

李霞,高树桃,吴红,等. NaCl 胁迫对 3 个桂花品种离子吸收和运输的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(23):116-122.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.23.017

NaCl 胁迫对 3 个桂花品种离子吸收和运输的影响

李霞¹,高树桃²,吴红¹,杨秀莲³,王良桂³

(1. 江苏农牧科技职业学院园林园艺学院,江苏泰州 225300; 2. 中衡设计集团股份有限公司,江苏苏州 215000;
3. 南京林业大学风景园林学院,江苏南京 210037)

摘要:以 3 个桂花品种大叶银桂、晚籽银桂和紫梗籽银桂为研究对象,采用不同浓度 NaCl 溶液胁迫处理,研究其生长状况及 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子在不同器官中的吸收运输及分配特征,分析 3 个桂花品种的耐盐性差异。结果表明,3 个桂花品种在 NaCl 胁迫下均表现为高度生长量降低,盐害指数和盐害率增加,以大叶银桂尤为明显。随着胁迫的增强,3 个桂花品种根、茎、叶中的 Na^+ 含量均表现为根 > 茎 > 叶,且显著大于对照。 K^+ 在紫梗籽银桂和晚籽银桂的叶片中维持着较高水平,高浓度胁迫下 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与对照相比差异不显著。NaCl 胁迫导致不同品种桂花根、茎、叶 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值显著降低,紫梗籽银桂 K^+ 含量及在叶片中 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值均高于其他 2 种。随着胁迫程度的增加,根向茎运输的 $S_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 、 $S_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 值为大叶银桂 > 晚籽银桂 > 紫梗籽银桂,茎向叶以及根向叶运输的 $S_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 、 $S_{\text{Mg}^{2+},\text{Na}^+}$ 值为紫梗籽银桂 > 晚籽银桂 > 大叶银桂,紫梗籽银桂的整体离子选择性运输能力高于大叶银桂和晚籽银桂。综合分析表明,3 个桂花品种耐盐性存在显著差异,其耐盐性强弱顺序为:紫梗籽银桂 > 晚籽银桂 > 大叶银桂。

关键词:盐胁迫;桂花;离子;吸收;运输

中图分类号:S685.130.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)23-0116-07

土壤盐渍化是指易溶性盐分在土壤表层积累的现象或过程,也称盐碱化。盐胁迫损害植物的细胞、组织和器官,阻碍植物生长,从而导致植物生物量锐减,是限制植物生长与分布最主要的环境因素之一^[1]。土壤中较高的盐离子含量造成植物的离子毒害及离子失衡,干扰植物对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等营养离子的吸收,造成植物营养成分的亏缺,从而影响植物的生长发育^[2]。为适应盐胁迫环境,植物通过积累大量无机盐离子渗透调节盐离子胁迫,将盐离子外排和离子区隔化,从而减弱盐离子对细胞的毒害^[3]。

桂花(*Osmanthus fragrans* Lour.)是木樨科木樨属植物,是我国传统十大名花之一,著名的香花树种,兼顾观赏与食用价值。同时,桂花四季常绿,病虫害少,树型美观,是一种绿化、美化、香化环境的优良园林树种和经济树种^[4]。但是盐渍化土壤严

重影响桂花的生长,使得桂花应用范围十分受限。目前,国内学者对桂花在 NaCl 胁迫下的幼苗生长、光合响应、生理特性及叶片超微结构进行了研究^[5-7],但对桂花各个器官中离子分布、吸收和运输的研究尚未见报道。本试验研究不同浓度 NaCl 胁迫下大叶银桂、晚籽银桂和紫梗籽银桂幼苗不同器官中 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量变化及其在各器官间的运输和分配特征,探讨盐胁迫下 3 种桂花的耐盐机制,为今后桂花品种的抗盐性选育和推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选用大叶银桂、晚籽银桂、紫梗籽银桂的 1 年生实生苗。

1.2 供试幼苗培育与处理

试验于 2021 年 4 月底在南京林业大学苗圃基地(118°48'42"E、32°04'34"N)进行,采集 3 个桂花品种(大叶银桂、晚籽银桂、紫梗籽银桂)的种子,经 15% 赤霉素处理后于恒温箱中培养至发芽,后移至温室继续培养,待小苗长出 5~6 张真叶后,挑选长势一致的植株定植于直径 8 cm、高度 12 cm 的花盆

收稿日期:2022-07-26

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:32071828)。

作者简介:李霞(1983—),女,江苏泰州人,硕士,讲师,主要从事园林植物栽培应用研究。E-mail:153074983@qq.com。

通信作者:杨秀莲,博士,教授,主要从事园林植物生理和栽培应用研究。E-mail:xly@njfu.edu.cn。

中,翌年6月进行盐胁迫处理。分别用40、70、100 mmol/L NaCl的Hogland营养液作为处理组浇灌幼苗,设不含NaCl的Hoagland溶液为对照组,每个品种240株,每个处理3个重复。为避免盐冲击效应,首次处理为40 mmol/L,每2 d浇灌预定浓度溶液1次,每次增加30 mmol/L,每次0.5 L/盆,直至预定浓度,达到各处理浓度的当天为处理0 d,盐胁迫30 d后结束试验。

1.3 指标测定

1.3.1 生长量 株高生长量 H :在盐胁迫处理前测定1次植株高度 H_1 ,盐胁迫30 d即处理结束后测定1次 H_2 ,植株高度生长量计算公式为 $H = H_2 - H_1$ 。每个处理测定10株,取平均值^[8]。

