

根系盐胁迫对盐生植物和甜土植物的幼苗生长及矿质元素分布的影响

卞阿娜^{1,2}, 林鸣², 王文卿^{2*}, 吴士彬³

(1. 闽南师范大学生物科学与技术学院, 福建 漳州 363000; 2. 厦门大学环境与生态学院, 福建 厦门 361005; 3. 漳州市科技开发发展服务中心, 福建 漳州 363000)

摘要: 为了解盐胁迫对植物的影响, 研究了根系 NaCl 胁迫在温室条件下对盐生植物榄仁(*Terminalia catappa*)和甜土植物枇杷(*Eriobotrya japonica*)幼苗生长、矿质元素和灰分含量的影响。结果表明: 在根系盐胁迫下, 两种植物幼苗的叶片病斑多分布于中心区, 灰分含量增加, 幼苗的 Na⁺-Cl⁻ 呈极显著的正相关关系, 盐胁迫对两种植物幼苗的 5 种矿质元素(Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻)含量影响不大, 但它们在植物中的分布发生了变化。可见, 盐生植物和甜土植物抗盐性的区别是量上的不同, 没有质的差别。

关键词: 盐胁迫; 盐生植物; 甜土植物; 矿质元素; 分布

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.007

Effects of Root Salt Stress on Growth and Allocation of Mineral Elements in Halophyte and Glycophyte Seedlings

BIAN A-na^{1,2}, LIN Ming², WANG Wen-qing^{2*}, WU Shi-bin³

(1. Department of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China; 2. College of Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. Services Center of Scientific and Technological Development in Zhangzhou, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: In order to understand the effect of root salt stress on seedlings, the growth, mineral elements and ash contents in halophyte *Terminalia catappa* and glycophyte *Eriobotrya japonica* seedlings were studied in greenhouse. The results showed that the spots mainly distributed on center of two seedling leaves under root salt stress, and ash content increased. There was significant positive relationship between contents of Na⁺ and Cl⁻ after root salt stress. The contents of mineral elements (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻) in seedlings varied little, but their distribution in seedlings happened to change. So, there is quantitative difference between halophytes and glycophyte under salt stress, and no qualitative difference.

Key words: Salt stress; Halophyte; Glycophyte; Mineral element; Distribution

大多数植物对盐胁迫敏感, 在盐渍环境中生长都受到抑制。通常认为, 种子萌发期间及幼苗生长早期对盐胁迫最敏感, 而其它发育阶段对盐胁迫相对不敏感^[1]。盐胁迫对植物的伤害主要表现在离子毒害、渗透胁迫和营养不平衡。近年来, 在植

物生理学、细胞分子生物学、土壤学、生态学上^[2-5], 从植物整体、器官、组织和分子等不同层次研究了盐胁迫对植物生长的伤害, 提出了不少盐害理论和假说^[6-8]。盐生植物能在含盐量超过 0.33 Mpa (相当单价盐 70 mmol L⁻¹) 的土壤中正常生长并完成

收稿日期: 2014-08-18

接受日期: 2014-10-31

基金项目: 林业科技支撑计划项目(2009BADA2B0605); 福建省科技重点项目(2013N01010365); 漳州市科技重点项目(ZZ2014036)资助

作者简介: 卞阿娜(1977~), 硕士, 讲师, 主要从事园林植物研究工作。E-mail: BAN2@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: mangroves@xmu.edu.cn

生活史,而甜土植物在这种生境中不能正常生长也不能完成生活史。目前的研究大多关注盐生植物受到盐胁迫时的响应^[9-13],而盐胁迫对甜土植物的影响则鲜见报道,尤其是盐胁迫对盐生植物和甜土植物伤害机制的对比研究更少。因此本文以盐生植物榄仁(*Terminalia catappa*)和甜土植物枇杷(*Eriobotrya japonica*)的幼苗为材料,采用根系 NaCl 处理,对幼苗生长、灰分含量、叶绿素总含量以及 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 等矿质元素含量进行研究,为两种植物的盐害机理研究提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

榄仁(*Terminalia catappa*)和枇杷(*Eriobotrya japonica*)幼苗为实验室人工培养,选取生长一致的幼苗,用淡水清洗,移植于温室套有尼龙网的沙基上。在自然光照和温度下,每个沙基使用 2 L 1/2 Hoagland 营养液,营养液水面恰好与沙基表面相平,每日添加淡水到标记的液面高度,过渡培养 14 d。

1.2 盐胁迫试验

在营养液中分别添加 1%、2%、3% 和 4% 的 NaCl 对榄仁幼苗进行处理,分别添加 0.5%、1.0%、1.5% 和 2.0% 的 NaCl 对枇杷幼苗进行处理。以不添加 NaCl 为对照。对照及每个处理均 3 次重复,处理时间为 28 d。每日添加淡水到标记的液面高度,每周更换 1 次培养液,定期测定株高、叶数和培养液的理化指标,观察幼苗的生长情况、受害情况。

