

盐胁迫对4种盐沼草钠钾离子变化的影响

裴福云, 张秀梅*, 宋凤鸣, 沈彦会, 王月玲, 薛海龙, 梁令帅

中节能铁汉生态环境股份有限公司, 广东 深圳

收稿日期: 2022年2月22日; 录用日期: 2022年3月24日; 发布日期: 2022年3月31日

摘要

为进一步探讨4种盐沼草的耐盐机制, 该研究采用五种不同浓度的NaCl盐溶液模拟不同盐生境, 实验结束后取植物地上和地下部分, 洗净、烘干, 粉碎经消解后用ICP分别测K⁺、Na⁺含量, 测定地上部分与地下部分存活率、盐害率、地上部分与地下部分钠钾离子含量变化、地上部分与地下部分钠钾比含量对比。结果表明: 南水葱、短叶茳苳在3%盐度时均出现死亡率, 而卤蕨和锈鳞飘拂草在实验盐度范围内均没有黄叶现象, 锈鳞飘拂草在3.5%时才表现出轻微盐害。随着盐度升高, 4种植物地上和地下部分钠离子含量均表现出逐渐上升的趋势, 且地上部分钠钾比值较小于地下部分, 南水葱的地上部分钠钾比在3.5%盐度时显著上升, 短叶茳苳在3%、3.5%盐度下地下部分钠钾比显著上升, 锈鳞飘拂草地下部分钠钾比在3.5%盐度时显著上升, 表明这些植物在该盐度下已遭受严重胁迫, 除锈鳞飘拂草外无明显变化外, 其他3种植物与表观的黄叶等盐害现象一致。

关键词

盐沼草, 盐胁迫, 钠钾离子, 钠钾比, 盐害率

Effects of Salt Stress on Changes of Na⁺ and K⁺ in Four Salt Marsh Grasses

Fuyun Pei, Xiumei Zhang*, Fengming Song, Yanhui Shen, Yueling Wang, Hailong Xue, Lingshuai Liang

CECEP Techand Ecology & Environment Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

Received: Feb. 22nd, 2022; accepted: Mar. 24th, 2022; published: Mar. 31st, 2022

Abstract

In order to further explore the salt tolerance mechanism of four salt marsh grasses, five different

*通讯作者。

文章引用: 裴福云, 张秀梅, 宋凤鸣, 沈彦会, 王月玲, 薛海龙, 梁令帅. 盐胁迫对4种盐沼草钠钾离子变化的影响[J]. 植物学研究, 2022, 11(2): 210-217. DOI: 10.12677/br.2022.112025

concentrations of salt solutions were used to simulate different salt habitats. After the experiment, the aboveground and underground parts of plants were taken, washed and dried, and the contents of K^+ , Na^+ were measured by ICP after crushing and digesting, and the survival rate, salt damage rate of above ground and underground parts were determined. The content of Na^+ and K^+ in the aboveground and underground parts and the ratio of sodium and potassium in the aboveground and underground parts were compared. *Scirpus validus* var. *laeviglumis* and *Cyperus malaccensis* Lam. var. *brevifolius* Boeck occurs mortality at 3% salinity. However, for the *Acrostichum aureum* and *Fimbristylis ferrugineae* (Linn.) Vahl, there is no yellow leaf phenomenon in the range of experimental salinity. *F. ferrugineae* showed slight salt damage only at 3.5%. With the increase of salinity, the contents of Na^+ in the above-ground and underground parts of the four plants showed a gradual upward trend, and the Na^+ and K^+ ratios in the aboveground parts were smaller than those in the underground parts. The Na^+ and K^+ ratios in the aerial parts of the *S. validus* var. *laeviglumis* are significantly higher than that at 3.5% salinity. The Na^+ and K^+ ratios in the aboveground of *C. malaccensis* increased significantly at 3% and 3.5% salinity, while the Na^+ and K^+ ratios in the underground parts of the *F. ferrugineae* increased significantly at 3.5% salinity, indicating that these plants had been severely stressed under this salinity, except for the *F. ferrugineae*, which had no obvious change, and was consistent with the apparent yellow leaves and other salt damage phenomena.

