)^[7]。研究^[2-3, 5]表明, 甜土植物中的许多盐耐基因可能是从盐生植物中演变过来的, 因为它们具有相似的耐盐机理和调控途径。与甜土植物不同的是有些盐生植物可以在嫩叶中积累较高浓度的钠离子 (Na⁺), 且不会死亡^[3]。事实上, 盐生植物比甜土植物可以更有效地调节 Na⁺ 转运, 甚至有一些盐生植物会出现 Na⁺ 促进其生长的现象, 并在适宜盐浓度下表现出最佳生长状态^[3, 8-9]。一般来说, 钠离子吸收过量的话, 会抑制植物对其他营养元素的吸收。比如, Na⁺ 过多的情况下会造成 K⁺ 和 Ca²⁺ 的缺失^[10-11]。这是由于 Na⁺ 离子的半径及水合半径大小与 K⁺ 相似, 故 Na⁺ 对 K⁺ 的吸收呈明显的竞争性抑制作用^[12-13]。而植物中约有 50 多种酶需要 K⁺ 激活, Na⁺ 与 K⁺ 竞争这些酶的结合位点, 从而造成这些酶无法行使功能^[14]。

海马齿, 又名滨水菜、蜆螯菜或猪母菜, 属双子叶植物纲, 石竹亚纲, 番杏科海马齿属, 是一种生长在 海边沙地或河流入海口两岸滩涂地带的喜沙多年生盐生植物^[15-18]。海马齿属有 12 个种, 但在中国仅有 1 个种, 即 *Sesuvium portulacastrum*。海马齿多生长于福建、广东、海南、台湾中南部及澎湖列岛海岸, 特别是在海南岛沿海地域, 它起着固定沙丘、稳定盐渍土、淡化海水等作用, 同时是 1 种药用和观赏植物, 也是干旱和半干旱地区栽培植物^[19-23], 另外, 海马齿还是红树林的伴生植物, 是红树林湿地生态体系的一部分^[15, 17]。在多种逆境胁迫下, 海马齿仍具有很强的生存能力, 表现出耐淹、耐旱、耐盐碱、耐强光且抗重金属污染的自然特性^[17, 24]。该植物可以在其细胞和组织中积累高浓度的盐分, 并通过叶片的肉质化来抵抗盐毒害; 海马齿与甜土植物最大的不同之处是, 在适当的盐浓度环境下反而可以达到最佳生长状态^[18, 23]。有研究指出, 海马齿在高盐浓度下生长受到的影响主要是由于 Ca²⁺ 和 K⁺ 等一些离子的吸收受到抑制, 进

收稿日期: 2012 - 01 - 06

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费 (ITBBZX101)

作者简介: 韩冰 (1988 -), 女, 山西大同人, 海南大学农学院 2009 级硕士研究生。

通信作者: 王旭初 (1977 -), 男, 土家族, 湖南永顺人, 中国热带农业科学院热带生物技术研究所在 海南 海口 571101, 博士。E-mail: xchwanghainan@163.com

而使 Na⁺ 和 Cl⁻ 产生积累作用; 此外, Na⁺ 在地上部分的过量积累而影响了 N 元素的吸收也可能是一个重要的原因^[25-26]。从上述文献可见, 海马齿体内可能存在应对钠离子胁迫的特殊机制, 为此, 笔者利用原子吸收光谱技术和 X-Ray 能谱联用元素半定量微区分析, 研究了不同浓度的 NaCl 处理下海马齿叶片中 Na⁺ 和 K⁺ 的积累变化, 旨在揭示海马齿的耐盐机制。

1 材料与方 法

1.1 材料的收集和处 理 海马齿采自海南省海口市白沙门附近。取生长环境、状态和生理年龄大小一致的海马齿枝条扦插繁殖。从母株剪取带有 1 个节点和 2 片对生叶的茎段, 长约 3 cm, 放入自来水中, 在自然条件下培育 30 d^[27]。之后, 每隔 1 周用 1/2 霍格兰德营养液(5 mmol · L⁻¹ Ca(NO₃)₂, 5 mmol · L⁻¹ KNO₃, 1 mmol · L⁻¹ K₂H₂PO₄, 1 mmol · L⁻¹ MgSO₄, 50 μmol · L⁻¹ FeSO₄, 50 μmol · L⁻¹ EDTA · Na₂, 0.6 μmol · L⁻¹ CuSO₄, 18 μmol · L⁻¹ MnCl₂, 1.6 μmol · L⁻¹ ZnSO₄, 92 μmol · L⁻¹ H₃BO₃, 0.7 μmol · L⁻¹ (NH₄)₆Mo₇O₂₄)^[28] 浇灌材料。在昼夜温度为 28 °C/25 °C 和相对湿度为(70 ± 10) % 的恒温室中培养 40 d, 光源为自然光。之后, 用含有 0, 300, 600, 900 mmol · L⁻¹ NaCl 的霍格兰德营养液, 每 5 d 浇灌 1 次, 处理 15 d。