1.3 测定方法与数据分析

每个处理分别采集新叶、成叶和老叶。将成叶分成 3 个部分:近叶尖的 1/3 部位为叶尖区;剩下部分沿横轴纵切约 1/4 部位为叶缘区;剩余部分为中心区。

叶绿素含量的测定采用混合液法^[14-16]。灰分含量测定是样品在(525±25)℃下处理 4 h 后按照干灰化法^[17]测定。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用原子吸收分光光度法^[18]测定,使用 AA800 型原子吸收光谱仪; Cl^- 采用 $AgNO_3$ 滴定法^[18]测定。

试验中所用药品均分析纯。数据差异显著性

分析采用 SPSS V 10.0 的多因素方差分析和 One-Way ANOVA 相关分析。

2 结果和分析

2.1 对两种植物幼苗生长的影响

在根系盐胁迫下,盐土植物榄仁和甜土植物枇杷幼苗的叶片病斑较多分布于叶片中心区。两种植物在盐胁迫下的长势普遍比对照差;1% NaCl 处理的榄仁幼苗新根较少,地上部分未出现明显受害症状,其他处理的榄仁幼苗,叶、茎、根生长缓慢,且随着处理浓度的升高,新叶、新根停止生长,萎蔫现象越来越严重,并出现落叶。0.5% NaCl 处理的枇杷幼苗仅长出很少新根,地上部分已开始出现受害症状,同样其他处理的枇杷幼苗,叶、茎、根生长缓慢甚至停滞,且处理浓度越高受害程度越重,甚至出现植株枯死。可见,低盐胁迫对盐生植物幼苗的生长影响不大,高盐胁迫则抑制幼苗生长;而甜土植物在盐胁迫下幼苗生长受到抑制。

2.2 对幼苗灰分含量的影响

由图 1 可知,榄仁各部分叶片的灰分含量均以 1% NaCl 处理的最高,2% NaCl 处理的最低。不论是对照还是盐处理,榄仁叶片的灰分含量均以中心区最高。方差分析结果表明,盐度对灰分含量有显著影响。不同浓度处理的叶片灰分含量都呈现老叶 > 成叶 > 新叶的趋势($P < 0.05$),且随 NaCl 浓度升高而逐渐增加(图 2)。

由图 1 可知,对照、0.5%、1.0% NaCl 处理的枇杷叶片灰分含量为叶尖区 > 中心区 > 叶缘区,而 1.5%、2.0% 处理的则为中心区 > 叶尖区 > 叶缘区,且 NaCl 处理的灰分含量均高于对照。方差分析结果表明,盐度、叶片部位对灰分含量都有显著影响,但它们之间不存在交互效应。不同浓度处理的叶片灰分含量均为老叶 > 成叶 > 新叶。

2.3 对幼苗叶绿素总含量的影响

由图 3 可知,不论是对照还是 NaCl 处理,榄仁叶片的叶绿素总含量都是中心区最高。1% NaCl 处理的榄仁叶片叶绿素总含量低于对照,而 2% NaCl 处理的迅速升至最高,之后 NaCl 浓度升高叶绿素总含量逐渐下降,4% NaCl 处理的低于对照。方差分析结果表明,盐度对叶绿素总含量的影响显著。

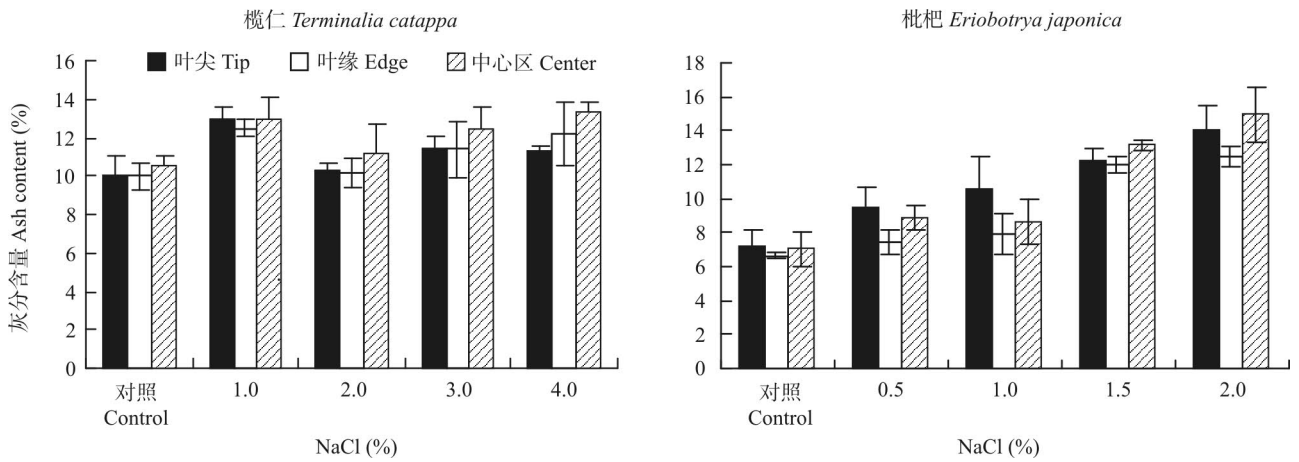


图1 盐胁迫榄仁和枇杷叶片灰分含量的变化

Fig. 1 Change in ash content of *Terminalia catappa* and *Eriobotrya japonica* leaves under NaCl stress

