

三峡水库消落带柳树(*Salix matsudana*)种植 初期对土壤碳、氮、磷含量的影响^①

马 朋, 李昌晓, 任庆水, 杨予静, 马 骏

西南大学 生命科学学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

摘要: 以三峡库区汝溪河流域 165~170 m 和 170~175 m 两个海拔段的人工种植柳树土壤为研究对象, 比较两个海拔段土壤的化学性质在一个淹水周期前后的变化特征, 包括土壤 pH 值、有机质(OM)、碳氮比(C/N)、全氮(TN)、硝态氮(NO_3^- -N)、铵态氮(NH_4^+ -N)、全磷(TP)和有效磷(AP)含量, 并设置裸地土壤作为空白对照。结果显示, 三峡水库消落区不同海拔高程的柳树生长状况良好, 水淹后生长于高海拔的柳树较低海拔的柳树冠幅和胸径分别高出 22.2% 和 48.8%; 对于裸地土壤, 经过淹水后其 pH 值趋向中性变化, 全氮和铵态氮含量增加, 硝态氮含量下降; 与裸地相比, 栽植柳树的土壤全磷含量显著升高, 碳氮比、有效磷、有机质、铵态氮含量显著下降。研究表明, 柳树良好的适应能力使其能在三峡库区消落带大量存活, 但是由于其土壤 N、P 营养元素含量的增加而对水体富营养化问题的产生存在一定的贡献潜力也是不容忽视的。

关 键 词: 消落带; 土壤营养; 柳树; 水体富营养化

中图分类号: X171.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2014)8-0036-08

三峡水库是以长江为主体的河道型水库, 按“冬蓄夏排”运行调度, 由于该反季节的水位调度方式, 使得库区每年均形成有总长度在 2 000 km, 垂直落差为 30 m 的季节性水位涨落地带, 称为“消落带”^[1-3]。在三峡库区消落带特殊的水文变化下, 多数原有陆生植物由于无法适应水淹环境而逐渐消亡, 进而导致该消落区出现水体污染^[4]、水土流失^[5]、物种多样性下降^[6]等诸多负面影响。为了最大限度地降低这些负面影响, 很多生态学家在该消落带进行大量的植被恢复和重建工作^[7-9]。

研究表明, 消落带植被体系重建能导致库岸土壤物理、化学性质和生物循环发生显著变化^[10-11], 尤其由于土壤 N、P 营养元素含量的增加而产生水体富营养化问题^[12]。柳树(*Salix matsudana*)是杨柳科柳属的落叶乔木, 常分布在北半球的温带或寒带, 具有生长速度快、成活率高^[13]、保持水土^[14]、耐水淹^[15]等特点, 是广泛用于库岸带植被恢复与重建的树种之一^[15-17]。

三峡库区消落带土壤与水体联系紧密, 如果将柳树栽植于三峡库区消落带, 其土壤是否会因为氮、磷含量的变化而引起水体环境的改变还无从可知。目前, 关于柳树土壤的研究集中于柳树修复土壤重金属污染^[18-19]、泥质海岸防护林柳树沙地土壤微生物、酶和土壤养分^[20]以及盐胁迫对柳树苗木生长和土壤酶活

① 收稿日期: 2014-05-12

基金项目: 重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2013JJB00004); 国家林业公益性行业科研专项(201004039); 留学回国人员科研启动基金项目(教外司留[2010-1561]); 中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2013A011)资助。

作者简介: 马 朋(1990-), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事环境生态学的研究。

通信作者: 李昌晓, 教授, 博士生导师。

性的影响^[21]等的研究。但是, 还未曾见到有关三峡库区消落带人工种植柳树幼苗土壤性质变化的研究报道。因此, 本研究基于固定监测样地, 对 1 个淹水周期前后的三峡库区消落带柳树土壤进行采样测试, 以揭示人工种植柳树对消落带土壤的 pH 值和 C, N, P 含量的影响及其变化趋势, 为研究其对库区消落带水体富营养化问题的贡献潜力提供参考。

1 研究地点及方法

1.1 研究区域概况

本研究区域位于三峡库区重庆忠县石宝镇的汝溪河流域消落带。忠县石宝镇位于重庆市中部(108°08′03″—108°08′21″E, 30°24′16″—30°24′56″N), 距离忠县县城 32 km, 地处忠县、石柱、万州三县(区)交界处(图 1)。海拔高度 110~889 m, 区内山地起伏, 田土错落, 属坪状浅丘、深丘窄谷和中低山地貌。亚热带东南季风气候, 温热寒凉, 春夏秋冬四季分明。雨量充沛, 多年平均降雨量 1 150 mm, 雨季多在 5—9 月, 多年平均气温 19.2 ℃, 极端最高气温 42.1 ℃, 年最冷月平均气温 4.7 ℃。该区域土壤类型主要为紫色土, 质地为中壤或轻壤, 土层熟化度低, 水土流失、崩塌现象较严重。为进行三峡库区消落带的生态植被恢复, 课题组于 2012 年 3—4 月在该地区按 1 m×1 m 的行间距新栽柳树幼苗(取自四川邻水县苗圃), 此时柳树的胸径为 0.4±0.03 mm, 株高为 1.5±0.05 m。