Keywords

Salt Marsh Grass, Salt Stress, Na^+ , K^+ , Na^+/K^+ , Salt Damage Rate

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土壤盐渍化是一个全球性的资源和生态问题,我国主要分布于长江以北的内陆地区及辽东半岛、渤海湾和苏北滨海,浙江、福建、广东、广西、海南、香港和台湾仅有零星分布[1],沿海各省、市、自治区近2万千米的海岸线上分布有总面积达500万公顷的滨海盐土[2],这里既有以氯化物为主的微酸性滨海盐土,也有在红树林群落影响下形成的酸性硫酸盐盐土[3],土壤盐渍化主要通过渗透胁迫、离子毒害、营养失衡三个方面来对植物造成不利的影[4],在盐渍土生长环境下,植物遭受干旱、离子毒害、矿质元素缺乏等逆境胁迫容易导致生长和生殖受限[5],同时影响植物体内的养分运输和分布,从而造成植物营养的失衡[6],植物体内具有避免盐离子积累的机制,可将 Na^+ 储存在液泡中或者排出到细胞质外[7],从而避免离子的毒害,已有大量报道 Na^+ 可与不同离子之间相互作用,如 Na^+ 可与 K^+ 之间相互作用,进而保持植物营养平衡[8],同时 Na^+/K^+ 同样是衡量植物耐盐性的重要指标,细胞内过高的 Na^+/K^+ 直接影响细胞内离子区隔化,造成细胞质和液泡内离子严重失衡,干扰各种酶促反应,使代谢紊乱、生长抑制[9]。已有研究报道盐沼草减轻污损动物危害[10][11],本研究通过模拟不同的盐胁迫条件,探讨其对4种盐沼草生长及 Na^+ 、 K^+ 的影响,以期对盐渍地地区盐沼草的合理种植提供理论依据。

2. 材料与方

2.1. 试验材料

供试材料为南水葱、短叶茳芩、锈鳞飘拂草、卤蕨4种盐沼草,4种植物均从海南滨海湿地引种,

引种生境盐度约 1.5%~2.5%。

2.2. 试验方法

2.2.1. 试验材料的养护和管理

将 4 种植物移栽到塑料盆中缓苗, 基质由泥炭土: 蛭石: 珍珠岩: 田园土 = 1:1:1:1 的比例混合而成。

2.2.2. NaCl 胁迫的处理方法

用 NaCl 溶液模拟不同盐分浓度, 盐分梯度设置为浓度分别为 1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%, 以 1.5% 盐度作为对照组。配置好盐溶液后, 将溶液倒入实验整理箱, 将参试植物盆栽放入箱内, 每箱溶液约 25 L。水深约 20 cm, 定期补水以维持实验设置盐度。

2.2.3. 指标测定

每天观察和记录植物的生长状况, 根据叶片变黄、凋落等盐害症状, 参照表 1 对植物盐害状况进行记录, 低盐度组某些植物可能完全没有死亡率, 但也应该记录其生长, 方便与空白对照对比, 记录各处理组植物死亡率。

Table 1. Grading standard of salt tolerance and it based on the relative damaging index

表 1. 盐害症状鉴定标准与按照盐害指数评定的耐盐级别

| 等级 Grade | 盐害症状(每茎上绿叶片数) Symptom | 相对盐害指数(%) Relative damaging index |
|-------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 生长发育正常, 不表现任何盐害症状 | 0.0~15.0 |
| 1 | 生长发育基本正常, 有许多绿叶(茎) | 15.1~30.0 |
| 2 | 生长发育接近正常, 有较多绿叶(茎) | 30.1~60.0 |
| 3 | 生长发育受阻, 有少量绿叶(茎) | 60.1~85.0 |
| 4 | 生长发育受阻, 仅有较少绿叶(茎) | 85.1~100.0 |
| 5 | 植株死亡或临近死亡 | 100 |

