

NaCl 胁迫对 2 个杨树品系扦插苗生长及体内离子含量和运输的影响

武传兰, 隆小华, 梁明祥, 王长海, 刘兆普^①

(南京农业大学资源与环境科学学院 江苏省海洋生物学重点实验室, 江苏 南京 210095)

摘要: 以杨树(*Populus* spp.) 品系“南杨 1 号”(Nanyang No. 1)和“南杨 2 号”(Nanyang No. 2)为实验材料,研究了不同浓度(0, 75 和 150 mmol · L⁻¹) NaCl 胁迫条件下 2 个杨树品系扦插苗生长及不同器官中离子(N、P、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺和 Cl⁻)含量与运输的差异。结果表明:随 NaCl 浓度的提高,2 个杨树品系的单株干质量以及“南杨 1 号”的根冠比均逐渐降低,但“南杨 2 号”的根冠比呈现先增大后减小的趋势;除 P 和 Mg²⁺ 含量外,2 个品系根、新生枝条和叶片中营养元素的含量均逐渐降低,Na⁺ 和 Cl⁻ 含量以及 Na⁺/K⁺ 和 Na⁺/Ca²⁺ 比值均逐渐增加,但 Na⁺ 和 Cl⁻ 含量以及 Na⁺/K⁺ 和 Na⁺/Ca²⁺ 比值的增幅在根中均最高、在叶片中均最小。在 150 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,2 个品系的单株干质量和根冠比以及根、新生枝条和叶片中 N、P、K⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 含量均最低,Na⁺ 和 Cl⁻ 含量以及 Na⁺/K⁺ 和 Na⁺/Ca²⁺ 比值均最高,且与对照有显著差异。在 NaCl 胁迫条件下,2 个品系从根到新生枝条、从新生枝条到叶片的离子运输相对选择性比率 RS_{K^+,Na^+} 和 RS_{Ca^{2+},Na^+} 基本上均小于对照,其中,从根到新生枝条的 RS_{K^+,Na^+} 和 RS_{Ca^{2+},Na^+} 均大于从新生枝条到叶片。总体上看,在 NaCl 胁迫条件下“南杨 2 号”的单株干质量和根冠比、各器官的 N 和 P 含量、不同器官间的 RS_{K^+,Na^+} 和 RS_{Ca^{2+},Na^+} 均高于“南杨 1 号”,“南杨 2 号”各器官的 Na⁺ 和 Cl⁻ 含量以及 Na⁺/K⁺ 和 Na⁺/Ca²⁺ 比值的增幅均低于“南杨 1 号”。综合分析结果表明:NaCl 胁迫对 2 个杨树品系扦插苗的生长及体内离子的分布及运输均有一定的影响,但总体上看,“南杨 2 号”对 NaCl 胁迫的耐性优于“南杨 1 号”。

关键词: NaCl 胁迫; 杨树; 根冠比; 离子含量; 离子运输

中图分类号: Q946.91; Q945.78; S792.11 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)01-0063-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.01.10

Effect of NaCl stress on growth and ion content and transport in cutting seedling of two lines of *Populus* spp. WU Chuanlan, LONG Xiaohua, LIANG Mingxiang, WANG Changhai, LIU Zhaopu^① (Key Laboratory of Marine Biology of Jiangsu Province, College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(1): 63-69

Abstract: Taking two new lines of “Nanyang No. 1” and “Nanyang No. 2” of *Populus* spp. as the experimental materials, differences of growth and content and transport of ions (N, P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Cl⁻) in different organs of cutting seedlings of two lines were researched under NaCl stress with different concentrations (0, 75 and 150 mmol · L⁻¹). The results show that with rising of NaCl concentrations, dry weight per plant of two lines and root-shoot ratio of “Nanyang No. 1” are gradually reducing, but root-shoot ratio of “Nanyang No. 2” appears the trend of firstly increasing and then reducing; in root, new branch and leaf of two lines, contents of nutrient elements all are gradually decreasing except P and Mg²⁺, and contents of Na⁺ and Cl⁻ and ratio values of Na⁺/K⁺ and Na⁺/Ca²⁺ are gradually increasing but their increasing ranges are the highest in root and the lowest in leaf. Under stress of 150 mmol · L⁻¹ NaCl, dry weight per plant and root-shoot ratio, contents of N, P, K⁺, Ca²⁺ and

收稿日期: 2012-03-20

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001-05); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD13B09); 江苏省科技支撑计划项目(BE2010305; BE2011368)