1.2 测定植株的鲜、干质量和总含水量 收集盐处理后的植株并立即采样测量整株的鲜质量(FW), 然后将材料放入烘箱中, 60 °C 干燥 72 h, 测定其干质量(DW)。总含水量(TWC) 计算公式:

$$TWC = (FW - DW) / FW \times 100\%。$$

1.3 Na⁺ 和 K⁺ 含量的测定 测定方法参照文献[29]: 采集经过不同浓度 NaCl 处理的海马齿叶片, 并立即对其进行蒸馏水洗涤, 洗后置于烘箱中, 72 °C 干燥 72 h 以上至恒重, 用研钵研磨成粉末备用。称 300 mg 粉末放置于预先用双蒸水洗净的坩埚中, 置于高温电炉上, 500 °C 灰化 24 h, 80 °C 保温 1 h。溶解至 10 mL 500 mmol · L⁻¹ 的 HNO₃ 中, 用双蒸水定容至 100 mL。过滤, 取滤液用原子吸收光度计测定 Na⁺ 和 K⁺ 的含量。

1.4 X-Ray-能谱-扫描电镜联用元素微区分析 测定方法参照文献[30]: 取经过不同浓度 NaCl 处理的海马齿第 3 节(从顶部开始计算) 的完好叶片, 用双面刀片将叶片切割成大约 0.5 cm 长的小块, 迅速放入液氮中速冻, 然后于 -80 °C 真空冷冻干燥。切面镀碳之后, 在连接有能谱发射器(EDX-9100, Hitachi, Japan) 的日立扫描电子显微镜(JSM-6300 scanning electron microscope, Hitachi, Japan) 下, 进行元素 X-Ray 微区分析。每处理样品至少进行 3 个重复。归一化处理。计算机在自动扣除背景值后, 根据区域分析图谱中 Na 和 K 元素的峰值, 并通过面积积分法计算原子相对含量百分数。

2 结果与分析

2.1 海马齿在一定浓度的 NaCl 处理下表现出最佳生长状况 实验结果(见图 1) 显示, 300 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 处理条件下, 海马齿植株呈现出良好的生长状况, 叶片油绿色, 有光泽, 节间长, 生长迅速, 且叶片肉质化程度增加、多汁, 直观表现为叶片宽度和厚度增加; 600 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 处理条件下, 海马齿植株节间虽然有一定程度的增长, 且节数变少, 但与 300 mmol · L⁻¹ 处理的相比, 叶片变窄, 光泽变弱, 泛黄色, 生长受到一定抑制; 高浓度的 NaCl(900 mmol · L⁻¹) 处理条件下,



图 1 不同浓度的 NaCl 处理下海马齿生长状况

植株节间明显增长, 叶片伸长且变薄, 失去光泽, 卷皱程度加大, 有萎缩现象, 呈黄绿色, 生长明显受到抑制。从该结果可见, 盐生植物海马齿在适当的盐浓度下表现出良好生长的趋势, 茎秆变粗, 叶片肉质化程度明显, 生长速度加快, 这说明它的生长需要一定的盐分来促进。这与一些真盐生植物需要一定的盐浓度来促进其生长发育的研究结果相一致^[3, 5, 8]。

2.2 不同盐浓度处理下海马齿的增长模式变化 不同盐浓度条件下处理 15 d 的海马齿植株的鲜质量、

干质量及含水量显示(见图2),CK组海马齿植株的鲜质量为(0.878 ± 0.128) g · 株⁻¹,干质量为(0.121 ± 0.011) g · 株⁻¹。经 300 mmol · L⁻¹的 NaCl 处理后,海马齿植株生物量显著增加,其鲜质量为(1.281 ± 0.228) g · 株⁻¹,干质量为(0.141 ± 0.047) g · 株⁻¹。但在高盐浓度处理条件下,植株的鲜质量及干质量均小于 CK 组,如盐浓度上升至 900 mmol · L⁻¹时,其植株鲜质量只有 0.5 g · 株⁻¹,约为对照组(0.9 g · 株⁻¹)的 1/2。这表明植株的生长受到较强的抑制。