1.3.2 盐害指数 盐害指数:计算幼苗在不同浓度盐胁迫下的盐害指数,计算公式为:盐害指数 = $\Sigma(\text{盐害级值} \times \text{相应盐害级株数}) / (\text{总株数} \times \text{盐害最高级值}) \times 100\%$ ^[9]。

1.3.3 盐害率 盐害率:在试验结束后,对不同品种不同处理分别统计栽植总株数和出现盐害症状的株数。计算公式:盐害率 = 出现盐害症状株数/调查总株数 $\times 100\%$ ^[10]。

1.3.4 离子含量测定 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子含量采用浓硝酸-高氯酸消煮法,使用美国PE公司生产的OPTIMA-4300DV等离子发射光谱仪(ICP)测定。矿质离子 X 的选择吸收和运输系数的

计算参考杨帆等的方法^[11]。其中离子运输系数 $S_{X,\text{Na}^+} = \left(\frac{[X]_{\text{库器官}}}{[\text{Na}^+]_{\text{库器官}}} \right) / \left(\frac{[X]_{\text{源器官}}}{[\text{Na}^+]_{\text{源器官}}} \right)$,式中: X 为 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子含量; S_{X,Na^+} 值越大表示源器官控制 Na^+ 、促进 X 向库器官的运输能力越强,即库器官的选择性运输能力越强。

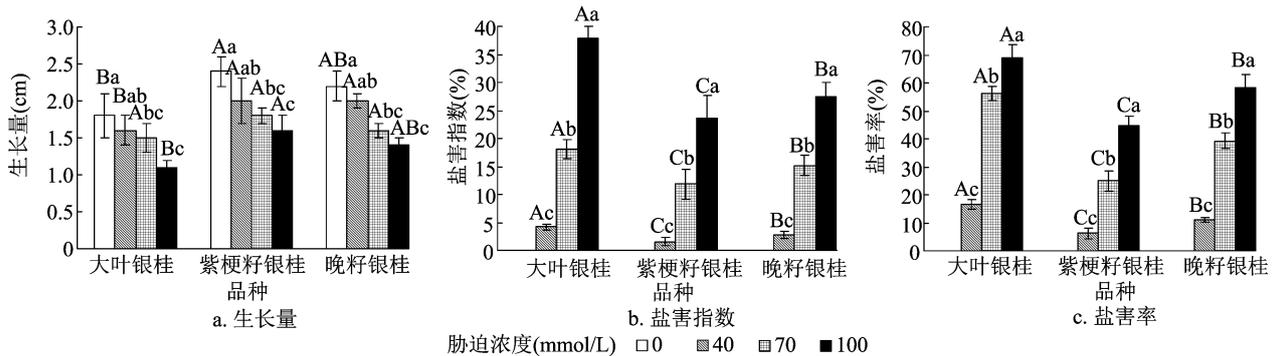
1.4 数据处理

所测数据使用Excel 2013绘制示意图表,用SPSS 23.0统计分析软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对3个品种桂花幼苗生长、盐害指数和盐害率的影响

由图1可知,随着NaCl浓度的增加,3个桂花品种幼苗的生长量都呈下降趋势,生长均受到不同程度的抑制,其中对大叶银桂生长量的抑制显著高于其他2种。随着NaCl浓度的增加,3个桂花品种的盐害指数和盐害率都呈增大趋势,在70 mmol/L NaCl胁迫下,大叶银桂、紫梗籽银桂、晚籽银桂的盐害指数分别为18.04%、11.88%、15.18%,盐害率分别为56.25%、25.00%、39.29%。在100 mmol/L NaCl胁迫下,大叶银桂、紫梗籽银桂、晚籽银桂的盐害指数分别为37.94%、23.66%、27.43%,盐害率分别为68.75%、44.64%、58.33%。大叶银桂的盐害指数和盐害率显著高于晚籽银桂和紫梗籽银桂。



柱上不同小写字母表示同一品种不同处理浓度间差异显著($P < 0.05$),柱上不同大写字母不同表示相同浓度下不同品种间差异显著($P < 0.05$)。下同

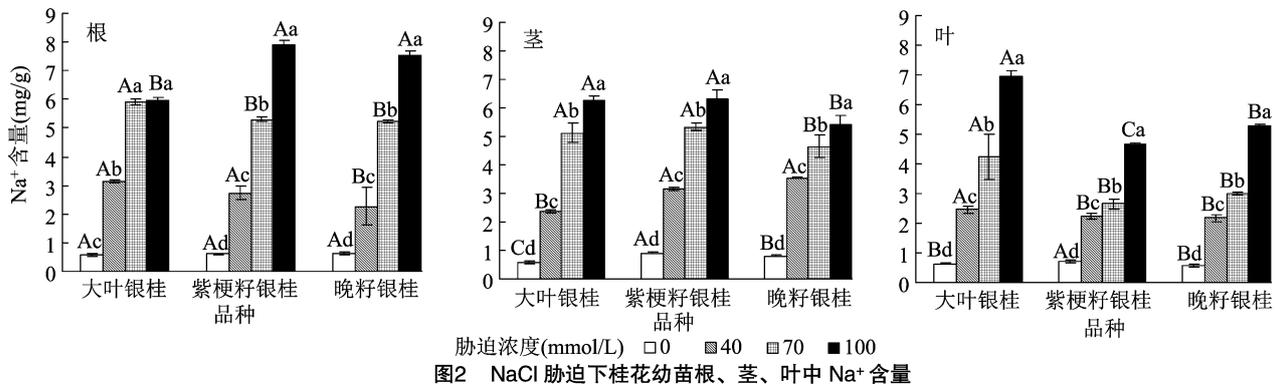
图1 不同浓度盐胁迫对桂花幼苗生长量、盐害指数和盐害率的影响

2.2 盐胁迫对3个品种桂花不同器官中 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量的影响

由图2可知,随着NaCl浓度的增大,3个品种桂花的根、茎、叶中的 Na^+ 含量均呈上升趋势,但增幅存在不同程度差异, Na^+ 含量均表现为根 > 茎 > 叶,说明随着盐浓度的增加, Na^+ 主要集中于桂花根和茎中。在100 mmol/L NaCl浓度下,紫梗籽银桂