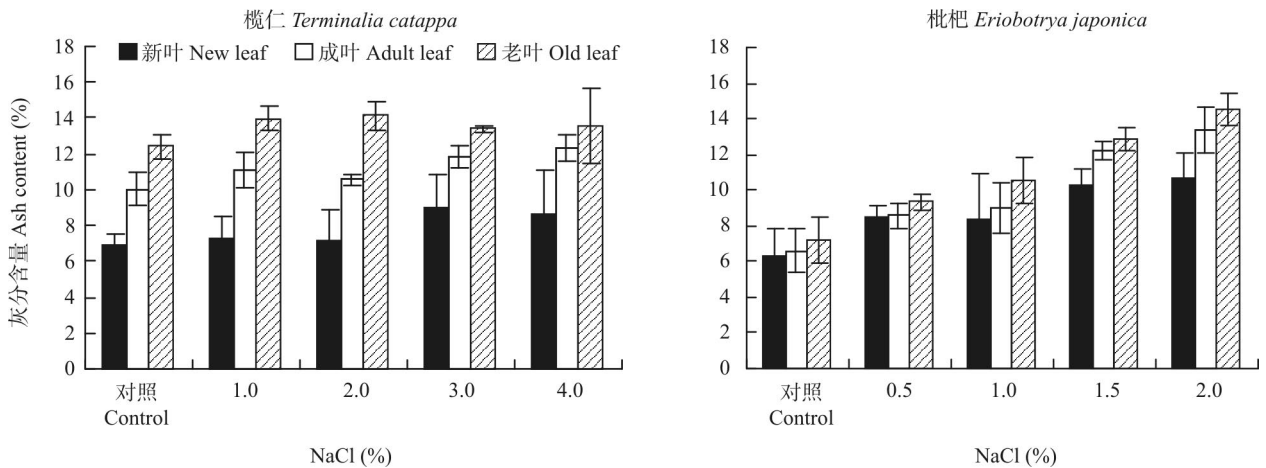


图2 盐胁迫榄仁和枇杷叶片灰分含量的变化

Fig. 2 Change in ash content of *Terminalia catappa* and *Eriobotrya japonica* leaves under NaCl stress

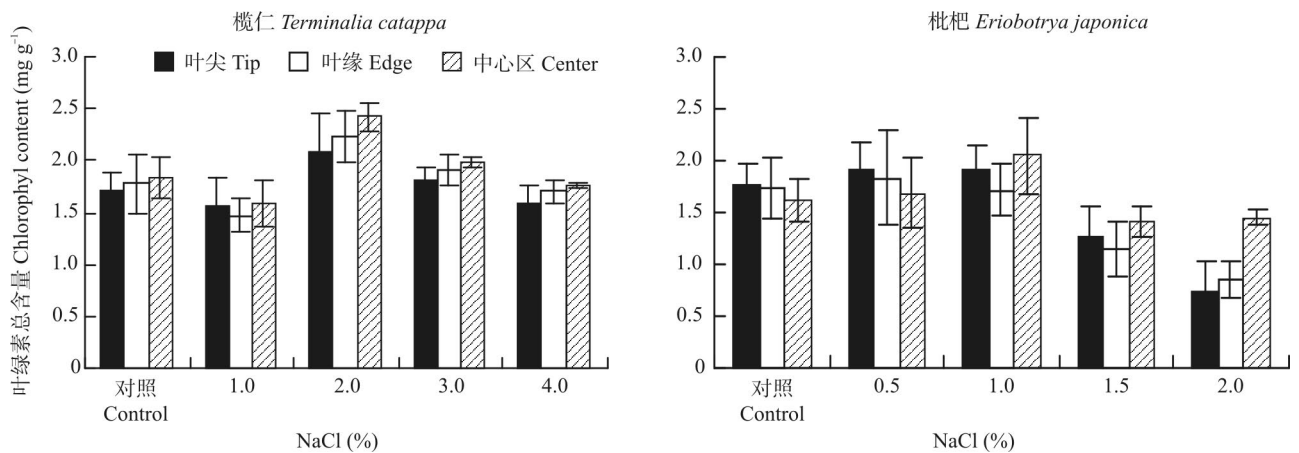


图3 盐胁迫榄仁和枇杷叶片叶绿素总含量的变化

Fig. 3 Change in chlorophyll content of *Terminalia catappa* and *Eriobotrya japonica* leaves under NaCl stress

