

邹晓君, 列志旸, 薛立. NaCl 胁迫对 4 种园林植物养分含量和贮量的影响[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(6): 77-84.

NaCl 胁迫对 4 种园林植物养分含量和贮量的影响

邹晓君, 列志旸, 薛立

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探讨 NaCl 胁迫对大红花 *Hibiscus rosa-sinensis*、龙船花 *Ixora chinensis*、鹅掌藤 *Schefflera arboricola* 和朱蕉 *Cordyline fruticosa* 元素含量和贮量的影响, 为盐胁迫下的植物养分管理提供科学依据。【方法】选取上述 4 种园林植物为材料, 采用模拟盐胁迫环境的方法, 设置 w 为 0(对照)、0.3% 和 0.6% NaCl 胁迫水平, 分析 4 种园林植物的 Na、Cl、N、P 和 K 含量及贮量。【结果】各植物不同器官的 Na、Cl、N、P 和 K 质量分数分别为 0.30~19.66、0.12~25.79、5.72~23.86、0.92~2.86 和 6.77~26.67 g·kg⁻¹。NaCl 胁迫使各器官的 Na 和 Cl 含量大幅度增加。大红花、龙船花各器官的 N 含量均随 NaCl 胁迫浓度增加而显著升高, 鹅掌藤和朱蕉各器官的 N 含量、4 种园林植物各器官的 P 含量及叶片和茎的 K 含量变化无明显规律, 4 种园林植物根的 K 含量均减少。NaCl 胁迫增加了 4 种园林植物各器官的 Na 贮量(鹅掌藤的根除外), 增加了大红花、龙船花和朱蕉各器官的 Cl 贮量, NaCl 胁迫减少了大红花根以外的植物各器官的 N 贮量及 4 种植物的 P 和 K 贮量。NaCl 胁迫后, Na 和 Cl 贮量的变化幅度比 N、P 和 K 大, 且主要集中在叶和茎。除朱蕉的根以外, 所有植物器官的 K⁺/Na⁺含量比均随 NaCl 胁迫浓度的增加而降低, 且除龙船花以外的其他植物叶和根的 K⁺/Na⁺含量比下降幅度小于茎, 大红花和鹅掌藤的各器官 K⁺/Na⁺含量比下降幅度小于龙船花和朱蕉。【结论】本研究的 4 种园林植物中, 大红花和鹅掌藤抵御盐害的能力较强。

关键词: NaCl 胁迫; 园林植物; 元素含量; 贮量
中图分类号: Q946 文献标志码: A 文章编号: 1001-411X(2018)06-0077-08

Effects of NaCl stress on element contents and accumulations of four landscape plant species

ZOU Xiaojun, LIE Zhiyang, XUE Li

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】 To investigate the effects of NaCl stress on element contents and accumulations of *Hibiscus rosa-sinensis*, *Ixora chinensis*, *Schefflera arboricola* and *Cordyline fruticosa*, and provide a scientific basis for nutrient management of plants under NaCl stress. 【Method】 The above four landscape plant species were selected as materials and treated by three NaCl concentrations (0, 0.3% and 0.6%) to analyze the contents and accumulations of Na, Cl, N, P, and K in these plants. 【Result】 The contents of Na, Cl, N, P, and K in different organs of above landscape plants ranged from 0.30 to 19.66, 0.12 to 25.79, 5.72 to 23.86, 0.92 to 2.86 and 6.77 to 26.67 g·kg⁻¹, respectively. NaCl stress greatly increased Na and Cl contents in different organs of four species. N contents in all organs of *H. rosa-sinensis* and *I. chinensis* significantly increased with the increase of NaCl stress concentration. N contents in all organs of *S. arboricola* and *C. fruticosa*, P contents in all

organs and K contents in leaves and stems of four species varied irregularly. K contents in roots of four species decreased. NaCl stress increased Na accumulations in all organs of four species (except that in roots of *S. arboricola*), and Cl accumulations in all organs of *H. rosa-sinensis*, *I. chinensis* and *C. fruticosa*, and decreased N accumulations in all organs of four species except that in roots of *H. rosa-sinensis*, and P and K accumulations of four species. The change ranges of Na and Cl accumulations were greater than those of N, P and K under NaCl stress, and Na and Cl mainly accumulated in leaves and stems. The ratios of K^+/Na^+ in all plant organs decreased with the increase of NaCl stress concentration except that in roots of *C. fruticosa*. The decrease ranges of K^+/Na^+ ratio in leaves and roots of *H. rosa-sinensis*, *S. arboricola* and *C. fruticosa* were less than those in stems, while those in all organs of *H. rosa-sinensis* and *S. arboricola* were less compared with *I. chinensis* and *C. fruticosa*. 【Conclusion】 In these four landscape plants, *H. rosa-sinensis* and *S. arboricola* have relatively stronger salt-resistance abilities.