2/3 面积绿色为 1 片绿叶; 盐害指数(%) = $\sum((\text{各级记载的受害植株数} \times \text{相应级数值}) / (\text{调查总株数} \times \text{最高盐害级数值})) \times 1.00\%$ 。

实验持续至有处理出现植株死亡现象时, 结束实验, 取植物地上和地下部分, 洗净、烘干, 粉碎后经消解后用 ICP 分别测 K^+ 、 Na^+ 含量。

2.2.4. 数据分析

用 origin9.0 软件进行数据整理和作图, 用 SPSS19.0 进行方差分析和多重比较。

3. 结果与分析

3.1. 盐胁迫对 4 种盐沼草存活率和盐害率的影响

不同盐度处理对 4 种植物存活率和盐害率的影响见表 2。南水葱、短叶茼蒿在 3% 盐度时均出现死亡率, 剩余存活株也表现出较高盐害率。卤蕨和锈鳞飘拂草在实验盐度范围内均没有死亡和明显黄叶现象, 锈鳞飘拂草在 3.5% 时才表现出轻微盐害。

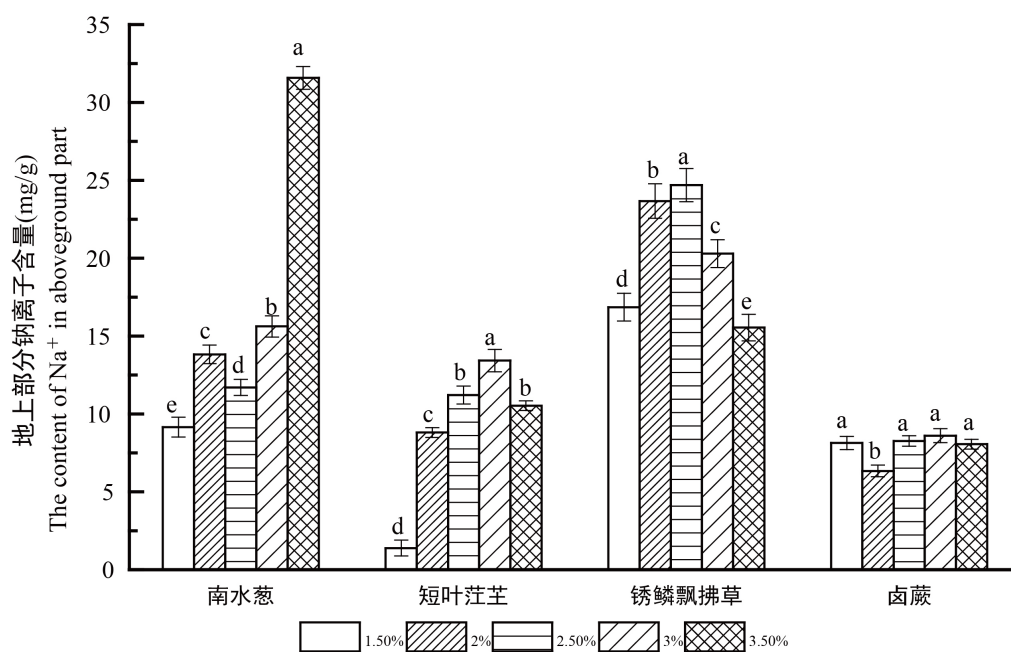
Table 2. Effects of Salt stress on survival rate and salt damage rate of four salt marsh grasses**表 2.** 盐胁迫对 4 种盐沼草存活率和盐害率的影响