对照和 0.5% NaCl 处理的枇杷叶片叶绿素总含量以叶尖区最多,而 1.0%、1.5% 和 2.0% NaCl 处理的以中心区最多。叶尖区、中心区的叶绿素总含量以 1.0% NaCl 处理的最高;而叶缘区的叶绿素总含量以 0.5% NaCl 处理的最高。方差分析结果表明,不同浓度 NaCl 处理的叶绿素总含量差异显著。

2.4 对幼苗矿质元素的影响

由图 4 可看出,不管是对照还是盐胁迫处理,榄仁幼苗叶片的 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 多分布在中心区, Na^+ 、 Cl^- 含量都以 1% NaCl 处理的最高,以 2% NaCl 处理的最低,且 NaCl 处理的都显著高于对照;随 NaCl 处理浓度的升高, K^+ 、 Mg^{2+} 含量呈先下降后升高的趋势,且均低于对照, 3%、4% NaCl 处理的与对照接近;随 NaCl 处理浓度的增加, Ca^{2+} 含量以 1% NaCl 处理的最低,之后升高并稳定在一个较低水平,但仍低于对照。方差分析表明, NaCl 处理浓度对榄仁幼苗叶片中矿质元素含量的影响显著,叶片不同部位的 K^+ 含量差异显著。

对于枇杷幼苗叶片,对照、0.5% 和 1.0% NaCl 处理的 Na^+ 、 K^+ 含量,对照、0.5% NaCl 处理的 Cl^- 、 Mg^{2+} 含量以叶尖区较多,其他 NaCl 处理的则以中心区较多,而所有处理的 Ca^{2+} 含量则以中心区较多。随 NaCl 处理浓度的增加,枇杷幼苗叶片的 Na^+ 、 Cl^- 含量快速升高; Ca^{2+} 含量则变化不大,与对照无显著差异; Mg^{2+} 、 K^+ 含量呈先升高后下降的趋势,基本上均高于对照,仅 2.0% NaCl 处理的叶缘区 Mg^{2+} 含量略低于对照。方差分析表明,不同浓度 NaCl 处理的 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 、 Mg^{2+} 含量差异显著, Ca^{2+} 在叶片的分布存在显著差异。

由图 5 可知,榄仁幼苗的 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 分布是新叶多于成叶、老叶,而 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 则是新叶最少,成叶、老叶较多。随 NaCl 处理浓度增加,榄仁幼苗不同叶龄叶片的 Na^+ 、 Cl^- 含量都以 1% 处理的最高,2% 处理的最低,之后又逐渐升高,盐培养组都显著高于对照组; K^+ 、 Mg^{2+} 含量则呈先下降后升高的趋势,盐培养组基本上低于对照组,但 2%、3%、4% 处理盐度组老叶的 Mg^{2+} 含量高于对照组;而 Ca^{2+} 含量随 NaCl 处理浓度增加,基本稳定在一个低水平,成叶、老叶的 Ca^{2+} 含量低于对照,新叶与对照差别不大。方差分析表明, NaCl 浓度对榄仁幼苗叶

片的矿质元素含量有显著影响;除 Cl^- 外,不同叶龄的其他元素含量有显著差异;NaCl 浓度与叶龄对 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量存在交互影响。

对于枇杷幼苗叶片,对照和 0.5% NaCl 处理的 Na^+ 、 Cl^- 含量以新叶较高,而 1.0%、1.5% 和 2.0% NaCl 处理的则以老叶较高,且均显著高于对照; Ca^{2+} 含量以老叶 > 成叶 > 新叶,随 NaCl 浓度增加的变化不显著,且与对照亦无显著差异; K^+ 含量呈现出新叶 > 成叶 > 老叶,均高于对照; Mg^{2+} 含量为成叶 > 新叶 > 老叶, NaCl 处理的新叶 Mg^{2+} 含量低于对照,但成叶、老叶的高于对照。方差分析表明,不同浓度 NaCl 处理枇杷幼苗的 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 含量差异显著,各元素的分布存在显著差异, NaCl 浓度和部位对 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 、 Mg^{2+} 的影响存在交互效应。