Key words: NaCl stress; landscape plant; element content; accumulation

土壤盐渍化主要是氯化钠产生的对植物的非生物胁迫^[1],并随着全球气候变化而呈加剧趋势^[2-3],对自然环境及植物生长产生严重影响^[4]。在生态系统中,植物主要利用 K^+ 、 Na^+ 及 Cl^- 进行渗透调节,但是过量的 Na^+ 和 Cl^- 积累在植物体内会破坏细胞内的离子和水分平衡,对植物造成不同程度的伤害^[5-6],包括抑制植物体内其他酶的活性,损害细胞膜结构的完整性及丧失细胞器功能,影响对植物养分的吸收^[7],导致植物养分亏缺,营养代谢紊乱^[8-11]。在植物生长发育过程中,N、P、K 是植物生长必需的大量矿质元素,这些元素与 Na^+ 和 Cl^- 等矿物质离子产生的交互作用会导致植物组织的盐分离子积累和必需营养元素的需求变化^[12],因此研究 N、P、K 等元素含量是了解和评价植物生长发育状况的有效方法^[13]。目前,我国对盐胁迫下植物的元素含量和贮量研究主要集中在棉花 *Gossypium hirsutum*^[14]、马铃薯 *Solanum tuberosum*^[15]、水稻 *Oryza sativa*^[16]等农作物,沙枣 *Elaeagnus angustifolia*^[17]、鹅耳枥 *Carpinus betulus*^[18]、野皂荚 *Gleditsia microphylla*^[19]、中山杉 *Taxodium hybrid* ‘Zhongshanshan’^[20]等树种上,鲜见关于盐胁迫下园林灌木元素变化的报道。

本研究中所选用的大红花 *Hibiscus rosa-sinensis*、龙船花 *Ixora chinensis*、鹅掌藤 *Schefflera arboricola*、朱蕉 *Cordyline fruticosa* 是华南地区重要的园林绿化植物,常种植于含盐量较高的滨海地区。目前,对以上 4 种园林植物的研究主要集中在生理^[4, 21]、光合^[22]、荧光特性^[1, 23]、植物配置和景观营造^[24-25]等方面。本文通过人工模拟 NaCl 胁迫环境,对其植株和各器官的 Na、Cl、N、P、K 含量和贮量进行分析,旨

在了解这 4 种园林植物的抗盐特性,为盐碱地的生态修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究在广州市华南农业大学林学与风景园林学院进行,试验地属于亚热带季风气候,一年中最热月份是 7 月,平均温度达 28.7℃;最冷月份是 1 月,平均温度为 13.5℃。雨量充沛,主要集中在 4—6 月份,年降水量约 1 736 mm,年均相对湿度为 77%。

1.2 试验材料

本试验所用的园林植物包括大红花、龙船花、鹅掌藤和朱蕉,均为 1 年生实生苗。2016 年 5 月将 4 种苗全部移栽至规格为直径 20 cm、高 30 cm 的盆中,盆内土壤基质为黄心土和荷兰土,以质量比 3:1 比例混合配制,且每盆定值 1 株。试验开始时 4 种幼苗的基本概况见表 1,试验结束时 4 种幼苗的生物量见表 2。

表 1 4 种园林植物的基本情况
Table 1 General characteristics of four landscape plant species

园林植物	地径/cm	冠幅/cm	苗高/cm
大红花	0.43±0.05	26.5±6.28	18.0±2.91
龙船花	0.45±0.04	24.5±4.90	15.9±2.28
鹅掌藤	0.69±0.10	20.1±4.07	19.8±2.97
朱蕉	0.85±0.19	40.7±5.85	37.0±5.87

1.3 试验方法

使用 NaCl 溶液调节不同盐分浓度,并运用梯度法对 4 种植物进行盐分梯度设置:在预试验
<http://xuebao.scau.edu.cn>

表 2 NaCl 胁迫条件下 4 种园林植物各器官的单株干质量
Table 2 Dry mass of different organs per plant in four landscape plant species under NaCl stress

园林植物	w(NaCl)/%	单株干质量/g				
		叶	茎	根	地上部分	全株
大红花	0(CK)	1.76±0.07	1.70±0.08	0.63±0.01	3.46±0.28	4.09±0.40
	0.3	1.35±0.02	1.09±0.01	0.60±0.01	2.45±0.06	3.04±0.09
	0.6	1.06±0.02	0.86±0.01	0.44±0.02	1.92±0.05	2.36±0.08
龙船花	0(CK)	3.13±0.21	1.84±0.09	0.95±0.02	4.98±0.83	5.92±1.10
	0.3	1.20±0.04	0.82±0.02	0.45±0.01	2.02±0.12	2.47±0.17
	0.6	1.15±0.05	0.87±0.01	0.40±0.01	2.02±0.12	2.42±0.17
鹅掌藤	0(CK)	6.25±0.91	2.13±0.08	2.41±0.15	8.38±1.38	10.80±2.22
	0.3	4.72±0.46	0.72±0.01	1.27±0.05	5.44±0.54	6.71±0.85
	0.6	4.25±0.41	0.60±0.01	0.93±0.11	4.85±0.54	5.78±0.70
朱蕉	0(CK)	4.34±0.57	2.22±0.12	3.00±0.29	6.56±1.10	9.56±2.11
	0.3	2.34±0.31	1.49±0.04	1.65±0.10	3.83±0.26	5.48±0.56
	0.6	2.29±0.30	1.47±0.09	1.85±0.05	3.76±0.34	5.61±0.61

