

# 盐胁迫下杨树根际系统盐分离子分布特性

田野, 张焕朝, 方升佐, 丁应祥

(南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 在温室条件下, 采用盆栽根箱培养的方法研究盐胁迫下 I-69 杨 (*Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux') 和 NL-1381 杨 [*Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' × *P. euramericana* (Dode) Geninier CL 'I-45/51'] 根际、非根际土壤盐分分布特征。盐处理浓度共设 3 个水平: CK (NaCl 0 g/kg)、处理 A (NaCl 1 g/kg) 和处理 B (NaCl 2 g/kg), 采用完全随机设计。结果表明, 2 个杨树无性系根际水溶性  $K^+$  亏缺, 水溶性  $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  富集。 $K^+$  的亏缺率及  $Na^+$  的富集率随 NaCl 处理浓度的增大而减小,  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  的富集率在非盐渍条件下最低, 处理 A 达最高, 处理 B 较处理 A 略有下降。在盐胁迫下, 无性系 NL-1381 杨根际土壤  $Na^+$  的浓度和电导率均低于无性系 I-69 杨, 可以有效减轻盐分对根系的渗透胁迫, 相对而言具有较强的抗盐性。

**关键词:** 盐胁迫; 根际; 杨树; 盐分离子; 分布特性

**中图分类号:** Q946.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2003)03-0011-05

**Distribution of  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  in poplar rhizosphere system under NaCl stress** TIAN Ye, ZHANG Huan-chao, FANG Sheng-zuo, DING Ying-xiang (College of Forestry Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2003, 12(3): 11-15

**Abstract:** The rhizobox experiments were randomized completely designed, with application of NaCl to furnish 0, 1 and 2 g/kg soil, to study the distribution of  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  in poplar rhizosphere system under NaCl stress in greenhouse. Two poplar clones, I-69 (*Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux') and NL-1381 [*Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' × *P. euramericana* (Dode) Geninier CL 'I-45/51'], were chosen for the study. The results indicated that the water-soluble  $K^+$  of soils in rhizosphere of two poplar clones was lower than those in non-rhizosphere, but  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  were accumulated obviously in rhizosphere under three NaCl treatments. The depleting ratio of  $K^+$  and accumulating ratio of  $Na^+$  for each system of clones decreased with the increase of NaCl concentration, but the accumulating ratios of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  under treatment B (NaCl 2 g/kg) were obviously higher than under control, but slightly lower than those of treatment A (NaCl 1 g/kg).  $Na^+$  concentration and electrical conductivity in rhizosphere of clone NL-1381 were lower in comparison with clone I-69 under NaCl treatments, and therefore reducing the salt stress. It is probably that clone NL-1381 is stronger in tolerating salt stress.

**Key words:** salt stress; rhizosphere; poplar; salt ion distribution

受根系活动影响, 根际微区土壤性状与非根际土壤有很大差别<sup>[1,2]</sup>。在盐渍化土壤中, 根际是植物发生盐害最直接的外部环境, 研究根际土壤有关性状可以更准确地说明植物在盐渍环境中受害程度及其抗盐能力状况。过去有关植物抗盐性的研究多集中于植物本身的生理特性, 涉及根际微域环境对植物抗盐性影响方面的研究相对较少。有关根际微区性状的研究在农作物方面受到很大的重视, 但对林木方面的研究相对很少<sup>[3-5]</sup>。杨树是我国营造沿海防护林和速生丰产用材林的重要树种, 进行杨树根际微区盐分离子的组成变化研究对了解杨树的盐分胁迫生理和抗盐机理具有重要价值。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源

供试土壤为江苏省南京市燕子矶长江沿岸河相沉积物上发育的砂质壤土。土壤 pH 8.60, 有机质 12.60 g/kg, 电导率 154.84  $\mu S/cm$ , 全氮 0.36 g/kg, 有

收稿日期: 2003-03-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39770014); 江苏省“十五”科技攻关项目(BE2001358)

