

盐胁迫下白杨无性系苗木体内离子分配及比较

杨敏生¹, 李艳华², 梁海永¹, 王进茂¹

(1. 河北农业大学, 保定 071000; 2. 河北省环境科学院, 石家庄 056000)

摘要:以白杨杂种无性系及其亲本当年生苗木为材料, 分析了盐胁迫下无性系的离子含量, 及 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 在植物体内运输和分配特点, 并对无性系间差异进行了比较。研究表明, 随盐浓度提高, 植物体内 Na^+ 含量迅速提高, K^+ 、 Ca^{++} 含量降低; 盐分胁迫下, 根部 Na^+ 含量较高, 叶片 Na^+ 中含量最低, K^+ 、 Ca^{++} 含量则相反, 特别是 Ca^{++} , 其分布顺序为叶 > 茎 > 根。杂种无性系 B430 及其亲本新疆杨对 K^+ 和 Ca^{++} 运输的选择性比毛白杨高, 而对 Na^+ 运输的选择性则比毛白杨低, 从而导致根部存留的 Na^+ 较多, 叶片分配的 Na^+ 数量较少, 从而减轻 Na^+ 对叶片的伤害。综合分析表明 B430 和新疆杨耐盐能力最强, 毛新杨其次, 毛白杨最差。

关键词:白杨无性系; 盐胁迫; 离子; 区隔化

Ion distribution and comparison in seedlings of white poplar clones under salt stress

YANG Min-Sheng¹, LI Yan-Hua², LIANG Hai-Yong¹, WANG Jin-Mao¹ (1. Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China; 2. Hebei Academy of Environment Sciences, Shijiazhuang, 056000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 271~277.

Abstract: A salt stress on seedlings of a white poplar hybrid clone B430, *P. tomentosa*, *P. bolleana*, and hybrid of *P. tomentosa* and *P. bolleana* was made in pots, with the NaCl solution concentration of 0.10%, 0.30%, 0.60%, 0.90% and a pure water control. Each pot was watered respectively with 2L corresponding salt solution every 10 day. The content of K^+ , Na^+ , Ca^{++} in root, stem and leaf of the seedlings and the selectivity ($RS_{\text{K}, \text{Na}}$, $RS_{\text{Ca}, \text{Na}}$) to ions of transportation to above-ground part were determined and calculated after 28 days. Under the salt stress, the ion content of clone and the characteristics of transportation and distribution of K^+ , Na^+ , Ca^{++} were analyzed and the differences between clones were compared.

The result shows that the Na^+ content in the plant increased as the solution concentration increased, but the increasing range was different in different tissues. Under the 0.90% treatment, the Na^+ content in root is the highest with 7.48~8.01 mg/g FW, followed by the stem with 6.34~6.96mg/g FW, and the leaf with 4.03~5.65 mg/g FW. The variation was different among different clones. Under 0.60% treatment, differences between clones was the most obvious with Na^+ content with the sequence of B430 > *P. bolleana* > *P. tomentosa* in the root and stem. However the sequence in the leaf was in the contrary.

基金项目:河北省教委博士基金资助项目(利用生物技术培育杨树抗盐新品种)

收稿日期:2001-09-15; **修订日期:**2002-03-10

作者简介:杨敏生(1962~), 男, 回族, 内蒙古多伦县人, 博士, 教授。主要从事林业生物技术和树木抗逆生理研究。

Foundation item: Supported by the Doctor Foundation of the Provincial Education Committee of Hebei

Received date: 2001-09-15; **Accepted date:** 2002-03-10

Biography: YANG Min-Sheng, Ph. D., Professor. Mainly engaged primarily in the research of forest biotechnology and tree stress physiology. Email: Yangminsheng@hotmail.com

As the salt stress increased, the K^+ content decreased in the root and stem. The change of the K^+ content in leaf was small. Only the K^+ content in different tissues was about the same.

The change of the Ca^{++} content in leaf of all clones under the salt stress was identical, however, the decreasing range of the Ca^{++} content in the root was smaller and under the 0.90% treatment the Ca^{++} content fell to 36.6%~38.9%. The decreasing range of Ca^{++} content in stem and leaf was larger. It fell to 43.9~79.4 in stem. There were differences between four clones. As the salt stress increased, the decreasing value of the Ca^{++} content in different tissue of *P. tomentosa* was the largest and the change pattern of other three clones was about the same.

As the salt solution concentration increased the ratio of Na^+ to K^+ and Na^+ to Ca^{++} was increasing and Na^+ to Ca^{++} of B430 and *P. bolleana* were bigger than that of *P. tomentosa* while their ratios in stem and leaf were lower than that of *P. tomentosa*. The selectivity to transportation of Na^+ and K^+ in B430 and *P. bolleana* was higher than that of *P. tomentosa* while their selectivity to transportation of Na^+ was lower than that of *P. tomentosa*. So the Na^+ left in the root was more and Na^+ distributed to the leaf was less. The damage of Na^+ to leaf was reduced.

All results showed that the sequence of the salinity tolerance ability was B430 and *P. bolleana* > *P. tomentosa* > *P. bolleana* > *P. tomentosa*.