作者简介: 武传兰(1987—),女,山东沂水人,硕士研究生,主要从事植物耐盐生理和分子生物学的研究。

^①通信作者 E-mail: sea@njau.edu.cn

Mg^{2+} in root, new branch and leaf of two lines all are the lowest, and contents of Na^+ and Cl^- and ratio values of Na^+/K^+ and Na^+/Ca^{2+} all are the highest with the significant difference compared to the control. Under NaCl stress, the relative selectivity ratio RS_{K^+,Na^+} and RS_{Ca^{2+},Na^+} of ion transporting from root to new branch and from new branch to leaf of two lines almost are lower than those of the control, in which, RS_{K^+,Na^+} and RS_{Ca^{2+},Na^+} from root to new branch all are bigger than those from new branch to leaf. Generally, under NaCl stress, dry weight per plant, root-shoot ratio, N and P contents, and RS_{K^+,Na^+} and RS_{Ca^{2+},Na^+} among different organs of "Nanyang No. 2" all are higher than those of "Nanyang No. 1", while increasing ranges of Na^+ and Cl^- contents, ratio values of Na^+/K^+ and Na^+/Ca^{2+} in different organs of "Nanyang No. 2" all are lower than those of "Nanyang No. 1". Comprehensive analysis result indicates that NaCl stress has a certain effect on growth and ion distribution and transport in cutting seedlings of two lines of *Populus* spp., but generally, the resistance of "Nanyang No. 2" to NaCl stress is superior to that of "Nanyang No. 1".

Key words: NaCl stress; *Populus* spp.; root-shoot ratio; ion content; ion transport

随生态环境的改变和恶化,土壤盐碱化逐渐成为制约植物生长和农业生产的重要逆境因素之一,土壤的盐碱化问题在世界范围内广泛存在,尤其是在干旱、半干旱地区更为严重。寻找和利用耐盐植物是改良和利用大面积盐碱土资源的最为经济、有效和环保的措施之一^[1-2]。

非盐生植物的耐盐性主要取决于其根系对盐分的选择吸收以及盐分在其体内器官、组织和细胞内的区隔化程度^[3]。有研究表明:树木能够通过提高根冠比^[4]和离子区隔化^[5]增加其细胞内以 Na^+ 和 Cl^- 离子为主的无机或有机渗透调节物质^[6];与农作物相比,大多数树木为深根性植物,因此,营造森林能有效缓解土壤盐碱化问题^[7]。

杨树(*Populus* spp.)用途广泛,是重要的造林、绿化以及工业用材树种,栽植量大。近年来,人们对杨树抗逆、材质等方面的要求不断提高,并采用基因工程技术获得了具有抗旱、耐盐等特性的杨树转基因新材料^[8-10]。作者以本项目组筛选出的杨树新品系“南杨1号”和“南杨2号”为实验材料,研究了不同浓度NaCl胁迫对2个杨树品系扦插苗生长以及不同器官内离子吸收和分配的影响,以期为杨树耐盐机制的研究和耐盐品种的选育提供基础实验数据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试杨树品系为“南杨1号”(Nanyang No. 1)和“南杨2号”(Nanyang No. 2),取自南京农业大学莱州中试基地。选取生长健康的壮龄植株,剪取长度约30 cm、直径约1 cm的当年生枝条为插穗,于2011年

3月扦插于装有20目石英砂且下部具孔的塑料盆中,每盆栽植2支插穗;置于温室内于自然光照、最高日温35℃、最低夜温24℃的条件下培养2个月;常规日常管理,并浇灌适量1/2Hoagland营养液。

1.2 方法

1.2.1 NaCl胁迫处理 参照文献[11]设置NaCl处理水平,NaCl以固体形式直接加入1/2Hoagland营养液中,使营养液中NaCl的终浓度分别为75和150 mmol·L⁻¹,对照则为不添加NaCl的1/2Hoagland营养液。将培养2个月的扦插苗转入上述各处理液中进行胁迫处理,每盆保留1株苗,每处理12株苗。置于温室内于最高日温35℃、最低夜温24℃、自然光照条件下培养,并采用砂面浇灌法每天浇灌1次处理液。胁迫处理21 d后每个处理选取6株长势较一致的单株分别用于生长指标及离子含量测定。

1.2.2 不同器官干质量测定 用流水将扦插苗根部石英砂洗净,取出扦插苗,用蒸馏水反复冲洗;将每一单株均分别分成根、茎和叶3部分,于110℃杀青10 min后于60℃条件下干燥至恒质量;分别称量各部分的干质量,并据此计算单株干质量和根冠比。

1.2.3 离子含量测定 不同器官N、P、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺和Cl⁻含量的测定参照文献[12]的方法并略加改动。每一单株均分别分为根、新生枝条和叶片3部分,于110℃杀青10 min后于60℃条件下干燥至恒质量,冷却后粉碎并过60目筛;准确称取各部位的干燥样品粉末0.05 g各2份,1份加入V(HClO₃):V(HNO₃)=1:3的混合溶液8 mL进行消煮,消煮结束后用去离子水定容至100 mL,然后参照文献[13]采用Auto Analyzer 3型流动分析仪(德国布朗卢比公司)测定N含量;另1份加入浓硫酸8 mL进行消煮,