| 盐度处理 中英文 | 南水葱 | | 短叶茳芏 | | 锈鳞飘拂草 | | 卤蕨 | |
|-------------|---------|---------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | 存活率(%) | 盐害率(%) | 存活率(%) | 盐害率(%) | 存活率(%) | 盐害率(%) | 存活率(%) | 盐害率(%) |
| 1.50% | 100a | 0e | 100a | 0e | 100 | 0b | 100 | 0 |
| 2.00% | 100a | 10 ± 3d | 100a | 10 ± 3d | 100 | 0b | 100 | 0 |
| 2.50% | 100a | 15 ± 2c | 80 ± 2b | 20 ± 3c | 100 | 0b | 100 | 0 |
| 3.00% | 75 ± 3b | 30 ± 3b | 55 ± 2c | 50 ± 3b | 100 | 0b | 100 | 0 |
| 3.50% | 50 ± 2c | 50 ± 5a | 25 ± 1.5d | 75 ± 5a | 100 | 5 ± 1a | 100 | 0 |

3.2. 盐胁迫对 4 种盐沼草耐盐生理的影响

3.2.1. 4 种植物地上部分钠离子含量变化

随着盐浓度的升高,南水葱植物地上钠离子含量表现出持续上升趋势,在盐度 3.5% 出现了大幅增长。短叶茳芏和锈鳞飘拂草表现为先上升后下降,在较高盐度胁迫下,钠离子含量相对低盐度胁迫组反而有下降趋势,锈鳞飘拂草处理在盐度 1% 浓度的时候,地上部分钠离子含量甚至低于对照组。卤蕨在各盐度处理下钠离子含量变化不明显,只有轻微上升的趋势,见图 1。

**Figure 1.** Effects of salt stress on sodium ion content in aboveground parts of four salt marsh grasses**图 1.** 盐胁迫对 4 种盐沼草地上部分钠离子含量的影响

3.2.2. 4 种植物地下部分钠离子含量变化

随着盐浓度的升高,短叶茳芏、锈鳞飘拂草和卤蕨地下钠离子含量表现出升高的趋势,3 种植物在盐度超过 3% 后,地下部分钠离子含量表现出大幅增加状态。南水葱地下部分钠离子含量表现为先上升后下降,且钠离子含量值较为稳定,在各盐度处理下变化不大。见图 2。

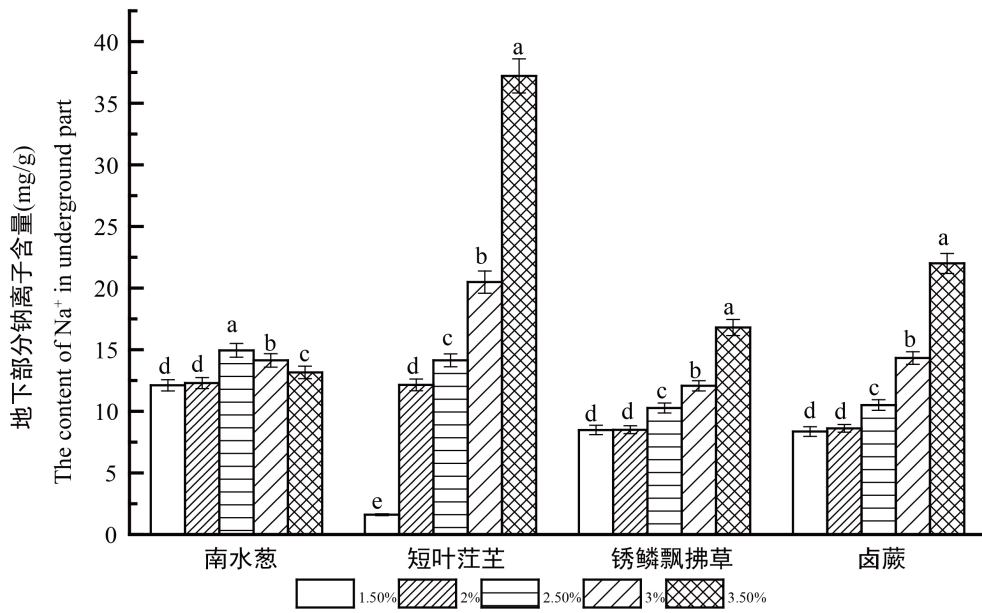


Figure 2. Effects of salt stress on sodium ion content in underground parts of four salt marsh grasses
图 2. 盐胁迫对 4 种盐沼草地下部分钠离子含量的影响