Key words: white poplar clone; salt stress; ion; compartmentation

文章编号:1000-0933(2003)02-0271-07 中图分类号:Q142.S718.43 文献标识码:A

淡土植物的耐盐性主要取决于根系对盐分的选择吸收和盐分在器官、组织、细胞 3 个层次上的区隔化^[1],植物在高渗溶液环境中生存,必须降低自身水势,以提高植物从土壤中吸收水分和营养元素,同时保持细胞正常所需的膨压^[2]。植物降低渗透是主要通过积累无机离子与小分子有机物质^[3]。因此在盐分胁迫下,植物不同组织对离子的吸收及区隔化特性是植物耐盐机制的重要方面。白杨树种广泛分布于西北、华北等平原地区,不同品种及无性系耐盐性存在差异。本研究以白杨双交和单交无性系及其亲本为材料,研究了盐分胁迫下不同组织离子吸收及分配的变化趋势,明确离子在植物体内的运输和分配特点,以期通过对植物组织耐盐方式的研究,更深入的认识植物的耐盐机理。同时比较了不同白杨无性系耐盐性差异及其机理,并对无性系耐盐性与其亲缘关系进行了探讨。

1 材料和方法

1.1 实验材料

选用白杨杂种无性系 B430 及其亲本毛白杨(*P. tomentosa*)、新疆杨(*P. bolleana*)和杂种毛新杨为材料。其中 B430 为双交杂种无性系,杂交组合为(毛白杨×新疆杨)×(银白杨×欧洲山杨),毛新杨为毛白杨×新疆杨杂种。

1.2 盐胁迫处理方法

参试的 4 个无性系采用盆栽法。1999 年 3 月下旬将 4 种无性系 1 年生扦插苗栽于塑料盆中,盆高 30cm,内径 25cm,培养土为苗圃熟土(2 份)和沙(1 份)混合而成,为砂壤土。将盆下部三分之二埋入土中,在充足供水条件下培养。成活后每盆选留 3 株大小一致的苗木,7 月上旬进入旺盛生长期时试验开始。进行如下盐处理:NaCl 浓度分别为 0.10%、0.30%、0.60%、0.90%,以不加 NaCl 的自来水为对照。试验开始时每盆浇各处理盐水 2L,每隔 10d 浇 1 次,每处理 5 盆。为防止雨水淋湿,设置塑料风雨棚。盐处理时间为 28d,土壤的最终盐分含量如表 1 所示。

1.3 指标测定

在盐处理的第 28 天采集植物和土壤样品用于盐分离子测定。不同处理根、茎、叶采集样品部位、形态保持一致,叶片样品从苗木顶部第 8 片叶采集。①土壤可溶性盐分离子用去离子水在 1:5 土/水比下振荡 10min 提取。②植物盐离子参照 Storey 的方法,用 1mol/L HNO_3 提取^[4]。植物材料(g):1mol/L HNO_3 ,

(ml)=1:50,浸提 24h 后测定。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 浓度均用原子吸收分光光度法(日立,Z5300)测定, Cl^- 浓度用 $AgNO_3$ 滴定法测定^[5]。

表 1 4 个无性系的土壤可溶性盐含量(NaCl%)

Table 1 Content of dissoluble salt in soil

无性系 Clone	B430			新疆杨 <i>P. bolleana</i>			毛白杨 <i>P. tomentosa</i>			毛新杨 <i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>		
时间 Time	10d	20d	28d	10d	20d	28d	10d	20d	28d	10d	20d	28d
对照 Contrast	0.0037	0.0031	0.0038	0.0045	0.003	0.0037	0.0034	0.0026	0.0024	0.0038	0.0031	0.0039
0.10%	0.0101	0.0123	0.0134	0.0125	0.0134	0.0142	0.0138	0.0163	0.0173	0.0151	0.0164	0.0167
0.30%	0.0422	0.0431	0.044	0.0402	0.0422	0.0436	0.0366	0.038	0.045	0.0378	0.04	0.0412
0.60%	0.0468	0.0473	0.0488	0.0452	0.0458	0.0467	0.0419	0.0428	0.0503	0.044	0.0467	0.0473
0.90%	0.0505	0.0623	0.071	0.0481	0.0603	0.067	0.0465	0.0575	0.0566	0.048	0.0577	0.0588

植物根中的 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 向地上部分运输的选择性($RS_{K,Na}$ 、 $RS_{Ca,Na}$)参照 Pitman 提出的公式计算^[6],即