消毒结束后用去离子水定容至 100 mL,参照文献[13]采用 OPTIMA°2100DV 型电感耦合等离子光谱发生仪(美国 Perkin Elmer 公司)测定 P、Na⁺、K⁺、Ca²⁺和 Mg²⁺含量;参照文献[14]采用滴定法测定 Cl⁻含量。

1.3 数据处理

根据上述实验数据,按下列方法或公式计算根冠比、不同器官的 Na⁺/K⁺或 Na⁺/Ca²⁺比值以及不同器官间 K⁺-Na⁺和 Ca²⁺-Na⁺离子运输的相对选择性比率 RS(relative selectivity ratio)。

根冠比=根干质量/(茎干质量+叶干质量)。

由文献[15]可见:离子运输选择性比率 S_{X,Na^+} = 库器官(X/Na⁺)/源器官(X/Na⁺)。其中, S_{X,Na^+} 越大,表明库器官从源器官选择吸收 X 离子和控制 Na⁺离子向库器官运输的能力越强。由此,推导出以下计算公式:根到新生枝条的 RS_{K^+,Na^+} = (新生枝条中 Na⁺/K⁺)/(根中 Na⁺/K⁺);根到新生枝条的 RS_{Ca^{2+},Na^+} = (新生枝条中 Na⁺/Ca²⁺)/(根中 Na⁺/Ca²⁺);新生枝条到叶片的 RS_{K^+,Na^+} = (叶片中 Na⁺/K⁺)/(新生枝条中 Na⁺/K⁺);新生枝条到叶片的 RS_{Ca^{2+},Na^+} = (叶片中 Na⁺/Ca²⁺)/(新生枝条中 Na⁺/Ca²⁺)。

利用 Excel 2003 软件和 SPSS 16.0 统计分析软件对实验数据进行统计和分析,并采用 Duncan's 多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 NaCl 胁迫对 2 个杨树品系扦插苗生长的影响

经不同浓度 NaCl 胁迫处理后 2 个杨树品系扦插苗的单株干质量及根冠比见表 1。

由表 1 可见:随 NaCl 浓度的提高,2 个品系的单株干质量均呈下降趋势,且“南杨 2 号”单株干质量均高于“南杨 1 号”,各处理组间差异达显著水平;在对照(0 mmol · L⁻¹ NaCl)和高浓度(150 mmol · L⁻¹) NaCl 处理条件下 2 个品系间的单株干质量均没有明显差异,但在低浓度(75 mmol · L⁻¹) NaCl 处理条件下有明显差异。在 75 mmol · L⁻¹ NaCl 处理条件下,“南杨 1 号”和“南杨 2 号”的单株干质量分别比对照下降了 61.3% 和 21.4%。

由表 1 还可见:随 NaCl 浓度的提高,“南杨 1 号”扦插苗的根冠比逐渐降低,且均与对照有显著差异;

在 75 mmol · L⁻¹ NaCl 处理条件下“南杨 2 号”的根冠比略高于对照但差异不显著,而在 150 mmol · L⁻¹ NaCl 处理条件下其根冠比低于对照且差异达到显著水平。在 NaCl 胁迫条件下“南杨 2 号”的根冠比均高于“南杨 1 号”,其中,在 75 mmol · L⁻¹ NaCl 处理条件下,“南杨 2 号”扦插苗的根冠比为“南杨 1 号”的 1.39 倍。

表 1 不同浓度(C) NaCl 胁迫对 2 个杨树品系(“南杨 1 号”和“南杨 2 号”)扦插苗单株干质量和根冠比的影响($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 1 Effects of NaCl stress with different concentrations (C) on dry weight per plant and root-shoot ratio of cutting seedlings of two lines (“Nanyang No. 1” and “Nanyang No. 2”) of *Populus* spp. ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

C/mmole · L ⁻¹	单株干质量/g Dry weight per plant	根冠比 Root-shoot ratio
南杨 1 号 Nanyang No. 1		
0	35.59±2.09a	0.38±0.06a
75	13.77±0.66b	0.28±0.06b
150	7.91±0.78c	0.26±0.02b
南杨 2 号 Nanyang No. 2		
0	37.13±2.79a	0.38±0.03a
75	29.18±0.10b	0.39±0.06a
150	10.30±0.98c	0.35±0.03b

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著(P<0.05) Different small letters in the same column indicate the significant difference (P<0.05).