的基础上,将盐分和土壤干质量之比分别设置为 0(对照)、0.3% 和 0.6% 的盐胁迫浓度处理,把 NaCl 纯溶液浇到相应的花盆中,每个梯度 NaCl 纯溶液分 3 次浇灌,每隔 1 d 浇 1 次。其中以浇灌等量的无离子水作为对照(CK),每种处理 15 个重复,4 种植物共 180 个样品。为确保盆中盐分总量,花盆底部用托盘承接。试验开始时,严格控制样品苗木的浇水量,以利于加盐后盐分在干燥土壤中充分扩散。处理后的样品苗木,每天各盆浇水 50 mL,并将盘内渗出水分及时返盆。

根据余汉基等^[1]、郑欣颖等^[4]和蔡金桓等^[22]试验方法,在 4 种植物经过 2 种不同浓度盐胁迫处理 30 d 后,同一浓度每种植物各取 10 株生长状态良好的整株植物。将植株用无菌水冲洗 3 次,分成叶、茎和根 3 部分,称量植株各器官部位的鲜质量,再将其分别装入信封并编号,烘干后测其干质量。随后将干质量样品充分研磨,用于分析测定 N、P、K、Na 和 Cl 的含量。全 N 含量用开氏-蒸馏滴定法测定;分析待测液用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后,试液中的 P 含量采用钼锑抗比色法测定,K 和 Na 含量用火焰光度法测定;Cl 含量采用离子色谱法测定。

元素贮量=生物量×元素含量。

1.4 数据统计分析

采用软件 SAS 9.3 及 Microsoft Excel 2003 进行数据统计分析。

<http://xuebao.scau.edu.cn>

2 结果与分析

2.1 植物的元素含量

由表 3 可知,各植物不同器官的 Na 含量均随着盐胁迫浓度的增加而显著增加 ($P<0.05$)。在 w(NaCl) 为 0.3% 的胁迫条件下,植物叶片的 Na 含量为大红花>龙船花>朱蕉>鹅掌藤,茎为鹅掌藤>朱蕉>龙船花>大红花,根为鹅掌藤>大红花>龙船花>朱蕉;在 w(NaCl) 为 0.6% 胁迫条件下,叶片的 Na 含量为大红花>龙船花>朱蕉>鹅掌藤,茎的 Na 含量为龙船花>朱蕉>鹅掌藤>大红花,根的 Na 含量为龙船花>鹅掌藤>大红花>朱蕉。

由表 3 可知,各植物不同器官的 Cl 含量均随着 NaCl 胁迫浓度的增加而显著增加 ($P<0.05$)。在 w(NaCl) 为 0.3% 和 0.6% 胁迫条件下,植物叶片的 Cl 含量均为朱蕉>大红花>龙船花>鹅掌藤,植物茎的 Cl 含量均为鹅掌藤>朱蕉>龙船花>大红花,植物根的 Cl 含量分别为大红花>朱蕉>龙船花>鹅掌藤和龙船花>朱蕉>鹅掌藤>大红花。

由表 3 可知,大红花、龙船花的各器官 N 含量均随 NaCl 胁迫浓度增加而显著升高 ($P<0.05$),其他植物 N 含量变化各异。在 w(NaCl) 为 0.3% 和 0.6% 胁迫条件下,植物叶片的 N 含量为大红花>朱蕉>龙船花>鹅掌藤,植物茎和根的 N 含量均为龙船花>大红花>鹅掌藤>朱蕉。在 w(NaCl) 为 0.3% 和 0.6% 胁迫条件下,4 种植物各器官的 P 含量及叶片和茎的 K 含量呈现无规律变化,根的 K 含量下降。

表 3 NaCl 胁迫条件下 4 种园林植物叶、茎和根的元素含量¹⁾

Table 3 Element contents in leaves, stems and roots of four landscape plant species under NaCl stress