作者简介: 田野(1976-), 男, 湖北咸宁人, 硕士, 助教, 主要从事森林培育及林木营养方面的教学与研究工作。

效磷 15.94 mg/kg, 水溶性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  分别为 0.21、1.08、2.94 和 0.66 mmol/kg。

供试杨树无性系为 I-69 杨 (*Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux') 和 NL-1381 杨 [I-69 杨 × I-45 杨 *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' × *P. euramericana* (Dode) Geninier CL 'I-45/51']。选取生长健壮的一年生苗截取粗细均匀的插穗备扦插用。

## 1.2 试验设计

试验采用根箱培养方法, 于 2000 年 3 月至 6 月 在南京林业大学树木园温室中进行。

**1.2.1 根箱设计** 根箱综合采用多隔层法<sup>[6]</sup>和单隔层法<sup>[7,8]</sup>改进自制而成, 规格为 300mm × 200mm × 300mm, 并分隔为 r(中央室, 宽 30 mm, 供杨树扦插用, 同时隔离杨树根系)、s1(中央室两侧, 宽 10 mm)、s2(s1 层外侧, 宽 10 mm)和 s3(s2 层向外直至箱缘)4 部分共 7 室。中间层采用孔径 5 μm 的复合纤维微孔膜以分隔根系, 其他室的隔膜采用孔径为 0.2 mm 的塑料筛网。箱底不设排水孔。每根箱装土 15 kg, 其中中央室 1 kg。

**1.2.2 试验设计** 3 月中旬将杨树插穗扦插于根箱中间层, 每盆 3 株, 进行常规栽培管理。于 5 月 1 日进行盐处理, 以 100 g/L 的 NaCl 溶液浇灌, 一次完成。盐处理浓度以土壤中 NaCl 含量计, 共设 3 个水平: CK(NaCl 0 g/kg)、处理 A(NaCl 1 g/kg)和处理 B(NaCl 2 g/kg), 采用完全随机设计, 每个处理进行 9 次重复。盐处理时间至 6 月 14 日。处理结束后采集土样和植株样品。

**1.2.3 样品采集、处理与分析** 由根箱的一侧开始, 由外向内依次采集各室土样(取样时均去除表层 5 cm 厚的土壤)。中央室取样时, 将土层连同杨树植株一同取出, 齐土面剪去杨树地上部分, 将带土根系于塑料布上稍微晾干, 然后采用抖落法收集根际土壤(r)。中央室两侧对称室土样相互混合, 分别为 s1 层(距根 0~10 mm)、s2 层(距根 10~20 mm)和 s3 层(距根 20 mm 以外)土样。按常规方法测定土壤样品 pH 值和电导率。用原子吸收光谱仪测定土壤水溶性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  含量。

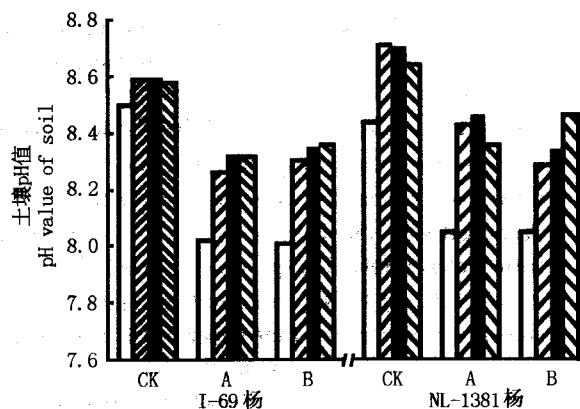
## 2 结果与讨论

### 2.1 杨树根际与非根际土壤的 pH 特征

盐胁迫下 2 种杨树无性系根际与非根际土壤

pH 值见图 1。从图 1 看出, 2 种杨树根际土壤 pH 均低于非根际土壤, 其差值随盐胁迫的增强而增大。对照处理下, I-69 杨和 NL-1381 杨根际土壤 pH 与 s3 层相比分别下降 0.08 和 0.20 个 pH 单位; 处理 A 下, 2 种杨树根际 pH 值分别下降 0.30 和 0.31 个 pH 单位; 处理 B 下, 其 pH 值下降幅度分别达 0.35 和 0.42 个 pH 单位。

