

造纸废水灌溉对新疆杨体内钠离子含量的影响*

任 珺** 陶 玲 侯培强

(兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州交通大学环境生态研究所, 兰州, 730070)

摘 要 测定分析了造纸废水灌溉对新疆杨体内钠离子含量的影响. 研究表明, 在造纸废水灌溉条件下, 新疆杨体内不同生长部位的钠离子含量均随着灌溉年限的增加逐渐增大, 新疆杨体内钠离子含量与土壤中钠离子含量呈显著正相关; 新疆杨叶片中钠离子含量明显低于根系中钠离子含量, 说明盐碱胁迫下新疆杨叶片耐钠性大于根系耐钠性, 新疆杨根系是钠离子累积和外排的主要部位.

关键词 造纸废水, 灌溉, 新疆杨, 钠离子

亚钠法麦草造纸工艺流程中, 在蒸煮阶段加入了大量的亚硫酸钠作为消解剂, 从而使造纸废水中含有大量的钠离子 (Na^+)^[1], 采用含有高浓度 Na^+ 的造纸废水进行灌溉, 容易引起土壤溶液以及植物体内 Na^+ 含量的增加. 当土壤中 Na^+ 含量过高时, 会导致土壤 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的缺乏和其它营养失调, 使土壤粘粒和团聚体分散, 从而使土壤对水和空气的渗透性降低^[2]; 植物体内 Na^+ 含量过高时, 会造成离子毒害和矿物质营养缺乏, 导致植株生长发育受到抑制^[3-6].

近年来, 已有大量学者对盐碱胁迫下植物对 Na^+ 的吸收、运输、累积作了相关报道和研究^[7-16], 但大多是在实验室模拟条件下进行的, 对含有高浓度 Na^+ 的造纸废水灌溉对植物体内 Na^+ 含量的影响研究较少^[17].

本文以甘肃省某造纸厂利用造纸废水灌溉的沙漠生态林为研究对象, 探讨了造纸废水灌溉对新疆杨体内 Na^+ 含量的影响. 研究造纸废水灌溉对新疆杨体内 Na^+ 含量影响, 不仅可以为利用人工湿地处理造纸废水提供理论指导, 同时还可以为荒漠化土壤的修复提供理论依据.

1 实验部分

1.1 样品采集

甘肃某造纸厂以麦草为原料, 生产工艺采用亚钠制浆. 产生的造纸废水经过简单沉淀处理后, 利用当地南高北低的自然坡降, 把 $5000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 造纸废水通过地埋式管道 ($\phi 600 \text{ mm}$) 直接引入 20 km 外的沙漠生态林场用于新疆杨的灌溉. 该林场研究区土壤为荒漠灰钙土, 土壤 pH 背景值为 8.50—8.63, 土质疏松, 土层厚度为 300—500 cm. 未用造纸废水灌溉的新疆杨林地的土壤钠离子含量为 $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 经造纸废水灌溉 2、3、4 和 5 年后的土壤钠离子含量分别为 $0.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

新疆杨 (*Populus alba*) 样品来自利用造纸废水灌溉的沙漠生态林. 在灌溉年限相同的林区内选取有树龄、生长情况大致相同的新疆杨树 6 株, 取植株上部叶、中部叶、下部叶和树根各 50g 新鲜样品, 在未经造纸废水灌溉的新疆杨林区, 选取 6 株树龄、生长情况大致相同的植株作为对照, 同时采取株下 0—10cm 表层土的土样 100g, 重复取样 6 次, 充分混合后均分为 6 份土壤样品.

2.2 试验方法

新疆杨样品先用自来水冲洗, 去除表面污物, 再用去离子水冲洗 3 遍, 晾干后放入 60°C — 80°C 烘箱中烘干 5—8h, 将烘干样品研磨粉碎后过 200 目筛, 装入乙烯瓶中备用.

称量 $0.5000 \text{ g} (\pm 0.0001)$ 样品粉末, 放入 50ml 瓷坩埚内, 先在低温电炉上碳化 1—2h 后, 转入

2009 年 3 月 27 日收稿.

* 兰州交通大学“青蓝”人才工程基金资助项目.

** 通讯联系人, E-mail: renjun@mail.ljtu.cn

马弗炉中灰化 4—5h(600℃). 灰化后的样品粉末中加入 1:1 的硝酸溶液 5mL 进行样品的稀释和提取. 然后将处理过的样品转入 50mL 量筒内, 并用去离子水定容至刻度^[18-19]. 土壤样品采用类似的方法进行预处理. 利用电感耦合等离子体发射仪 (ICP-AES) 测定植物和土壤样品内的钠离子含量.

