

# NaCl 胁迫对古巴牛乳树矿质离子吸收的影响

刘育梅<sup>1</sup>, 宋志瑜<sup>2</sup>, 卢昌义<sup>3\*</sup>

1 厦门华侨亚热带植物引种园, 福建厦门 361002

2 福建省亚热带植物研究所, 福建厦门 361006

3 厦门大学环境与生态学院, 福建厦门 361005

**摘要** 为了研究古巴牛乳树在 NaCl 胁迫下的离子效应及抗性方式, 本试验测定了古巴牛乳树根、枝条、叶在 NaCl 胁迫下  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  的含量及分布特点。结果表明: 古巴牛乳树根、枝条、叶的  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  含量随处理浓度的提高而增加,  $\text{K}^+$ 、 $\text{K}^+/\text{Na}^+$  随处理浓度升高而降低; 在 8‰ 处理浓度时, 根、枝条、叶中的  $\text{Cl}^-$  含量分别为对照的 7.86、11.82、16.53 倍,  $\text{Na}^+$  含量分别为对照的 3.36、3.04、4.40 倍,  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  分别为 0.17、0.25、0.16; 相同处理浓度下,  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  含量高低顺序均为: 根<枝条<叶,  $\text{Na}^+$  含量高低顺序为: 枝条<根<叶; 叶中的  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  等 4 种离子含量均比根、枝条高。说明古巴牛乳树吸收  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  后, 较大部分的将 4 种离子输送至叶片中, 推测其抗性方式为耐盐性。

**关键词** 古巴牛乳树; 离子效应; 抗性方式

中图分类号 Q945.1

文献标识码 A

## The Effect of NaCl Stress on the Ion Absorption of *Manilkara roxburghiana* (Wight) Dubard

LIU Yumei<sup>1</sup>, SONG Zhiyu<sup>2</sup>, LU Changyi<sup>3</sup>

1 Xiamen Overseas Chinese Subtropical Plant Introduction Garden, Xiamen, Fujian 361002, China

2 Fujian Institute of Subtropical Botany, Xiamen, Fujian 361006, China

3 College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China

**Abstract** In order to study the ion response and mode of salinity resistance of *M. roxburghiana*, the contents and distribution of 4 kinds of ions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) in roots, branches, leaves under NaCl stress were assayed. The results showed that  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  contents in *M. roxburghiana* roots, branches, leaves raised with the rising NaCl concentration, while  $\text{K}^+$  content and the ratio of  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  dropped. The  $\text{Cl}^-$  content in roots, branches, leaves was respectively 7.86, 11.82, 16.53 times higher than that in the control under 8‰ NaCl and  $\text{Na}^+$  content was respectively 3.36 times, 3.04 times, 4.40 times. The  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  ratio in roots, branches, leaves was respectively 0.17, 0.25, 0.16. The  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  contents followed the order: roots<branches<leaves,  $\text{Na}^+$  content did: branches<roots<leaves. The 4 kinds of ions contents were larger in leaves than in branches or roots under the same NaCl concentration. The results showed most of the ions were transported to the leaves after entering the plants. It was deduced that the mode of salinity resistance was salt tolerance for *M. roxburghiana* and that the imbalance of  $\text{Ca}^{2+}$  related to the salt damage.

**Key words** *M. roxburghiana*; Ion absorption; Mode of resistance

**doi** 10.3969/j.issn.1000-2561.2013.09.004

土壤盐碱化是限制植物生长的主要环境因素之一, 在诸多改良措施中, “生物治碱” 因投资少、见效快、效益大而成为改良利用盐碱地的重要途径<sup>[1]</sup>。植物的耐盐性研究涉及生物学、生理学和生物化学等多门学科, 揭示了植物体内受盐胁迫时所

引起的复杂变化过程<sup>[2-3]</sup>。中国目前关于果树尤其是南方果树的耐盐性研究较少, 果树资源的耐盐性及实践应用还有待深入研究。

古巴牛乳树 [*Manilkara roxburghiana* (Wight) Dubard], 隶属山榄科 (Sapotaceae) 铁线子属

收稿日期 2013-04-28

修回日期 2013-06-20

基金项目 厦门市科技计划项目 (No. 3502Z20092023)。

作者简介 刘育梅 (1975 年—), 女, 博士, 助理研究员; 研究方向: 逆境生理生态。\* 通讯作者: 卢昌义, E-mail: Lucy@xmu.edu.cn.

