

文章编号: 1000-5692(2005)01-0033-07

土壤及地下水含盐量对小美旱杨可溶盐离子质量分数的影响

刘 静¹, 王林和¹, 王 兴²

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古自治区鄂尔多斯市水土保持局, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要: 研究了自然生境下不同土壤含盐量时小美旱杨 *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. *Poplaris* 不同部位可溶盐离子质量分数及土壤和地下水盐离子质量分数对小美旱杨含盐量的影响。结果表明: 2条研究林带下土壤的含盐量有很大差异, 但2条研究林带各个对应部位(叶、根、心材和边材)在对应取样时间的各个可溶盐离子质量分数无差异, 并呈现出一定的共性, 即各部位的阳离子全盐质量分数顺序均为 $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$, 阴离子质量分数排序大致为 $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ 。在整个生长季中, 叶中的各个离子质量分数明显高于其他部位, 且生长季内变幅最大; 心材和边材中各个离子的质量分数较低, 生长季内的变幅较小; 根中的各离子质量分数介于以上两类之间。在无盐胁迫条件下, 小美旱杨对可溶盐离子的吸收以及盐离子在其体内的分布和积累, 主要取决于小美旱杨自身的生理和生物学特性, 土壤含盐量的影响不占主要地位; 但小美旱杨所吸收水分的含盐量对其各部位盐离子质量分数的影响较明显, 在非灌溉季节, 小美旱杨各部位的盐离子质量分数与地下水盐离子质量分数之间相关性显著; 在灌溉和降水集中时期, 小美旱杨各部位可溶盐离子质量分数与地下水不相关。图3表5参10

关键词: 小美旱杨; 可溶盐离子; 土壤; 地下水

中图分类号: S718.43 **文献标识码:** A

土壤和地下水含盐量对树木体内盐离子质量分数影响的研究, 许多学者从抗性生理的角度研究胁迫下树木的生理代谢和树木的耐盐性, 在这类研究中大多数采用盆栽试验, 针对幼苗进行研究^[1~4]。对自然生态环境下无盐胁迫影响、生长良好的树木, 仅有丁桂芬等^[5]做过树木叶中可溶盐质量分数与土壤含盐量关系的研究。作者在内蒙古河套灌区研究2种含盐量土壤对小美旱杨 *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. *Poplaris* 可溶盐离子质量分数的影响, 为进一步研究小美旱杨蒸腾对林下土壤盐分的影响提供基础数据。

1 研究地区自然条件与研究方法

1.1 研究地区自然条件

收稿日期: 2004-08-31; 修回日期: 2004-11-02

基金项目: “十五”内蒙古科技攻关项目(20020705)

作者简介: 刘静, 教授, 博士研究生, 从事生态需水及水盐平衡研究。E-mail: nmgdzx@263.net

本研究在内蒙古河套灌区中部的临河市八一乡进行。地理位置为 $40^{\circ}46'22''N$, $107^{\circ}35'18''$, 位于黄河北岸的冲积平原上, 海拔 1 037 m, 地形平坦, 地面坡降 $1/4\ 500 \sim 1/5\ 000$, 属于中温带半干旱大陆性气候, 平均降水量 138.8 mm, 蒸发量 2 236.7 mm。试区土壤为淤灌土和盐土, 盐土类型以氯化物-硫酸盐为主。试区地处黄河故道, 地层以河相沉积过渡到河湖交错沉积, 地下水的主要来源是灌溉水下渗, 地下水无水平排泄出路, 属于灌溉入渗蒸发型。地下水矿化度随季节变化, 水质属于硫酸盐低矿化类型, pH 值为 7~8, 阴离子以 HCO_3^- 为主, 阳离子以 Na^+ 为主^[6]。

小美旱杨是河套灌区农田防护林的主要造林树种, 防护林带沿渠布设, 10 a 成材并开始更新。该灌区防护林是传统的小网格窄林带, 主林带间距 100 m, 南北走向, 每带 2 行分别位于渠道两侧, 株行距 2.5 m。