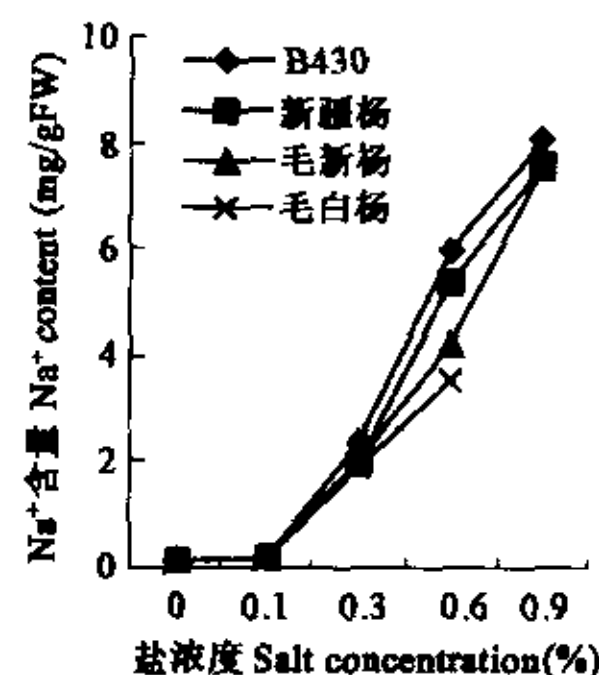
$$RS_{K,Na} = \frac{\text{根系 } Na^+ / K^+}{\text{茎叶 } Na^+ / K^+} \quad RS_{Ca,Na} = \frac{\text{根系 } Na^+ / Ca^{++}}{\text{茎叶 } Na^+ / Ca^{++}}$$

2 结果与分析

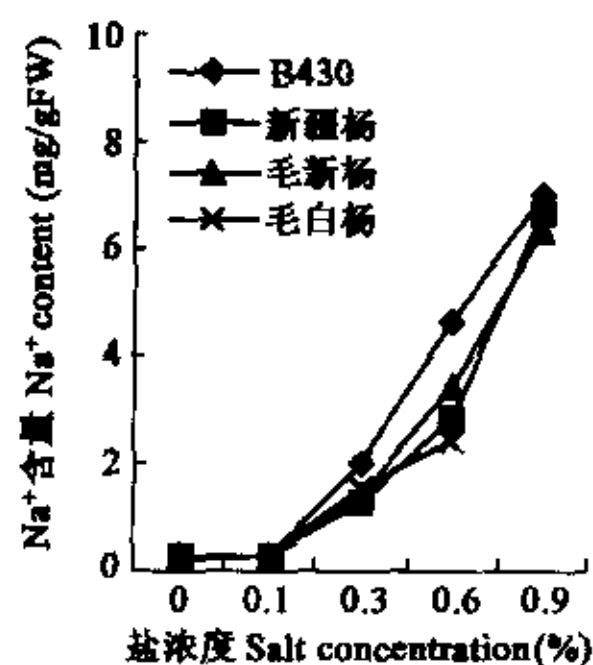
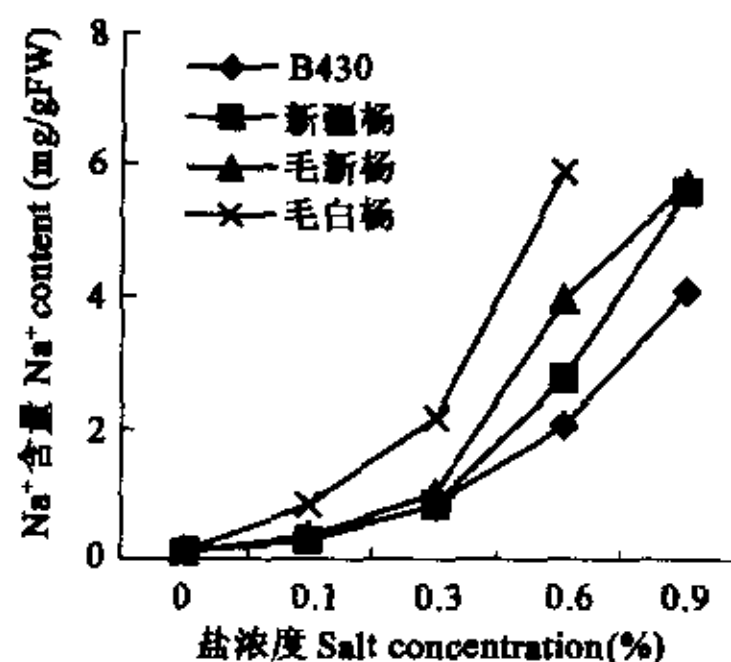
2.1 Na^+ 在体内的分布

图 1、图 2 和图 3 分别为受到不同盐分处理时各无性系根、茎、叶中 Na^+ 的变化趋势。

从图中可以看出,土壤盐浓度处理为 0.10% 时,各无性系根、茎、叶中 Na^+ 含量处于极低水平,在 0.180~0.821mg/gFW 之间,略高于对照。随着盐胁迫的加强,植物体内 Na^+ 含量也迅速提高,但不同组织中 Na^+ 提高幅度不同。根系中 Na^+ 含量最高,在 0.90% 盐浓度处理下,达到 7.48~8.01mg/gFW 之间;茎中 Na^+ 含量略低于根系中含量,为 6.34~6.96mg/gFW;叶片中 Na^+ 含量最低,为 4.03~5.65mg/gFW。不同无性系间存在差异,且在盐浓度为 0.60% 处理下无性系间差别最大,随着盐胁迫进一步加强,无性系间差别缩小。