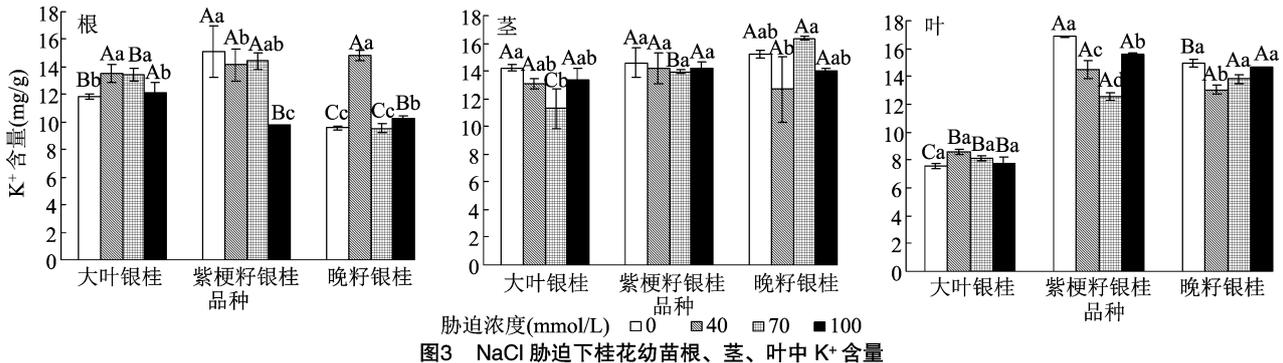
根中 Na^+ 含量达到最大值,为7.88 mg/g,大叶银桂叶中 Na^+ 含量达到最大值,为6.93 mg/g。在叶中 Na^+ 含量表现为大叶银桂 > 晚籽银桂 > 紫梗籽银桂,根中 Na^+ 含量表现为紫梗籽银桂 > 晚籽银桂 > 大叶银桂。

由图3可知,盐胁迫下 K^+ 在3个品种桂花根中的含量随盐浓度的增加呈不规律变化。大叶银桂根

图2 NaCl胁迫下桂花幼苗根、茎、叶中Na⁺含量

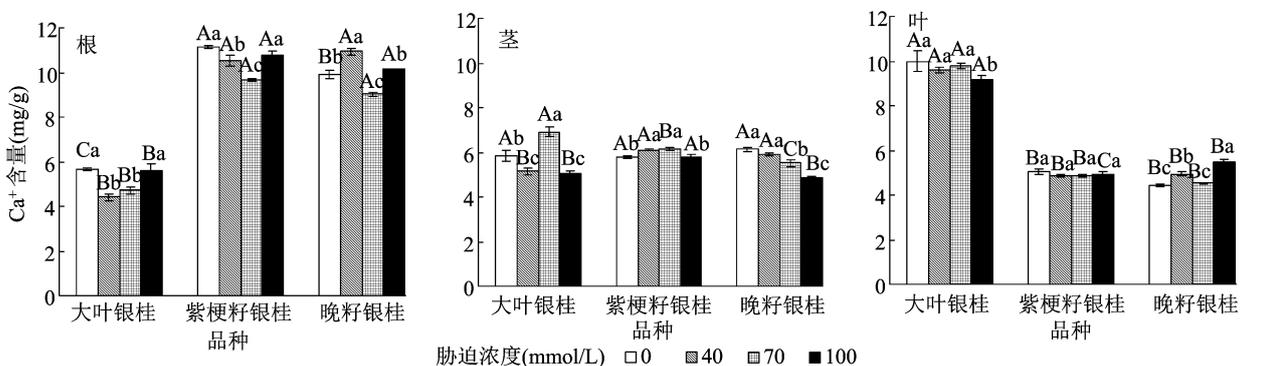
和叶中K⁺的含量随着NaCl浓度的增高呈先上升后下降的趋势,茎中则呈先降后升的趋势。大叶银桂根和茎中K⁺含量分别高于叶片37.23%、38.44%。在100 mmol/L NaCl浓度胁迫下紫梗籽银桂的根K⁺和叶K⁺含量比对照显著降低35.27%、7.76% (P < 0.05),而茎K⁺含量与对照差异不显著。晚籽

银桂在40 mmol/L胁迫下,根K⁺显著高于对照35.53%,而叶K⁺显著低于对照12.77% (P < 0.05),茎K⁺含量与对照差异不显著。整体上看,盐胁迫下紫梗籽银桂和晚籽银桂茎、叶中K⁺含量高于大叶银桂。

图3 NaCl胁迫下桂花幼苗根、茎、叶中K⁺含量

由图4可知,随着盐浓度的升高,大叶银桂和紫梗籽银桂根中Ca²⁺含量呈先降后升趋势,在晚籽银桂中则呈不规则波动。当NaCl浓度为100 mmol/L时,紫梗籽银桂根中Ca²⁺含量增加到最大,为