1.2 实验材料和方法

1.2.1 试验材料 本试验针对 7 龄的小美旱杨进行。选择土壤含盐量不同, 其他条件均相同的 2 条主林带作为研究对象。土壤含盐量相对较高者为 B 林带, 另一条为 A 林带。野外调查表明, 每条林带的小美旱杨林龄相同, 立地条件相同, 树木个体之间生长状况差异小。因此, 分别从 2 条林带上选取 30 株生长正常的树木, 量算其平均胸径, 参照进行植物和树木离子质量分数研究的取样方法^[7-9], 选 3 株与平均胸径相近的树木作为标准树取样。取样方法为: 从 4 月初 (树木未长叶但树液开始流动) 到 10 月下旬 (树木开始休眠), 每隔 1 个月左右取一次样, 每次取叶、1 年生枝、多年生枝、心材、边材和小于 0.5 cm 的根作为试验材料。在 4 月、6 月和 9 月对 2 种标准树下的土壤同时取样, 挖土壤剖面分别取 0~20, 20~60, 60~80 cm 等 3 层土样。

1.2.2 试验方法 将植物样品清理干净后在 $80^{\circ}C$ 烘 12 h, 粉碎成小于 0.5 mm 的颗粒, 准确称取 2.000 0 g, 样品注入 200 mL 蒸馏水浸泡 14 h, 过滤取清液作为试验样品。测定 8 个可溶离子质量分数。测定方法为: CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 采用双指示剂滴定法, Cl^- 采用硝酸银滴定法, SO_4^{2-} , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 采用 EDTA 容量法, Na^+ 和 K^+ 采用火焰光度计法。对 3 株对应部位的实测值取平均数, 计算各部位含盐量。将土样风干后碾碎过筛 (1 mm 筛), 称取 100 g, 按水土比 5:1 混合, 振荡 3 min 后过滤, 取清液作为试验样品^[10]。测定方法与树木相同。

2 试验结果与分析

2.1 小美旱杨各部位可溶盐质量分数

因篇幅所限, 从实验的 6 个部位中选取以下有代表性的 4 个部位进行分析讨论: 叶是树木最鲜嫩、生理代谢旺盛的部位; 根直接处于土壤和地下水的影响之中; 心材是无生理活动, 已木质化的部分; 边材是水分和矿物质的输送管道。2 条林带中小美旱杨的上述 4 个部位的可溶盐离子质量分数动态变化见图 1~2。

对图 1 和图 2 的分析可知, 在 2 条林带的各个部位中, 可溶盐离子质量分数呈现出一定的共性: 阳离子全盐质量分数顺序为 $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$, 阴离子质量分数排序大致为 $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$, 各部位无 CO_3^{2-} 离子。各部位阴离子质量分数季节动态相似, 均是从春季开始离子质量分数逐渐下降至最小, 然后逐渐增大, 但不同的阴离子最小值出现的时间不同, 各部位的 HCO_3^- 最小值出现在 7 月, Cl^- 出现在 6 月, SO_4^{2-} 出现在 5 月。4 种阳离子在各个部位的季节动态较阴离子复杂, Ca^{2+} 质量分数随林木生长逐渐增加, K^+ 和 Na^+ 反之, 呈减小趋势; 在心材边材中, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的季节动态相似, 其离子质量分数均是随树木的生长而递减, 5 月或 6 月达最小值后逐渐增大, K^+ 和 Na^+ 的季节动态呈现波动性, 但上述 4 个部位的波动趋势相似。在整个生长季中, 叶中的各个离子质量分数明显高于其他部位, 且生长季内变幅最大; 心材、边材中各个离子的质量分数较低, 生长季内的变幅较小; 根中的各离子质量分数介于以上两类之间。