图 1 盐处理对无性系根 Na^+ 含量的影响Fig. 1 Effect of salt stress on Na^+ content of seedling roots

■ *P. bolleana* ▲ *P. tomentosa* × *P. bolleana*
× *P. tomentosa*, 下同 the same below

图 2 盐处理对无性系茎 Na^+ 含量的影响Fig. 2 Effect of salt stress on Na^+ content of seedling stems图 3 盐处理对无性系叶 Na^+ 含量的影响Fig. 3 Effect of salt stress on Na^+ content of seedling leaves

在根系和茎中, Na^+ 含量从高到低顺序为 B430 > 新疆杨 > 毛新杨 > 毛白杨, 在叶片中, 则顺序相反, 毛白杨 Na^+ 含量最高。在 0.90% 盐胁迫处理下, 毛白杨因不耐高盐而全部死亡。

2.3 K^+ 在体内的分布

植物受到土壤盐胁迫处理后, 体内 K^+ 含量也发生了变化。由图 4、图 5、图 6 可以看出, 在不同盐处理水平下, K^+ 在不同组织中变化存在一定差异。在根系和茎中, 随着盐胁迫加强, K^+ 含量呈缓慢下降趋势; 而在叶片中, K^+ 含量基本维持不变, 仅毛白杨呈迅速下降趋势。当植物组织受到盐胁迫后, K^+ 含量在不同组织中大致相同。

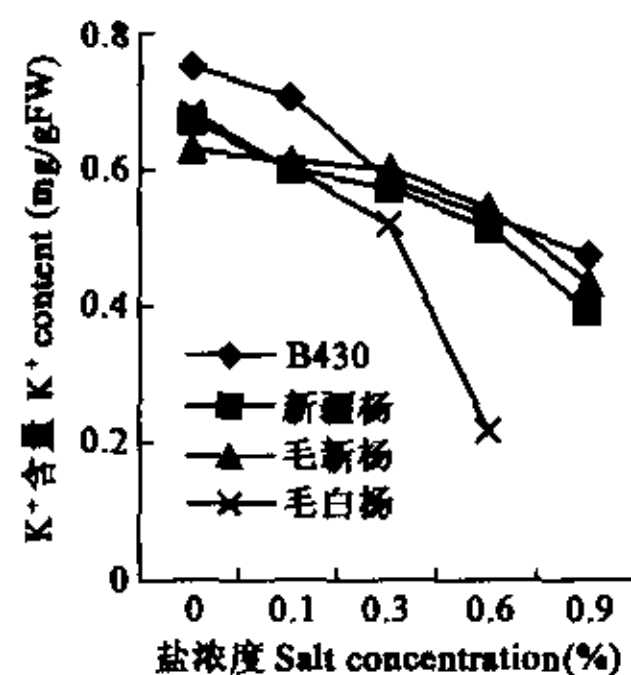


图 4 盐处理对无性系根 K^+ 含量的影响

Fig. 4 Effect of salt stress on K^+ content of seedling roots

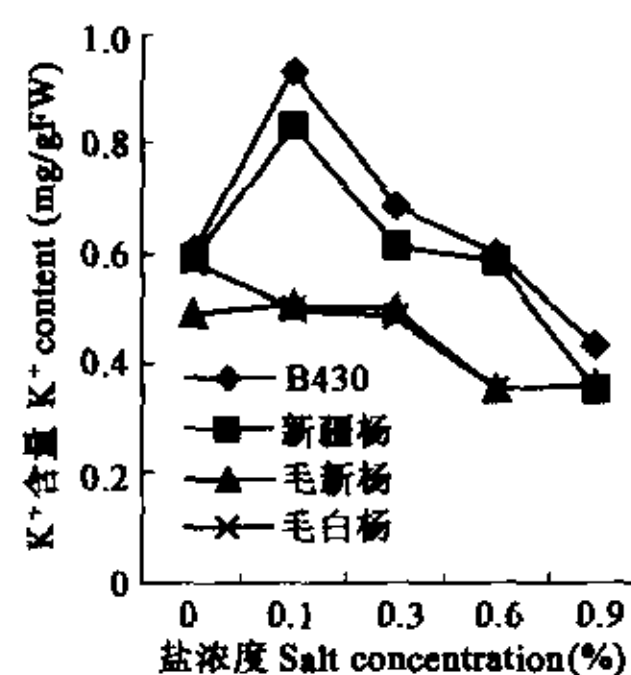


图 5 盐处理对无性系茎 K^+ 含量的影响

Fig. 5 Effect of salt stress on K^+ content of seedling stems

不同无性系 K^+ 变化趋势存在差异。在低盐处理下 ($<0.3\%$), B430、新疆杨、毛新杨的 K^+ 含量基本没有下降, 当盐浓度增至 0.6% 以后, 才开始下降。而毛白杨则随盐胁迫加强呈稳定下降趋势。B430 和新疆杨 K^+ 含量在各胁迫浓度均高于另外两个无性系。