园林植物	w(NaCl)/%	w _叶 /(g·kg ⁻¹)				
		Na	Cl	N	P	K
大红花	0(CK)	9.25±0.08c	10.43±0.12c	20.34±0.09c	2.64±0.00a	24.39±0.32a
	0.3	14.84±0.16b	19.47±0.06b	21.77±0.05b	2.48±0.02b	18.28±0.20c
	0.6	19.66±0.19a	25.79±0.16a	23.86±0.01a	2.33±0.01c	19.59±0.14b
龙船花	0(CK)	2.15±0.05c	4.33±0.09c	13.66±0.04c	0.92±0.00b	10.38±0.11b
	0.3	8.22±0.12b	13.58±0.08b	14.92±0.07b	1.24±0.02a	11.37±0.39a
	0.6	12.79±0.14a	23.67±0.25a	15.48±0.17a	1.25±0.00a	11.32±0.12a
鹅掌藤	0(CK)	0.93±0.02c	4.38±0.05b	11.24±0.21c	1.28±0.00c	14.10±0.08b
	0.3	2.43±0.03b	7.87±0.07a	13.55±0.20a	1.46±0.01b	16.40±0.18a
	0.6	2.73±0.11a	7.51±0.33a	12.80±0.21b	1.51±0.01a	14.25±0.13b
朱蕉	0(CK)	0.30±0.00c	11.94±0.07c	17.68±0.28a	2.36±0.01a	20.19±0.18b
	0.3	3.75±0.15b	22.40±0.19b	17.47±0.19a	2.06±0.02b	25.45±0.33a
	0.6	7.64±0.08a	30.71±0.20a	17.41±0.14a	2.37±0.01a	25.58±0.26a

园林植物	w(NaCl)/%	w _茎 /(g·kg ⁻¹)				
		Na	Cl	N	P	K
大红花	0(CK)	1.03±0.03b	4.07±0.09c	7.41±0.16b	2.12±0.01a	18.63±0.17a
	0.3	3.84±0.09a	7.44±0.04b	9.32±0.16a	2.14±0.03a	18.77±0.04a
	0.6	3.87±0.07a	9.30±0.33a	9.54±0.07a	1.74±0.02b	17.41±0.34b
龙船花	0(CK)	0.81±0.02c	2.80±0.06b	8.84±0.01c	1.57±0.01c	10.44±0.30b
	0.3	4.69±0.07b	9.58±0.08a	9.42±0.10b	2.86±0.02a	11.97±0.09a
	0.6	8.52±0.13a	13.86±0.03b	11.60±0.17a	2.75±0.02b	10.67±0.37b
鹅掌藤	0(CK)	1.38±0.03c	7.21±0.05c	6.14±0.08c	2.36±0.03c	23.75±0.27c
	0.3	5.63±0.16a	12.74±0.05b	8.73±0.16a	3.05±0.02a	26.67±0.17a
	0.6	7.79±0.06b	20.28±0.19a	8.40±0.06b	2.45±0.03b	25.24±0.11b
朱蕉	0(CK)	1.06±0.02c	1.76±0.06c	5.72±0.16c	2.35±0.03a	12.61±0.32a
	0.3	5.16±0.08b	12.01±0.08b	7.33±0.17b	1.88±0.02c	10.60±0.28b
	0.6	8.09±0.05a	17.75±0.02a	7.81±0.06a	1.96±0.04b	10.68±0.18b

园林植物	w(NaCl)/%	w _根 /(g·kg ⁻¹)				
		Na	Cl	N	P	K
大红花	0(CK)	3.13±0.11c	3.48±0.11c	9.87±0.02c	1.92±0.02a	20.63±0.34a
	0.3	5.47±0.07b	6.55±0.18b	10.61±0.13b	1.82±0.01b	12.11±0.06b
	0.6	6.26±0.08a	7.21±0.10a	11.45±0.11a	1.76±0.02c	12.05±0.14b
龙船花	0(CK)	0.91±0.02c	0.12±0.01c	12.69±0.05c	1.95±0.04c	12.23±0.13a
	0.3	5.19±0.07b	5.73±0.05b	13.53±0.18b	2.73±0.03a	10.49±0.05b
	0.6	9.11±0.07a	15.29±0.38a	14.25±0.16a	2.03±0.01b	12.07±0.18a
鹅掌藤	0(CK)	3.37±0.29c	4.85±0.02c	9.13±0.02c	1.53±0.02b	18.67±0.16a
	0.3	6.32±0.10a	5.43±0.08b	10.53±0.15b	1.77±0.04a	17.66±0.28b
	0.6	6.51±0.14a	9.77±0.18a	11.32±0.06a	1.58±0.01b	15.25±0.20c
朱蕉	0(CK)	1.75±0.03c	0.12±0.01c	7.45±0.12c	2.24±0.02a	11.28±0.30a
	0.3	3.84±0.10b	6.16±0.13b	7.89±0.02b	1.33±0.02c	6.77±0.12c
	0.6	4.58±0.28a	10.77±0.09a	9.37±0.17a	1.58±0.00b	8.52±0.04b

1)同树种同指标的同列数据后,凡具有一个相同字母者表示差异不显著($P>0.05$, Duncan's法)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

由表 4 可知,随着 NaCl 胁迫浓度的增加,4 种园林植物各器官的 K^+/Na^+ 含量比逐渐降低。对各器官 K^+/Na^+ 含量比的下降幅度进行排序:大红花为茎>根>叶,龙船花为根>茎>叶,鹅掌藤为茎>叶>根,朱蕉为叶>茎>根,总体来看,茎的 K^+/Na^+ 含量比下降幅度大于根和叶,龙船花和朱蕉的 K^+/Na^+ 含量比下降幅度大于大红花和鹅掌藤。

