

氯化钠胁迫对 2 个中山杉无性系生长及离子吸收运输的影响

马海燕¹, 林松明¹, 徐迎春¹, 李永荣², 陈永辉²

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095; 2. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏南京 210014)

摘要: 采用水培试验, 比较研究了氯化钠胁迫对 2 个中山杉(*Taxodium distichum* × *T. mucronatum*) × *T. mucronatum* ‘Zhongshansha’ 无性系 146 号(耐盐性较强)和 24 号(耐盐性较弱)生长及离子吸收运输的影响。结果表明: 与对照相比, 氯化钠胁迫下 2 个中山杉无性系总干质量和地上部干质量均显著降低, 24 号根部干质量显著降低, 而 146 号仅在较高质量浓度(4.0, 4.5 g·L⁻¹)处理时才显著降低; 146 号根冠比在低质量浓度(3.5 g·L⁻¹)氯化钠处理时, 增加幅度远远大于 24 号。146 号苗高相对生长量在氯化钠低质量浓度(3.0, 3.5 g·L⁻¹)时随盐质量浓度的增加下降幅度很大, 但当氯化钠高质量浓度时却下降缓慢; 而 24 号与之相反。氯化钠处理下, 146 号与 24 号相比, 根部对 K⁺ 的选择性较强, 且叶片积累较少的 Na⁺ 以及叶片维持较低的 Na⁺/K⁺ 比率, 是 146 号具有较强耐盐力的重要原因。图 1 表 3 参 16

关键词: 植物学; 氯化钠胁迫; 中山杉; 生长; 离子吸收运输

中图分类号: S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2008)03-0319-05

Salt (NaCl) stress on growth, ion uptake, and transport of (*Taxodium distichum* × *T. mucronatum*) × *T. mucronatum* ‘Zhongshansha’ breeding clones

MA Hai-yan¹, LIN Song-ming¹, XU Ying-chun¹, LI Yong-rong², CHEN Yong-hui²

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; 2. Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Science, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract: Growth, ion uptake, and transport of two (*Taxodium distichum* × *T. mucronatum*) × *T. mucronatum* ‘Zhongshansha’ breeding clones, No. 146 (with relatively strong salt resistance) and No. 24 (with relatively weak salt resistance), were compared under hydroponic culture conditions. A pot experiment design with treatments of clones (No. 24 and No. 146), NaCl concentrations of (3.0, 3.5, 4.0, and 4.5 g·L⁻¹ with a control of 0 g·L⁻¹), and five replication. Results indicated that compared with the control, total dry mass and aboveground weights of the two *T.* ‘Zhongshansha’ breeding clones treated with NaCl decreased. Other results included: 1) root dry mass of No. 24 decreased significantly ($P < 0.05$) at all concentrations, while No. 146 decreased significantly ($P < 0.05$) at higher concentrations (4.0 and 4.5 g·L⁻¹); 2) compared with the control, the root-shoot ratio increment of No. 146 treated with NaCl at lower concentrations (3.5 g·L⁻¹) was larger than No. 24; 3) relative growth of No. 146 decreased at lower concentrations (3.0 and 3.5 g·L⁻¹), but not as much as at high concentrations; and the relative growth of No. 24 was opposite of No. 146. In treatments with NaCl, root selectivity toward K⁺ of No. 146 was stronger significantly ($P < 0.05$) than that of No. 24, whereas Na⁺ in leaves and the Na⁺/K⁺ value of No. 146 were lower significantly ($P < 0.05$) than No. 24. These results with K⁺ were important reasons why clone No. 146 had a

收稿日期: 2007-06-11; 修回日期: 2007-09-12

基金项目: 江苏省农业三项工程资助项目(SX2004-078)

作者简介: 马海燕, 硕士研究生, 从事园林植物抗盐生理研究。E-mail: mahaiyan-19820516@163.com。通信作者: 徐迎春, 副教授, 从事园林植物生理生态研究。E-mail: xyc@njau.edu.cn

stronger salt resistance. [Ch, 1 fig. 3 tab. 16 ref.]