2.2 林下土壤全盐质量分数

2 条林带林下不同深度土壤全盐质量分数见表 1。表 1 表明, B 林带下土壤各时期全盐质量分数

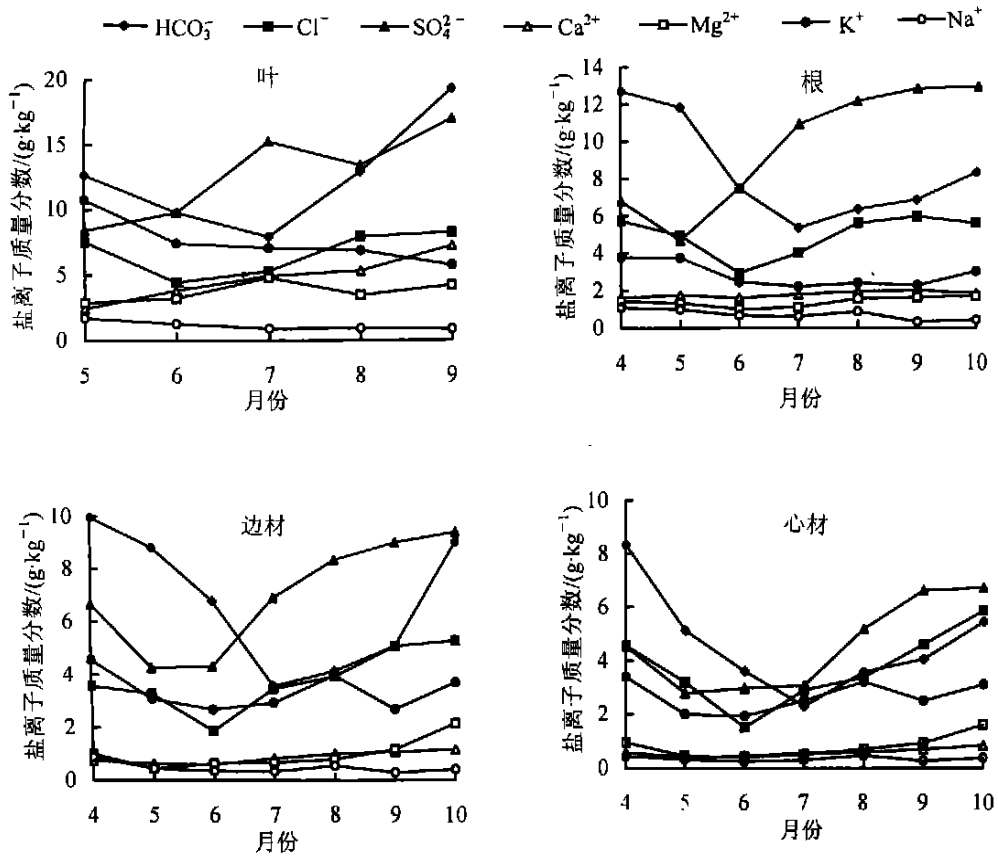


图 1 A 林带各部位盐离子质量分数的动态变化

Figure 1 The dynamic change of salt ions contents in different parts under A tree belt

均大于 A 林带下土壤, 其幅度为 40%~50%。尽管 2 条林带林下土壤全盐质量分数不同, 但全盐质量分数的变化趋势相同: 各层土壤的全盐质量分数均是从 4 月到 9 月不断减少, 其中 4~6 月减幅比较

表 1 2 条林带林下土壤全盐质量分数

Table 1 Salt content in soil under two tree belts

测定日期	B 林带下土壤全盐质量分数/ (g·kg ⁻¹)			A 林带土壤全盐质量分数/ (g·kg ⁻¹)		
	0~20 cm	20~60 cm	60~80 cm	0~20 cm	20~60 cm	60~80 cm
04-08	79.0	62.4	52.5	41.4	30.3	26.0
06-30	24.3	25.2	51.0	12.4	13.5	28.6
09-29	1.3	1.1	1.1	1.6	1.7	1.7

大; 2 条林带下同一时期土壤全盐质量分数随土壤深度的变化趋势相似, 4 月初全盐质量分数随土壤深度的增加而递减, 6 月反之; 9 月末因较高灌水定额的秋灌刚结束, 2 条渠道均处于灌水完毕的状态, 因灌溉水下渗洗盐的作用, 各层土壤全盐质量分数基本相同。