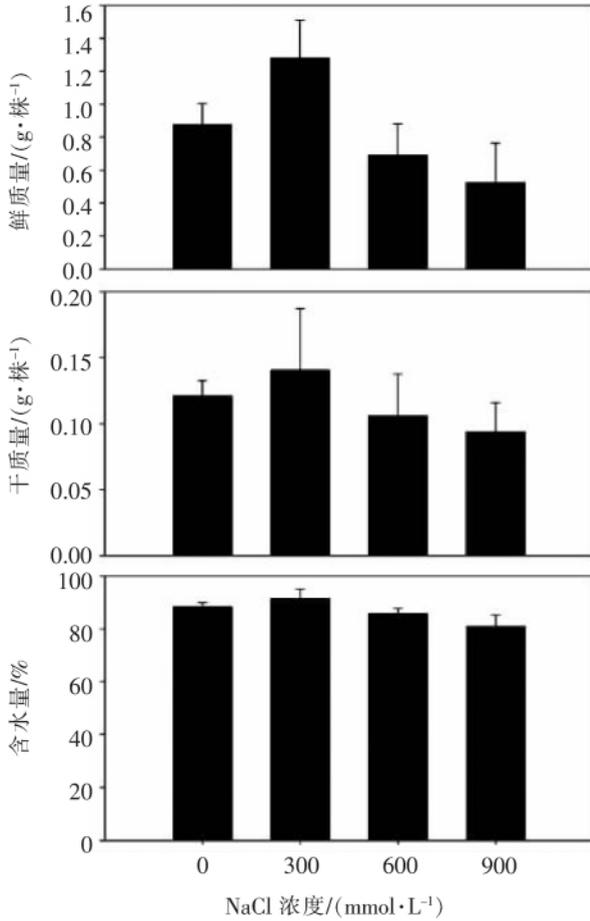


图2 不同浓度的 NaCl 处理下海马齿叶片的鲜、干质量和含水量

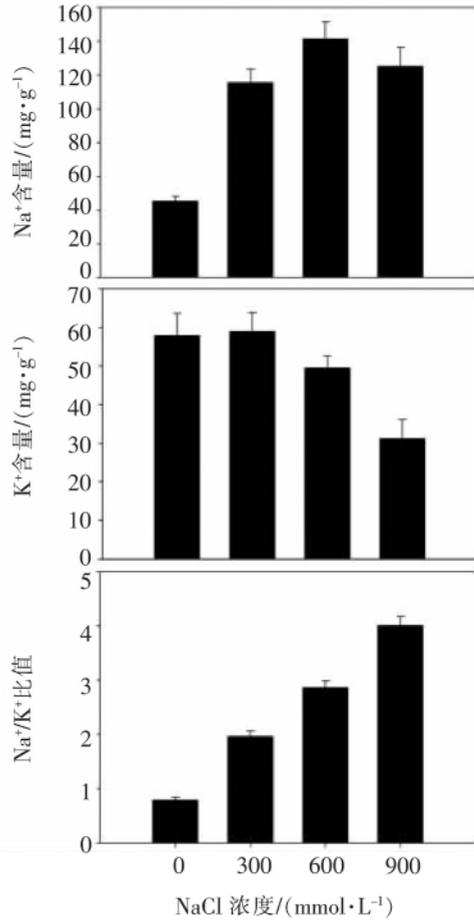


图3 不同浓度的 NaCl 处理下海马齿叶片(干质量)原子吸收光谱结果

图2还表明,300 mmol · L⁻¹的 NaCl 处理时植株的含水量最高,约 91%;继续提高盐浓度植株含水量则开始下降,当盐浓度达到 900 mmol · L⁻¹时,含水量降低至约 80%。这表明,适当浓度的盐可以促进海马齿含水量的增加。在 300 mmol · L⁻¹的 NaCl 处理下,海马齿的生物量也达到了一个最大值,但当 NaCl 浓度为 600 mmol · L⁻¹时,各个值均比对照组低,且随盐浓度的上升呈进一步降低的趋势,这说明低盐浓度是海马齿的适宜生长条件。这个结果也表明,对于盐生植物海马齿来说,当 Na⁺没有超过植株本身的需求时,Na⁺也许可被植物作为一种营养元素,所以才出现了低盐浓度处理可促进其生长的现象。

2.3 海马齿叶片中可以积累大量 Na⁺ 图3显示,在不同盐浓度下处理 15 d 的海马齿,其叶片中积累的钠离子含量均高于钾离子的含量。未经处理的海马齿叶片(干质量)钠离子的含量为(45.33 ± 2.85) mg · g⁻¹,经盐处理的海马齿叶片(干质量)钠离子含量随盐浓度的增大呈上升趋势,在 300 mmol · L⁻¹的 NaCl 处理时,叶片(干质量)中钠离子的含量为(115.45 ± 7.88) mg · g⁻¹,600 mmol · L⁻¹的 NaCl 处理时,叶片(干质量)中钠离子的含量为(141.38 ± 9.88) mg · g⁻¹,分别比对照提高了近 2.5 和 3.1 倍,约占干质量的 11% 和 14%。

耐盐甜土植物大麦(barley)的茎部,经过盐处理后,叶片(干质量)中钠离子含量为 10 mg · g⁻¹[41],真盐生的碱蓬在相似盐处理下,叶片(干质量)的钠离子含量低于 70 mg · g⁻¹[5]。而本研究中海马齿叶片

(干质量) 中钠离子含量高达 $140 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 这表明海马齿作为一种真盐生植物, 可以在叶片中积累大量的钠离子。