(*Manilkara*), 原产古巴、巴西等热带地区, 于1996年由厦门华侨亚热带植物引种园从巴西引进, 其在厦门的适应性良好, 树型优美、果可食用, 同时具有耐贫瘠、抗风等优良抗逆性, 是一种开发前景广阔的国外热带果树。本实验在研究人心果(与古巴牛乳树同属)的离子效应<sup>[4]</sup>、古巴牛乳树的繁殖特性及耐盐能力的基础上<sup>[5-6]</sup>, 进一步探讨古巴牛乳树在 NaCl 胁迫下的离子效应, 并通过  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  在植物器官中的分布推测植物的抗性方式, 旨在为开发利用该优良果树资源提供参考, 并为果树的耐盐机理研究提供一定的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选择发育程度基本一致、规格相同的盆栽实生苗(每盆1株, 苗龄2a)。

### 1.2 方法

将盆栽苗进行不同程度的 NaCl 胁迫处理, 设5个处理, 每个处理3个重复。盆土为腐殖土, 在搭盖塑料薄膜的荫棚下进行实验, 光照充足, 湿度较大。以自来水为对照, 采用稀释法配制 2‰、4‰、6‰、8‰ 梯度浓度的 NaCl 溶液, 胁迫处理以一次浇透为准, 待表层土干时继续胁迫处理(约10d), 观察古巴牛乳树的盐害情况, 待最高盐浓度处理的古巴牛乳树叶子出现3级盐害(盐害等级分为4级。0级: 无盐害症状; 1级: 轻度盐害, 叶尖、叶缘变黄的叶片约占1/5; 2级: 中度盐害, 叶尖、叶缘变黄的叶片约占1/2; 3级: 重度盐害, 大部分叶尖、叶缘变黄; 4级: 极重度盐害, 叶片焦枯脱落、枝枯, 最终死亡)<sup>[7]</sup>时停止胁迫处理(2009年12月21日至2010年6月16日), 测试各处理的实际盆土盐度、EC值、pH值, 同时测各处理株高增值, 而后分别取样, 将根、枝条、叶分开, 样品经洗涤, 于70℃下烘干, 然后粉碎并过100目筛, 采用火焰光度法测  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  等离子,  $\text{AgNO}_3$  络合滴定法测  $\text{Cl}^-$ <sup>[8]</sup>。

### 1.3 数据统计

应用 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析, 探讨胁迫处理后古巴牛乳树的植株高度增值、营养器官中4种离子含量与对照的显著差异性。

## 2 结果与分析

### 2.1 盆土实际盐度、EC值、pH值、株高增值及盐害现象

胁迫结束后测定的盐害级别、盆土盐度、EC值、pH值、株高增值如表1所示。由表1可知, 古巴牛乳树在6‰ NaCl 处理浓度时出现2级盐害, 在8‰时出现3级盐害, 而在较低处理浓度时均未出现盐害, 如在实际盆土盐度为2.42‰时未有盐害现象, 说明古巴牛乳树具有较强的耐盐性。在 NaCl 胁迫下, 与对照相比, 古巴牛乳树的植株高度增值显著减少, 说明经过近6个月的胁迫处理, 古巴牛乳树幼苗的生长受到较大的限制。

### 2.2 NaCl 胁迫下古巴牛乳树的离子效应

NaCl 胁迫结束后, 古巴牛乳树根、枝条、叶中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  含量如表2所示。

从表2可知, 在 NaCl 胁迫下, 古巴牛乳树根、枝条、叶中的  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  含量均随处理浓度增加而增加, 与对照相比有显著差异。在8‰处理浓度时, 根、枝条、叶的  $\text{Cl}^-$  含量分别为对照的7.86、11.82、16.53倍,  $\text{Na}^+$  含量分别为对照的3.36、3.04、4.40倍。说明 NaCl 胁迫使古巴牛乳树根、枝条、叶中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  含量明显增加。随着处理浓度的增加, 叶中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  含量增幅均比根、枝条高, 表明 NaCl 胁迫对叶中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  含量的影响较根、枝条更大些。