引起根际土壤 pH 发生变化的因素主要包括: 根系阴阳离子吸收不平衡、根系主动分泌  $H^+$  或  $HCO_3^-$  ( $OH^-$  当量)、根系呼吸释放  $CO_2$ 、根系分泌有机酸、根际微生物活动产生有机酸和  $CO_2$  等<sup>[4,8]</sup>。植物对阳离子的吸收和  $H^+$  的排出不是化学等当量的(如  $K^+$  的流入和  $H^+$  排出之比小于 1), 过量吸收阳离子的同时, 细胞内有机酸的合成加速, 产生有机阴离子补偿过量吸收的阳离子, 而  $H^+$  则大量排出<sup>[9,10]</sup>。本研究尚未对根际 pH 下降的机理进行探查, 仅根据上述研究推测: 盐渍条件下, 杨树吸收大量阳离子, 促使根系  $H^+$  的分泌量增加, 从而使根际 pH 降低。



□ r: 根际土壤 soil of rhizosphere  
 ▨ s1: 距根 0~10 mm 土壤 soil 0-10 mm away from roots  
 ■ s2: 距根 10~20 mm 土壤 soil 10-20 mm away from roots  
 ▩ s3: 距根 20 mm 以外土壤 soil more than 20 mm away from roots

CK: 对照 control; A: 1 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 1 g/kg; B: 2 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 2 g/kg; I-69 杨: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux'; NL-1381 杨: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' × *P. euramericana* (Dode) Geninier CL 'I-45/51'

图 1 盐胁迫下杨树根际-非根际土壤 pH 状况比较  
 Fig. 1 Comparison of pH values between soils of rhizosphere and non-rhizosphere of poplars under NaCl stress

### 2.2 根际-非根际土壤盐分离子分布特征

**2.2.1 水溶性  $K^+$  分布特征** 盐胁迫下, 2 种杨树根际与非根际土壤中水溶性  $K^+$  的分布状况见表 1。结果表明, 不同盐处理水平下, 2 种杨树根际土壤中

水溶性  $K^+$  基本上均出现亏缺(负富集),随胁迫程度加剧,其亏缺量和亏缺率均降低,在处理 B 下, NL-1381 杨根际土壤水溶性  $K^+$  甚至出现富集。但 Duncan 多重比较结果表明,这种根际土壤  $K^+$  的亏缺或富集并没有导致离根不同距离土体水溶性  $K^+$  浓度出现显著性差异,仅在 CK 处理时 NL-1381 杨根际层与 s3 层之间达到 5% 显著差异。 $K^+$  在根际亏缺或富集不明显的现象可能与其在土壤中的迁移方式有关。 $K^+$  在土壤中以扩散方式迁移,向根际运移的能力受蒸腾流影响较小,因此在非根际层中的分布也比较均匀,虽然杨树对  $K^+$  大量吸收,但在距根不同距离土体间的差异并不显著。

从表 1 中还可以看出,不同盐处理水平杨树根际、非根际土壤水溶性  $K^+$  含量具有明显差异。在非盐渍条件下,杨树生长量大,对钾需求多,根系吸水力的影响范围较大,因而根际和非根际土壤中水溶性  $K^+$  含量都较低。而在盐胁迫下,杨树生长量下降,加上土壤中高浓度的其他盐分离子的影响,杨树吸钾量降低,根际和非根际土壤中水溶性  $K^+$  含量都较对照高。

表 1 不同盐度处理杨树根际-非根际土壤水溶性  $K^+$  分布状况<sup>1)</sup>  
Table 1 Distribution of water-soluble  $K^+$  in rhizosphere and non-rhizosphere of poplars under NaCl treatment<sup>1)</sup> (mmol/kg)