采用单因素方差分析 (ANOVA) 对不同灌溉年限和不同生长部位之间的差异性进行显著性分析, 利用最小显著性差异 (LSD) 多重比较方法, 在 95% 的可靠性下对不同灌溉年限和不同生长部位之间两两的差异性进行比较分析, 并且对新疆杨体内 Na^+ 含量与土壤中 Na^+ 含量进行一元线性回归分析.

2 结果与讨论

2.1 造纸废水灌溉对新疆杨不同部位叶中 Na^+ 含量的影响

对照区新疆杨不同生长部位叶片中的 Na^+ 含量表现出显著差异 ($F_{3,15} = 5.09$, $p = 0.0032$), 上部叶和根中的 Na^+ 含量没有显著差异, 而且均显著高于中部叶和下部叶中的 Na^+ 含量, 而中部叶和下部叶中的 Na^+ 含量没有显著差异; 在造纸废水灌溉年限为 2 年时, 各生长部位的 Na^+ 含量没有显著差异; 在造纸废水灌溉时间为 3、4、5 年时, 新疆杨不同部位叶片中的 Na^+ 含量没有显著差异, 但都显著低于根的 Na^+ 含量 (表 1). 说明在造纸废水灌溉条件下, 林地土壤中积累了较多的 Na^+ , 新疆杨根中富集的 Na^+ 含量明显高于树叶中的 Na^+ 含量, 这与其它学者的研究结果是一致的^[20-22]. 说明根对 Na^+ 具有较强的选择吸收性, 是 Na^+ 积累的重要部位, 杨树根能将对树木产生毒害的 Na^+ 控制在根系中, 限制其向地上部运输, 这可能是杨树通过减少叶中盐离子的吸收而保证叶片正常生长和同化作用所致^[3, 23-25], 同时也可能与杨树不同生长部位的蒸腾速率和生长速率等因素有关^[26-28].

表 1 在造纸废水灌溉条件下的新疆杨不同部位叶中的 Na^+ 含量

Table 1 Na^+ content in the leaves from different parts of *Populus alba* irrigated by papermaking wastewater

灌溉时间/年	叶 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)			根 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	F 值
	上部叶	中部叶	下部叶		
对照 (0 年)	0.59 ± 0.11 ^a	0.34 ± 0.09 ^b	0.32 ± 0.03 ^b	0.52 ± 0.22 ^a	5.90 ^{**}
2	0.63 ± 0.15	0.41 ± 0.20	0.51 ± 0.31	1.24 ± 1.07	2.53
3	0.68 ± 0.18 ^a	0.38 ± 0.16 ^a	0.53 ± 0.21 ^a	1.24 ± 0.61 ^b	7.17 ^{**}
4	0.71 ± 0.22 ^a	0.54 ± 0.14 ^a	0.55 ± 0.09 ^a	1.50 ± 0.38 ^b	22.68 ^{***}
5	1.06 ± 0.22 ^a	0.60 ± 0.12 ^a	0.94 ± 0.32 ^a	2.52 ± 1.02 ^b	14.36 ^{***}

注: 表中数据为 mean ± S.D.; 带有相同上标字母表示不同部位之间的 Na^+ 含量不存在显著性差异 ($p > 0.05$); *** 极显著差异 ($p < 0.001$); ** 显著性差异 ($0.001 < p < 0.01$); * 一般显著性差异 ($0.01 < p < 0.05$).

2.2 造纸废水灌溉时间对新疆杨体内 Na^+ 含量的影响

新疆杨上部叶中 Na^+ 含量在不同灌溉时间下表现出显著差异 ($F_{4,20} = 6.43$, $p = 0.0011$), 造纸废水灌溉 5 年后的 Na^+ 含量均显著高于对照和其它灌溉时间, 而造纸废水灌溉 2、3、4 年和对照之间的 Na^+ 含量没有显著差异; 新疆杨中部叶中的 Na^+ 含量在不同灌溉时间下表现出显著差异 ($F_{4,20} = 3.45$, $p = 0.0224$), 新疆杨中部叶中的 Na^+ 含量在造纸废水灌溉 4 和 5 年时没有表现出显著差异, 但均显著高于对照和灌溉 2、3 年后的 Na^+ 含量, 而且对照和灌溉 2、3 年之间的 Na^+ 含量没有显著差异; 新疆杨下部叶中的 Na^+ 含量在不同灌溉时间下表现出显著差异 ($F_{4,20} = 6.12$, $p = 0.0014$), 在对照和造纸废水灌溉 2、3、4 年时的 Na^+ 含量之间没有显著差异, 但均显著低于造纸废水灌溉 5 年后的 Na^+ 含量; 新疆杨根中的 Na^+ 含量在不同灌溉时间下表现出显著差异 ($F_{4,20} = 5.74$, $p = 0.0020$), 造纸废水灌溉 2、3、4 年时, 根中的 Na^+ 含量之间没有显著差异, 造纸废水灌溉 5 年时的 Na^+ 含量显著高于对照和造纸废水灌溉 2、3、4 年时的 Na^+ 含量, 造纸废水灌溉 4 和 5 年时的 Na^+ 含量均显著高于对照 (图 1).