10.77 mg/g。比较Ca²⁺在不同器官中含量可知,大叶银桂Ca²⁺含量排序为叶 > 茎 > 根,而紫梗籽银桂和晚籽银桂则为根 > 茎 > 叶。

图4 NaCl胁迫下桂花幼苗根、茎、叶中Ca²⁺含量

由图5可知,当NaCl浓度为40 mmol/L时,3个桂花品种不同器官中的Mg²⁺含量与对照相比整体有不同程度的增加,说明低浓度的NaCl并不影响

植株对Mg²⁺的吸收。当NaCl浓度为100 mmol/L时,3个品种根、茎中Mg²⁺的含量均高于对照。叶片中3个桂花品种Mg²⁺的含量随盐浓度的增加均表现

为先后降趋势。大叶银桂的 Mg^{2+} 含量表现为根 > 叶 > 茎,紫梗籽银桂的 Mg^{2+} 含量表现为叶 > 根 > 茎,晚籽银桂的 Mg^{2+} 含量表现为叶 > 茎 > 根。不同程度

盐胁迫下,3个桂花品种在根中 Mg^{2+} 含量表现为大叶银桂 > 紫梗籽银桂 > 晚籽银桂,在叶片中 Mg^{2+} 含量表现为紫梗籽银桂 > 晚籽银桂 > 大叶银桂。

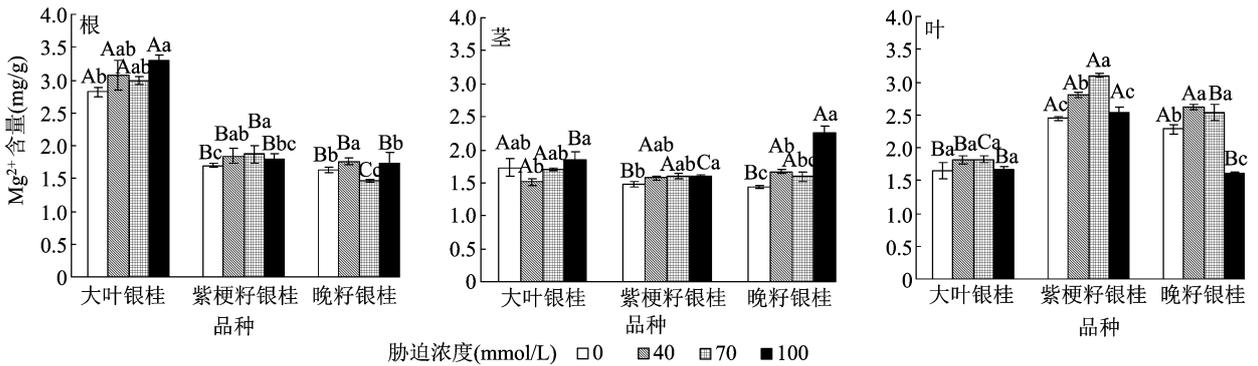


图5 NaCl胁迫下桂花幼苗根、茎、叶中 Mg^{2+} 含量

2.3 盐胁迫对离子含量比值和离子运输系数的影响

由图6至图8可知,盐胁迫下不同桂花品种各器官 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 随盐浓度的增加整体呈下降趋势。在 NaCl 浓度为 40 mmol/L 时,3个桂花品种各器官 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 比值迅速下降,随着盐浓度的增大,各比值下降变缓。另外,不同品种间各器官 K^+/Na^+ 、 $Ca^{2+}/$

Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 也存在显著差异 ($P < 0.05$)。具体表现为:盐胁迫下在叶片中紫梗籽银桂的 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 均值高于其他2个品种,说明紫梗籽银桂叶片对营养离子的吸收能力强于大叶银桂和晚籽银桂。在根、茎中,大叶银桂的 Ca^{2+}/Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 均值高于其他2个品种,说明大叶银桂的根、茎对 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的吸收要强于紫梗籽银桂和晚籽银桂。