无性系 Clone	处理 Treatment	土壤 $K^+$ 浓度 $K^+$ concentration in soil				富集量 (r-s3) Accumulating amount	富集率 (r-s3)/s3 Accumulating ratio
		r	s1	s2	s3		
I-69	CK	0.081a	0.119a	0.123a	0.133a	-0.052	-0.391
	A	0.156a	0.185a	0.166a	0.194a	-0.038	-0.196
	B	0.178a	0.197a	0.216a	0.211a	-0.033	-0.156
NL-1381	CK	0.064a	0.098ab	0.094ab	0.110b	-0.046	-0.418
	A	0.134a	0.158a	0.162a	0.165a	-0.031	-0.188
	B	0.196a	0.188a	0.198a	0.192a	0.004	0.021

<sup>1)</sup> I-69: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux'; NL-1381: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' × *P. euramericana* (Dode) Geminier CL 'I-45/51'; CK: 对照 control; A: 1 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 1 g/kg; B: 2 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 2 g/kg; r: 根际土壤 soil of rhizosphere; s1: 距根 0~10 mm 土壤 soil 0-10 mm away from roots; s2: 距根 10~20 mm 土壤 soil 10-20 mm away from roots; s3: 距根 20 mm 以外土壤 soil more than 20 mm away from roots. 数据后小写字母表示各处理 r、s1、s2、s3 层土壤水溶性  $K^+$  浓度在  $P < 0.05$  水平上的差异显著性 The small letters represent respectively  $P < 0.05$  significance among water-soluble  $K^+$  concentration of r, s1, s2 and s3 under NaCl treatments. 富集量和富集率为负值表明根际盐分离子的亏缺 The negative data of accumulating amount and accumulating ratio mean depleting in rhizosphere.

2.2.2 水溶性  $Na^+$  分布特征  $Na^+$  在土壤中主要以质流方式运移,受根系吸水影响的范围大,同时根

系对  $Na^+$  的吸收量小, $Na^+$  在根际与 s1 层差异最大,因此富集量及富集率的计算以 s1 层土样为参照。在 3 种浓度盐处理水平下,2 种杨树根际土壤中水溶性  $Na^+$  均出现富集,其富集率随盐处理浓度的增加而显著下降(见表 2),I-69 杨和 NL-1381 杨  $Na^+$  的富集率分别由对照的 0.762 和 1.231 降至处理 B 的 0.059 和 0.181。

表 2 不同盐度处理杨树根际-非根际土壤水溶性  $Na^+$  分布状况<sup>1)</sup>  
Table 2 Distribution of water-soluble  $Na^+$  in rhizosphere and non-rhizosphere of poplars under NaCl treatment (mmol/kg)

无性系 Clone	处理 Treatment	土壤 $Na^+$ 浓度 $Na^+$ concentration in soil				富集量 (r-s3) Accumulating amount	富集率 (r-s3)/s3 Accumulating ratio
		r	s1	s2	s3		
I-69	CK	0.971a	0.551b	0.615b	0.599b	0.420	0.762
	A	16.826a	12.464a	13.159a	16.971a	4.362	0.350
	B	24.638a	23.268a	28.899a	29.290a	1.370	0.059
NL-1381	CK	0.890a	0.399a	0.416a	0.516b	0.491	1.231
	A	14.181a	10.493a	11.812a	13.703a	3.688	0.351
	B	23.312a	19.732a	19.725a	23.007a	3.580	0.181

<sup>1)</sup> I-69: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux'; NL-1381: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' × *P. euramericana* (Dode) Geminier CL 'I-45/51'; CK: 对照 control; A: 1 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 1 g/kg; B: 2 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 2 g/kg; r: 根际土壤 soil of rhizosphere; s1: 距根 0~10 mm 土壤 soil 0-10 mm away from roots; s2: 距根 10~20 mm 土壤 soil 10-20 mm away from roots; s3: 距根 20 mm 以外土壤 soil more than 20 mm away from roots. 数据后小写字母表示各处理 r、s1、s2、s3 层土壤水溶性  $Na^+$  浓度在  $P < 0.05$  水平上的差异显著性 The small letters represent respectively  $P < 0.05$  significance among water-soluble  $Na^+$  concentration of r, s1, s2 and s3 under NaCl treatments.