由图 3 可以看出地下水中阴离子以 HCO₃⁻ 为主, 阳离子在 3~7 月 K⁺ 和 Na⁺ 质量分数较高, 9 月以后, Mg²⁺ 质量分数较高。

2.3 不同含盐量土壤上小美旱杨盐离子质量分数的差异性分析

分别对不同含盐量土壤上小美旱杨各部位的 7 个可溶盐离子进行主成分分析, 以判断土壤含盐量不同时, 其上小美旱杨各部分的主导离子是否一致。2 种土壤上小美旱杨各部位的第一主成分和第二主成分的累积贡献率均大于 85%。针对第一主成分和第二主成分进行分析的结果见表 2。

表 2 说明 2 种含盐量土壤上的小美旱杨各个对应部位主要盐离子的特征向量在数值上略有差异,

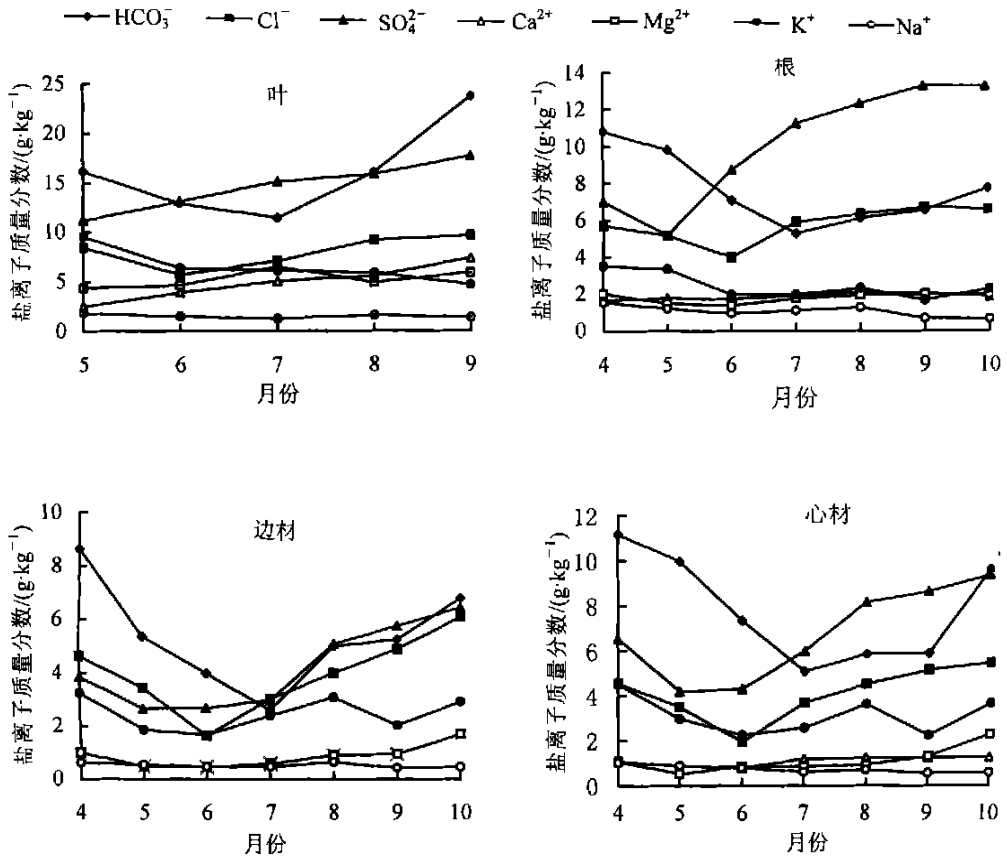


图2 B林带各部位盐离子质量分数动态变化

Figure 2 The dynamic change of salt ions contents in different parts under B tree belt

但主要盐离子类型一致。为了判别2种土壤上的小美旱杨各个对应部位盐离子质量分数是否存在差异,把2条林带同一部位同一时间所测得7个盐离子分别作为2个样本,进行t检验和F检验,结果见表3。