Key words: botany; NaCl stress; (*Taxodium distichum* × *T. mucronatum*) × *T. mucronatum* ‘Zhongshansa’; growth; ion uptake and transport

中山杉(*Taxodium distichum* × *T. mucronatum*) × *T. mucronatum* ‘Zhongshansa’ 是江苏省中国科学院植物研究所通过落羽杉属 *Taxodium* 树木种间杂交获得的。研究表明, 中山杉在沿海盐碱地 (pH 8.0~8.5, 含盐量 10 g·kg⁻¹左右) 上生长良好, 是开发利用海涂广阔的土地资源、改善生态环境的优良树种^[1-3]。关于盐胁迫对中山杉无性系生长方面的影响研究报道较少, 尤其是中山杉不同无性系之间各器官离子分配的特点及与耐盐性关系未见报道。本试验所研究的中山杉无性系是第2代无性系, 从中筛选了2个耐盐性不同的无性系以研究氯化钠胁迫对其生长及离子吸收运输的影响, 以探讨其抗盐机制, 并为在盐渍环境下的引种栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

以中山杉第2代无性系146号(耐盐性较强)和24号(耐盐性较弱)的1年生扦插苗为试材。每桶定植1株, 作为1个重复, 每项处理重复5次。试验在南京中山植物园温室中进行。

1.2 试验处理

分别用含0, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 g·L⁻¹氯化钠的1/2 Hoagland 培养液进行处理, 对照为1/2 Hoagland 培养液。为避免盐冲击, 盐胁迫质量浓度每天递增1个梯度(0→3.0 g·L⁻¹→3.5 g·L⁻¹→4.0 g·L⁻¹→4.5 g·L⁻¹)。营养液隔7 d换1次, 每天早晚各通气1 h。各处理达预定质量浓度后第27天采样进行相关指标分析。

1.3 测定指标及方法

生物量测定: 将中山杉幼苗分根系和地上部分别收获, 用去离子水洗净, 吸干表面的水分, 110℃杀青10 min后于75℃烘干至恒量, 称量。苗高相对生长量: 分别于处理开始前以及试验结束时测定苗高。苗高相对生长量(%) = (处理后苗高 - 处理前苗高) × 100 / 对照苗高增加量。Na⁺和K⁺质量分数用ICP(电感耦合等离子体)法测定。根系Na⁺和K⁺的选择性吸收比率(离子吸收S_{Na,K})和根中Na⁺, K⁺向地上部的选择性运输比率(离子运输S_{Na,K})参照Flowers等^[4]的方法计算: 离子吸收S_{Na,K} = ([Na⁺]/[K⁺])_{介质} / ([Na⁺]/[K⁺])_根, 离子运输S_{Na,K} = ([Na⁺]/[K⁺])_根 / ([Na⁺]/[K⁺])_叶。

1.4 数据处理

试验数据均采用SPSS软件处理, 采用LSD法对不同无性系不同处理间进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 氯化钠胁迫对中山杉无性系幼苗各器官干物质积累的影响

由表1可知, 与对照相比, 2个中山杉无性系总干质量和地上部干质量在氯化钠处理下均下降。146号的根干质量在较低质量浓度(3.0, 3.5 g·L⁻¹)氯化钠处理下无显著差异, 在较高质量浓度(4.0, 4.5 g·L⁻¹)处理时显著下降, 而24号的根干质量在不同氯化钠质量浓度处理下均显著下降。2个中山杉无性系根冠比随氯化钠质量浓度的增大先上升后下降。当氯化钠质量浓度高于3.0 g·L⁻¹时, 在相同氯化钠质量浓度处理下, 146号总干质量显著低于24号, 地上部干质量、根干质量以及根冠比也表现出相似的规律。

2.2 氯化钠胁迫对中山杉无性系株高相对生长量的影响

由图1可知, 随着氯化钠质量浓度增加, 2个中山杉无性系株高相对生长量均呈逐渐下降趋势, 但是下降幅度因无性系和氯化钠质量浓度不同而有差异。耐盐力较高的146号株高相对生长量在低质量浓度(3.0, 3.5 g·L⁻¹)时随氯化钠质量浓度的增加下降幅度很大, 但是高质量浓度时却下降缓慢; 而24号株高相对生长量在低氯化钠质量浓度时下降幅度较小, 但是随氯化钠质量浓度的增加下降幅度增大。

表 1 氯化钠胁迫对中山杉无性系 146 号和 24 号幼苗各器官干物质积累的影响

Table 1 Total dry biomass, root dry biomass, aboveground dry biomass and root/shoot ratio of ‘Zhongshansha’ breeding clones No. 146 and No. 24 after treated with NaCl