统计分析表明,在非盐渍条件下,I-69 杨和 NL-1381 杨 r 层与 s1-s3 层土壤水溶性  $Na^+$  浓度之间均达到 5% 显著差异水平;而在盐胁迫下,虽然其根际层中仍有  $Na^+$  的富集,但各层土壤之间水溶性  $Na^+$  浓度的差异并不显著。从表 2 中  $Na^+$  离子从 r 层向 s3 层的变化趋势还可以看出,在非盐渍条件下,由于杨树生长迅速,其根系对水分和盐分吸收的影响范围已达到 s3 层,土壤中的  $Na^+$  向根际大量富集。而随盐处理浓度的增大,杨树生长的受抑制程度增强,根系的吸水能力随之下降,在处理 A 时其影响范围尚可达 s2 层,而在处理 B 时仅能达到 s1 层,从而影响土壤中  $Na^+$  随质流的迁移,降低其在根际的富集程度。

2.2.3 水溶性  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  分布特征 不同浓度盐处理水平下,水溶性  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  均在 2 种杨树根际土壤中富集,但表现略有差异(见表 3)。CK 处理时,I-69 杨根际土壤  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  富集率为 0.10 左

右,呈轻微富集状态;NL-1381 杨富集量较高,富集率为0.45左右。处理A时,Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>在2种杨树根际土壤的富集量和富集率显著增大,而在处理B时比处理A略有下降。在植物对养分的吸收方

面,Na<sup>+</sup>和Ca<sup>2+</sup>处于竞争状态<sup>[9]</sup>,根际Ca<sup>2+</sup>的富集,有助于减少对Na<sup>+</sup>的吸收;另一方面,Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>的富集也必然改变根际土壤中Ca<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>的吸附交换平衡,有利于K<sup>+</sup>的吸收和运输<sup>[11]</sup>。

表3 不同盐度处理杨树根际-非根际土壤水溶性Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>分布状况<sup>1)</sup>

Table 3 Distribution of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> in rhizosphere and non-rhizosphere of poplars under NaCl treatment<sup>1)</sup>

(mmol/kg)

无性系 Clone	处理 Treatment	土壤Ca <sup>2+</sup> 浓度 Ca <sup>2+</sup> concentration in soil				Ca <sup>2+</sup> 富集量 (r-s3)	Ca <sup>2+</sup> 富集率 (r-s3)/s3	土壤Mg <sup>2+</sup> 浓度 Mg <sup>2+</sup> concentration in soil				Mg <sup>2+</sup> 富集量 (r-s3)	Mg <sup>2+</sup> 富集率 (r-s3)/s3
		r	s1	s2	s3	Accumulating amount	Accumulating ratio	r	s1	s2	s3	Accumulating amount	Accumulating ratio
I-69	CK	3.17a	2.50a	2.88a	2.91a	0.26	0.09	0.73a	0.55a	0.65a	0.66a	0.07	0.11
	A	7.00a	4.05a	3.73a	4.41a	2.60	0.59	1.77a	0.97ab	0.87b	1.06ab	0.71	0.68
	B	6.50a	3.93b	4.56b	4.80b	1.70	0.35	1.66a	0.97b	0.93b	0.99b	0.68	0.69
NL-1381	CK	3.56a	2.12b	2.19b	2.45b	1.10	0.45	0.79a	0.46b	0.48b	0.53b	0.26	0.49
	A	6.91a	3.16b	2.56b	3.05b	3.87	1.27	1.74a	0.74b	0.58b	0.70b	1.04	1.48
	B	6.71a	3.64b	3.21b	3.54b	3.17	0.90	1.70a	0.85b	0.75b	0.86b	0.85	0.98