显然,不同含盐量土壤上的小美旱杨对应部位、对应时间的各个可溶盐离子的均值和方差均无差异。统计分析表明,不同全盐量土壤上的小美旱杨体内可溶性盐离子质量分数无差异。

2.4 土壤的含盐量对小美旱杨盐离子质量分数的影响

2.4节的分析表明,从2种立地条件(土壤含盐量不同)的研究尺度上进行分析,小美旱杨对于可溶性盐离子的吸收以及盐离子在其体内的分布和积累主要由小美旱杨的生物学特性所决定,立地条件的影响不显著。但是,将图1、图2和表1综合起来分析,可看出土壤含盐量仍在一定程度上影响树体内含盐量。表4为B林带对应部位含盐量大于A林带的百分数。

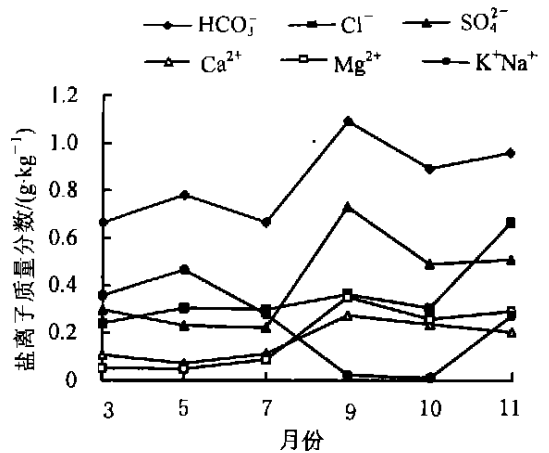


图3 地下水盐离子质量分数动态变化

Figure 3 The dynamic change of salt ions contents in groundwater

由表4可知,土壤含盐量高,其上树木各部位的含盐量也在一定程度上增高,当土壤含盐量相差

表 2 不同含盐量土壤上小美旱杨盐离子主成分比较

Table 2 The comparison of main salt ions composition of Poplaris in different soil salt contents

部位	主成分	A 林带	B 林带	二者比较
叶	第一主成分	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Mg ²⁺	一致
	第二主成分	Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻	Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻	一致
根	第一主成分	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺	一致
	第二主成分	Cl ⁻ , Mg ²⁺	Cl ⁻ , Mg ²⁺	一致
心材	第一主成分	Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , Mg ²⁺	Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , Mg ²⁺	一致
	第二主成分	Na ⁺ , K ⁺ , HCO ₃ ⁻	K ⁺ , HCO ₃ ⁻ , Na ⁺	一致
边材	第一主成分	Cl ⁻ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺	一致
	第二主成分	Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , K ⁺	Na ⁺ , K ⁺ , HCO ₃ ⁻	一致

表 3 2 条林带各部位盐离子质量分数的统计分析

Table 3 The statistics and analysis of salt ions content in different parts of two tree belts

月份	<i>t</i> 检验				<i>F</i> 检验			
	叶	根	心材	边材	叶	根	心材	边材
4		0.40	1.82	0.26		1.45	1.16	1.01
5	1.75	0.54	1.73	1.07	1.42	1.50	1.20	1.05
6	0.20	1.26	1.27	0.40	1.26	1.12	1.05	1.00
7	1.59	1.65	0.68	1.50	1.04	1.02	1.17	1.08
8	2.17	1.52	1.15	1.62	1.46	1.03	1.04	1.17
9	1.63	0.69	0.60	0.27	1.38	1.05	1.05	1.04
10		0.30	2.14	0.91		1.02	1.03	1.13

说明: 取 $\alpha=0.02$, 对于叶 $n=5$, $t_{\alpha/2}=2.90$, $F_{\alpha/2}=15.98$, 其他部位 $n=7$, $t_{\alpha/2}=2.68$, $F_{\alpha/2}=8.47$

表 4 2 条林带对应部位含盐量差异

Table 4 The difference of salt content in corresponding parts of two tree belts

日期	含盐量差异/%				林下土壤含盐量差异/%		
	叶	根	心材	边材	0~20 cm	20~60 cm	60~80 cm
04-08		3.77	10.40	4.56	47.59	51.67	50.47
06-30	16.60	8.53	6.01	2.63	48.97	46.43	43.92
09-29	9.20	2.80	3.20	1.80	-23.10	-54.50	-54.50