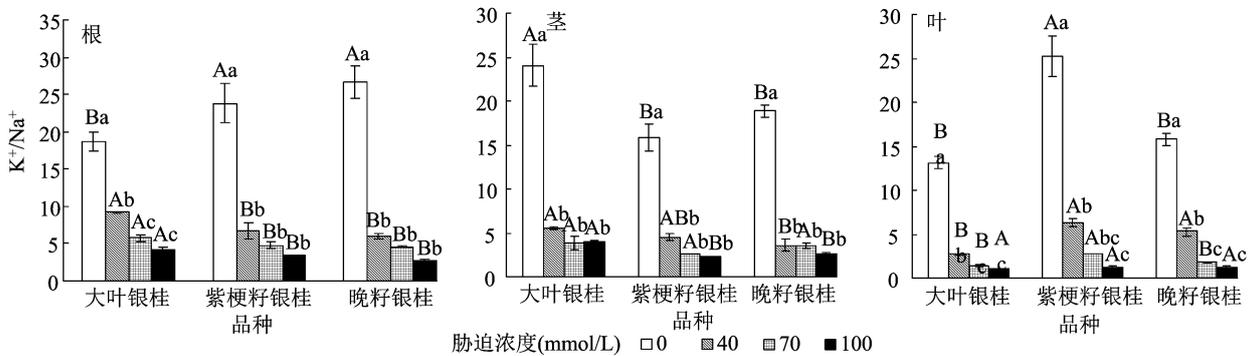


图6 NaCl胁迫下桂花幼苗根、茎、叶中 K^+/Na^+

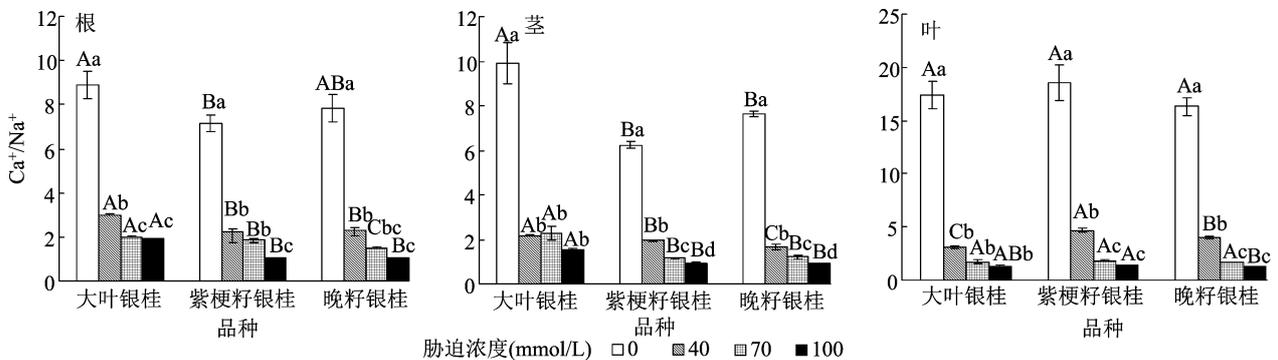
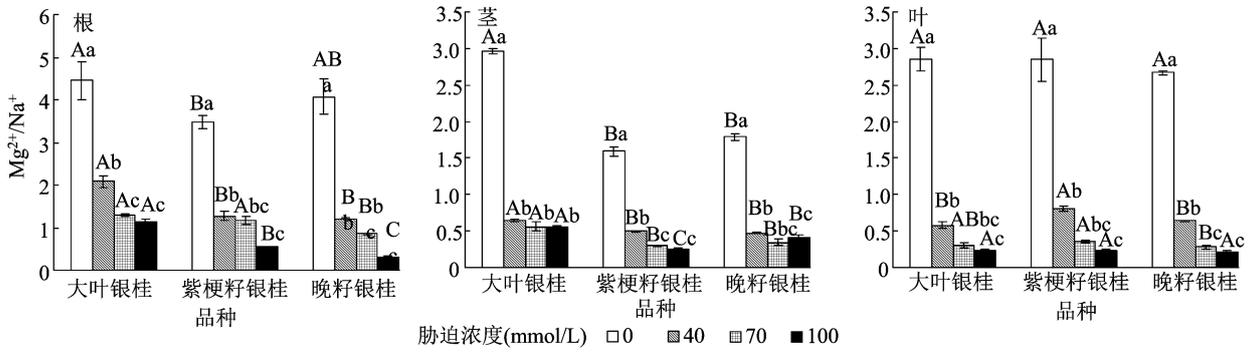
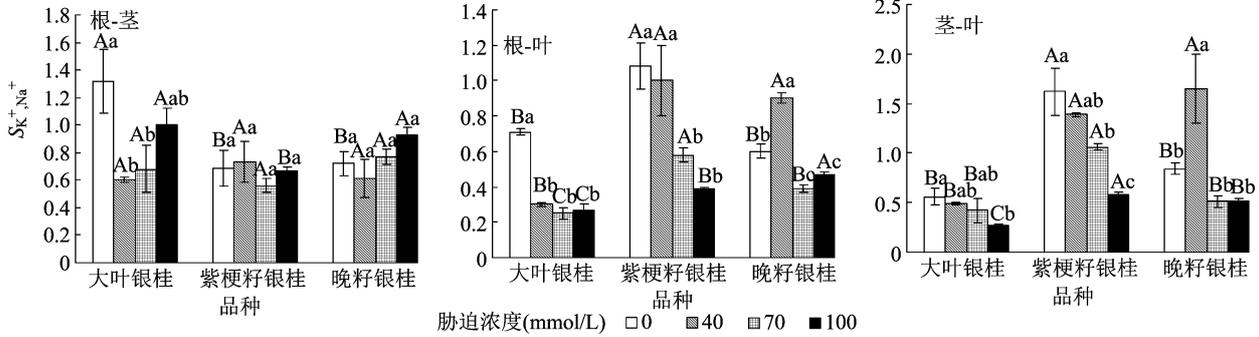
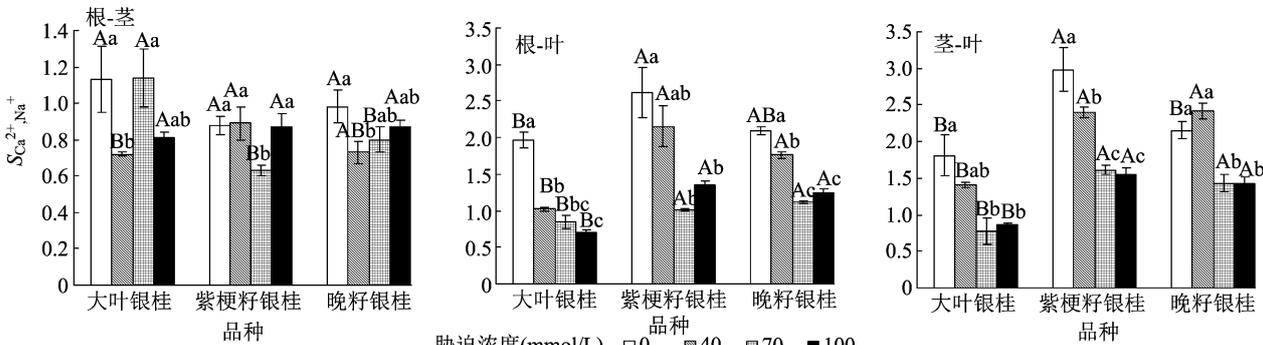
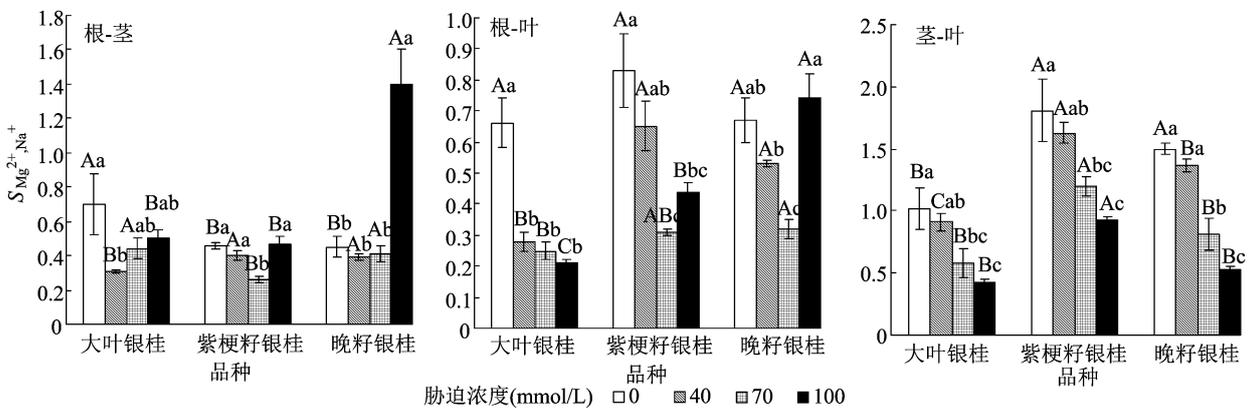