1) I-69: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux'; NL-1381: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' × *P. euramericana* (Dode) Geninier CL 'I-45/51'; CK: 对照 control; A: 1 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 1 g/kg; B: 2 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 2 g/kg; r: 根际土壤 soil of rhizosphere; s1: 距根0~10 mm 土壤 soil 0-10 mm away from roots; s2: 距根10~20 mm 土壤 soil 10-20 mm away from roots; s3: 距根20 mm 以外土壤 soil more than 20 mm away from roots. 数据后小写字母表示各处理 r、s1、s2、s3 层土壤水溶性Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>浓度在P<0.05水平上的差异显著性 The small letters represent respectively P<0.05 significance among water-soluble Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> concentrations of r, s1, s2 and s3 under NaCl treatments.

多重比较表明,在处理B时,I-69 杨 r 层与 s1-s3 层间水溶性Ca<sup>2+</sup>浓度达5%显著差异水平,在CK和处理A下均不显著。Mg<sup>2+</sup>浓度在CK处理时距根不同距离土层之间差异不显著;在处理A时r层仅与s2层差异显著;在处理B下,r层与s1-s3层间均达到5%显著差异水平。而NL-1381 杨在3种处理下Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>浓度在r层与s1-s3层间都达到5%的显著差异水平。

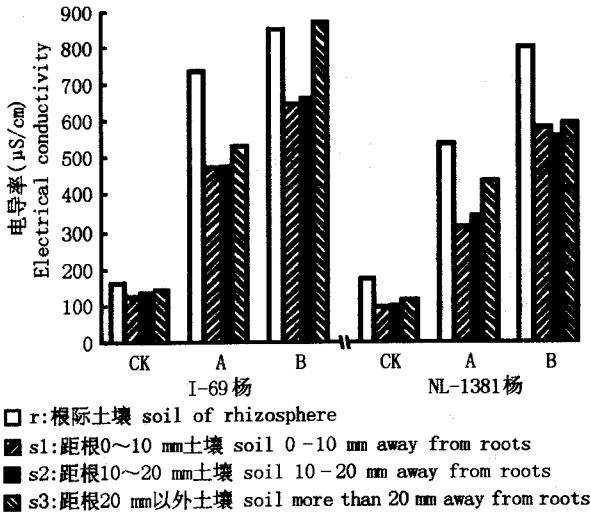
从表3还可以看出,随盐处理浓度增加,盆栽土壤中的Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>浓度整体呈上升趋势。究其原因,一方面在盐胁迫下,杨树生长受抑制,对Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>的吸收能力减小;另一方面与盆栽土样中钙、镁总含量较高有关,当向土壤中添加NaCl时,显著提高了钙和镁硫酸盐类的溶解度<sup>[12]</sup>,导致盆栽土壤中水溶性Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>的浓度也相应增加。

2.2.4 电导率特征及其与水溶性阳离子的关系  
盐胁迫下杨树根际与非根际土壤电导率状况的比较结果见图2。结果表明,在不同盐处理水平下,电导率由r层向外直至s3层表现为由高先降低后又逐渐上升的过程。电导率最低值均出现在s1层,呈明显的下降陡度,最高值基本上均出现在r层。这一现象与根际-非根际土壤中各水溶性阳离子的总体变化趋势相符合。除K<sup>+</sup>在根际亏缺外,Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>和

Mg<sup>2+</sup> 3种阳离子均在根际富集,而与Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>的绝对富集量相比,K<sup>+</sup>的绝对亏缺量仅占很小部分,阳离子在根际土壤中富集程度仍然较高,因而与其显著正相关的电导率值在根际也较高。与其他各层相比,4种阳离子在s1层的浓度相对较低,Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>在s1层中均表现出明显的下降陡度,因此电导率在s1层出现谷值。