2.2 植物各器官元素贮量

由表 5 可知,由植物各器官的生物量和元素含量相乘,得出各器官的元素贮量。除了鹅掌藤的根外,NaCl 胁迫的 4 种植物各器官的 Na 贮量均大幅

增加,其中龙船花和朱蕉的 Na 贮量随 NaCl 胁迫浓度的增加而增加。与对照相比,NaCl 胁迫的大红花、龙船花和朱蕉各器官的 Cl 贮量均有增加,其中龙船花和朱蕉的 Cl 贮量随 NaCl 浓度的增加而增加;NaCl 胁迫的鹅掌藤叶的 Cl 贮量高于对照,而茎和根的 Cl 贮量低于对照。

由表 6 可知,除了大红花的根外,其余植物各器官的 N 贮量比对照减少,其中鹅掌藤各器官的 N 贮量随 NaCl 胁迫浓度的增加而减少。除了 $w(NaCl)$ 为 0.3% 胁迫条件下大红花根的 P 贮量与对照相同以外,其余 NaCl 胁迫条件下植物各器官

表 4 NaCl 胁迫条件下 4 种园林植物各器官的 K^+/Na^+ 含量比¹⁾
Table 4 The ratios of K^+/Na^+ in different organs of four landscape plant species under NaCl stress

园林植物	$w(NaCl)/\%$	叶	茎	根
大红花	0(CK)	2.64a	18.12a	6.59a
	0.3	1.23b	4.89b	2.21b
	0.6	1.00c	4.50b	1.92b
龙船花	0(CK)	4.83a	12.93a	13.39a
	0.3	1.38b	2.55b	2.02b
	0.6	0.89c	1.25c	1.33b
鹅掌藤	0(CK)	15.20b	17.26a	5.53a
	0.3	6.76a	4.73b	2.79b
	0.6	5.21a	3.24c	2.34b
朱蕉	0(CK)	54.53a	11.87a	6.44a
	0.3	18.50b	2.06b	1.76b
	0.6	4.07c	1.32c	1.86b

1)同种植物的同列数据后,凡是具有一个相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$, Duncan's法)

表 5 NaCl 胁迫条件下 4 种园林植物各器官的 Na 和 Cl 的贮量¹⁾
Table 5 Na and Cl accumulations in different organs of four landscape plant species under NaCl stress

园林植物	$w(NaCl)/\%$	Na贮量/($g\cdot m^{-2}$)			Cl贮量/($g\cdot m^{-2}$)		
		叶	茎	根	叶	茎	根
大红花	0(CK)	0.27c	0.03b	0.03a	0.31b	0.12a	0.04b
	0.3	0.33b	0.07a	0.05a	0.44a	0.14a	0.07a
	0.6	0.35a	0.06a	0.05a	0.45a	0.13a	0.05b
龙船花	0(CK)	0.11c	0.02c	0.01c	0.23c	0.09c	0.01c
	0.3	0.16b	0.06b	0.04b	0.27b	0.13b	0.04b
	0.6	0.25a	0.12a	0.06a	0.46a	0.20a	0.10a
鹅掌藤	0(CK)	0.10b	0.05b	0.14a	0.46c	0.26a	0.20a
	0.3	0.19a	0.07a	0.13a	0.62a	0.15c	0.11c
	0.6	0.19a	0.08a	0.10b	0.53b	0.20b	0.15b
朱蕉	0(CK)	0.02c	0.04c	0.09c	0.86b	0.07c	0.01c
	0.3	0.15b	0.13b	0.11b	0.87b	0.30b	0.17b
	0.6	0.29a	0.20a	0.14a	1.17a	0.43a	0.33b

1)同种植物的同列数据后,凡是具有一个相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$, Duncan's法)

表 6 NaCl 胁迫条件下 4 种园林植物各器官的 N、P 和 K 贮量¹⁾

Table 6 N, P and K accumulations in different organs of four landscape plant species under NaCl stress

园林植物	w(NaCl)/%	N 贮量/(g·m ⁻²)			P 贮量/(g·m ⁻²)			K 贮量/(g·m ⁻²)		
		叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根
大红花	0(CK)	0.60a	0.21a	0.10a	0.08a	0.06a	0.02a	0.72a	0.53a	0.22a
	0.3	0.49b	0.17b	0.11a	0.06b	0.04b	0.02a	0.41b	0.34b	0.12b
	0.6	0.42c	0.14c	0.08a	0.04c	0.02b	0.01b	0.35c	0.25b	0.09c
龙船花	0(CK)	0.71a	0.27a	0.20a	0.05a	0.05a	0.03a	0.54a	0.32a	0.19a
	0.3	0.30b	0.13b	0.10b	0.02b	0.04b	0.02b	0.23b	0.16b	0.08b
	0.6	0.30b	0.17c	0.09c	0.02b	0.04c	0.01c	0.22b	0.15b	0.08b
鹅掌藤	0(CK)	1.17a	0.22a	0.37a	0.13a	0.08a	0.06a	1.47a	0.84a	0.75a
	0.3	1.07b	0.10b	0.22b	0.11a	0.04b	0.04b	1.29b	0.32b	0.37b
	0.6	0.91b	0.08b	0.18b	0.11a	0.02b	0.02b	1.01b	0.25c	0.24c
朱蕉	0(CK)	1.28a	0.21a	0.37a	0.17a	0.09a	0.11a	1.46a	0.47a	0.56a
	0.3	0.68b	0.18b	0.22b	0.08b	0.05b	0.04b	0.99b	0.26b	0.19c
	0.6	0.66b	0.19b	0.29b	0.09b	0.05b	0.05b	0.98b	0.26b	0.26b