图7 NaCl胁迫下桂花幼苗根、茎、叶中 Ca^{2+}/Na^+

由图9至图11可知,在盐胁迫下,大叶银桂中从根到茎的 S_{K^+,Na^+} 、 S_{Mg^{2+},Na^+} 都低于对照且呈先降

后升的趋势, S_{Ca^{2+},Na^+} 在 NaCl 浓度 70 mmol/L 时趋于对照水平,而在低浓度和高浓度盐处理时均低于

图8 NaCl胁迫下桂花幼苗根、茎、叶中 Mg^{2+}/Na^{+} 图9 NaCl胁迫对桂花幼苗 $S_{K^{+},Na^{+}}$ 的影响图10 NaCl胁迫对桂花幼苗 $S_{Ca^{2+},Na^{+}}$ 的影响图11 NaCl胁迫对桂花幼苗 $S_{Mg^{2+},Na^{+}}$ 的影响

对照,整体波动明显,无一致趋势。从茎到叶、从根到叶的运输中,各离子运输系数整体上都呈下降趋

势。紫梗籽银桂从根到茎的 $S_{K^{+},Na^{+}}$ 、 $S_{Ca^{2+},Na^{+}}$ 、 $S_{Mg^{2+},Na^{+}}$ 整体呈先降后升的趋势。各离子从茎运输

到叶中时,均随盐浓度升高而下降,在中高浓度时降幅显著。从根到叶的各离子运输系数整体呈下降趋势,其中 S_{Ca^{2+},Na^+} 和 S_{Mg^{2+},Na^+} 在 NaCl 浓度 100 mmol/L 时略有回升。在晚籽银桂中,随盐浓度升高,从根到茎中各离子运输系数先缓慢降低后升高;从茎到叶中 S_{K^+,Na^+} 、 S_{Ca^{2+},Na^+} 呈先升后降趋势, S_{Mg^{2+},Na^+} 呈下降趋势。从根到叶中, S_{Ca^{2+},Na^+} 、 S_{Mg^{2+},Na^+} 先降后升,无一致趋势。

不同品种各器官间的 S_{K^+,Na^+} 、 S_{Ca^{2+},Na^+} 、 S_{Mg^{2+},Na^+} 也存在差异,从根到茎 S_{K^+,Na^+} 、 S_{Ca^{2+},Na^+} 均值表现为大叶银桂 > 晚籽银桂 > 紫梗籽银桂。从茎到叶以及从根到叶的 S_{K^+,Na^+} 、 S_{Mg^{2+},Na^+} 在不同程度盐胁迫下的均值表现为紫梗籽银桂 > 晚籽银桂 > 大叶银桂。

3 讨论与结论

盐分对植物形态发育有显著的影响,植物因碳同化量减少而导致生物量减少^[12],生长抑制是植物对盐渍响应最敏感的过程^[13]。生长量是评估植物受胁迫程度的重要指标之一^[14-15]。在本研究中,3 个桂花品种对盐胁迫的反应相似,随着 NaCl 浓度的增大,其高生长量均有不同程度的减少。其中紫梗籽银桂和晚籽银桂高度生长量均大于大叶银桂。盐害指数、盐害率越大,植物的耐盐性越弱^[16],随着盐浓度的升高 3 种桂花盐害指数和盐害率呈增加趋势。综合生长量、盐害指数和盐害率等因素,3 个桂花品种的耐盐性排序为紫梗籽银桂 > 晚籽银桂 > 大叶银桂,这与杨秀莲等的试验结果^[5]一致。