2.4 Ca^{++} 在体内的分布

随着盐胁迫加强, 植物体内 Ca^{++} 含量表现出迅速下降趋势 (图 7、8、9), 但 Ca^{++} 含量存在差异。叶片中 Ca^{++} 含量最高, 正常条件下达到 22.3mg/gFW, 根系 Ca^{++} 含量最低, 仅为 1.90mg/gFW。根、茎、叶中 Ca^{++} 含量随盐分胁迫变化趋势基本相同, 但下降幅度不同, 根系中 Ca^{++} 含量下降幅度较小, 土壤盐浓度为 0.9% 时, Ca^{++} 含量下降了 36.6%~38.9%; 茎叶中 Ca^{++} 含量下降幅度较大, 茎中 Ca^{++} 含量下降了 43.9%~79.4%。

无性系间存在一定差异, 毛白杨 Ca^{++} 含量在各组织中随盐胁迫加强, 下降幅度最大。其他 3 个无性系变化模式基本一致。

2.5 离子运输过程中对 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 的选择性

表 3 结果表明, 随着盐浓度提高, Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ 比值提高, 但在根系和在茎叶中提高幅度不同, 根系中 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ 比值提高幅度高于茎叶中。说明 Na^+ 进入体内首先引起根系中的 K^+ 和 Ca^{++} 进行交换, 从而保持叶中 K^+ 和 Ca^{++} 含量。无性系间 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ 比值存在差异。B430 和新疆杨的 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ 比值在盐胁迫下, 在根系中比值明显高于毛白杨, 而在茎叶中则明显低于毛白杨。说明在 B430 和新疆杨中, 积累在根系中的 Na^{++} 明显高于毛白杨, 从而使茎叶中保持 K^+ 和 Ca^{++} 的

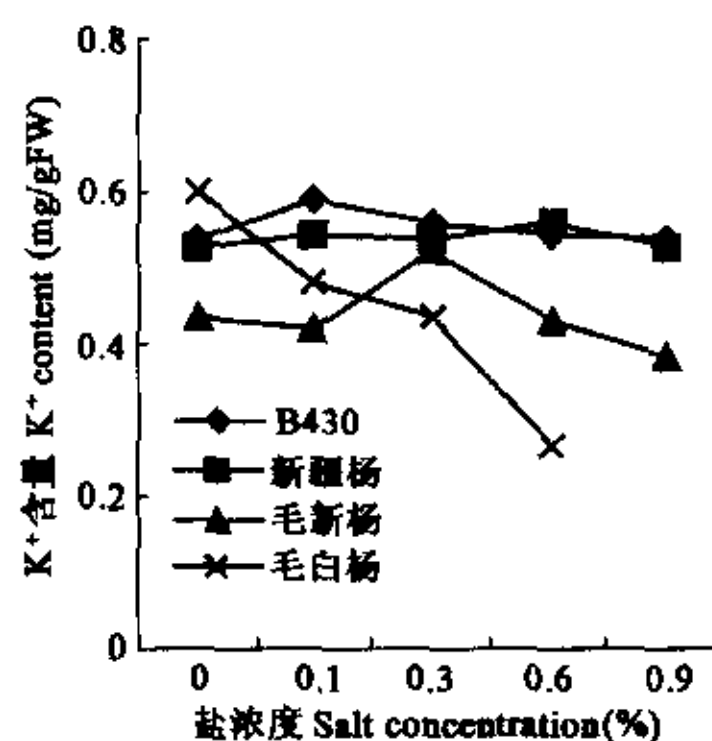


图 6 盐处理对无性系叶 K^+ 含量的影响

Fig. 6 Effect of salt stress on K^+ content of seedling leaves

含量。 RS 值反映的是植物根中的 Na^+ 、 K^+ 和 Ca^{++} 向地上部分运输的选择性。 $RS_{\text{K},\text{Na}}$ 和 $RS_{\text{Ca},\text{Na}}$ 值越大, K^+ 和 Ca^{++} 运输的选择性越高, 留在根中的 Na^+ 越多。B430 和新疆杨的 $RS_{\text{K},\text{Na}}$ 和 $RS_{\text{Ca},\text{Na}}$ 值高于毛白杨, 表明 B430 和新疆杨对 K^+ 和 Ca^{++} 运输的选择性比毛白杨高, 而对 Na^+ 运输的选择性则比毛白杨低。