2.2 NaCl 胁迫对 2 个杨树品系扦插苗各器官离子含量的影响

2.2.1 对 N、P、K⁺、Ca²⁺和 Mg²⁺含量的影响 经不同浓度 NaCl 胁迫处理后,2 个杨树品系扦插苗不同器官 N、P、K⁺、Ca²⁺和 Mg²⁺含量的差异见表 2。

由表 2 可见:在 75 mmol · L⁻¹ NaCl 处理条件下,2 个品系扦插苗根、新生枝条和叶片中的 P 含量和根中的 Mg²⁺含量以及“南杨 1 号”扦插苗叶片中的 Mg²⁺含量均高于对照,而各部位其他离子的含量均低于对照;在 150 mmol · L⁻¹ NaCl 处理条件下,2 个品系扦插苗根、新生枝条和叶片中 N、P、K⁺、Ca²⁺和 Mg²⁺含量均显著低于对照(P<0.05)。

总体上看,在 2 个杨树品系间根、新生枝条和叶片中的 N、P、K⁺、Ca²⁺和 Mg²⁺含量均有一定差异,其中“南杨 2 号”各器官的 N 和 P 含量均高于“南杨 1 号”,特别是在 75 mmol · L⁻¹ NaCl 处理条件下,“南杨 2 号”根、新生枝条和叶片中的 P 含量分别是“南杨 1 号”的 1.3、1.2 和 2.2 倍。

2.2.2 对 Na⁺和 Cl⁻含量的影响 经不同浓度 NaCl

胁迫处理后,2 个杨树品系扦插苗不同器官 Na^+ 和 Cl^- 含量的差异见表 3。

由表 3 可见:随 NaCl 浓度的提高,2 个品系扦插苗根、新生枝条和叶片中 Na^+ 和 Cl^- 含量也逐渐增加,特别是在 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理条件下,各器官中 Na^+ 和 Cl^- 的含量均显著高于对照及 $75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

NaCl 处理组 ($P < 0.05$),且在根中的增幅最大。在相同浓度 NaCl 胁迫条件下,不同器官的 Na^+ 和 Cl^- 含量均有一定差异,其中,根中 Na^+ 和 Cl^- 含量最高,新生枝条中 Na^+ 和 Cl^- 含量略低于根,而叶片中 Na^+ 和 Cl^- 含量均最低。总体上看,“南杨 1 号”根、新生枝条和叶片中的 Na^+ 和 Cl^- 含量均高于“南杨 2 号”。

表 2 不同浓度 (C) NaCl 胁迫对 2 个杨树品系 (“南杨 1 号”和“南杨 2 号”) 扦插苗不同器官 N、P、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量的影响¹⁾

Table 2 Effect of NaCl stress with different concentrations (C) on contents of N, P, K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} in different organs of cutting seedlings of two lines (“Nanyang No. 1” and “Nanyang No. 2”) of *Populus* spp.¹⁾

C/mm $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	N 含量/mm $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ N content			P 含量/mm $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ P content			K^+ 含量/mm $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ K^+ content			Ca^{2+} 含量/mm $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ Ca^{2+} content			Mg^{2+} 含量/mm $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ Mg^{2+} content		
	R	B	L	R	B	L	R	B	L	R	B	L	R	B	L
	南杨 1 号 Nanyang No. 1														
0	1.95a	1.36a	3.24a	0.14b	0.09b	0.15a	0.64a	0.59a	0.66a	0.35a	0.30a	0.31a	0.06b	0.08a	0.13a
75	1.40b	1.07b	2.21b	0.36a	0.18a	0.15a	0.45b	0.28b	0.53b	0.20b	0.16b	0.29a	0.09a	0.06b	0.08b
150	0.92c	0.66c	1.40c	0.11b	0.06b	0.09b	0.19c	0.12c	0.24c	0.10c	0.08c	0.13b	0.04c	0.02c	0.03c
南杨 2 号 Nanyang No. 2															
0	2.11a	1.33a	3.37a	0.14c	0.12b	0.18b	0.67a	0.57a	0.66a	0.36a	0.34a	0.31a	0.08b	0.08a	0.08b
75	1.89b	1.09b	2.71b	0.47a	0.23a	0.34a	0.63a	0.44b	0.52b	0.34a	0.30a	0.30a	0.11a	0.07a	0.13a
150	0.95b	0.70c	1.68c	0.19b	0.07c	0.11c	0.29b	0.16c	0.30c	0.11b	0.10b	0.12b	0.04c	0.02b	0.04c

¹⁾ R: 根 Root; B: 新生枝条 New branch; L: 叶片 Leaf. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

表 3 不同浓度 (C) NaCl 胁迫对 2 个杨树品系 (“南杨 1 号”和“南杨 2 号”) 扦插苗不同器官 Na^+ 和 Cl^- 含量的影响 ($\bar{X} \pm \text{SD}$)¹⁾

Table 3 Effect of NaCl stress with different concentrations (C) on contents of Na^+ and Cl^- in different organs of cutting seedlings of two lines (“Nanyang No. 1” and “Nanyang No. 2”) of *Populus* spp. ($\bar{X} \pm \text{SD}$)¹⁾