根、枝条、叶中的  $\text{K}^+$  含量均随 NaCl 处理浓度的增加而减少, 根、叶中的  $\text{K}^+$  含量在各处理浓度下均显著低于对照, 而枝条的  $\text{K}^+$  含量在2‰处理浓度下和对照没有显著差异, 在4‰、6‰、8‰时显著低于对照。研究结果表明 NaCl 胁迫降低了古巴牛乳树根、枝条、叶中的  $\text{K}^+$  含量, 推测是  $\text{Na}^+$  干扰

表1 古巴牛乳树在 NaCl 胁迫下的盐害级别、盐度、EC值、pH值及株高增值

NaCl浓度/‰	最高盐害级别	盆土盐度/‰	盆土EC/(S/m)	盆土pH值	株高增值/cm
0	0	0.02	0.25	5.96	(9.00±0.10)a
2‰	0	1.12	2.85	5.84	(8.00±0.50)b
4‰	0	2.42	5.45	5.63	(3.00±0.10)c
6‰	2	3.38	7.40	5.83	(2.00±0.05)c
8‰	3	4.05	8.79	5.99	(1.00±0.03)d

说明: 同列数据后不同小写字母代表差异显著( $p < 0.05$ ), 下同。

了古巴牛乳树对 K<sup>+</sup>的吸收。

随处理浓度的增加，根、枝条、叶中 Na<sup>+</sup>含量增加，而 K<sup>+</sup>含量减少，可见 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>随处理浓度的增加而降低。其中，根、枝条、叶中的 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>在 NaCl 处理浓度 6‰时分别为 0.23、0.34、0.24，在 8‰时分别为 0.17、0.25、0.16。说明 NaCl 胁迫降低了古巴牛乳树根、枝条、叶中的 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>。

根中的 Ca<sup>2+</sup>含量在 2‰、4‰处理浓度时高于对照，在 6‰、8‰时显著高于对照；枝条、叶中

的 Ca<sup>2+</sup>含量在各处理浓度下均显著高于对照。表明在 NaCl 胁迫下，根、枝条、叶中的 Ca<sup>2+</sup>含量均较对照高。

总体上，在 NaCl 胁迫处理下，4 种离子在植物体内的分布有所差异，其中 Cl<sup>-</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>含量高顺序均为：根<枝条<叶；Na<sup>+</sup>含量高低顺序为：枝条<根<叶。相同处理浓度下，叶中的 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>含量均最高。表明 4 种离子进入植物体后，大部分被输送到叶中。

表 2 NaCl 胁迫下古巴牛乳树 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>的含量

NaCl浓度/‰	氯离子含量/%			钠离子含量/%		
	根	枝条	叶	根	枝条	叶
0	(0.84±0.02)a	(0.68±0.03)a	(0.77±0.04)a	(1.01±0.01)a	(1.13±0.06)a	(1.31±0.03)a
2‰	(2.16±0.01)b	(1.49±0.01)b	(5.02±0.02)b	(2.05±0.02)b	(1.30±0.02)b	(2.10±0.01)b
4‰	(3.25±0.02)c	(2.14±0.03)c	(5.23±0.03)c	(2.48±0.00)c	(1.99±0.05)c	(2.53±0.03)c
6‰	(6.05±0.00)d	(5.15±0.03)d	(10.68±0.04)d	(3.08±0.02)d	(2.58±0.06)d	(4.00±0.01)d
8‰	(6.60±0.02)e	(8.04±0.02)e	(12.73±0.04)e	(3.40±0.01)e	(3.43±0.03)e	(5.77±0.02)e

  