2.4 海马齿叶片中 Na⁺ 和 K⁺ 积累的变化规律和比例变化规律

2.4.1 原子吸收光谱测定海马齿叶片中 Na⁺ 和 K⁺ 含量 由图 3 可见, 经 NaCl 处理的海马齿叶片积累的 Na⁺ 含量呈线性上升, 即使在 $900 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理时 Na⁺ 含量有所下降, 但仍高达 $(125.11 \pm 11.21) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。K⁺ 含量趋势正好与 Na⁺ 含量相反, 对照组的 K⁺ 含量为 $(57.78 \pm 5.87) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 在 $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理中呈一定程度的上升, 为 $(58.98 \pm 4.87) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 达到最大值, 但随着盐浓度的增加, K⁺ 含量呈直线下降, $900 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理的 K⁺ 含量达到最小值, 仅为 $(31.21 \pm 4.87) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 比对照组降低了近 2 倍。图 3 还表明, NaCl 处理条件下, 海马齿叶片中的 Na⁺ 含量高于 K⁺ 含量, 且 Na⁺/K⁺ 比值大于 1, 该比值随 NaCl 浓度的增加呈线性上升。

2.4.2 能谱测定海马齿叶片中 Na⁺ 和 K⁺ 含量 将能谱测定的图像经归一化处理, 以每种元素占有所有检测到的元素的质量分数形式给出结果(见图 4)。结果显示, 不同浓度的 NaCl 处理条件下, 海马齿叶片中 Na⁺ 的质量分数均比未处理的样品高。对照样品中 Na⁺ 的质量分数为 $(4.87 \pm 0.76) \%$ 。在 $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理下, Na⁺ 的质量分数上升为 $(20.89 \pm 2.22) \%$, 为对照样品的 4.3 倍。在 $600 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理下, Na⁺ 的质量分数更达到了 $(22.52 \pm 3.02) \%$, 为对照组的 4.6 倍。即使在极端盐渍生境 $900 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理下, Na⁺ 的质量分数仍为 $(14.42 \pm 2.32) \%$, 比对照提高了近 3 倍。

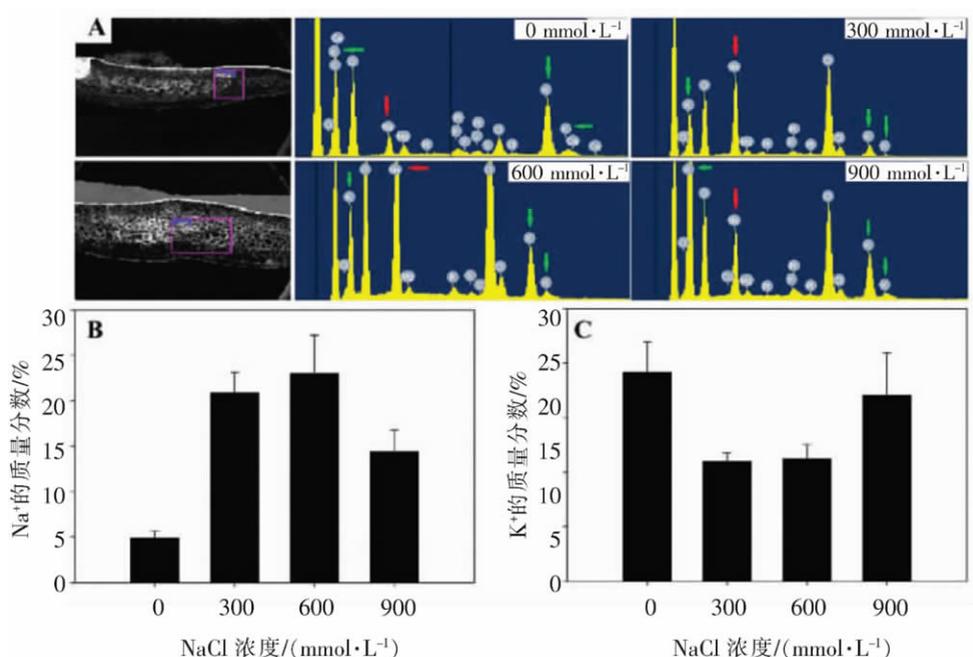


图 4 不同浓度 NaCl 处理下海马齿叶片能谱 - 扫描电镜联用元素微区分析结果

A: 扫描电镜谱图; B: Na⁺ 质量分数的变化; C: K⁺ 质量分数的变化

与原子吸收光谱法检测的结果相似, K⁺ 的含量变化与 Na⁺ 的含量相反, 均比未处理样品的质量分数低。对照样品的质量分数为 $(7.73 \pm 1.29) \%$, 而 $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理时, K⁺ 的质量分数为 $(4.38 \pm 0.32) \%$, $600 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理下, K⁺ 的质量分数为 $(4.48 \pm 0.53) \%$, 比对照样品分别降低了 43% 和 42%, 均有大幅下降。在高盐浓度 $900 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 处理下, K⁺ 的质量分数虽呈一定的上升状态, 为 $(6.82 \pm 1.54) \%$, 但仍小于对照样品。实验结果表明, 在盐处理条件下, 海马齿 Na⁺ 的吸收对 K⁺ 的吸收具有明显的竞争性抑制作用, 这与 Very 等人提出的结论是一致的^[12]。