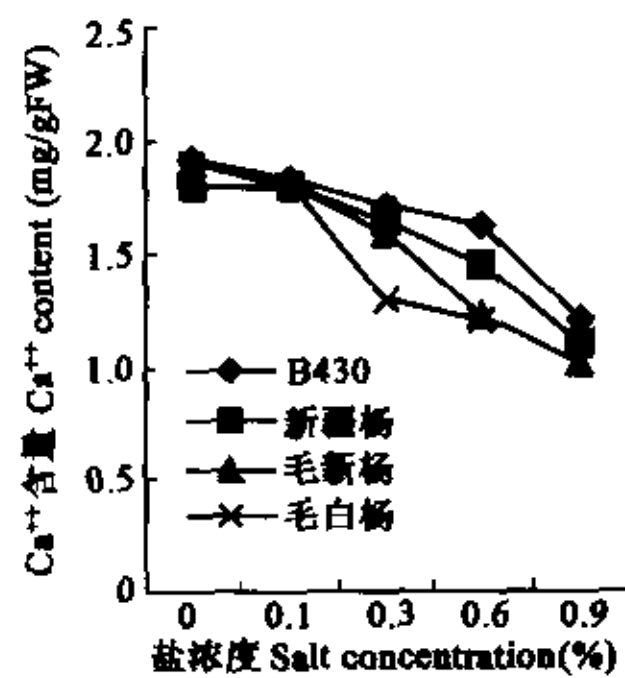


图 7 盐处理对无性系根 Ca^{++} 含量的影响

Fig. 7 Effect of salt stress on Ca^{++} content of seedling roots

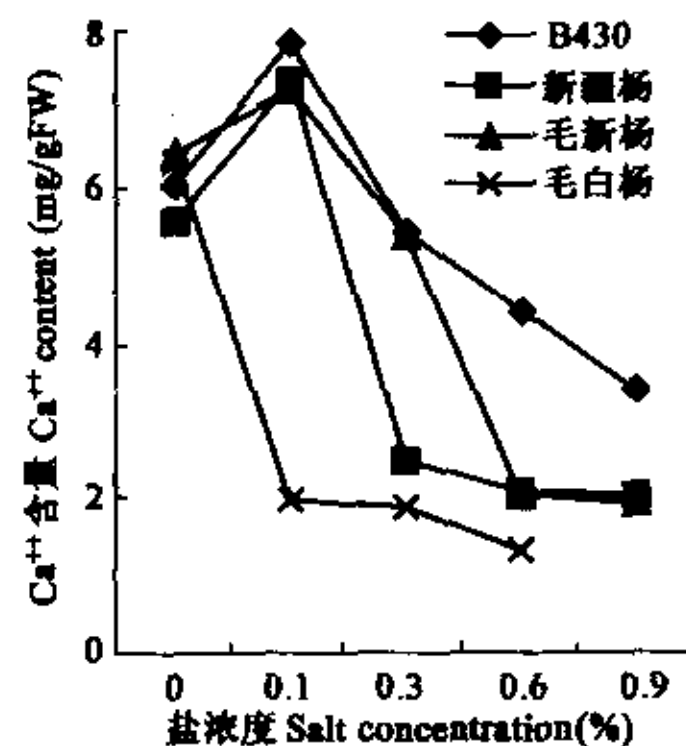


图 8 盐处理对无性系茎 Ca^{++} 含量的影响

Fig. 8 Effect of salt stress on Ca^{++} content of seedling stems

3 讨论

随着盐胁迫加强, 4 个杨树无性系苗木体内 Na^+ 含量均迅速提高, 但不同组织中提高幅度不同。根系中 Na^+ 含量最高, 茎中 Na^+ 含量略低于根系, 叶片中 Na^+ 含量最低。这一结论与其它植物上得到的结论基本一致^[7~9]。叶片中盐离子含量较低, 这可能是由于植物根部积累了大量的离子, 限制了离子的向上运输, 从而减轻 Na^+ 对代谢的干扰作用, 降低盐胁迫对地上部分的毒害。在植物体内 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构成而毒害植物。 Na^+ 在根部积累, 可以减轻对代谢旺盛的干扰作用, 同时可以使植物利用这些积累在根部的盐离子进行渗透调节, 降低植物的水势, 保持植物吸收水分的能力, 以减少造成生理干旱, 这可能是植物适应盐害的一种机制^[10~13]。