NaCl浓度/‰	钾离子含量/%			钙离子含量/%		
	根	枝条	叶	根	枝条	叶
0	(0.93±0.02)a	(1.04±0.01)a	(1.44±0.03)a	(0.42±0.02)a	(0.95±0.03)a	(1.97±0.02)a
2‰	(0.75±0.01)b	(1.04±0.02)a	(1.37±0.02)b	(0.43±0.01)a	(1.12±0.02)b	(2.17±0.01)b
4‰	(0.76±0.03)b	(0.88±0.02)b	(1.03±0.01)c	(0.45±0.03)a	(1.29±0.01)c	(2.34±0.03)c
6‰	(0.72±0.02)b	(0.88±0.03)b	(0.97±0.02)d	(0.60±0.03)b	(1.40±0.01)d	(2.42±0.02)d
8‰	(0.58±0.02)c	(0.86±0.02)b	(0.90±0.02)e	(0.68±0.02)c	(1.50±0.02)e	(2.65±0.02)e

### 3 讨论与结论

参与渗透调节的主要无机离子 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>在不同植物中所占的比例不同，而且不同植物对它们的选择性也不同<sup>[9]</sup>。有些植物根系吸收 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>后，将大部分 Na<sup>+</sup>积累在根部或枝条基部<sup>[10]</sup>，例如盐胁迫后的刺槐(Robinia)根部可积累 Na<sup>+</sup>以减少盐胁迫对地上部的毒害<sup>[11]</sup>。本研究中古巴牛乳树在 NaCl 胁迫下，其根、枝条、叶中的 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>含量随处理浓度的增加而上升，而 K<sup>+</sup>含量则随处理浓度的增加而下降，这与人心果的离子效应是一致的<sup>[4]</sup>，但它们又存在差异，主要体现为 Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>在体内的分配情况不同，Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>在古巴牛乳树叶片中含量最高，而在人心果根中最高。Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>在植物器官中的分配情况因种类不同而有所差异，推测与植物对 NaCl 胁迫的抗性方式有关。植物对 NaCl 胁迫的抗性有 2 种方式，即耐盐性和避盐性<sup>[12]</sup>。根据实验结果推测古巴牛乳树的抗性方式为耐盐性，即通过一定的生理途径“忍受”或部分“忍受”盐分对它们的作用而不致伤害，以维持其

正常的生理活动，这种抗性方式可能与其具有较厚的叶片有关(叶片为厚革质，平均为 452.5 μm)。Na<sup>+</sup>的存在可竞争性地抑制 K<sup>+</sup>的吸收，干扰植物体内的 K<sup>+</sup>平衡，而 K<sup>+</sup>对植物维持细胞膨压、酶类稳定、调节渗透平衡等过程至关重要<sup>[13]</sup>。虽有实验证明 Na<sup>+</sup>的排出与耐盐性并无直接的相关性<sup>[14-16]</sup>，但大部分非盐生植物选择吸收 K<sup>+</sup>排斥 Na<sup>+</sup><sup>[17]</sup>，在 NaCl 胁迫下，高浓度的 Na<sup>+</sup>置换出质膜和细胞内膜系统上所结合的 Ca<sup>2+</sup>，使膜上的 Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>增加从而破坏膜结构的完整性和膜的功能，使细胞内的 K<sup>+</sup>及有机溶质外渗，导致细胞内 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>下降，同时抑制液泡膜上 H<sup>+</sup>-PPase 的活性和其在细胞质中的跨液泡膜运输，故而对细胞产生毒害<sup>[18-19]</sup>。古巴牛乳树根、枝条、叶中的 Na<sup>+</sup>含量随处理浓度的增加而上升，而 K<sup>+</sup>含量则下降，因此 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>也随之下降，可见，Na<sup>+</sup>的存在竞争性地抑制了 K<sup>+</sup>的吸收。