C/mm $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	Na^+ 含量/mm $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ Na^+ content			Cl^- 含量/mm $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ Cl^- content		
	R	B	L	R	B	L
	南杨 1 号 Nanyang No. 1					
0	0.15±0.02c	0.17±0.01c	0.13±0.01c	0.20±0.01c	0.17±0.01c	0.12±0.01c
75	0.58±0.01b	0.30±0.02b	0.27±0.01b	0.68±0.01b	0.27±0.02b	0.27±0.02b
150	0.76±0.04a	0.49±0.04a	0.33±0.02a	0.81±0.06a	0.51±0.04a	0.44±0.01a
南杨 2 号 Nanyang No. 2						
0	0.13±0.02c	0.16±0.01c	0.12±0.01b	0.19±0.01c	0.16±0.01c	0.16±0.01b
75	0.31±0.01b	0.20±0.01b	0.13±0.00b	0.41±0.05b	0.20±0.01b	0.18±0.02b
150	0.74±0.05a	0.45±0.03a	0.31±0.02a	0.80±0.07a	0.50±0.02a	0.40±0.01a

¹⁾ R: 根 Root; B: 新生枝条 New branch; L: 叶片 Leaf. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

2.3 NaCl 胁迫对 2 个杨树品系扦插苗各器官离子分配及运输的影响

2.3.1 对不同器官 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 比值的影响
经不同浓度 NaCl 胁迫处理后,2 个杨树品系扦插苗不同器官 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 比值见表 4。

由表 4 可见:随 NaCl 浓度的提高,2 个杨树品系扦插苗根、新生枝条和叶片中 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 比值均逐渐增加,但不同器官中 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 比

值的增幅有一定差异;其中,根中 2 个比值的增幅最大、叶片中 2 个比值的增幅最小。总体上看,“南杨 1 号”根、新生枝条和叶片中 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 比值的增幅均大于“南杨 1 号”各器官。

2.3.2 对不同器官 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 的影响
经不同浓度 NaCl 胁迫处理后,2 个杨树品系扦插苗不同器官间离子运输的相对选择性比率 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 见表 5。

表4 不同浓度(C) NaCl胁迫对2个杨树品系(“南杨1号”和“南杨2号”)扦插苗不同器官 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 比值的影响¹⁾

Table 4 Effect of NaCl stress with different concentrations (C) on ratio values of Na^+/K^+ and $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ in different organs of cutting seedlings of two lines (“Nanyang No. 1” and “Nanyang No. 2”) of *Populus* spp.¹⁾

C/mm \cdot L ⁻¹	Na^+/K^+ 比值			$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 比值		
	Na^+/K^+ ratio value			$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ratio value		
	R	B	L	R	B	L
南杨1号 Nanyang No. 1						
0	0.23c	0.28c	0.19c	0.43c	0.54c	0.41c
75	1.28b	1.08b	0.51b	2.85b	1.92b	0.93b
150	4.00a	3.96a	1.36a	7.07a	6.13a	2.53a
南杨2号 Nanyang No. 2						
0	0.19c	0.27c	0.19b	0.36c	0.46c	0.40b
75	0.50b	0.47b	0.24b	0.91b	0.67b	0.41b
150	2.56a	2.84a	1.30a	2.97a	4.40a	2.47a

¹⁾ R: 根 Root; B: 新生枝条 New branch; L: 叶片 Leaf. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

表5 不同浓度(C) NaCl胁迫对2个杨树品系(“南杨1号”和“南杨2号”)扦插苗不同器官离子运输的相对选择性比率 ($RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$)的影响¹⁾

Table 5 Effect of NaCl stress with different concentrations (C) on relative selectivity ratio of ion transport ($RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ and $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$) in different organs of cutting seedlings of two lines (“Nanyang No. 1” and “Nanyang No. 2”) of *Populus* spp.¹⁾

C/mm \cdot L ⁻¹	$RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$		$RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$	
	R→B	B→L	R→B	B→L
	南杨1号 Nanyang No. 1			
0	1.21a	0.68a	1.28a	0.75a
75	0.84c	0.48b	0.67c	0.49b
150	0.99b	0.34c	0.87b	0.41b
南杨2号 Nanyang No. 2				
0	1.41a	0.69a	1.27b	0.86a
75	0.94c	0.52b	0.74c	0.61b
150	1.11b	0.46b	1.48a	0.56b

¹⁾ R→B: 从根到新生枝条 Transporting from root to new branch; B→L: 从新生枝条到叶片 Transporting from new branch to leaf. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