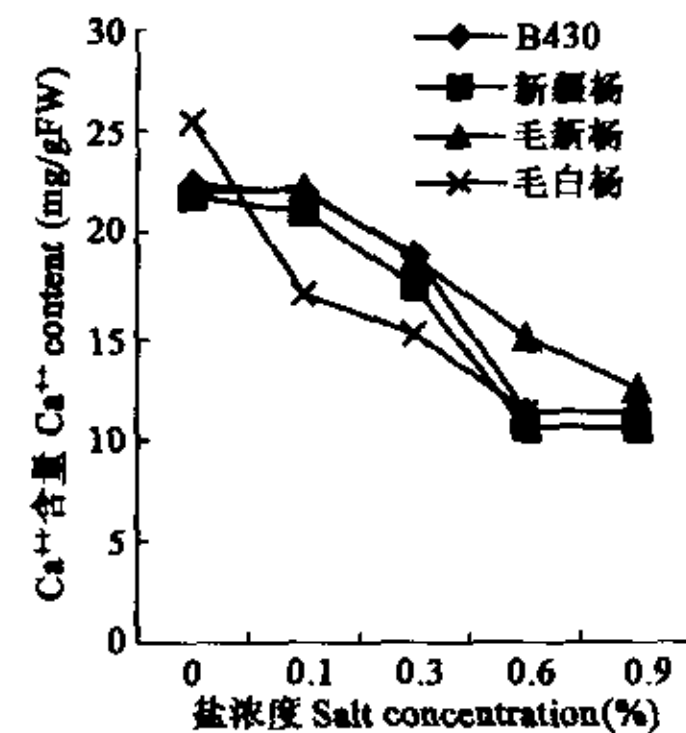


图 9 盐处理对无性系叶 Ca^{++} 含量的影响

Fig. 9 Effect of salt stress on Ca^{++} content of seedling leaves

盐胁迫下, 植物体内 K^+ 和 Ca^{++} 的变化趋势则与 Na^+ 的变化趋势相反, 即随着盐胁迫加强, K^+ 和 Ca^{++} 含量逐步降低, 表明 Na^+ 的积累, 抑制了 K^+ 、 Ca^{++} 的进入。 K^+ 和 Ca^{++} 的下降幅度不同, K^+ 随盐胁迫下降幅度较小, 除毛白杨外, 各无性系不同部位在盐胁迫达到 0.6% 以前, 没有明显下降, 以后下降幅度也比较小。 K^+ 是具有活化作用的一价阳离子, 是保证植物正常代谢的关键离子。在盐胁迫下, 体内过多积累 Na^+ , 抑制 Na^+/K^+ 交换, 代谢中产生的能量不能满足 Na^+/K^+ 泵运转。而在盐胁迫下 K^+ 保持一定稳定性, 从而保持 Na^+/K^+ 泵 ATPase 活性较高, 有利于 Na^+ 、 K^+ 交换, 说明对盐胁迫有一定适应性。 Ca^{++} 在植物体内不同部位含量及随盐胁迫下降幅度均有较大差异。叶片中 Ca^{++} 含量显著高于茎和根系中 Ca^{++} 的含量, 根系 Ca^{++} 含量最低。茎叶中 Ca^{++} 下降幅度明显高于根系中 Ca^{++} 下降幅度。 Ca^{++} 在植物遇到 NaCl 胁迫时, 对维持细胞的完整性起很大作用, 它能防止细胞膜的过渡伤害和细胞内电解质的渗漏。此外, Ca^{++} 还影响植物对 K^+ 的选择吸收, 是非盐生植物在遇到 NaCl 胁迫时的主要渗透调节物质。植物体内含有较多

Ca^{++} , 说明 Ca^{++} 在调节盐胁迫中作用较大。本试验中各无性系体内 Ca^{++} 含量随盐胁迫浓度增加而迅速下降, 而 K^+ 含量下降缓慢, 说明 K^+ 在调节盐胁迫中的作用可能要比 Ca^{++} 大。

表 3 根至地上部分运输过程中对 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 选择性

Table 3 Selectivity to Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} during ion transportation from root to shoot

	无性系 Clone	盐处理 (%) Salt treatment				
		0	0.10	0.30	0.60	0.90
Na^+/K^+	B430	0.17	0.26	4.10	11.26	17.04
	根系 新疆杨 <i>P. bolleana</i>	0.18	0.31	0.32	10.45	19.46
	毛新杨 <i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>	0.19	0.30	3.42	7.80	17.40
	毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	0.21	0.30	3.60	15.81	—
	B430	0.31	0.38	2.26	5.87	11.35
	茎叶 新疆杨 <i>P. bolleana</i>	0.33	0.42	1.84	4.89	13.83
	毛新杨 <i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>	0.41	0.70	2.41	9.40	16.12
	毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	0.29	1.12	4.04	13.39	—
$\text{RS}_{\text{K},\text{Na}}$	B430	0.56	0.67	1.81	1.92	1.50
	根系 新疆杨 <i>P. bolleana</i>	0.54	0.75	0.17	2.14	1.41
	毛新杨 <i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>	0.46	0.42	1.42	0.83	1.08
	毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	0.71	0.27	0.89	1.18	—
	root B430	0.07	0.10	1.40	3.69	6.62
	根系 新疆杨 <i>P. bolleana</i>	0.07	0.11	1.19	3.68	6.90
	毛新杨 <i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>	0.06	0.10	1.29	3.42	7.33
	毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	0.07	0.10	1.44	2.90	—
$\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$	B430	0.01	0.02	0.12	0.43	0.75
	茎叶 新疆杨 <i>P. bolleana</i>	0.01	0.02	0.10	0.44	0.97
	毛新杨 <i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>	0.01	0.02	0.10	0.43	0.83
	毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	0.01	0.06	0.22	0.66	—
	B430	5.49	5.06	12.07	8.63	8.78
	根系 新疆杨 <i>P. bolleana</i>	4.86	5.25	11.18	8.32	7.10
	毛新杨 <i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>	4.70	4.58	12.62	7.89	8.80
	毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	6.74	1.73	6.61	4.39	—