说明: 1. 计算方法为 (B 林带某部位全盐质量分数 - A 林带某部位全盐质量分数) / B 林带某部位全盐质量分数 $\times 100\%$; 2. 9 月 29 日取样时, B 林带下刚输水完毕, 造成林下土壤含盐量出现较小值

近 50% 时, 树体内含盐量的差异不超过 17%。在树体各部位中, 叶受土壤含盐量影响的程度略大于其他部位, 但影响程度不大。

2.5 地下水盐离子质量分数对小美旱杨盐离子质量分数的影响

2 条试验林带相距仅 300 m, 处于相同的地下水环境中。为了分析地下水盐离子质量分数对小美旱杨盐离子质量分数的影响, 以 A 林带为例, 将 7 种可溶盐离子作为样本进行树木可溶盐离子质量分数与地下水盐离子质量分数的相关分析 (表 5)。

表 5 表明, 4 月和 5 月树木各个部位可溶盐离子质量分数与地下水盐离子质量分数之间相关显著, 6 月份林木树干部分与地下水可溶盐离子质量分数相关显著, 9 月份仅叶与地下水相关显著, 其他部位, 其他时期树体与地下水盐离子无相关关系。产生以上现象的原因有以下几点: 其一, 河套灌区作物第 1 次灌水在 5 月 10 日左右, 在此之前, 林木完全消耗地下水, 因此, 4 月 5 月份林木各部位可溶盐离子质量分数与地下水相关程度高; 其二, 叶是树木生理代谢最活跃的部分, 根直接处于地下水或灌溉水的影响之中, 这 2 个部位受其吸收水分含盐量的影响明显, 随着 5 月份开灌, 树木在渠道

表5 小美旱杨盐离子质量分数与地下水盐离子质量分数相关关系

Table 5 The relative coefficient of salt ions content in Poplaris and groundwater

部位	相关系数						
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
叶		0.908*	0.702	0.150	0.783	0.902*	
根	0.939*	0.957*	0.683	0.280	0.530	0.637	0.613
心材	0.929*	0.940*	0.892*	0.340	0.380	0.569	0.731
边材	0.940*	0.906*	0.833*	0.485	0.455	0.515	0.510

说明: $\alpha=0.05$, *为显著相关

输水时吸收灌溉水,使6月份的叶和根中可溶盐含量与地下水呈现不相关关系,而同一时期树干部分与地下水含盐量仍存在相关关系,树干部分与地下水的不相关性在7月份明显地表现出来,滞后于叶和根;其三,6月7月份是渠道输水的密集期,6月7月8月份是降水集中时期,灌溉水和降水大量频繁的下渗使树木以吸收灌溉水和雨水为主,造成这一阶段树木各部位可溶盐离子质量分数与地下水无相关性,且在整個生长季内这一阶段二者的相关系数最小。

3 小结

在无明显盐胁迫的条件下,小美旱杨对可溶盐离子的吸收以及盐离子在其体内的分布和积累主要由小美旱杨自身的生理学特性和生物学特性决定,从统计学的角度可认为,土壤含盐量的影响不占主导地位;但是土壤含盐量高,其上小美旱杨各部位的盐离子质量分数也有一定的提高,土壤含盐量仍在一定程度上影响小美旱杨各部位的盐离子质量分数。小美旱杨所吸收水分的含盐量对其各部位盐离子质量数的影响较明显。在非灌溉季节,小美旱杨各部位的盐离子质量分数与地下水盐离子质量分数之间存在显著的相关关系;在灌溉和降水集中时期,小美旱杨各部位可溶盐离子质量分数与地下水不相关。