3.2.3.4 种植物的地上部分钾离子含量变化

4 种植物地上部分钾含量多在 10~30 mg/g 范围内。随着盐浓度的升高，南水葱、锈鳞飘拂草、卤蕨的地上部分钾离子含量变化趋势为先下降再上升，短叶茳芏处理组的地上部分钾离子含量表现为持续上升趋势，南水葱在 1.5%~2% 盐度时地上部分钾离子含量略有上升，盐度至 2.5% 时大幅下降，盐度继续增大时地上部分钾离子含量逐渐上升。在 3.5% 最高盐度处理中，卤蕨、短叶茳芏的地上部分钾离子含量显著高于对照组，锈鳞飘拂草和南水葱处理组较对照组低，见图 3。

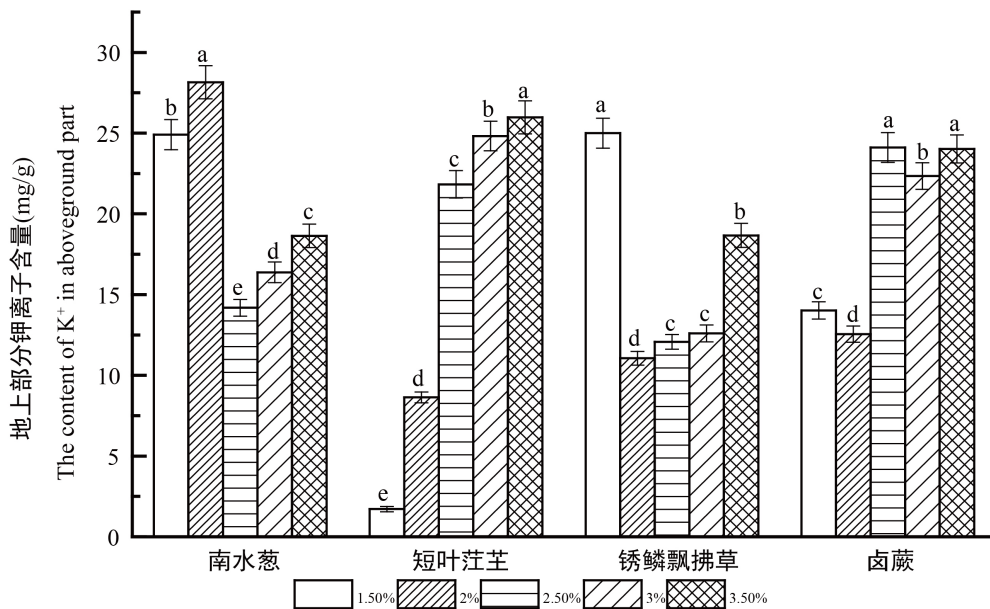


Figure 3. Effects of salt stress on potassium ion content in four salt marsh grasses
图 3. 盐胁迫对 4 种盐沼草地上部分钾离子含量的影响

3.2.4.4 种植物的地下部分钾离子含量对比

4种植物地下部分钾含量相对地上部分较低,多在2~10 mg/g 范围内。随着盐浓度的升高,短叶茳芏和卤蕨的地下钾离子含量变化趋势是逐渐上升,在盐度为3.5%时显著上升;南水葱的地上部分钾离子含量表现为先上升后下降,而锈鳞飘拂草的变化趋势为先下降后上升。除锈鳞飘拂草各盐度处理组地下部分钾离子含量变化较小外,其余3种植物在高盐度处理下地下部分钾离子含量均显著高于对照组。见图4。