3 结论和讨论

本研究结果表明,盐胁迫下两种植物的 Ca^{2+} 、灰分含量以叶片中心区较高;榄仁幼苗 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 在叶片中心区较多,而 Mg^{2+} 在叶片各部分的差别较小;枇杷幼苗叶片的 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 均随 NaCl 浓度的增加逐渐从叶尖转向中心区。可见,根系来源的盐分多集中于在叶片的中心区。植物矿质营养在叶片内的输送,叶脉是主要通道,叶片内的元素分布与叶脉类型有很大关系,那么,对叶片进行分区,要因叶脉类型而异^[19]。榄仁和枇杷的叶脉类型都是羽状脉,叶片的分区方案正是考虑了叶脉类型而设计的。木质部导管内的蒸腾流是矿质营养在叶片分布的动力。根从培养液中吸收盐分,通过木质部经茎输送到叶,途径为根-茎-叶,路程长,速率低;所以盐分在叶片中的分布自然就是距离源头(叶柄)导管近的中心区较高,距离源头大导管远的叶尖、叶缘区较低。

本研究中榄仁和枇杷幼苗的 Na^+ - Cl^- 间具有极显著的正相关性,不论是在叶片不同部位、不同叶龄,还是在盐胁迫下元素含量的变化上, Na^+ 和 Cl^- 都具有极高的相关性。王文卿在对秋茄(*Kandelia candel*)、木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)和红海榄(*Rhizophora stylosa*)等 3 种红树植物叶片衰老过程中元素动态变化的研究中,也认为 Cl^- 在叶片或种群幼苗体内的分布类似于 Na^+ ,且各物种成熟叶的 Na^+ 和 Cl^- 间存在极显著的正线性相关关系^[20-21]。NaCl 胁迫

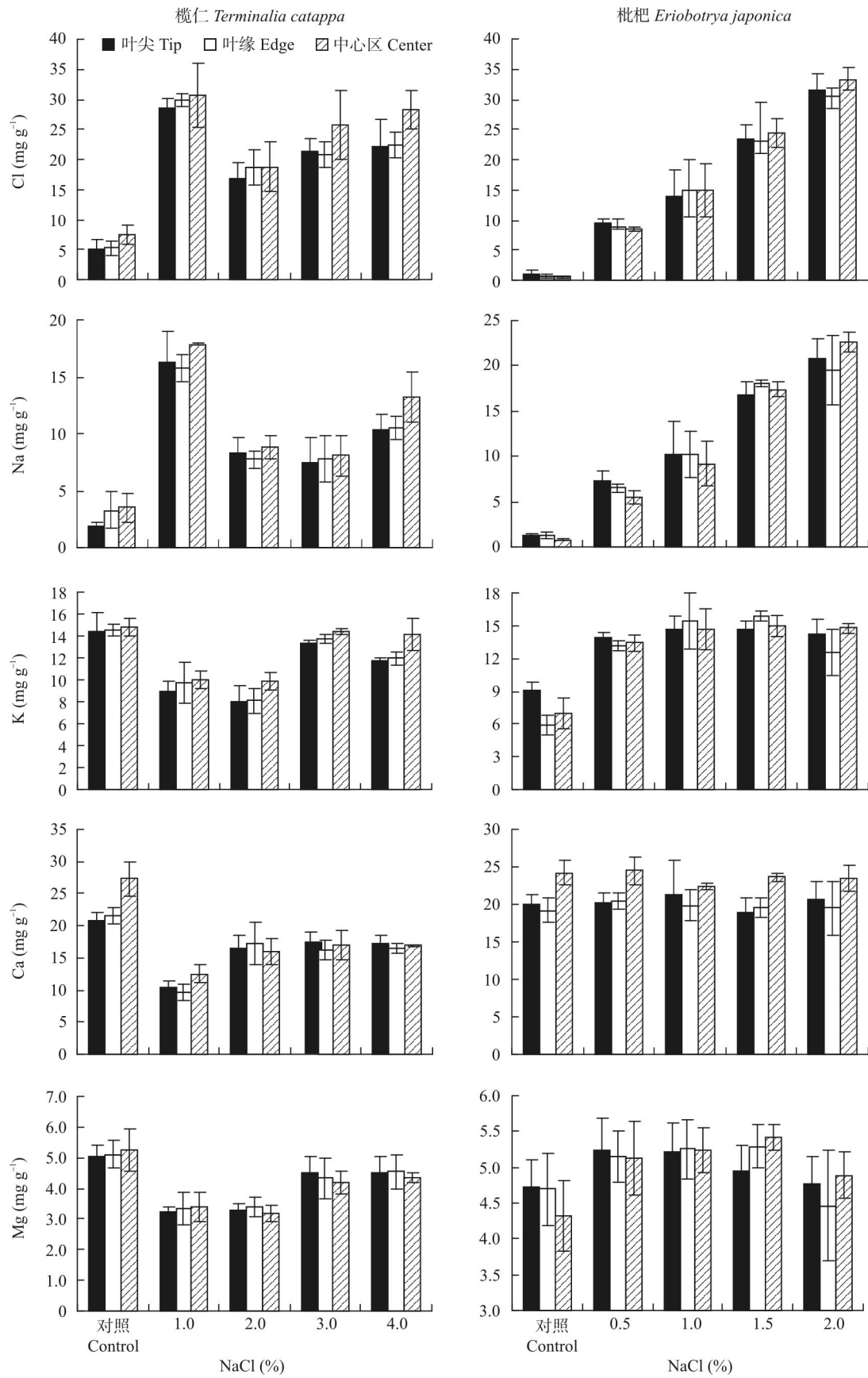


图 4 根系盐胁迫对榄仁和枇杷叶片各部分元素含量的变化

Fig. 4 Changes in mineral elements of *Terminalia catappa* and *Eriobotrya japonica* leaves under root NaCl stress