氯化钠质量 浓度/ (g · L ⁻¹)	总干质量/g		地上部干质量/g		根干质量/g		根冠比	
	146 号	24 号	146 号	24 号	146 号	24 号	146 号	24 号
0 (ck)	11.17 a/a	12.09 a/a	8.55 a/a	7.93 a/a	2.62 a/b	4.16 a/a	0.31 c/b	0.53 c/a
3.0	8.36 b/a	7.82 b/a	6.11 b/a	4.73 b/b	2.25 a/b	3.09 b/a	0.37 c/b	0.67 bc/a
3.5	4.98 c/b	6.17 c/a	2.67 d/b	4.66 b/a	2.32 a/a	2.67 b/a	0.87 a/a	0.77 b/a
4.0	5.15 c/b	7.78 b/a	3.78 c/a	3.50 c/b	1.37 b/b	3.12 b/a	0.38 c/b	0.68 bc/a
4.5	3.97 d/b	5.66 c/a	2.47 d/a	2.50 d/a	1.50 b/b	2.06 c/a	0.62 b/b	0.82 a/a

说明：“/”前不同小写字母表示同一无性系不同氯化钠质量浓度之间在 0.05 水平上存在显著差异；“/”后不同小写字母表示同一氯化钠质量浓度不同无性系之间在 0.05 水平上存在显著差异。

2.3 氯化钠胁迫对中山杉无性系幼苗各器官离子吸收和运输特性的影响

2.3.1 对叶片离子质量分数以及离子运输 S_{Na,K} 的影响

表 2 表明，与对照相比，2 个中山杉无性系叶片 K⁺ 质量分数随氯化钠质量浓度增加表现为先上升后下降的趋势；叶片 Na⁺ 以及 Na⁺/K⁺ 均随氯化钠质量浓度增加呈递增趋势，24 号递增幅度比 146 号大，且此趋势随胁迫质量浓度递增更加明显。在 4.5 g · L⁻¹ 时，146 号与 24 号叶片 Na⁺ 质量分数以及 Na⁺/K⁺ 与对照相比增幅分别为 2 243% 和 5 781% 以及 1 822% 和 4 471%。离子运输 S_{Na,K} 随氯化钠质量浓度增加一直呈递减趋势，且二者在氯化钠质量浓度高于 3.0 g · L⁻¹ 时，2 个无性系差异显著。

表 2 氯化钠胁迫下中山杉无性系叶片 K⁺，Na⁺，Na⁺/K⁺ 以及离子运输 S_{Na,K}

Table 2 K⁺，Na⁺ and Na⁺/K⁺，S_{Na,K} in the leaves of ‘Zhongshansha’ breeding clones No. 146 and No. 24 after treated with NaCl

氯化钠质量 浓度/ (g · L ⁻¹)	Na ⁺ / (mg · g ⁻¹)		K ⁺ / (mg · g ⁻¹)		Na ⁺ /K ⁺		离子运输 S _{Na,K}	
	146 号	24 号	146 号	24 号	146 号	24 号	146 号	24 号
0 (ck)	0.91 d/a	0.67 e/a	9.99 d/a	9.67 c/a	0.09 d/a	0.07 e/a	2.54 a/b	3.50 a/a
3.0	9.11 c/b	16.63 d/a	10.79 cd/b	13.95 ab/a	0.85 b/b	1.20 d/a	1.54 b/a	1.31 b/a
3.5	10.53 c/b	24.66 c/a	18.60 a/a	15.37 a/b	0.57 c/b	1.61 c/a	1.37 b/a	1.12 bc/b
4.0	13.14 b/b	28.82 b/a	15.04 b/a	13.19 b/a	0.87 b/b	2.20 b/a	1.32 b/a	0.90 cd/b
4.5	21.32 a/b	39.40 a/a	12.39 c/a	12.33 b/a	1.73 a/b	3.20 a/a	1.03 c/a	0.76 d/b

说明：“/”前不同小写字母表示同一无性系不同氯化钠质量浓度之间在 0.05 水平上存在显著差异；“/”后不同小写字母表示同一氯化钠质量浓度不同无性系之间在 0.05 水平上存在显著差异。