1)同种植物的同列数据后,凡是具有一个相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$, Duncan's法)

的 P 贮量均小于对照。NaCl 胁迫条件下 4 种植物各器官的 K 贮量均小于对照,大红花和鹅掌藤各器官的 K 贮量随着 NaCl 胁迫浓度的增加而下降。w(NaCl) 为 0.3% 和 0.6% 胁迫条件下,龙船花根的 K 贮量相同,其余器官的 K 贮量随着 NaCl 浓度的增加而减少。NaCl 胁迫条件下朱蕉各器官的 K 贮量变化无规律。

3 讨论与结论

3.1 NaCl 胁迫对植物各器官的元素含量和分配格局的影响

养分在植物营养器官的含量是决定苗木生长的重要因素^[26],其分布特征是植物生物学特性与生态环境相统一的结果^[27]。植物可通过离子区隔化、离子选择性吸收和渗透调节物质诱导等来维持细胞内正常的渗透压^[28-29],以减缓 NaCl 胁迫对植物造成的伤害,但过量的 NaCl 积累可引起植物体内蛋白质变性和酶失活,使植物产生离子毒害,特别是叶片中 Na 和 Cl 元素的过量积累直接抑制植株生长发育^[10, 30],造成生物量锐减。

本研究中,各植物不同器官的 Na 含量均随着 NaCl 胁迫浓度的增加而显著增加。4 种植物所吸收 Na⁺主要分配在叶茎部分,可以通过区隔过量的 Na⁺在枝叶上并通过落叶来缓解植株 Na⁺含量过多的毒害^[28, 31],同时使根系中的 Na⁺维持在相对较低的水平,降低细胞渗透势,减轻盐胁迫对养分吸收和输送功能的危害,从而缓解盐离子的毒害作用,

这是植物对根的一种保护机制,与前人研究其他园林植物对 Na⁺吸收的结果一致^[32-33]。

除了鹅掌藤,各植物不同器官的 Cl 含量基本随着 NaCl 胁迫浓度的增加而增加。各植物不同器官的 Cl 含量增幅相差较大,在 w(NaCl) 为 0.3% 和 0.6% 胁迫条件下,大红花叶的 Cl 含量仅增加 87% 和 147%,龙船花根的 Cl 含量却增加了 4 675% 和 12 642%。说明不同器官富集 Cl⁻的能力差别较大,其抵御或分配方式主要取决于植物遗传特性和土壤条件^[13];由于 Cl⁻富集度高于 Na⁺,植物在 NaCl 胁迫中所受的 Cl⁻毒害可能大于 Na⁺毒害^[34-35]。另外,Na⁺和 Cl⁻还可通过相互抑制或改变胞质膜透性等途径影响对其他营养元素的吸收,导致植株体内的营养失衡^[36]。

与对照相比,除了朱蕉叶的 N 含量略有下降外,大红花、龙船花、鹅掌藤各器官以及朱蕉茎和根的 N 含量均随 NaCl 胁迫浓度的增加而升高,这可能与土壤有机质和土壤脲酶活性减弱有关^[37],较高的土壤酶活性有利于有机质分解,促进了土壤 N 的释放^[38],所以植物吸收有效 N 增加。

各植物受 NaCl 胁迫后,不同器官的 P 含量变化没有一致规律,可能是由于进入植物体内的 Na⁺和 Cl⁻影响各组织营养离子的吸收,导致各器官对 P 的选择不同^[39]。NaCl 胁迫使各植物器官的 K⁺/Na⁺含量比减少,除了朱蕉的根以外,所有植物器官的 K⁺/Na⁺含量比均随 NaCl 胁迫浓度增加而降低,由于 Na⁺和 K⁺的离子半径和水合能相似,Na⁺