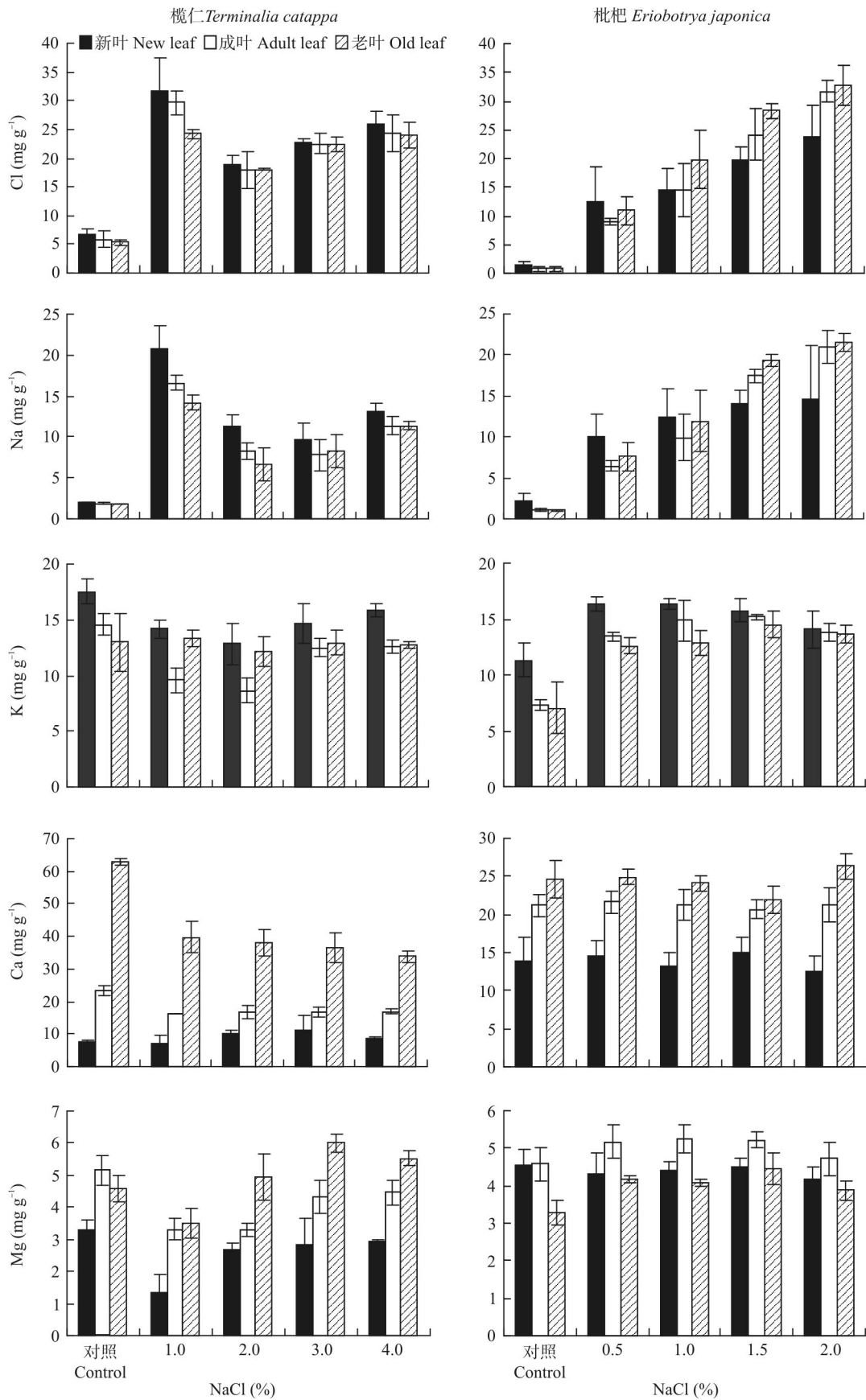


图 5 根系盐胁迫下榄仁和枇杷叶片各元素含量的变化

Fig. 5 Changes in mineral elements of *Terminalia catappa* and *Eriobotrya japonica* leaves under root NaCl stress

下,幼苗体内的 Na^+ 、 Cl^- 显著增加,其他元素虽然也各有变化,但 Na^+ 、 Cl^- 的增加量超过其他元素的减少量,所以盐胁迫下幼苗的灰分含量也增加。本研究中,枇杷幼苗在盐胁迫下,生物量有所升高,灰分含量增加是原因之一;此外,另一个重要原因可能是为了适应盐胁迫而生成了更多有机渗透调节物,这还要进一步深入研究。