由表5可知:2个杨树品系扦插苗从根到新生枝条、从新生枝条到叶片的离子运输相对选择性比率 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 均小于对照,但总体上看,根到新生枝条的 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 大于从新生枝条到叶片。随 NaCl 处理浓度的提高,2个杨树品系扦插苗从新生枝条到叶片的 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 均逐渐减小,且显著低于对照。而2个杨树品系扦插苗从根到新生枝条的 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 却有不同的变化,其中,在75 mmol \cdot L⁻¹ NaCl 胁迫条件下从根到新生枝条的

$RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 均最小且与对照差异显著,而在150 mmol \cdot L⁻¹ NaCl 胁迫条件下从根到新生枝条的 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 均有所增大,但仅“南杨2号”从根到新生枝条的 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 显著高于对照,“南杨1号”从根到新生枝条的 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 以及“南杨1号”从根到新生枝条的 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 均显著低于对照。总体上看,“南杨2号”不同器官间的 $RS_{\text{K}^+,\text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+},\text{Na}^+}$ 均高于“南杨1号”不同器官。

3 讨论和结论

根冠比是指植物地下部分与地上部分的鲜质量或干质量的比值,一般认为根冠比的大小反映了植物地下部分与地上部分的相关性。从理论上讲,根冠比能反映出植物地上部分及地下部分的生长发育情况,其比值高则根系活性强、比值低则根系活性弱。由于根冠比在一定程度上能体现植物体内水分及营养收支平衡的关系^[16],因而这一指标格外受到研究者的关注。有研究者认为:根冠比越大越利于苗木成活^[17];盐胁迫对新生叶片的生长有较强的抑制作用,但对较老叶片的影响较小,这主要是由于盐胁迫降低了光合速率和单位面积的光合生产力^[18]。本研究结果表明:在较低浓度(75 mmol \cdot L⁻¹) NaCl 胁迫条件下,2个杨树品系扦插苗的单株干质量和根冠比均下降,但“南杨1号”的降幅明显高于“南杨2号”,说明“南杨1号”对低浓度 NaCl 胁迫更敏感;而随着 NaCl 浓度的提高,2个杨树品系扦插苗的单株干质量和根冠比均显著低于对照且降幅更大,表明在高浓度 NaCl 胁迫条件下2个品系扦插苗的生长均受到明显的抑制。在75 mmol \cdot L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,2个杨树品系扦插苗根和新生枝条中 P 含量无显著差异,但叶片中 P 和 N 含量显著高于根,这是由于氮营养转运体的表达活性高于根^[19],导致地上部分对养分的吸收和转运相对高于根部。另外,在本实验中,“南杨2号”不同器官的 N 和 P 含量均高于“南杨1号”,表明与“南杨1号”相比,“南杨2号”更易吸收养分并维持植株正常生长,这也印证了2个品系扦插苗单株干质量变化的差异。

盐胁迫对植物造成的伤害主要表现在 Na^+ 及 Cl^- 毒害、细胞渗透调节失衡、水分胁迫以及养分失衡。Chen 等^[20]的研究结果表明:在盐胁迫条件下胡杨 (*Populus euphratica* Olivier)体内 Cl^- 分配状况改变,降

低了 Cl^- 在叶片中的积累,并将较多 Cl^- 积累在根系中,有利于根细胞水势下降,从而保证根系对水分的吸收,这是胡杨主动适应盐胁迫的反应。本研究结果表明:随 NaCl 浓度提高,2 个杨树品系扦插苗体内 Na^+ 和 Cl^- 含量均迅速增加,但不同器官中增幅不同,其中根系中 Na^+ 和 Cl^- 含量最高,新生枝条中 Na^+ 和 Cl^- 含量略低于根,叶片中 Na^+ 和 Cl^- 含量最低,与以其他植物为实验对象获得的研究结论基本一致^[21-22],也可能是杨树扦插苗对 NaCl 胁迫的一种适应性反应。