2.3.2 对根离子含量以及离子吸收 S_{Na,K} 的影响

表 3 表明，2 个中山杉无性系根部 K⁺，Na⁺ 和 Na⁺/K⁺ 与对照相比在氯化钠处理下显著上升。2 个中山杉无性系根部 Na⁺ 在低质量浓度处理时无显著差异，在较高质量浓度 (4.0, 4.5 g · L⁻¹) 氯化钠处理时差异显著；二者根部 K⁺ 质量分数、Na⁺/K⁺ 以及离子吸收 S_{Na,K} 在所有氯化钠质量浓度下均呈显著差异。

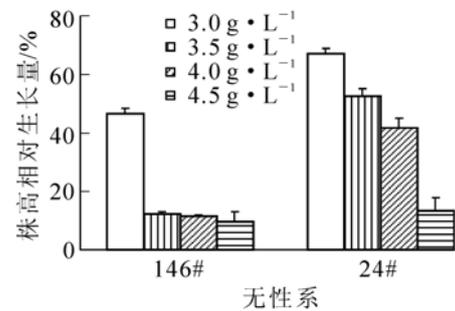


图 1 氯化钠胁迫对中山杉无性系苗高相对生长量的影响

Figure 1 The relative growth of ‘Zhongshansha’ breeding clones No. 146 and No. 24 after treated with NaCl

表3 氯化钠胁迫下中山杉无性系幼苗根部 K^+ , Na^+ , Na^+/K^+ 以及离子吸收 $S_{Na,K}$ Table 3 K^+ and Na^+ contents and Na^+/K^+ , $S_{Na,K}$ in the roots of 'Zhongshansha' breeding clones No. 146 and No. 24 after treated with NaCl

氯化钠质量 浓度/ $(g \cdot L^{-1})$	$Na^+ / (mg \cdot g^{-1})$		$K^+ / (mg \cdot g^{-1})$		Na^+ / K^+		离子吸收 $S_{Na,K}$	
	146号	24号	146号	24号	146号	24号	146号	24号
0 (ck)	0.62 d/a	0.66 c/a	5.09 c/a	2.73 c/b	0.12 d/a	0.24 d/a	0.00 c/a	0.00 b/a
3.0	12.21 c/a	13.97 b/a	10.96 a/a	8.96 a/b	1.12 c/b	1.56 c/a	15.53 ab/a	10.96 a/b
3.5	15.43 b/a	14.74 ab/a	10.73 a/a	8.21 a/b	1.44 b/b	1.80 bc/a	13.94 b/a	11.10 a/b
4.0	12.54 c/b	16.49 a/a	9.29 b/a	8.44 a/a	1.35 bc/b	1.97 b/a	17.04 a/a	11.63 a/b
4.5	19.89 a/a	14.6 ab/b	11.29 a/a	6.03 b/b	1.79 a/b	2.42 a/a	14.54 ab/a	10.62 a/b

说明：“/”前不同小写字母表示同一无性系不同氯化钠质量浓度之间在0.05水平上存在显著差异；“/”后不同小写字母表示同一氯化钠质量浓度不同无性系之间在0.05水平上存在显著差异。

3 讨论

3.1 氯化钠胁迫下中山杉无性系的生物量变化

生长抑制是盐胁迫对植物最普遍最显著的效应^[5]。实验中146号的干物质积累显著低于24号，这可能与无性系本身的特性有关，即146号的生长量小，而24号的生长量大。

Itai等^[6]认为根冠比增大是植物的一种保护效应，有利于吸收水分和营养物质，降低蒸腾，缓解水分胁迫所造成的伤害。本试验中146号根冠比在 $3.5 g \cdot L^{-1}$ 氯化钠胁迫下显著增大，原因可能就是氯化钠胁迫主动的适应，在盐胁迫质量浓度增大至一定程度其根冠比又降低至对照水平，表明较高盐胁迫时，仅靠增加根部比例来增强其抗盐性的能力也逐步降低。而24号的这种通过增加根部比例来增强其抗盐能力的适应性较146号弱。

3.2 氯化钠胁迫与中山杉无性系叶部和根部离子的积累

K^+ 是植物所必需的唯一一种以相对高质量分数存在的阳离子，细胞质中维持高于某特定值的 K^+ 质量分数，对其生长及耐盐性都是非常必要的^[7]。本试验中相同氯化钠质量浓度下，2个中山杉无性系根部 K^+ 质量分数差异显著，叶片仅在 $3.5 g \cdot L^{-1}$ 氯化钠处理时差异显著。由此可见，不同耐盐性中山杉无性系其各器官 K^+ 的代谢差异主要体现在根部。146号根部较高的 K^+ 质量分数对于维持一定的 Na^+/K^+ 具有重要的意义。