榄仁幼苗的 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 在新叶分布最多, Ca^{2+} 在老叶分布最多, Mg^{2+} 在成叶分布最多;而枇杷幼苗的 Na^+ 、 Cl^- 在 0.5% NaCl 处理时主要分布在新叶, 1.0% NaCl 处理时主要分布在老叶, K^+ 含量均以新叶最高, Ca^{2+} 以老叶最高, Mg^{2+} 以成叶最高。孙永平等的研究表明,老叶对盐胁迫最敏感,新叶次之,成叶对盐胁迫的抗性最强^[22]。本研究中,枇杷(甜土植物)幼苗的 Na^+ 、 Cl^- 在 1% NaCl 处理的老叶最多,可知枇杷(甜土植物)幼苗比榄仁(盐生植物)幼苗对盐胁迫更敏感,枇杷比榄仁不耐盐。

生境中盐分超过一定浓度对植物(包括盐生植物和非盐生植物)就会造成伤害。在盐渍化生境中,植物细胞过量摄取 Na^+ 或 Cl^- 以后,首先破坏细胞的离子均衡(Ion homeostasis),引起一系列代谢反应,进而严重影响植物的生长发育,最终导致植物生长缓慢,发育不良^[23]。盐胁迫对植物造成的危害主要是离子毒害、渗透胁迫和营养不平衡^[24]。本研究中,NaCl 胁迫使幼苗体内的 Na^+ 、 Cl^- 显著增加,造成离子毒害。就离子毒害而言,盐害主要是 Na^+ 效应,还是 Cl^- 效应,尚很难定论。

在盐度很低的情况下, NaCl 对许多种植物(包括非盐生植物)的生长有一定的促进作用^[25],本文榄仁和枇杷的实验结果亦表现出低盐促进高盐抑制的趋势。即植物(盐生和非盐生植物)都有一定的抗盐性,不同点是盐生植物的抗盐性较大,非盐生植物的抗盐性较小而已。这也说明盐生植物和非盐生植物的区别是量上的不同,没有质的差别。从耐盐范围来看,榄仁在 2% NaCl 处理时才开始表现受害症状,而枇杷在 1.0% NaCl 处理时就表现出明显受害症状,即出现落叶、生长减慢甚至停滞等状况,但它们表现受害症状的时间和程度不同。

参考文献

[1] Zhang F Y, Zhang P, Chen Y Y. Effect of NaCl stress on germination

and seedling growth of different strains of velvet bean [J]. J NE Agri Univ, 2013, 44(1): 45–48.

张凤银, 张萍, 陈元元. NaCl胁迫对不同藜豆品种种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(1): 45–48.

[2] Zhang H X, Liu Z X, Liu Q F. Seedling growth and salt tolerance of tree species under NaCl stress [J]. Acta Ecol Sin, 2009, 29(5): 2263–2271.

张华新, 刘正祥, 刘秋芳. 盐胁迫下树种幼苗生长及其耐盐性 [J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2263–2271.

[3] Huang H. The molecular mechanism of salt response in *Chrysanthemum lavandulifolium* (Fisch. ex Trautv.) Makino [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012: 15–20.

黄河. 甘菊响应盐诱导的分子机理研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2012: 15–20.

[4] Zhang J F, Zhang X D, Zhou J X, et al. Effects of salinity stress on poplars seedling growth and soil enzyme activity [J]. Chin J Appl Ecol, 2005, 16(3): 426–430.

张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 盐分胁迫对杨树苗期生长和土壤酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 426–430.

[5] Gong W C, Zhuang L, Zhao W Q, et al. Anatomical structure and ecological adaptability of two kinds of halophytes [J]. Acta Ecol Sin, 2009, 29(12): 6764–6771.

公维昌, 庄丽, 赵文勤, 等. 两种盐生植物解剖结构的生态适应性 [J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6764–6771.

[6] Yang X H, Jiang W J, Wei M, et al. Review on plant response and resistance mechanism to salt stress [J]. J Shandong Agri Univ (Nat Sci), 2006, 37(2): 302–308.

杨晓慧, 蒋卫杰, 魏珉, 等. 植物对盐胁迫的反应及其抗盐机理研究进展 [J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2006, 37(2): 302–308.

[7] Ma Q, Bao A K, Wu G Q, et al. Plasma membrane Na^+/H^+ antiporter is involved in plant salt tolerance [J]. Chin Bull Bot, 2011, 46(2): 206–215.

马清, 包爱科, 伍国强, 等. 质膜 Na^+/H^+ 逆向转运蛋白与植物耐盐性 [J]. 植物学报, 2011, 46(2): 206–215.