Ahmadi 等^[23]认为:提高细胞中的 Na^+ 含量可引起细胞中 Ca^{2+} 外渗,从而导致机体内 Ca^{2+} 含量的降低。在盐胁迫条件下,植物体内 K^+ 和 Ca^{2+} 的变化趋势与 Na^+ 的变化趋势不一致,即随盐浓度升高, K^+ 和 Ca^{2+} 含量不断降低,表明 Na^+ 的积累抑制了 K^+ 和 Ca^{2+} 的吸收^[24]。另外, Ca^{2+} 还能影响植物对 K^+ 的吸收,在盐胁迫条件下植物体内含有较多 Ca^{2+} 可能表明 Ca^{2+} 在调节盐胁迫中起着重要作用。在盐胁迫条件下,植物体内 Na^+ 的积累还会抑制 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 交换,但在盐胁迫条件下 K^+ 含量保持一定稳定性,从而维持 Na^+ / K^+ 泵较高的 ATPase 活性,为 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 交换提供前提条件^[25]。离子运输的相对选择性比率 RS 值反映的是植物根中的 Na^+ 、 K^+ 和 Ca^{2+} 向地上部分运输的能力, $RS_{\text{K}^+, \text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+}$ 值与 K^+ 和 Ca^{2+} 运输的选择性呈正相关关系^[3]。在本研究中,从离子含量变化、 Na^+ / K^+ 和 $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ 比值的变化以及 $RS_{\text{K}^+, \text{Na}^+}$ 和 $RS_{\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+}$ 值的综合分析可见:2 个杨树品系扦插苗对 Na^+ 的吸收与分配能力有明显差异,其中,“南杨 2 号”具有更强的维持离子平衡的能力,这也可能是“南杨 2 号”对低浓度 NaCl 胁迫适应性更强的原因之一。本研究中,在 NaCl 胁迫条件下,2 个杨树品系扦插苗不同器官的 Na^+ / K^+ 和 $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ 比值提高,在其他的研究中也得出相似的结论^[26-27]。毛才良等^[28]认为:离子分配形式不同,导致植物耐盐性的差异,耐盐性强的种类对 K^+ 和 Ca^{2+} 的选择性吸收较强,而对 Na^+ 的选择性吸收较弱,从而使 Na^+ 在根中积累,而叶片中的 Na^+ 含量相对较少,同时也使叶片中保持相对较高的 K^+ 和 Ca^{2+} 含量,以此减轻 Na^+ 对叶片的伤害。从本研究结果中也可总结出类似的规律。

综上所述,从植株干质量、根冠比以及不同器官中离子的吸收、运输和分配的情况看,“南杨 2 号”品系的耐盐性要优于“南杨 1 号”,尤其是在低浓度 NaCl 胁迫条件下更是如此。

参考文献:

- [1] HERRERO J, PÉREZ-COVETA O. Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district [J]. *Geoderma*, 2005, 125(3/4): 287-308.
- [2] MUNNS R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. *Plant Cell and Environment*, 2002, 25(2): 239-250.
- [3] 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.
- [4] Da SILVA E C, NOGUEIRA R J M C, De ARAUJO F P, et al. Physiological responses to salt stress in young umbu plants [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 63(1/3): 147-157.
- [5] 戴松香,陈少良,EBERHARD F,等. 盐胁迫下胡杨和毛白杨叶细胞中的离子区隔化 [J]. *北京林业大学学报*, 2006, 28(S2): 1-5.
- [6] SAIRAM R K, TYAGI A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants [J]. *Current Science*, 2004, 86(3): 407-421.
- [7] WARD M, HIRSCHI K D, SZE H. Plants pass the salt [J]. *Trends in Plant Science*, 2003, 8(5): 200-201.
- [8] SU X H, CHU Y G, LI H, et al. Expression of multiple resistance genes enhances tolerance to environmental stressors in transgenic poplar (*Populus × euramericana* ‘Guariento’) [J]. *PLoS One*, 2011, 6(9): 1-11.
- [9] AHARON R, SHAHAK Y, WININGER S, et al. Overexpression of a plasma membrane aquaporin in transgenic tobacco improves plant vigor under favorable growth conditions but not under drought or salt stress [J]. *The Plant Cell*, 2003, 15(2): 439-447.
- [10] QIAO G R, ZHUO R Y, LIU M Y, et al. Over-expression of the *Arabidopsis* Na^+ / H^+ antiporter gene in *Populus deltoides* CL × *P. euramericana* CL “NL895” enhances its salt tolerance [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2011, 33(3): 691-696.
- [11] 姜超强,郑青松,刘兆普,等. 转 *AtNHX1* 基因杨树 Tr 品系的耐盐性研究 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(5): 563-570.
- [12] STOREY R, WALKER R R. Citrus and salinity [J]. *Scientia Horticulturae*, 1998, 78(1/4): 39-81.
- [13] 邵晶,刘玲,刘兆普,等. 施磷对海水灌溉下一年生芦荟氮磷吸收及糖分积累的影响 [J]. *土壤学报*, 2008, 45(4): 754-757.
- [14] 於丙军,罗庆云,刘友良. 盐胁迫对盐生野大豆生长和离子分布的影响 [J]. *作物学报*, 2001, 27(6): 776-780.
- [15] 郑青松,王仁雷,刘友良. 钙对盐胁迫下棉苗离子吸收分配的影响 [J]. *植物生理学报*, 2001, 27(4): 325-330.
- [16] EL-HENDAWY S E, HU Y, SAKAGAMI J I, et al. Screening Egyptian wheat genotypes for salt tolerance at early growth stages [J]. *International Journal of Plant Production*, 2011, 5(3): 283-298.
- [17] SNYMAN H A. Root studies on grass species in a semi-arid South Africa along a degradation gradient [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 130(3/4): 100-108.