### 2.3 不同杨树无性系根际-非根际土壤盐分离子分布特征比较

不同杨树无性系根系对土壤水分和盐分的吸收能力及其自身生理特性等方面不一致,因此对根际和非根际土壤性状的影响程度也不一致。从前面的分析可以看出,I-69 杨根际和非根际(特别是非根际)土壤各离子浓度及电导率普遍高于NL-1381 杨。在3种盐处理水平下,I-69 杨根际土壤Na<sup>+</sup>浓度分别比NL-1381 杨高0.08、2.64和1.33 mmol/kg,而电导率在处理A和处理B下分别比NL-1381 杨高199.9和50.2 μS/cm。由此可见,在盐胁迫下,NL-1381 杨在一定程度上仍能保持其根系对盐分的吸收能力,并将盐分贮存于体内或以某种方式排出,降低根际土壤中的全盐量,以减轻盐分对根系的渗透胁迫,具有较强的抗盐能力。



CK: 对照 control; A: 1 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 1 g/kg; B: 2 g/kg NaCl 处理 soil treatment of NaCl 2 g/kg; I-69 杨: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux'; NL-1381 杨: *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' × *P. euramericana* (Dode) Geninier CL 'I-45/51'

图2 杨树根际-非根际土壤电导率状况比较  
Fig. 2 Comparison of electrical conductivity between rhizosphere and non-rhizosphere of poplars under NaCl treatment

### 3 结 论

3种 NaCl 浓度处理下,杨树根际土壤 pH 均低于非根际土,电导率高于非根际土,水溶性  $K^+$  在根际亏缺, $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  在根际富集。

I-69 杨和 NL-1381 杨根际土壤水溶性  $K^+$  的亏缺量和亏缺率及水溶性  $Na^+$  的富集率均随盐处理浓度的增大而减小;水溶性  $Ca^{2+}$  的富集率与非盐渍条件下相比明显增大,呈先增大后略微下降的趋势;水溶性  $Mg^{2+}$  的富集率在盐胁迫下也明显增大,其中

在 NL-1381 杨根际的变化趋势与  $Ca^{2+}$  一致,而在 I-69 杨根际随盐胁迫的加剧而持续增大。

盐渍条件下, $Na^+$  浓度的增大能显著提高钙盐和镁盐的溶解度,使非根际层土壤水溶性  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的浓度与本底相比有所增大。

#### 参考文献:

- [1] 张福锁,曹一平. 根际动态过程与植物营养[J]. 土壤学报, 1992, 29(3): 239-250.
- [2] 刘芷宇. 根际微域环境的研究[J]. 土壤, 1993, 25(5): 225-230.
- [3] 沈其荣,王建林,邱春祥,等. 两种不同耐盐大麦根际中离子的分布特征[J]. 土壤学报, 1993, 30(4): 366-373.
- [4] 丁应祥. 滨海土壤几个树种根际土性状的研究[D]. 南京:南京林业大学, 1995.
- [5] Bower C A, Tamimi Y N. Root adjustments associated with salt tolerance in small grains[J]. Agronomy Journal, 1979, 71(4): 690-693.
- [6] Youssef R A, Chino M. Studies on the behavior of nutrient in the rhizosphere. I. Establishment of a new rhizobox system to study nutrient status in the rhizosphere[J]. Journal of Plant Nutrient, 1987, 10: 1185-1196.
- [7] 刘芷宇,李良谟,施卫明. 根际研究法[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1997. 308-327.
- [8] 郭朝晖,张杨珠,黄子蔚. 根际微域营养研究进展(二)[J]. 土壤通报, 1999, 30(2): 85-88.
- [9] 孙福增. 对植物矿质营养两个概念的思考[J]. 植物生理学通讯, 1993, 29(5): 371-376.
- [10] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. London: Academic Press. 1986.
- [11] 李加宏,俞仁培. 水-土壤-植物系统中盐分的迁移和植物耐盐性研究进展[J]. 土壤学进展, 1995, 23(6): 9-20.
- [12] 黎立群. 盐渍土基础知识[M]. 北京:科学出版社,1986.