[8] Mansour M M F, Salama K H A. Cellular basis of salinity tolerance in plants [J]. Environ Exp Bot, 2004, 52(2): 113–122.

[9] Yi L P, Wang Z W. Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes [J]. Acta Ecol Sin, 2011, 31(5): 1195–1202.

弋良朋, 王祖伟. 盐胁迫下3种滨海盐生植物的根系生长和分布 [J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1195–1202.

[10] Liu H C, Sun Z Y, Peng Z H. Effect of salt stress on the growth and some physiological characteristics in *Parthenocissus quinquefolia* cuttings [J]. Sci Silv Sin, 2004, 40(6): 63–67.

刘会超, 孙振元, 彭镇华. NaCl胁迫对五叶地锦生长及某些生理特性的影响 [J]. 林业科学, 2004, 40(6): 63–67.

[11] Aghaleh M, Niknam V, Ebrahimzadeh H, et al. Effect of salt

- stress on physiological and antioxidative responses in two species of *Salicornia* (*S. persica* and *S. europaea*) [J]. *Acta Physiol Plant*, 2011, 33(4): 1261–1270.
- [12] Ashraf M, Akram N A. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: An analytical comparison [J]. *Biotechn Adv*, 2009, 27(6): 744–752.
- [13] Shang H Y. Studies on mechanism of salt ions transportation and distribution in *Hibiscus hamabo* Sieb. et Zucc. [D]. Ji'nan: Shandong Normal University, 2010: 31–36.
商宏艳. 盐离子在海滨木槿体内运输与分配机制研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2010: 31–36.
- [14] Zhang Z L, Qu W J, Li X F. *Plant Physiology Experiment Guidance* [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2010: 88–91.
张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导 [M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2010: 88–91.
- [15] Tang Z C. *Modern Plant Physiology Experiment Guide* [M]. Beijing: Science Press, 1999: 51–62.
汤章城. 现代植物生理学实验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 51–62.
- [16] Li D X, Yuan H Y, Guo Y X, et al. Mixture solution soaking extraction efficiencies of chlorophyll from maize [J]. *J Maize Sci*, 2006, 14(1): 117–119.
李得孝, 员海燕, 郭月霞, 等. 混合液浸提法测定玉米叶绿素含量的研究 [J]. *玉米科学*, 2006, 14(1): 117–119.
- [17] Kong X S, Yi X F. *Plant Physiology Experiment Technology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 257–261.
孔祥生, 易现峰. 植物生理学实验技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 257–261.
- [18] Chang F C, Lu C M, Sha S. *Plant Biology Experiment* [M]. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 2007: 126–127.
常福辰, 陆长梅, 沙莎. 植物生物学实验 [M]. 南京: 南京师范大学出版社, 2007: 126–127.
- [19] Lin M, Wang W Q. Primary study of salt damage mechanisms of *Ficus altissima* Bl. in spooindrif area [J]. *J Xiamen Univ (Nat Sci)*, 2006, 45(2): 284–288.
林鸣, 王文卿. 浪花飞溅区高山榕盐害机制初步探讨 [J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2006, 45(2): 284–288.
- [20] Wang W Q, Lin P. Transfer of salt and nutrients in *Bruguiera gymnorhiza* leaves during development and senescence [J]. *Mangr Salt Marsh*, 1999, 3(1): 1–7.
- [21] Wang W Q, Zhang Q. *Salt-tolerant Plant Resources from Coastal Areas of South China (I)* [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2013: 15–22.
王文卿, 张琼. 南方滨海耐盐植物资源(一) [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2013: 15–22.
- [22] Sun Y P, Shao H P, Ji G J, et al. Effects of NaCl stress on photosynthetic and physiological indexes of strawberry leaves with different leaf ages [J]. *Acta Agri Jiangxi*, 2012, 24(2): 42–44.
孙永平, 邵和平, 季国军, 等. NaCl胁迫对草莓不同叶龄叶片光合及生理指标的影响 [J]. *江西农业学报*, 2012, 24(2): 42–44.
- [23] Yu P Y. Effects of potassiumion on physiological property of *Malus zumi* seedling under salt stress [D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2014: 11–31.
于沛玉. 盐胁迫下K⁺对珠美海棠幼苗生理特性的影响 [D]. 天津: 天津农学院, 2014: 11–31.
- [24] Liu Y L, Wang L J. *Plant responses to salt stress and salt resistance* [M]// *Plant Physiology and Molecular Biology*. 2nd ed. Beijing: Science Press, 1998: 752–769.
刘友良, 汪良驹. 植物对盐胁迫的反应和耐盐性 [M]// *植物生理与分子生物学*. 第2版. 北京: 科学出版社, 1998: 752–769.
- [25] Zhu J K. Genetic analysis of plant salt tolerance using *Arabidopsis* [J]. *Plant Physiol*, 2000, 124(3): 941–948.