盐害机理分为原初盐害和次生盐害，目前对原初盐害有3种观点：(1)由根系的水分造成，而不是盐分本身。(2)地上部分叶延长是不依靠根的，根仅

是盐毒害的传感器,限制叶片延长生长的因子可能存在于地上部分。(3)由于细胞 $\text{Ca}^{2+}$ 的自动动态平衡遭到破坏而造成的<sup>[12]</sup>。高浓度的无机离子会抑制植物的生长和发育,对植物细胞产生毒害,造成细胞脂膜透性增强、内容物外泄、叶绿体降解等,从而导致一系列生理紊乱<sup>[20]</sup>,NaCl胁迫对古巴牛乳树叶片的抗氧化酶活性和渗透调节物质含量均产生明显的影响<sup>[5]</sup>。张丽等<sup>[21]</sup>研究结果表明在盐胁迫下,植物的 $\text{Ca}^{2+}$ 吸收受阻,而古巴牛乳树则不同,除 $\text{K}^+$ 外, $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 含量均随处理浓度的增加而上升,实验结果表明NaCl胁迫明显增加了根、枝条、叶中的 $\text{Ca}^{2+}$ 含量,这与人心果的离子效应是一致的<sup>[4]</sup>。无机离子被动进入细胞,对植物的渗透调节作用不大,从无机离子角度推测,古巴牛乳树的盐害与细胞中 $\text{Ca}^{2+}$ 的自动动态平衡遭到破坏有关。

#### 参考文献

- [1] 徐恒刚,刘书润.土壤盐渍化对盐生植被的影响[J].内蒙古草业,2004,16(2):1-2.
- [2] 廖岩,彭友贵,陈桂珠.植物耐盐性机理研究进展[J].生态学报,2007,27(5):2077-2089.
- [3] 吴强盛,刘琴.果树对盐胁迫的响应和耐盐机制研究进展[J].长江大学学报(自然版)农学卷,2007,4(4):9-12,22.
- [4] 刘育梅,宋志瑜.人心果在NaCl胁迫下的离子效应及耐盐方式[J].热带作物学报,2012,33(8):1422-1425.
- [5] 宋志瑜,刘育梅.古巴牛乳树的引种表现及繁殖技术研究[J].安徽农业科学,2012,40(31):15301-15302.
- [6] 刘育梅,胡宏友,董庆宣,等.NaCl胁迫对两种铁线子属果树叶片生理特性的影响[J].热带作物学报,2011,32(9):1679-1682.
- [7] 骆建霞,史燕山,吕松,等.3种木本地被植物耐盐性的研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(12):121-124,128.
- [8] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:318-333.
- [9] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2000, 51: 463-499.
- [10] 利容千,王建波.植物逆境细胞及生理学[M].武汉:武汉大学出版社,2002:188-278.
- [11] 王艳青,蒋湘宁,李悦,等.盐胁迫对刺槐不同组织及细胞离子吸收和分配的变化[J].北京林业大学学报,2001,23(1):18-23.
- [12] 赵可夫,范海.盐生植物及其对盐渍生境的适应生理[M].北京:科学出版社,2005:121-193.
- [13] Hugouvieux V, Murata Y, Young J J, et al. Localization, ion channel regulation, and genetic interactions during abscisic acid signaling of the nuclear mRNA cap-binding protein, ABH1[J]. Plant Physiology, 2002, 130(3): 1276-1287.
- [14] Genc Y, McDonald G K, Tester M. Reassessment of tissue  $\text{Na}^+$  concentration as a criterion for salinity tolerance in bread wheat[J]. Plant Cell and Environment, 2007, 30(11): 1486-1498.
- [15] Cuin T A, Betts S A, Chalmandrier R, et al. A root's ability to retain  $\text{K}^+$  correlates with salt tolerance in wheat[J]. Journal of Experimental Botany, 2008, 59(10): 2697-2706.
- [16] Trdter M, Davenport R.  $\text{Na}^+$  tolerance and  $\text{Na}^+$  transport in higher plants[J]. Annals of Botany, 2003, 91: 503-527.
- [17] Volkmar K M, Hu Y, Steppuhn H. Physiological responses of plants to salinity: A review[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1998, 78(1): 19-27.
- [18] Gaxiola R A, Li J, Undurraga S, et al. Drought and salt-tolerant plants result from overexpression of the AVP1  $\text{H}^+$ -pump[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2001, 98(20): 11444-11449.
- [19] Apse M P, Aharon G S, Snedden W A. Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter in Arabidopsis[J]. Science, 1999, 285(5431): 1256-1258.
- [20] 林栖凤.耐盐植物研究[M].北京:科学出版社,2004:75-101.
- [21] 张丽,张华新,杨升,等.植物耐盐机理的研究进展[J].西南林学院学报,2010,30(3):82-86.

责任编辑:林海妹