在盐胁迫下,盐离子和营养离子的竞争导致植物的离子失衡,进而影响根系对营养离子的吸收、运输和分配。随着 NaCl 浓度的增加,导致植物体内的 Na^+ 含量迅速聚集,造成了离子毒害和渗透胁迫。面对盐胁迫,植物一般采取直接排出和将其分隔至代谢缓慢的部位 2 种方式,植株的地上部分代谢比地下部分活跃,因而对 Na^+ 更敏感。从整株水平的调控来看,耐盐植物一般会减少 Na^+ 向地上部分的转移,将大部分 Na^+ 封闭在根中一些成熟细胞发育良好的液泡中,从而控制对 Na^+ 的运输,而盐敏感型植物则将 Na^+ 集中在叶中^[17]。本试验中, Na^+ 在桂花不同器官中分布的基本规律是根 > 茎 > 叶,植株利用根、茎中的 Na^+ 进行渗透调节,从而降低水势,使植株保持吸水,减轻生理干旱。这与鹅耳枥 (*Carpinus turczaninowii*)^[18]、沙枣 (*Elaeagnus angustifolia*

L.)^[19]、槲树 (*Quercus dentata*)^[20]、砂蓝刺头 (*Echinops gmelini*)^[21] 等植物将 Na^+ 截留在根部或根茎结合部,避免了其向叶片运输的耐盐机理类似。

K^+ 参与植物的光合作用、呼吸作用和物质的运输,是植物体重要的营养物质和无机渗透调节剂。 K^+ 具有调节渗透压、细胞膨压、光合作用及离子平衡等功能,与植物耐盐性密切相关。而 K^+ 和 Na^+ 的离子半径和水合能相似,拮抗效应明显^[22],导致植物对 K^+ 吸收减少。本试验中,在中盐胁迫下,紫梗籽银桂根 K^+ 与对照差异不显著,但在高盐胁迫下根 K^+ 显著降低。相反,叶 K^+ 在低、中、高盐胁迫下均显著下降,但在高盐胁迫下有所回升,说明紫梗籽银桂在高盐胁迫下增强了 K^+ 从根到叶的流动。研究认为维持高水平的 K^+ 和 K^+/Na^+ 是植物耐盐性的指标之一^[23],比较 3 个不同桂花不同器官的 K^+ 含量和 K^+/Na^+ 比值发现,紫梗籽银桂 K^+ 总含量和 K^+/Na^+ 均值高于其他 2 种,说明紫梗籽银桂根系通过增强 K^+ 的吸收来抑制根系过多地吸收 Na^+ ,从而保持细胞内的相对离子平衡状态,耐盐性较强,这一结果与陈少良等在杨树^[24]、胡爱双等在八棱海棠^[25] 的研究结果一致。

钙在生物膜中是磷脂的磷酸根和蛋白质的羧基间联系的桥梁,可维持膜结构稳定性且具有较高的选择性, Ca^{2+} 作为植物细胞壁的主要成分能稳定和保护细胞膜,调控植物代谢和发育^[26]。 Ca^{2+} 有利于提高植物地上部分对 K^+ 的选择吸收能力,能维持较高的 K^+/Na^+ ^[27], Na^+ 的毒性可以通过添加 Ca^{2+} 来降低, Ca^{2+} 可以抑制 Na^+ 的单向内流进入根部,控制 Na^+ 内流在植物耐盐性中起重要作用。 Mg^{2+} 是叶绿素的组成成分之一,缺少镁植物的叶绿素便不能合成。 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 可用来表示盐逆境对植物离子平衡的破坏程度,其值越低代表 Na^+ 对 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 吸收的抑制效应越强,植物受盐害也就越严重。本研究发现大叶银桂叶片对 Ca^{2+} 吸收较多,对 Mg^{2+} 吸收较少;紫梗籽银桂、晚籽银桂叶片对 Ca^{2+} 吸收较少,对 Mg^{2+} 吸收较多。在叶片中大叶银桂 Ca^{2+}/Na^+ 低于紫梗籽银桂,这主要与大叶银桂 Na^+ 主要集中在叶上有关。NaCl 胁迫使 3 种桂花各器官的 Ca^{2+}/Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 显著降低,尤其在低盐浓度下下降明显,主要是因为植物对 Na^+ 大量吸收干扰了对营养元素的吸收和转运,造成了离子的失衡,总的来看,紫梗籽银桂 Ca^{2+}/Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 值高于其他 2 种,这可能与其

耐盐性有密切关系,这与周琦等对鹅耳枥^[17]、韩志平等对小型西瓜^[28]的研究结果一致。

离子选择性运输系数表征植物向上运输离子的选择能力,盐胁迫下营养离子的选择性运输系数越大,表明植株促进营养离子和抑制盐离子向上运输的能力越强,根中的盐离子越多,代表耐盐性越强^[29]。本研究中,随着盐胁迫的增强,大叶银桂从根到茎的离子运输系数高于其他2种,但紫梗籽银桂从根到叶、茎到叶离子运输系数均高于大叶银桂和晚籽银桂。说明紫梗籽银桂通过增强 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的整体运输能力来抑制盐离子的运输,从而维持较高的生理代谢水平,促进植株的营养生长。这与乌凤章等对高丛越橘幼苗的研究结果^[30]基本一致。