- [18] 孙景波,孙广玉,刘晓东,等. 盐胁迫对桑树幼苗生长、叶片水分状况和离子分布的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 543-548.
- [19] WILLIAMS S, MIDEY A J, ARNOLD S T, et al. Electronic, rovibrational, and translational energy effects in ion-alkylbenzene charge-transfer reactions [J]. Journal of Physical Chemistry, 2000, 104(45): 10336-10346.
- [20] CHEN S L, DAI S X, LI J K, et al. Isolation of protoplast and ion channel recording in plasma membrane of suspension cells of *Populus euphratica* [J]. Forestry Studies in China, 2002, 4(1): 1-4.
- [21] 陈健妙,郑青松,刘兆普,等. 麻疯树(*Jatropha curcas* L.)幼苗生长和光合作用对盐胁迫的响应[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1356-1365.
- [22] 王艳青,蒋湘宁,李悦,等. 盐胁迫对刺槐不同组织及细胞离子吸收和分配的变化[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(1): 18-23.
- [23] AHMADI N, NEGRÃO S, KATSANTONIS D, et al. Targeted association analysis identified japonica rice varieties achieving Na⁺/K⁺ homeostasis without the allelic make-up of the salt tolerant indica variety Nona Bokra[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2011, 123(6): 881-895.
- [24] SUN J, DAI S X, WANG R G, et al. Calcium mediates root K⁺/Na⁺ homeostasis in poplar species differing in salt tolerance[J]. Tree Physiology, 2009, 29(9): 1175-1186.
- [25] MUÑOZ-MAYOR A, PINEDA B, GARCIA-ABELLÁN J O, et al. The *HAL1* function on Na⁺ homeostasis is maintained over time in salt-treated transgenic tomato plants, but the high reduction of Na⁺ in leaf is not associated with salt tolerance [J]. Physiologia Plantarum, 2008, 133(2): 288-297.
- [26] CHEN S L, LI J K, WANG S S, et al. Salt, nutrient uptake and transport, and ABA of *Populus euphratica*: a hybrid in response to increasing soil NaCl[J]. Trees: Structure and Function, 2001, 15(3): 186-194.
- [27] 汪贵斌,曹福亮,游庆方,等. 盐胁迫对4树种叶片中K⁺和Na⁺的影响及其耐盐能力的评价[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(1): 30-34.
- [28] 毛才良,刘友良. 盐胁迫大麦苗体内的Na⁺ K⁺分配与叶片耐盐量[J]. 南京农业大学学报, 1990, 13(3): 32-36.

(责任编辑:惠红,佟金凤)

欢迎订阅 2013 年《植物资源与环境学报》

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊
中国科学引文数据库核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊(A)
“中国期刊方阵”双效期刊 “江苏期刊方阵”优秀期刊

季刊, 单价 20 元, 邮发代号 28-213, 国内统一连续出版物号 CN32-1339/S

《植物资源与环境学报》系江苏省·中国科学院植物研究所、江苏省植物学会等单位联合主办的学术期刊, 国内外公开发行。本刊为 BA、CA、CAB、Elsevier's、中国生物学文摘、中国环境科学文摘、中国科学引文数据库、万方数据——数字化期刊群、中国学术期刊(光盘版)和中文科技期刊数据库等国内外著名刊库收摘, 并被 Ulrich's 期刊指南等所收录。

本刊围绕植物资源与环境两个中心命题, 报道我国植物资源的考察、开发利用和植物物种多样性保护, 自然保护区与植物园的建设和管理, 植物在保护和美化环境中的作用, 环境对植物的影响以及与植物资源和植物环境有关学科领域的原始研究论文、研究简报和综述等。凡从事植物学、生态学、自然地理学以及农、林、园艺、医药、食品、轻化工和环境保护等领域的科研、教学、技术人员及决策者, 可以从本刊获得相关学科领域的研究进展和信息。

本刊为季刊, 大 16 开本。每期定价 20 元, 全年 80 元, 全国各地邮局均可订阅。若错过征订时间或需补齐 1992 年至 2012 年各期者, 请直接与编辑部联系邮购。1992 年至 1994 年每年 8 元, 1994 年至 2000 年每年 16 元, 2001 年至 2005 年每年 24 元, 2006 年至 2008 年每年 40 元, 2009 年至 2011 年每年 60 元, 2012 年全年 80 元(均含邮资), 如需挂号另付邮挂费。

编辑部地址: 江苏省南京市中山门外 江苏省中国科学院植物研究所内(邮编 210014); 电话: 025-84347016, 84347014; E-mail: zwzy@mail.cnbg.net; QQ: 2219161478。本刊网上投稿系统已开通运行, 网址: <http://www.cnbg.net/Tg/Contribute/Login.aspx>, 欢迎使用并提出宝贵意见。

欢迎订阅! 欢迎投稿!