3 讨 论

Na⁺ 是造成植物盐害及产生盐渍生境的主要离子, K⁺ 是植物生长发育所必需的大量元素和重要的

渗透调节的组分。Ramani 等人通过对海马齿和盐地紫苑这 2 种抗盐植物进行了研究,得出海马齿积累的 Na^+ 比 K^+ 多^[16]。在许多真盐生植物的研究结果中也指出,当受到盐处理时,植物的地上部分含有的 Na^+ 比 K^+ 要高很多^[5, 32, 42-44]。本研究通过原子吸收光谱法和 X-Ray - 能谱 - 扫描电镜连用元素微区分析技术,对盐处理下海马齿叶片中的 Na^+ 和 K^+ 含量积累变化以及比例变化规律进行了深入分析。

植物叶片中 Na^+ 的过量积累常会导致植物的叶尖和叶缘焦枯(叶灼伤),而且还会抑制植物对 Ca^{2+} 的吸收,造成植物缺 Ca^{2+} 现象,如新叶抽出困难,早衰,结实少或不结实^[31]。叶片肉质化程度增加是真盐生植物适应盐生环境的一个普遍形态特点。已有研究表明,随着盐浓度的提高或盐处理时间的延长可以增加盐生植物茎叶的肉质化程度^[32-36],从而增加细胞的渗透性,使得贮水组织和表皮细胞可通过吸水膨大来降低体内的盐浓度,为稀释有害离子和贮存水分提供更大的空间^[37-39]。海马齿作为真盐生植物,也具有通过增加叶片肉质化程度来积累盐分的这一特性。而高盐浓度往往会造成植物水分亏缺,使得植物体内分子结构受到破坏,造成植株生长滞缓,甚至死亡^[35, 40]。本实验结果表明,适当的盐浓度虽可以增加海马齿的生物量及其植株的含水量,但当盐浓度达到 $900 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,其生长会受到较强的抑制,这也与文献^[35, 40]一致。

目前,普遍的观点认为,植物抗盐的能力强弱与其自身 K^+ 的吸收和积累是息息相关的,因此, K^+ 被认为是细胞质中多种酶的重要催化剂^[45-46]。 K^+ 浓度的减少以及 Na^+/K^+ 比值随 K^+ 浓度的减少而增加的原因是胞内 Na^+ 毒性的强弱决定的^[45, 47],所以, K^+ 吸收和转运的能力高低取决于 Na^+ 毒性的强弱^[4, 38, 46]。由于高浓度的 Na^+ 可以直接与 K^+ 竞争许多酶的结合位点,从而导致一些酶的失活^[36, 45]。因此,维持低的胞内 Na^+/K^+ 比值可能是植物耐盐性的重要指标^[2, 48]。水稻盐耐受性的增加通常认为是其细胞的 Na^+/K^+ 比值偏低所致^[4]。甜土植物的 Na^+/K^+ 比值一般都较低,通常可低于 1.0^[7, 45],但也有报道称,大麦中的 Na^+/K^+ 比值低并不是其生长滞缓的原因^[50]。

许多盐生植物在适宜盐浓度下生长速度的加快取决于它的 Na^+/K^+ 比高于 1.0,且 Na^+/K^+ 比值随着盐浓度的增加而增加^[5, 51]。因此, Na^+/K^+ 比值或 Na^+/K^+ 比值被用来衡量一些盐生植物的盐耐受能力^[32, 43, 51]。也就是说,盐生植物的 Na^+/K^+ 比值较高,且随盐浓度的增加而升高,本实验的结果也证明了这一点。导致这一现象的原因主要有 2 个: 1) 高浓度的 Na^+ 会抑制 K^+ 的吸收; 2) 双子叶盐生植物主要以 Na^+ 作为渗透调节物质,以及液泡膜对 Na^+ 的选择性大于 K^+ ^[52]。

4 结 论

从不同浓度的 NaCl 处理下海马齿叶片中 Na^+ 和 K^+ 含量变化的研究结果得出以下结论: 1) 适宜的盐浓度可以促进海马齿的生长发育,使其生长速度加快,叶片肉质化程度增加,增加植株的生物量和含水量。 2) 从原子光度吸收法和能谱元素微区的分析可知, NaCl 处理后的海马齿叶片中 Na^+ 和 K^+ 含量均比对照的高。 Na^+ 的含量远远高于 K^+ ,说明海马齿叶片可以积累大量的 Na^+ ,这与叶片的肉质化程度有关。 Na^+ 和 K^+ 呈竞争性抑制, Na^+ 呈现上升趋势, K^+ 则是下降。可以推测,在盐生植物海马齿中,当盐浓度增加时,对植物生长的影响最先应该是 K^+ 等其他一些离子的吸收,其后才是 Na^+ 积累。 Messedi 等人已证实了这一点^[25]。 3) 从原子光度吸收法和能谱元素微区的分析,得到的 Na^+ 和 K^+ 含量和较高的 Na^+/K^+ 比值,与赵可夫^[51]提出的以下观点相吻合: 盐生植物中,适宜盐浓度下,植物生长速度的加快取决于它的 Na^+/K^+ 比值高于 1.0,且 Na^+/K^+ 比值随着盐浓度的增加而上升。这说明 Na^+/K^+ 同样是真盐生植物海马齿盐耐受能力的决定因素。