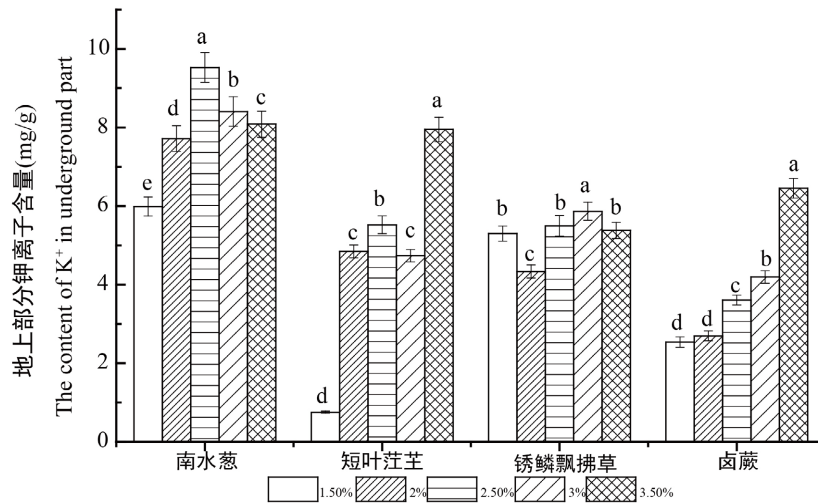


Figure 4. Effects of salt stress on potassium content in underground parts of four salt marsh grasses

图4. 盐胁迫对4种盐沼草地下部分钾离子含量的影响

3.2.5.4 种植物的地上部分钠钾比对比

随着盐浓度的升高,南水葱地上部分钠钾比表现出升高的趋势,在盐度3.5%时钠钾比显著增大至1.67,短叶茳芏和锈鳞飘拂草地上部分钠钾比表现出先上升再下降的趋势,锈鳞飘拂草的地上部分钠钾比最高值达到2.12,卤蕨在各盐度处理下钠钾比变化较小,维持在0.3~0.6之间,整体呈下降趋势。见图5。

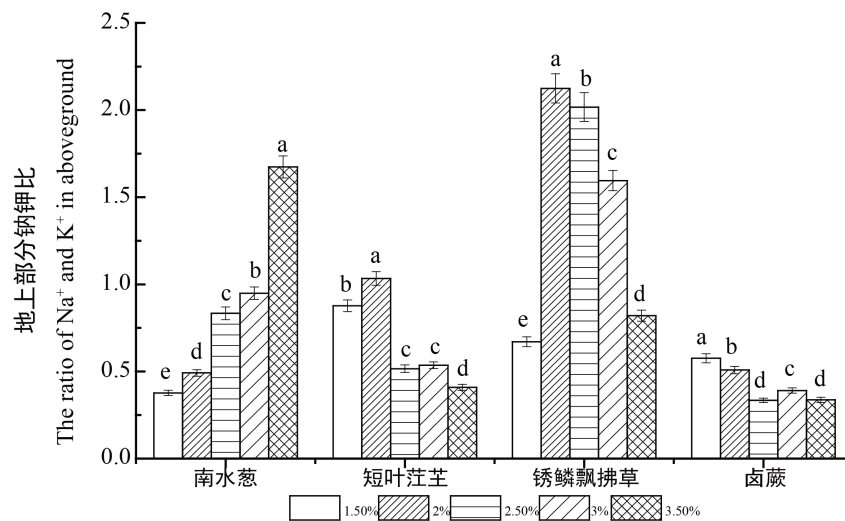


Figure 5. Effects of salt stress on sodium-potassium ratio in four salt marsh Grasses

图5. 盐胁迫对4种盐沼草地上部分钠钾比含量的影响

3.2.6.4 种植物的地下部分钠钾比对比

随着盐浓度的升高，短叶茳茳和锈鳞飘拂草地下部分钠钾比表现出升高的趋势，短叶茳茳地下部分钠钾比在 3%、3.5% 盐度时显著增大至 4.33、4.68，锈鳞飘拂草在 3.5% 盐度时显著增大至 3.12。南水葱地下部分钠钾比随着盐度升高变化不明显，在 1.6~2.2 之间波动，呈轻微下降趋势。卤蕨地下部分钠钾比表现出先上升后下降的趋势，波动范围为 3.19~3.97，变化幅度相对较小。见图 6。