会竞争 K^+ 的活性位点和吸收位点, 导致植株对 K^+ 的吸收减少^[27]。叶和根的 K^+/Na^+ 含量比下降幅度小于茎, 表明叶和根的离子选择性吸收和离子平衡能力大于茎, 叶和根对 K^+ 选择性吸收能力增强, 植株体内的 K^+ 优先向叶和根分配, 而叶片和根的 K^+ 能够维持相对稳定的含量, 有利于植株正常的生理活动^[17, 30]。由于 K^+ 和 Na^+ 电化学性质的相似性^[40], Na^+ 与 K^+ 存在离子拮抗作用, 盐胁迫使植物体内积累过多的 Na^+ , 导致植株吸收 K^+ 困难^[8, 20]。大红花和鹅掌藤的 K^+/Na^+ 含量比下降幅度小于龙船花和朱蕉, 说明前 2 种树种的离子选择性吸收和离子平衡能力优于后 2 种种树。

3.2 NaCl 胁迫对植物各器官养分贮量的影响

养分贮量主要由植株的生物量和元素含量决定, 养分贮量不仅直接关系到植株自身的生长状况, 而且与群落内养分循环格局密切相关。土壤盐渍化易引起植物水势和气孔导度下降以及蒸腾减弱^[21, 41], 而过多离子进入细胞会产生离子毒害, 抑制植物体内的酶活性, 破坏细胞膜结构和细胞器功能^[4, 10], 导致吸水困难, 表现出类似干旱胁迫的失水症状, 进而影响养分贮量的积累。本研究中, NaCl 胁迫处理后, 各植物的 Na 总贮量升高, 与前人的研究结果^[42]一致。Na 和 Cl 贮量变化规律基本与其元素含量变化规律一致, 原因是 Na 和 Cl 含量的增加幅度比其生物量的变化幅度大得多, 因此成为 Na 和 Cl 贮量的主要影响因素^[43]。各植物的 Na 和 Cl 贮量随着 NaCl 胁迫浓度的增加在不同器官分配各异, 这与植物不同器官抵御盐胁迫程度有关。随 NaCl 胁迫浓度的增加, 各植物大部分器官的 N 贮量逐渐减少, 而 P 和 K 贮量也减少, 基本与各植物生物量变化规律一致, 原因是 N、P 和 K 含量变化幅度小于生物量变化, 因而生物量成为了 N、P 和 K 贮量的主要决定者。

3.3 结论

在本研究中, NaCl 胁迫使各器官的 Na 和 Cl 含量大幅度增加, 对植株的生长产生不良影响, 并且与各植物器官的养分贮量变化趋势基本一致, 而 N、P 和 K 的养分贮量变化规律与生物量基本相同。NaCl 胁迫下 K^+/Na^+ 含量比高的植物耐盐性强, 在本研究中, 除了朱蕉的根外, 所有植物器官的 K^+/Na^+ 含量比均随 NaCl 浓度增加而降低, 且除了龙船花以外, 其他植物叶和根的 K^+/Na^+ 含量比下降幅度小于茎, 大红花和鹅掌藤各器官的 K^+/Na^+ 含量比下降幅度小于龙船花和朱蕉, 因此降低了 NaCl 胁迫对叶和根的伤害, 同时说明大红花和鹅掌藤比

其他植物的耐盐性强, 通过限制 Na^+ 进入细胞, 并选择性吸收 K^+ 来维持组织细胞的高 K^+/Na^+ 含量比, 以保证植物的正常生理代谢。

参考文献:

[1] 余汉基, 李鹏飞, 薛立, 等. 3 种园林植物响应盐胁迫的荧光特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(8): 54-59.

[2] BATES B, KUNDZEWICZ Z W, WU S, et al. Climate change and water: Technical paper VI[M]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2008.

[3] CABOT C, SIBOLE J V, BARCELÓ J, et al. Lessons from crop plants struggling with salinity[J]. Plant Sci, 2014, 226(3): 2-13.

[4] 郑欣颖, 李鹏飞, 薛立, 等. 3 种园林植物的抗盐生理研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(9): 62-67.

[5] PARIDA A K, DAS A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2005, 60(3): 324.

[6] TAVAKKOLI E, FATEHI F, COVENTRY S, et al. Additive effects of Na^+ and Cl^- ions on barley growth under salinity stress[J]. J Exp Bot, 2011, 62(6): 2189-2203.

[7] 列志旸, 薛立. 盐胁迫对树木生长影响研究综述[J]. 世界林业研究, 2017, 30(3): 30-34.

[8] KOPITKE P M. Interactions between Ca, Mg, Na and K: Alleviation of toxicity in saline solutions[J]. Plant Soil, 2012, 352(1/2): 353-362.

[9] SHAHID M A, BALAL R M, PERVEZ M A, et al. Differential response of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes to salt stress in relation to the growth, physiological attributes antioxidant activity and organic solutes[J]. Aust J Crop Sci, 2012, 6(5): 828-838.

[10] 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.

[11] RONG Q, LIU J, CAI Y, et al. Leaf carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry of *Tamarix chinensis* Lour. in the Laizhou Bay coastal wetland, China[J]. Ecol Eng, 2015, 76: 57-65.

[12] 闫道良, 郭予琦. NaCl 处理对海滨锦葵 N、P 和 Na^+ 、 K^+ 含量及其化学计量特征的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1211-1217.