参考文献:

- [1] APSE M P, AHARON G S, SNEDDEN W A, et al. Salt tolerance conferred by over expression of a vacuolar Na^+/H^+ antiport in Arabidopsis [J]. Science, 1999, 285(5431): 1256 - 1258.
- [2] ZHU J K. Plant salt tolerance [J]. Trends Plant Sci, 2001, 6(12): 66 - 71.
- [3] TESTER M, DAVENPORT R. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants [J]. Ann Botany, 2003, 91(5): 503 - 527.
- [4] SAHI C, SINGH A, KUMAR K, et al. Salt stress response in rice: genetics, molecular biology, and comparative genomics [J]. Funct Integr Genomics, 2006, 6(4): 263 - 284.

- [5] ASKARI H , EDQVIST J , HAJHEIDARI M , et al. Effects of salinity levels on proteome of *Suaeda aegyptiaca leaves* [J]. *Proteomics* , 2006 , 6(8) : 2542 – 2554.
- [6] WANG X C , FAN P X , SONG H M , et al. Comparative proteomic analysis of differentially expressed proteins in shoots of *Salicornia europaea* under different salinity [J]. *J Proteome Res.* , 2009 , 8(7) : 3331 – 3345.
- [7] GREENWAY H , MUNNS R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes [J]. *Annu Rev Plant Physiol* , 1980 , 31: 149 – 190.
- [8] BLUMWALD E. Sodium transport and salt tolerance in plants [J]. *Curr Opin Cell Biol* , 2000 , 12(4) : 431 – 434.
- [9] LOKHANDE V H , NIKAM T D , PATADE V Y , et al. Effects of optimal and supra-optimal salinity stress on antioxidative defence , osmolytes and in vitro growth responses in *Sesuvium portulacastrum* L [J]. *Plant Cell Tiss Organ Cult* , 2011 , 104(1) : 41 – 49.
- [10] RIEHL T E , UNGAR I A. Growth and ion accumulation in *Salicornia europaea* under saline field conditions [J]. *Oecologia* , 1982 , 54(2) : 193 – 199.
- [11] USHAKOVA S A , KOVALEVA N P , TIKHOMIROVA N A , et al. Effect of photosynthetically active radiation , salinization , and type of nitrogen nutrition on growth of *Salicornia europaea* [J]. *Russ J Plant Physiol* , 2006 , 53(6) : 785 – 793.
- [12] VÉRY A A , SENTENAC H. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants [J]. *Annu Rev Plant Biol* , 2003 , 54: 575 – 603.
- [13] WANG J Y , ZHANG G H , SU Q , et al. Research advances about the relation between membrane spanned ion transporter and salt tolerance in plants [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* , 2006 , 26(3) : 635 – 640.
- [14] BHANDAL T J , MALIK C P. Potassium estimation , uptake and its role in the physiology and mechanism of flowering plants [J]. *International Review of Cytology* , 1988 , 110: 205 – 254.
- [15] 唐昌林. 中国植物志: 第 26 卷, 第 1 分册 [M]. 北京: 北京科学出版社 , 1996.
- [16] RAMANI B , REECK T , DEBEZ A , et al. *Aster tripolium* L. and *Sesuvium portulacastrum* L. : two halophytes , two strategies to survive in saline habitats [J]. *Plant Physiol Biochem* , 2006 , 44(5) : 395 – 408.
- [17] LOKHANDE V H , NIKAM T D , SUPRASANNA P. *Sesuvium portulacastrum* L. a promising halophyte: cultivation , utilization and distribution in India [J]. *Genet Resour Crop Evol* , 2009 , 56(5) : 741 – 747.
- [18] LOKHANDE V H , Nikam T D , Suprasanna P. Biochemical , physiological and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Sesuvium portulacastrum* L. [J]. *Plant Cell Tiss Organ Cult* , 2010 , 102(1) : 17 – 25.
- [19] ROJAS A , HERNANDEZ L , ROGEHO P M , et al. Screening for antimicrobial activity of crude drug extracts and pure natural products from Mexican medicinal plants [J]. *J Ethnopharmacol* , 1992 , 35: 275 – 283.
- [20] KATHIRESAN K , RAVISHANKAR G A , VENKATARAMAN L V. In vitro multiplication of acoastal plant *Sesuvium portulacastrum* L. by axillary buds cultures [J]. *Genet Resour Crop EV* , 1997 , 56(5) : 185 – 189.
- [21] HAMMER K. Mansfelds Encyclopedia on Agricultural and Horticultural Crops [M]. Berlin: Springer Verlag , 2001.
- [22] SLAMA I , GHNAYA T , SAVOURE A , et al. Combined effects of long-term salinity and soil drying on growth , water relations , nutrient status and proline accumulation of *Sesuvium portulacastrum* [J]. *C R Biol* , 2008 , 331(6) : 442 – 451.
- [23] RABHI M , FERCHICHI S , JOUINI J , et al. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop [J]. *Bioresource Technol* , 2010 , 101(17) : 6822 – 6828.
- [24] SLAMA I , GHNAYA T , SAVOURE A , et al. Combined effects of long-term salinity and soil drying on growth , water relations , nutrient status and proline accumulation of *Sesuvium portulacastrum* [J]. *Comptes Rendus Biologies* , 2008 , 331(6) : 442 – 451.
- [25] MESSEDDI D , SLEIMI N , ABDELLY C. Salt tolerance in *Sesuvium portulacastrum* [J]. *Plant Nutrition* , 2001 , 92(6) : 406 – 406.
- [26] MESSEDDI D , LABIDI N , GRIGNON C , et al. Limits imposed by salt to the growth of the halophyte *Sesuvium portulacastrum* [J]. *Plant Nutrition Soil Science* , 2004 , 167(6) : 720 – 725.
- [27] GHNAYA T , NOUAIRI I , SLARMA I , et al. Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum* [J]. *J Plant Physiol* , 2005 , 162(10) : 1133 – 1140.
- [28] HOAGLAND D R , ARNON D I. The water culture method for growing plants without soil [J]. *Calif Exp Stn Circ* , 1938 , 347(2) : 23 – 32.
- [29] CHUANG F S , SARBECK J R , JOHN P S , et al. Flame spectrometric determination of sodium , potassium and calcium in