植物体内 Na^+ 是没有活化的阳离子，过多的 Na^+ 会使代谢中的酶形成无活性的蛋白进而毒害植物^[8]。在高粱 *Sorghum bicolor*^[9]，小麦 *Triticum aestivum*^[10]和鹰嘴豆 *Phaseolus aureus*^[11]上的研究均表明，与盐敏感品种相比，耐盐品种叶片积累 Na^+ 最少。本试验也得出类似的结果：盐胁迫下146号叶片 Na^+ 质量分数低于24号。

叶片 Na^+/K^+ 通常被认为是评价植物耐盐性的一个重要指标^[12]， Na^+/K^+ 越大说明耐盐性越弱^[13,14]， Na^+ 吸收与 K^+ 内流相伴进行^[15]。本试验盐胁迫下146号叶片 Na^+/K^+ 显著低于根系，与宁建凤等^[16]的研究结果相似。

综上所述146号对盐胁迫的适应性，与其根部对 K^+ 选择性较强、叶片积累较少的 Na^+ 以及叶片维持较低的 Na^+/K^+ 有密切关系，其全面机制还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈永辉. 落羽杉属树木速生耐盐碱类型的杂交选育[M]//南京中山植物园. 南京中山植物园研究论文集. 南京: 江苏科学技术出版社, 1987: 92-97.
- [2] 陈永辉, 伍寿彭, 王名金, 等. 中山杉302和401无性系在碱地上的生长和适应性的初步研究[J]. 江苏林业科技, 1989, 16(3): 14-18.
- [3] 陈永辉, 伍寿彭, 殷云龙, 等. 江苏滨海盐碱地中山杉造林推广试验[J]. 江苏林业科技, 1996, 23(4): 18

- 22.

- [4] FLOWERS T J, YEO A R. Ion relation of salt tolerance [C]//BAKER D D, HALL J L. *Solute Transport in Cells and Tissue*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1998.
- [5] 马翠兰, 刘星辉. 盐对柚幼苗的胁迫效应分析[J]. 热带作物学报, 2004, **25** (1): 28 - 31.
- [6] ITAI C, BENZION A. Water and plant life [M]. Berlin: Springer Verlag, 1976: 207 - 224.
- [7] ADAMS P, THOMAS J C, VERNON D M, *et al.* Distinct cellular and organic responses to salt stress [J]. *Plant Cell Physiol*, 1992, **33**: 1 215 - 1 223.
- [8] 杨敏生, 李艳华, 梁海永, 等. 盐胁迫下白杨无性系苗木体内离子分配及比较[J]. 生态学报, 2003, **23** (2): 271 - 277.
- [9] KHAN A H, ASHRAF M Y, AZMI A R. Osmotic adjustment in sorghum under NaCl stress [J]. *Physiol Plant*, 1992, **14**: 159 - 164.
- [10] POUSTINI K, SISSEMARDEH A. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress [J]. *Field Crops Res*, 2004, **85**: 125 - 133.
- [11] NEELAM M, DWIVEDIU N. Genotypic difference in salinity tolerance of green gram cultivars [J]. *Plant Sci*, 2004, **166**: 1 135 - 1 142.
- [12] 杨晓英, 章文华, 王庆亚, 等. 江苏野生大豆的耐盐性和离子在体内的分布及选择性运输[J]. 应用生态学报, 2003, **14** (12): 2 237 - 2 240.
- [13] SCHACHTMAN D P, BLOOM A J, DOVORAK J. Salt-tolerant *Triticum* × *Lophopyrum* derivatives limit the accumulation of sodium and chloride ions under saline-stress [J]. *Plant Cell Environ*, 1989, **12**: 47 - 55.
- [14] SCHACHTMAN D P, MUNNS R. Sodium accumulation in leaves of *Triticum* species that differ in salt tolerance [J]. *Aust J Plant Physiol*, 1992, **19**: 311 - 340.
- [15] 刘静, 王林和, 王兴. 土壤及地下水含盐量对小美早杨可溶盐离子质量分数的影响[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (1): 33 - 39.
- [16] 宁建凤, 刘兆普, 刘玲, 等. NaCl 对库拉索芦荟的胁迫效应研究[J]. 华北农学报, 2005, **20** (5): 70 - 75.