[13] 李洁, 周彤彤, 薛立. 5 个阔叶树种叶片的养分特征分析[J]. 湖南林业科技, 2016, 43(4): 16-20.

[14] 郭仁松, 魏红国, 富艳荣, 等. 新疆超高产棉花干物质积累分配与养分吸收运移特征的研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(3): 410-418.

[15] 何文寿, 马琨, 代晓华, 等. 宁夏马铃薯氮、磷、钾养分的吸收累积特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1477-1487.

[16] 刘淑军, 秦道珠, 梁海军, 等. 水稻不同基因型品种养分吸收特性[J]. 中国农学通报, 2015, 31(3): 16-22.

[17] 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.
- [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] 路斌, 侯月敏, 李欣洋, 等. 野皂荚对 NaCl 胁迫的生理响应及耐盐性[J]. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3293-3299.
- [20] 於朝广, 李颖, 谢寅峰, 等. NaCl 胁迫对中山杉幼苗生长及离子吸收、运输和分配的影响[J]. 植物生理学报, 2016, 52(9): 1379-1388.
- [21] 郑欣颖, 张潮, 薛立, 等. 盐胁迫对 4 种园林植物生理特性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(6): 44-50.
- [22] 蔡金桓, 都成林, 薛立, 等. 盐胁迫对 4 种园林植物光合特性的影响[J]. 西南林业大学学报, 2017, 37(2): 30-34.
- [23] 叶龙华, 黄香兰, 易立飒, 等. 三种花卉植物的叶绿素荧光参数日变化研究[J]. 湖南林业科技, 2013, 40(1): 32-35.
- [24] 林敏仪, 李定涓. 广州海珠儿童公园立体绿化的景观营造[J]. 广东园林, 2016, 38(3): 29-32.
- [25] 韦怡凯, 李秋静, 谭广文. 珠三角居住区 4 种地形的园林植物景观营造探析[J]. 广东园林, 2017, 39(1): 65-70.
- [26] 杨腾, 段劫, 马履一, 等. 不同氮素用量对文冠果生长、养分积累及转运的影响[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(3): 57-62.
- [27] 车宗玺, 刘贤德, 潘欣, 等. 甘肃省典型林区主要优势树种养分含量变化特征分析[J]. 生态环境学报, 2015, 24(2): 237-243.
- [28] 王树凤, 胡韵雪, 孙海菁, 等. 盐胁迫对 2 种栎树苗期生长和根系生长发育的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(4): 1021-1029.
- [29] 贾新平, 邓衍明, 孙晓波, 等. 盐胁迫对海滨雀稗生长和生理特性的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(12): 204-212.
- [30] 周志林, 唐君, 曹清河, 等. NaCl 胁迫对甘薯植株体内 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 含量及生长的影响[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(4): 17-23.
- [31] GREFEN C, HONSBELN A, BLATT M R. Ion transport, membrane traffic and cellular volume control[J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2011, 14(3): 332.
- [32] OUESLATI S, KARRAY-BOURAOUI N, ATTIA H, et al. Physiological and antioxidant responses of *Mentha pulegium* (Pennyroyal) to salt stress[J]. *Acta Physiol Planta*, 2010, 32(2): 289-296.
- [33] 党晓宏, 高永, 蒙仲举, 等. 3 种滨藜属植物幼苗叶片对 NaCl 胁迫的生理响应[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(10): 48-49.
- [34] LUO Q Y, YU B J, LIU Y L. Stress of Cl^- is stronger than that of Na^+ on *Glycine max* seedlings under NaCl stress[J]. *J Integrat Agric*, 2002, 1(12): 1404-1409.
- [35] 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.
- [36] 魏清江, 冯芳芳, 辜青青. 柑橘盐胁迫响应及耐盐机制研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(1): 136-141.
- [37] 操庆, 曹海生, 魏晓兰, 等. 盐胁迫对设施土壤微生物量碳氮和酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 300-304.
- [38] 张立英, 吴凤芝, 周新刚, 等. 盐胁迫下黄瓜根系分泌物对土壤养分及土壤酶活性的影响[J]. 中国蔬菜, 2009, 1(14): 6-11.
- [39] 郭洋, 盛建东, 陈波浪, 等. 3 种盐生植物干物质积累与养分吸收特征[J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 144-149.
- [40] 吴敏, 薛立, 李燕. 植物盐胁迫适应机制研究进展[J]. *林业科学*, 2007, 43(8): 111-117.
- [41] 蔡金桓, 都成林, 薛立, 等. 3 种园林植物的抗盐光合特性[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(2): 272-276.
- [42] YU X, LIANG C, CHEN J, et al. The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in *Mentha canadensis* L.[J]. *Sci Hortic*, 2015, 197: 579-583.
- [43] 覃林波, 蓝珠剑. 尾巨桉和厚荚相思人工林细根主要营养元素贮存量及其季节动态研究[J]. 防护林科技, 2016(2): 43-44.

【责任编辑 李晓卉】