- blood serum by measurement of microsamples [J]. *Mikrochim Acta*, 1973, 61(4): 523–531.
- [30] PENG Y H, ZHU Y F, MAO Y Q, et al. Alkali grass resists salt stress through high K^+ and an endodermis barrier to Na^+ [J]. *J Exp Bot*, 2004, 55(398): 939–949.
- [31] 杨少辉 季静. 盐胁迫对植物的影响及植物的抗盐机理 [J]. *世界科技研究与发展* 2006 28(4): 70–76.
- [32] JENNINGS D H. Halophytes, succulence and sodium in plants—a unified theory [J]. *New Phytol.*, 1968, 67(4): 899–911.
- [33] SHORT D C, COLMER T D. Salt tolerance in the halophyte *Halosarcia pergranulata* subsp. *pergranulata* [J]. *Ann Botany*, 1999, 83(3): 207–213.
- [34] PARKS G E, DIETRICH M A, SCHUMAKER K S. Increased vacuolar Na^+/H^+ exchange activity in *Salicornia bigelovii* Torr in response to NaCl [J]. *J Exp Bot*, 2002, 53(371): 1055–1065.
- [35] USHAKOVA S A, KOVALEVA N P, GRIBOVSKAYA I V, et al. Influence of high concentrations of mineral salts on production process and NaCl accumulation by *Salicornia europaea* plants as a constituent of the LSS phototroph link [J]. *Advances in Space Research*, 2005, 35(9): 1589–1593.
- [36] AGARIE S, SHIMODA T, SHIMIZU Y, et al. Salt tolerance, salt accumulation, and ionic homeostasis in an epidermal bladder-cell-less mutant of the common ice plant *Mesembryanthemum crystallinum* [J]. *J Exp Bot*, 2007, 58(8): 1957–1967.
- [37] 陈阳. 新疆盐生植物生理生态适应性及硅提高植物抗盐作用机制的研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2002.
- [38] NIU X M, BRESSAN R A, HASEGAWA P M, et al. Ion homeostasis in NaCl stress environments [J]. *Plant Physiol*, 1995, 109(3): 735–742.
- [39] OTTOW E A, BRINKER M, TEICHMANN T, et al. *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress [J]. *Plant Physiology*, 2005, 139(4): 1762–1772.
- [40] ASLAM M, TRAVIS R L, RAINS D W. Differential effect of amino acids on nitrate uptake and reduction systems in barley roots [J]. *Plant science*, 2001, 160(2): 219–228.
- [41] PAKNIYAT H, HANDLEY L L, THOMAS W B, et al. Comparison of shoot dry weight, Na^+ content and ^{13}C values of arid and other semi-dwarf barley mutants under salt-stress [J]. *Euphytica*, 1997, 94(1): 7–14.
- [42] SERRANO R, NAVARRO A R. Ion homeostasis during salt stress in plants [J]. *Curr Opin Cell Biol*, 2001, 13(4): 399–404.
- [43] MOGHAIEB R A, SANEOKA H, FUJITA K. Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritime* [J]. *Plant Sci*, 2004, 166(5): 1345–1349.
- [44] BALNOKIN Y V, MYASOEDOV N A, SHAMSUTDINOV Z S, et al. Significance of Na^+ and K^+ for sustained hydration of organ tissues in ecologically distinct halophytes of the family Chenopodiaceae [J]. *Russ J Plant Physl*, 2005, 52(6): 882–890.
- [45] MAATHUIS F M, AMTMANN A. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: the basis of cellular K^+/Na^+ Ratios [J]. *Ann Botany*, 1999, 84(2): 123–133.
- [46] VOLKOV V, AMTMANN A. Thellungiella halophila, a salt-tolerant relative of *Arabidopsis thaliana*, has specific root ion-channel features supporting K^+/Na^+ homeostasis under salinity stress [J]. *Plant J*, 2006, 48(3): 342–353.
- [47] ZHANG H X, BLUMWALD E. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit [J]. *Nature Biotechnol*, 2001, 19(8): 765–768.
- [48] APSE M P, BLUMWALD E. Engineering salt tolerance in plants [J]. *Curr Opin Biotechnol*, 2002, 13(2): 146–150.
- [49] GREENWAY H, MUNNS R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes [J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1980, 31: 149–190.
- [50] KRONZUCKER H J, SZCZERBA M W, GOUDARZI M M, et al. The cytosolic $Na^+:K^+$ ratio does not explain salinity-induced growth impairment in barley: dual-tracer study using ^{42}K and ^{24}Na . [J] *Plant Cell Environ*, 2006, 29(12): 2228–2237.
- [51] ZHAO K F, FAN H, ZHOU S, et al. Study on the salt and drought tolerance of *Suaeda salsa* and *Kalanchoe claigremontiana* under iso-osmotic salt and water stress [J]. *Plant Sci*, 2003, 165(4): 837–844.
- [52] 赵可夫 范海 樊守金, 等. 钾抑制盐生植物生长的生理基础研究 [J]. *植物学报*, 1995, 37(6): 437–442.