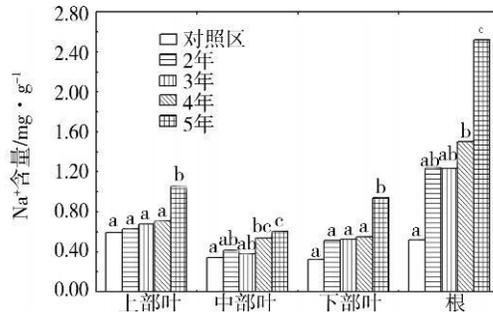


图 1 不同造纸废水灌溉时间下新疆杨体内的 Na^+ 含量 (字母意义同表 1)

Fig 1 Na^+ content of *Populus alba* irrigated by papermaking wastewater in different years

2.3 新疆杨体内与土壤中 Na^+ 含量的关系

根据对不同造纸废水灌溉时间下, 新疆杨体内 Na^+ 含量与土壤中 Na^+ 含量的线性回归分析结果, 新疆杨不同生长部位中的 Na^+ 含量 (y)均随着土壤中 Na^+ 含量 (x)的增加而增加, 呈显著正相关 (上部叶: $R^2 = 0.8325$ $p = 0.0347$, 回归方程为 $y = 0.4731 + 1.2137x$; 中部叶: $R^2 = 0.7824$ $p = 0.0276$ 回归方程为 $y = 0.2831 + 0.8067x$; 下部叶: $R^2 = 0.7183$ $p = 0.0044$ 回归方程为 $y = 0.1888 + 1.7846x$; 根: $R^2 = 0.7904$ $p = 0.0016$ 回归方程为 $y = 0.0758 + 6.2010x$).

3 结论

在造纸废水灌溉条件下, 新疆杨根中 Na^+ 含量明显高于树叶中 Na^+ 含量. 新疆杨树叶中 Na^+ 含量为中部叶 < 下部叶 < 上部叶. 杨树体内相同生长部位的 Na^+ 含量均随着灌溉年限的增加逐渐增加, 并且与土壤中 Na^+ 含量呈显著正相关.

新疆杨能够有效吸收土壤中 Na^+ , 可以作为植物修复盐碱土壤的树种之一. 从目前长势来看, 林场内杨树长势良好, 未出现钠离子毒害的明显症状, 但长时间灌溉是否会对杨树产生钠离子毒害效应, 还需进一步研究.

参 考 文 献

- [1] 丁成, 王世和, 杨春生, 造纸废水滩涂芦苇湿地处理系统中钠的分布特征 [J]. 中国造纸, 2005, 24 (3): 24-26
- [2] 黄昌勇, 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 213
- [3] 王林权, 邵明安, 高等植物对钠离子的吸收、运输和累积 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23 (5): 244-249
- [4] Munns R, Comparative Physiology of Salt and Water Stress [J]. *Plant Cell Environment*, 2002, 25: 39-250
- [5] Ashraf M, Harris P J C, Potential Biochemical Indicators of Salinity Tolerance in Plants [J]. *Plant Science*, 2004, 166: 3-16
- [6] Tester M, Davenport R J, Na^+ Transport and Na^+ Tolerance in Higher Plants [J]. *Annals of Botany*, 2003, 91: 503-527
- [7] 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
- [8] 王军, 权太勇, 夏光敏, 盐胁迫下小麦体细胞杂种与亲本小麦幼苗的生长量和 Na^+ 、 K^+ 含量比较 [J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12 (4): 355-358
- [9] 王红玲, 阿不来提·阿不都热依木, 齐曼, Na_2SO_4 胁迫下狗牙根 K^+ 、 Na^+ 离子分布及其抗盐性的评价 [J]. 中国草地, 2004, 26 (5): 37-42
- [10] Croser C, Franklin J A, Zwiak, J J, Effects of NaCl and Na_2SO_4 on Red osier Dogwood (*Cornus stolonifera Michx*) Seedlings Sylvia Renault [J]. *Plant and Soil*, 2001, 233: 261-268
- [11] Lee M Y, Effects of Na_2SO_3 on the Activities of Antioxidant Enzymes in Geranium Seedlings [J]. *Phytochemistry*, 2002, 59: 493-499
- [12] Flowers T J, Hajibagheri M A, Salinity Tolerance in *Hordeum Vulgare* Ion Concentrations in Root Cells of Cultivars Differing in Salt Tolerance [J]. *Plant and Soil*, 2001, 231: 1-9
- [13] Luo Q Y, Yu B J, Liu Y L, Differential Sensitivity to Chloride and Sodium Ions in Seedlings of *Glycine max* and *G. soja* under NaCl Stress [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2005, 162: 1003-1012
- [14] Chantzoulakis K, Loupassaki M, Bertakim et al, Effects of NaCl Salinity on Growth, Ion Content and CO_2 Assimilation Rate of Six