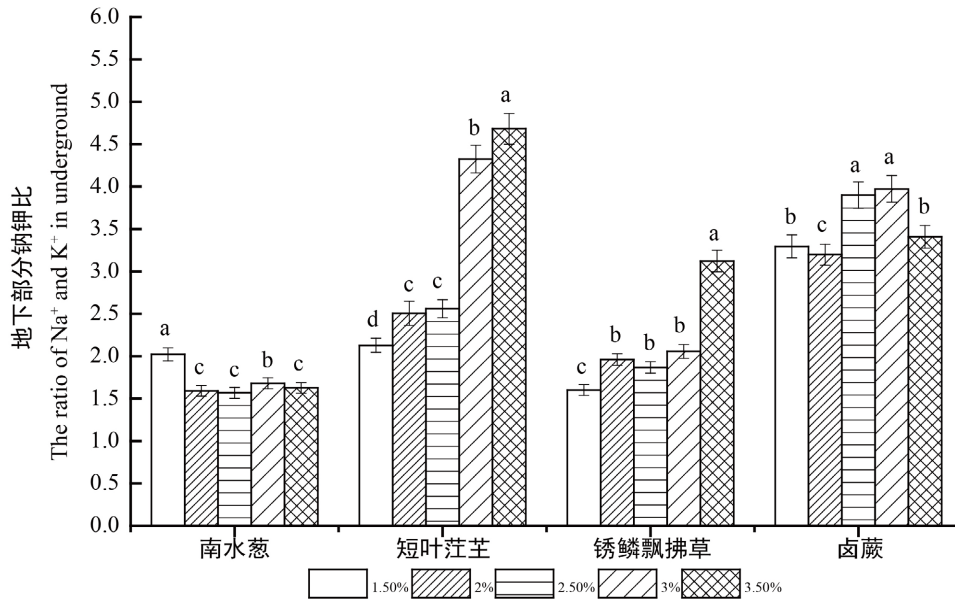


Figure 6. Effects of salt stress on the ratio of sodium to potassium in underground parts of four salt marsh grasslands

图 6. 盐胁迫对 4 种盐沼草地下部分钠钾比含量的影响

4. 结论与讨论

4 种植物均为滨海湿地的盐沼草，其引种生境盐度多在 1.5%~2.5% 范围内。在淡水环境引种驯化后，经耐盐实验证明，4 种植物适应淡水环境后再遭受盐胁迫时，南水葱、短叶茳茳会发生一定盐害，表现为茎顶端枯黄，卤蕨、锈鳞飘拂草两种植物在各盐度处理下均没有明显盐害和死亡，耐盐性较前两种植物强。

植物具有避免盐离子积累的机制，控制 Na⁺ 的积累是植物耐盐的重要生理过程[12]，从 4 种植物在不同盐处理下的钠离子含量变化来看，随着盐度升高，4 种植物地上和地下部分钠离子含量均表现出逐渐上升的趋势，短叶茳茳、卤蕨以及南水葱在低盐度下钠离子主要吸收在根部，地上部分含量较低，表明根中存在一种抑制机制来阻止 Na⁺ 向地上部分运输，减少地上器官的潜在伤害，以维持叶片光合作用等生理活动顺利进行，这与前人的研究结果相似[13] [14] [15]。锈鳞飘拂草地上部分吸收钠离子含量较多，但随着盐度升高表现为先上升后下降，在最高盐度处理下，锈鳞飘拂草的地上部分钠离子含量已接近低盐度对照组，卤蕨的变化趋势也基本类似，且卤蕨地上部分钠离子含量一直保持较低水平，表明这两种植物在高盐度胁迫下可少吸收或多排出一些钠离子，有拒盐机制，锈鳞飘拂草有较强的渗透调节能力，其叶片含水量较大，为 81.05% ± 0.53%，显著高于其他三种植物(卤蕨 76.00%、南水葱 73.68%、短叶茳茳 77.91%)，可能与海蓬子的耐盐机制类似，为稀盐植物，在盐胁迫下可大量吸收水分，降低植物体内的钠离子浓度，故可忍受较高钠离子胁迫。