Effect of NaCl Treatment on Na⁺ and K⁺ Content in the Leaves of *Sesuvium portulacastrum*

HAN Bing^{1,2}, PANG Yong-qi², CHANG Li-li², WANG Dong-yang², WANG Xu-chu²

(1. College of Agronomy, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China)

Abstract: Although regarded as one of the major cations contributing to soil salinity, sodium was also reported to be beneficial to plant growth. To elucidate the function of sodium in plants under salt stress, seedlings of *Sesuvium portulacastrum* were treated with NaCl at different concentrations (0, 300, 600, 900 mmol · L⁻¹) to observe the leaf morphology, biomass weight and Na⁺ and K⁺ content. The results showed that the seedlings treated with 300 mmol · L⁻¹ NaCl produced the highest biomass. The flame emission and X-Ray microanalysis showed that large amounts of sodium ions were accumulated in the leaves, and that the leaf Na⁺ content was increased dramatically with the NaCl concentration while the leaf K⁺ content decreased, which leads to a high Na⁺/K⁺ ratio. This study suggests that sodium of a given range of concentration could improve plant growth but high levels of sodium reduce uptake of K⁺ by the plant, hence leading to toxicity to the plant growth.

Key words: halophyte; *Sesuvium portulacastrum*; sodium; potassium; ion; salt stress

(上接第165页)

[5]高海生. 果蔬涂膜保鲜剂的配制与应用[J]. 适用技术市场, 2000(5): 41-43.

[6]闫子娇, 张有林, 于月英. 魔芋葡甘聚糖涂膜对鲜切苹果保鲜的研究[J]. 农产品加工, 2009(6): 60.

[7]朱广廉, 钟海文. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 5.

[8]李永超, 丁原书, 张夕蕾. 双孢蘑菇采后生理生化及保鲜技术研究进展[J]. 当代生态农业, 2008(1): 114-115.

[9]杜秀敏, 殷文璇, 赵彦修, 等. 植物中活性氧的产生及清除机制[J]. 生物工程学报, 2001, 17(2): 121-202.

Effect of Coatings on Storage of Pomelo

WANG Liang-yu¹, WU Mei², LI Zhi-yu², WEI Xue-qin², YAO Min-na²

(1. Biology and Chemistry Engineering Department, Fuqing Campus, Fujian Normal University, Fuqing 350300, China;
2. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Konjac glucomannan complex film solution, carboxymethyl chitosan film solution and starch film solution were used to coat pomelo fruit (Guanxi Honey Pomelo). The coated fruit were stored at room temperature, and their physiological and biochemical parameters were determined, such as pulp organic acids, respiration rate, ethanol concentration, weight loss, catalase activity, etc. The results showed that the coated fruit were lower in all the parameters determined than the control, and that the coatings effectively extended the shelf life of the pomelo fruit. The pomelo fruit had a shelf life of upto 80 days when coated with starch film solution, upto 90 days when coated with the carboxymethyl chitosan film solution, and upto 120 days when coated with the konjac glucomannan complex film solution.

Key words: coating; pomelo; KGM; Vitamin C; peroxidase