综上所述,盐胁迫下3个桂花品种幼苗的生长、离子吸收和运输有显著差异,紫梗籽银桂盐害指数、盐害率均小于大叶银桂和晚籽银桂,其体内营养离子多且保持较高的离子含量比,整体离子选择性运输系数高于其他2种,故紫梗籽银桂有较强的耐盐能力,其次为晚籽银桂,大叶银桂最弱。紫梗籽银桂可适用于轻、中度盐渍化土壤的园林绿化环境中。

参考文献:

- [1] 教忠意,王保松,施士争,等. 林木抗盐性研究进展[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):60-64,73.
- [2] Kalhor N A, Rajpar I, Kalhor S A, et al. Effect of salts stress on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. American Journal of Plant Sciences, 2016, 7(15): 2257-2271.
- [3] Yang S H, Ji J, Wang G. Effects of salt stress on plants and the mechanism of salt tolerance [J]. World Science - Technology Research & Development, 2006, 28(4): 70-76.
- [4] 杨晓东. 明清时期江南私家园林中的桂花种植与景点题名意象研究[J]. 中国园林, 2020, 36(11): 123-126.
- [5] 杨秀莲,母洪娜,郝丽媛,等. 3个桂花品种对NaCl胁迫的光合响应[J]. 河南农业大学学报, 2015, 49(2): 195-198.
- [6] 顾恒,李玲,欧阳绮霞,等. 盐胁迫对3个桂花品种生长和生理特性的影响[J]. 中国野生植物资源, 2020, 39(10): 28-34.
- [7] 杨秀莲,王欣,高树桃,等. NaCl胁迫对5个桂花品种叶片超微结构的影响[J]. 西北植物学报, 2018, 38(9): 1634-1645.
- [8] 杨升,刘正祥,张华新,等. 3个树种苗期耐盐性综合评价及指标筛选[J]. 林业科学, 2013, 49(1): 91-98.
- [9] 李倩中,苏家乐,刘晓宏,等. 4种械属植物耐盐性差异的研究[J]. 江苏农业科学, 2009, 37(6): 227-228.
- [10] 刘春华,苏加楷,黄文惠. 禾本科牧草5个耐盐生理指标的研究[J]. 草业学报, 1993, 2(1): 45-54.
- [11] 杨帆,丁菲,杜天真. 盐胁迫下构树幼苗各器官中 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 和 Cl^- 含量分布及吸收特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 767-772.
- [12] 管志勇,陈发棣,滕年军,等. 5种菊花近缘种属植物的耐盐性比较[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 787-794.
- [13] 吴成龙,周春霖,尹金来,等. NaCl胁迫对菊芋幼苗生长及其离子吸收运输的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(11): 2289-2296.
- [14] 杨秀艳,张华新,张丽,等. NaCl胁迫对唐古特白刺幼苗生长及离子吸收、运输与分配的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(9): 165-171.
- [15] 石婧,刘东洋,张风华. 不同品种(品系)棉花对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(4): 828-835.
- [16] 张俊莲,陈勇胜,武季玲,等. 盐胁迫下马铃薯耐盐相关生理指标变化的研究[J]. 中国马铃薯, 2002, 16(6): 323-327.
- [17] Balal R M, Khan M M, Sanchez F G, Shahid M A, et al. Comparative studies on the physiobiochemical, enzymatic, and ionic modifications in salt-tolerant and salt-sensitive *Citrus* rootstocks under NaCl stress [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2012, 137(2): 86-95.
- [18] 周琦,祝遵凌. NaCl胁迫对2种鹅耳枥幼苗生长及离子吸收、分配与运输的影响[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(12): 7-16.
- [19] 刘正祥,张华新,杨秀艳,等. NaCl胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 326-336.
- [20] 郝汉,曹磊,陈伟楠,等. 盐胁迫对槲树(*Quercus dentata*)幼苗离子平衡及其生理生化特性的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(19): 6897-6904.
- [21] 杨小菊,赵昕,石勇,等. 盐胁迫对砂蓝刺头不同器官中离子分布的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 116-122.
- [22] 罗达,吴正保,史彦江,等. 盐胁迫对3种平欧杂种榛幼苗叶片解剖结构及离子吸收、运输与分配的影响[J]. 生态学报, 2022, 42(5): 1876-1888.
- [23] Poustini K, Siosemardeh A. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress [J]. Field Crops Research, 2004, 85(2/3): 125-133.
- [24] 陈少良,李金克,尹伟伦,等. 盐胁迫条件下杨树组织及细胞中钾、钙、镁的变化[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 84-88.
- [25] 胡爱双,张小栋,郭文静,等. 盐胁迫下八棱海棠株系的离子吸收、运输与分配[J]. 植物生理学报, 2021, 57(9): 1829-1838.
- [26] 王友平,刘德玺,孙明高,等. 绒毛白蜡营养器官中 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 的分布[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2009, 27(1): 27-29.
- [27] 叶利民. 硅对盐胁迫下水稻幼苗保护酶活性和离子吸收的影响[J]. 吉林农业科学, 2012, 37(3): 22-24.
- [28] 韩志平,郭世荣,郑瑞娜,等. 盐胁迫对小型西瓜幼苗体内离子分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 908-917.
- [29] Teakle N, Flowers T, Real D, et al. Lotus tenuis tolerates the interactive effects of salinity and waterlogging by 'excluding' Na^+ and Cl^- from the xylem [J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58(8): 2169-2180.
- [30] 乌凤章,王贺新. 盐胁迫对高丛越橘幼苗生长及离子平衡的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(11): 3335-3341.