致谢:本项目在野外工作中得到内蒙古自治区临河市林业研究所郭永祯所长、张子林副所长和布和副所长的大力支持;在试验过程中杨茂、闫玲、张汝民、孙旭老师也给予悉心指导和帮助;崔悦慧、吕景华同学参与部分试验工作。在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 詹亚光,陈全涉,苑盛华,等.盐胁迫下树木的 K^+ 和 Na^+ 含量变化特点及其耐盐性[J].东北林业大学学报,1999,27(1):24-27.
- [2] 马焕成,王沙生.盐胁迫下胡杨的离子响应[J].西南林学院学报,1998,18(1):44-47.
- [3] 陈少良,李金克,尹伟伦,等.盐胁迫条件下杨树组织及细胞中钾、钙、镁的变化[J].北京林业大学学报,2002,24(5/6):84-88.
- [4] 冯衍枝,马焕成,王沙生.盐分处理对3种杨树离子吸收规律的影响[J].西南林学院学报,1998,18(1):48-51.
- [5] 丁桂芬,张玉华.农田防护林对盐碱土改良效益的研究[A].朱廷耀.防护林体系生态效益及边界层物理特性研究[C].北京:气象出版社,1992.247-255.
- [6] 王伦平,陈亚新,曾国芳,等.内蒙古河套灌区灌溉排水与盐碱化防治[M].北京:水利电力出版社,1993.
- [7] 杨洪兵,丁顺华,邱念伟,等.耐盐性不同的小麦根和茎结合部的拒 Na^+ 作用[J].植物生理学报,2001,27(2):179-185.
- [8] 丁应祥,王福升,林寿明.不同林龄I-69杨根际土离子浓度和养分状况[J].林业科学研究,1998,11(5):461-468.
- [9] 孙小芳,刘友良. $NaCl$ 胁迫下棉花体内 Na^+ 和 K^+ 分布与耐盐性[J].西北植物学报,2000,20(6):1027-1033.
- [10] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1983.195-221.

Effect of salt content in soil and groundwater on soluble salt ions content in *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. Poplaris

LIU Jing¹, WANG Lin-he¹, WANG Xing²

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, Inner Mongolia, China; 2. Water Conservancy Bureau of E'erduosi, E'erduosi 017000, Inner Mongolia, China)

Abstract: The contents of soluble salt ions in different parts of *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. Poplaris in the soils with different salt contents in natural habitats and the effect of soluble salt ions in the soil and groundwater on the salt content of *Populus simonii* × (*P. pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. Poplaris were studied. The experiment on the contents of soluble ions in different parts of the tree was conducted with the water solution method. CO_3^{2-} and HCO_3^- were measured with dual-indicator titration method; Cl^- with AgNO_3 titration method; SO_4^{2-} , Ca^{2+} and Mg^{2+} with EDTA capacity method; Na^+ and K^+ with flame photometer. The salt content in soil was determined according to "Soil and Agricultural Chemistry Analysis". The results showed that there was significant difference in the total salt contents in soils under two forest belts, but there was no difference in soluble salt ions contents ($\alpha = 0.01$) of corresponding parts (leaves, roots, heartwoods and sapwoods) under two forest belts. And there were some common characters: the sequence of total salinity of positive ions in each part was $\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$, negative ions' was $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. In the whole growth period, ions contents in leaves were higher than in other parts and changed within the largest range; ions contents in heartwoods and sapwoods were lower and changed within a rather small range. Ions contents in roots were between leaves, heartwoods and sapwoods. The study showed that without salt stress, *Populus simonii* × (*P. pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. Poplaris absorption of the soluble salt ions and the distribution and accumulation of salt ions in it depended on its physiological characteristic and biological characteristic. The effect of salt content in soil was small. But the salt content in the water absorbed by *Populus simonii* × (*P. pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. Poplaris had remarkable effect on the salt ions contents in every part. In the non-irrigation reasons, the correlation between salt ions contents in different parts of *Populus simonii* × (*P. pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. Poplaris and that in groundwater was significant. In the irrigation seasons or rainy seasons, there was no correlation between salt ions contents in different parts of *Populus simonii* × (*P. pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. Poplaris and that in groundwater. [Ch, 3 fig, 5 tab, 10 ref.]

Key words: *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv. Poplaris; soluble salt ions; soil; groundwater