RS 值反映的是植物根中的 Na^+ 、 K^+ 和 Ca^{++} 向地上部分运输的选择性。 $\text{RS}_{\text{K},\text{Na}}$ 和 $\text{RS}_{\text{Ca},\text{Na}}$ 值越大, K^+ 和 Ca^{++} 运输的选择性越高, 留在根中的 Na^+ 越多。盐胁迫下, Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ 比值及 $\text{RS}_{\text{K},\text{Na}}$ 和 $\text{RS}_{\text{Ca},\text{Na}}$ 值提高, 在其它研究中也得到相似的结论^[6,9]。离子分配形式不同, 导致植物耐盐性差异。根系和茎部的耐盐力较强, 叶片则因盐分积累过快、过多, 易致害和死亡^[12]。由各无性系离子含量变化、 Na^+/K^+ 和 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ 比值及 $\text{RS}_{\text{K},\text{Na}}$ 和 $\text{RS}_{\text{Ca},\text{Na}}$ 值综合判断可知, 四个无性系植株的 Na^+ 分配存在着明显的品种间差异, B430 和新疆杨耐盐能力最强, 毛新杨其次, 毛白杨耐盐能力最差。无性系间耐盐能力差异主要是由于对离子的选择性不同。耐盐性强的无性系对 K^+ 和 Ca^{++} 的选择性高, 而对 Na^+ 的选择性较低, 从而导致在盐胁迫下根部存留的 Na^+ 较多, 而叶片分配的 Na^+ 数量较少。叶片中 Na^+ 的积累相对较低, 从而减轻 Na^+ 对叶片的伤害, 保持较高的 K^+ 和 Ca^{++} 含量。这与大麦的研究结果相似^[9]。

无性系间耐盐能力差异, 与它们之间的亲缘关系有关。毛新杨是毛白杨与新疆杨的杂种, B430 为毛新杨的双交杂种, 其杂交组合是 (毛白杨 × 新疆杨) × (银白杨 × 欧洲山杨)。新疆杨和银白杨是我国西北地区主要杨树造林树种, 耐盐性较强, 而毛白杨主要分布在华北和西北东部, 耐盐能力较差。上述研究结果与实际情况相符, 而杂种 B430 则继承了新疆杨和银白杨的耐盐特性, 其耐盐性与亲本新疆杨一致, 另一单交杂种毛新杨耐盐性则介于亲本新疆杨和毛白杨之间。

References

- [1] Epstein E. Crops tolerant of salinity and other minerals stress. In: Pitman ed. *Better Crops for Food*. London: Ciba Foundation Symposium, 1982.
- [2] Benjamin J. Mechanisms involved in salt tolerance by plant. In: Mohammad Pessarakli ed. *Handbook of plant and crop stress*. Arizona: Marcel Dekker, 1997.
- [3] Morgan J M. Osmotic adjustment in the spikelets and leaves of wheat. *J. Exp. Bot.*, 1980, **31**(135):655~665.
- [4] Storey R. Salt tolerance, ion relations and effect of root medium on the response of citrus to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1995, **22**(1):101~114.
- [5] Huang Y, Chen S C. Salt tolerance in seedlings of the mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce, *Rhizophoraceae*. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 1995, **36**(1): 25~31.
- [6] Pitman M G. Transport across the root and shoot/root Interaction. in: Staples R. C. and Toennissen G. A. ed. *Salinity Tolerance in Plants*. Wiley: 1984.
- [7] Wang Y Q, Jiang X N, Li Y. The changes of ion absorbing and distribution in different organ and cell of *Robinia pseudoacacia* seedlings for salt stress. *J. Beijing Fores. Uni.*, 2001, **23**(1):18~23.
- [8] Shi D Ch, Sheng Y M, Zhao K F. Stress effects of mixed salts with various salinities on the seedlings of *Anenrolepidium chinese*. *Acta. Bot. Sin.*, 1998, **40**(12):1136~1142.
- [9] Mao L C, Liu Y L. The distribution of Na^+ , K^+ and salt content tolerated by leaf in barley seedling under salt stress. *J. Nanjing Agr. Uni.*, 1990, **13**(3):32~36.
- [10] Yin L J, Shi D Ch, Wang P Y. Growth adaptability and salt tolerance osmoregulation of *Aneurolepidium chinese* grown on Saline grassland. *Acta Bot. Sin.*, 1993, **35**(8):619~625.
- [11] Yan X F, Sun G R. Changes of several osmotic in *Puccinellia tenuiflora* seedling under alkali salt stress. *Bull. Bot. Res.*, 1999, **19**(3): 374~355.
- [12] Munns R. *et al.* Whole plant response to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1986, **13**(2): 143~146.
- [13] Yadava R B *et al.* Effect of soil salinity and sodicity on growth and mineral nutrition of some poplar clones. *Indian Fores.*, 1995, **121**(4): 283~288.

参考文献

- [7] 王艳青, 蒋湘宁, 李悦. 盐胁迫对刺槐不同组织及细胞离子吸收和分配的变化. 北京林业大学学报, 2001, **23**(1): 18~23.
- [8] 石德成, 盛艳敏, 赵可夫. 不同盐浓度的混合盐对羊草苗的胁迫效应. 植物学报, 1998, **40**(12):1136~1142.
- [9] 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. 南京农业大学学报, 1990, **13**(3):32~36.
- [10] 殷丽娟, 石德成, 王萍, 等. 盐碱化草地羊草生长的适应性与耐盐渗透调节. 植物学报, 1993, **35**(8):619~625.
- [11] 阎秀峰 孙国荣. 碱性盐胁迫下星星草幼苗中几种渗透调节物质的变化. 植物研究, 1999, **19**(3): 374~355.