- Olive Cultivars [J]. *Scientia Horticulturae*, 2002, **96**: 235—247
- [15] Ashraf M, Ahmad S. Influence of Sodium Chloride on Ion Accumulation, Yield Components and Fibre Characteristics in Salt Tolerant and Salt Sensitive Lines of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Field Crops Research*, 2000, **66**: 115—127
- [16] Warwick N W M, Bailey P C E. The Effect of Increasing Salinity on the Growth and Ion Content of Three Non-halophytic Wetland Macrophytes [J]. *Aquatic Botany*, 1997, **58**: 73—88
- [17] 任珺, 陶玲, 侯培强. 造纸废水灌溉对红柳体内钠离子含量的影响 [J]. *环境科学与技术*, 2008, **31** (11): 100—103
- [18] 王宝山, 赵可夫. 小麦叶片中 Na^+ 、 K^+ 提取方法的比较 [J]. *植物生理学通讯*, 1995, **31** (1): 50—52
- [19] Zhao K F, Fan H, Song J et al. Two Na^+ and Cl^- Hyperaccumulators of the Chenopodiaceae [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, **47** (3): 311—318
- [20] 刘静, 王林和, 张芳等. 不同土壤盐分条件下新疆杨可溶性盐离子含量变化的研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2005, **13** (4): 110—115
- [21] 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
- [22] 王素平, 郭世荣, 周国贤等. NaCl 胁迫下黄瓜幼苗体内 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 分布及吸收特性的研究 [J]. *西北植物学报*, 2006, **26** (11): 2281—2288
- [23] 陈菊培. 盐胁迫下植物细胞吸收 Na^+ 的可能途径 [J]. *海南大学学报自然科学版*, 2005, **23** (4): 383—390
- [24] Flowers T J, Troke P F, Yeo A R. The Mechanism of Salt Tolerance in Halophytes [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1977, **28**: 89—121
- [25] Apse M P, Blumwald E. Na^+ Transport in Plants [J]. *FEBS Letters*, 2007, **581** (12): 2247—2254
- [26] Yeo A R, Flowers T J. Accumulation and Localization of Sodium Ions within the Shoot of Rice (*Oryza sativa*) Varieties Differing in Salinity Resistance [J]. *Physiologia Plantarum, Copenhagen*, 1982, **56**: 343—348
- [27] Munns R. Effect of High External NaCl Concentrations on Ion Transport within the Root of *Lupinus albus* [J]. *Plant Cell and Environment*, 1998, **11**: 283—289
- [28] 邱念伟, 杨洪兵, 丁顺华等. 植物根部的拒 Na^+ 作用与叶片 Na^+ 含量的相关性分析 [J]. *曲阜师范大学学报*, 2001, **27** (1): 65—68

EFFECT OF PAPERMAKING WASTEWATER IRRIGATION ON Na^+ CONTENT OF *POPULUS ALBA*

REN Jun TAO Ling HOU Pei-qiang

(School of Environmental and Municipal Engineering and Institute of Environmental Ecology,
Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, 730070, China)

ABSTRACT

The sodium ion content of *Populus alba* under papermaking wastewater irrigation was investigated and analysed. The results suggest that Na^+ content of *Populus alba* increases gradually with the irrigation years. Na^+ content of *Populus alba* displays significantly positive correlation with the Na^+ content in soil. Na^+ content in leaf was significantly lower than Na^+ content in root. Leaf of *Populus alba* was more resistant to Na^+ than root. Root was the main organ for accumulating and excreting of Na^+ .

Keywords papermaking wastewater; irrigation; *Populus alba*; sodium ion.