从 4 种植物的钾离子含量变化分析, 4 种植物的地下部分含钾量均随着胁迫盐度的升高而增大, 表明在盐胁迫下植物根系增强了对钾离子的吸收。南水葱、锈鳞飘拂草、卤蕨地上部分钾离子在盐度升高时表现为先减小后增大的趋势, 短叶茳芩地上部分钾离子随着盐度升高而增大, 说明盐胁迫导致钾离子流失, 但在高盐度胁迫下增加了对地上部分钾离子的转运, 以调节渗透胁迫, 减轻盐害。

盐胁迫下细胞内离子平衡破坏的一个典型指标就是钠钾比升高[16], 从本实验结果来看, 4 种植物地上部分钠钾比值均相对地下部分较小, 南水葱的地上部分钠钾比在 3.5% 盐度时显著上升, 短叶茳芩在 3%、3.5% 盐度下地下部分钠钾比显著上升, 锈鳞飘拂草地下部分钠钾比在 3.5% 盐度时显著上升, 表明这些植物在该盐度下已遭受严重胁迫。

基金项目

国家重点研发计划(编号: SQ2020YFC180090)。

参考文献

- [1] 赵可夫, 李法曾, 樊守金, 等. 中国的盐生植物[J]. 植物学报, 1999, 16(3): 201-207.
- [2] 徐恒刚. 中国盐生植被及盐渍化生态治理[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.
- [3] 俞仁培, 陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 158-159.
- [4] Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, **59**, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- [5] Netondo, G.W., Onyango, J.C. and Beck, E. (2004) Sorghum and Salinity. *Crop Science*, **44**, 797-805. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.7970>
- [6] Grattan, S.R. and Grieve, C.M. (1992) Mineral Element Acquisition and Growth Response of Plants Grown in Saline Environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **38**, 275-300. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90151-Z](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90151-Z)
- [7] Glenn, E.P., Brown, J.J. and Blumwald, E. (1999) Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **18**, 227-255. <https://doi.org/10.1080/07352689991309207>
- [8] Leidi, E.O., Silberbush, M. and Lips, S.H. (1991) Wheat Growth as Affected by Nitrogen Type, PH and Salinity. II. Photosynthesis and Transpiration. *Journal of Plant Nutrition*, **14**, 247-256. <https://doi.org/10.1080/01904169109364199>
- [9] Parida, A.K. and Das, A.B. (2005) Salt Tolerance and Salinity Effects on Plants: A Review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **60**, 324-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- [10] 何斌源, 赖廷和, 潘良浩, 等. 盐沼草-白骨壤混种减轻污损动物危害的生物防治效果研究[J]. 广西植物, 2014, 34(2): 203-211.
- [11] 何斌源, 赖廷和, 王欣, 等. 盐沼草对桐花树人工林污损动物危害的生物防治研究[J]. 广西科学, 2013, 20(3): 185-192.
- [12] Ashraf, M. and Wu, L. (1994) Breeding for Salinity Tolerance in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **13**, 17-42. <https://doi.org/10.1080/07352689409701906>
- [13] 王树凤, 胡韵雪, 李志兰, 等. 盐胁迫对弗吉尼亚栎生长及矿质离子吸收、运输和分配的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4609-4616.
- [14] 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.
- [15] 殷立娟, 石德成, 王萍. 盐碱化草地羊草生长的适应性与耐盐渗透调节[J]. 植物学报(英文版), 1993(8): 619-625.
- [16] Drew, M.C. and Läuchli, A. (1985) Oxygen-Dependent Exclusion of Sodium Ions from Shoots by Roots of *Zea mays* (cv Pioneer 3906) in Relation to Salinity Damage. *Plant Physiology*, **79**, 171-176. <https://doi.org/10.1104/pp.79.1.171>