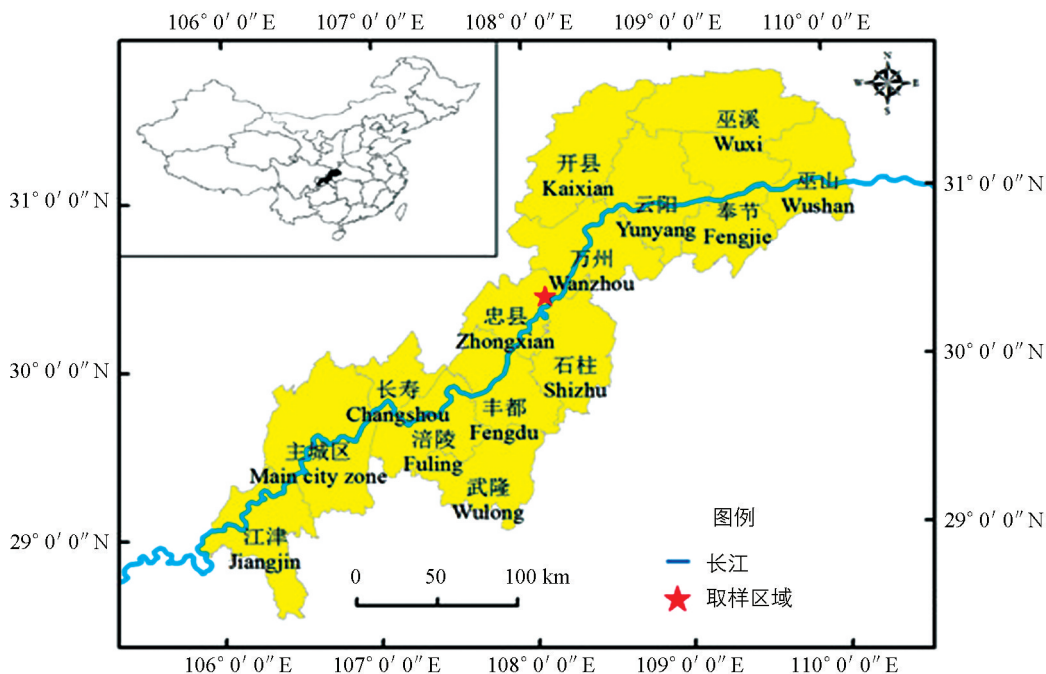


图 1 取样区域示意图

1.2 研究方法

1.2.1 实验设计与样品采集

根据忠县汝溪河流域水位变化, 分别在 2012 年 7 月、2013 年 7 月进行野外取样。由于不同海拔高程经历的水淹周期不同, 每次取样时, 将消落带在高程上每隔 5 m 划分为一个海拔段, 即 170~175 m, 165~170 m 两个海拔高程。在每个高程, 随机设置 3 块 5 m×5 m 的柳树样地, 每个样地内设置 5 个重复样点进行梅花形取样, 取 0~20 cm 土层的土壤样品, 将每个样地中的样品按四分法混合后带回实验室进行室内分析。每次取样时均在同一海拔段处取无植物生长的裸地作为空白对照, 取样方法同上。同时, 野外取样时用 IQ150 土壤原位 pH 计(IQ Scientific Instruments, Inc., San Diego, CA, USA)测定土壤 pH 值, 并在每个柳树样地中随机选取 5 株苗木, 分别用皮尺或游标卡尺测定其株高、冠幅、胸径(相关测定方法参考

方精云等《植物群落清查的主要内容, 方法和技术规范》^[22]。两次取样共采得 24 份土壤样品。

1.2.2 土壤性质测定

取 10 g 混合均匀的鲜土, 用 50 mL, 2 mol/L 的氯化钾溶液浸提后, 用连续自动分析仪(FlowSys; Syntea, Anagni, Italy)测定土壤中的铵态氮和硝态氮含量^[23]。将剩余土壤样品风干、研磨、过筛, 用于有机质(OM)、全氮(TN)、全磷(TP)和有效磷(AP)含量的测定。土壤 OM 含量测定采用重铬酸钾氧化-外加加热法, 土壤 TN 含量测定采用全自动凯式定氮仪(瑞士 Buchi 公司生产的 Distillation Unit B-324), 土壤 TP 与 AP 含量采用钼锑抗比色法测定^[24]。土壤碳氮比(C/N)用 Vario EL 元素分析仪(Elementar Vario. EL, Germany)测定。

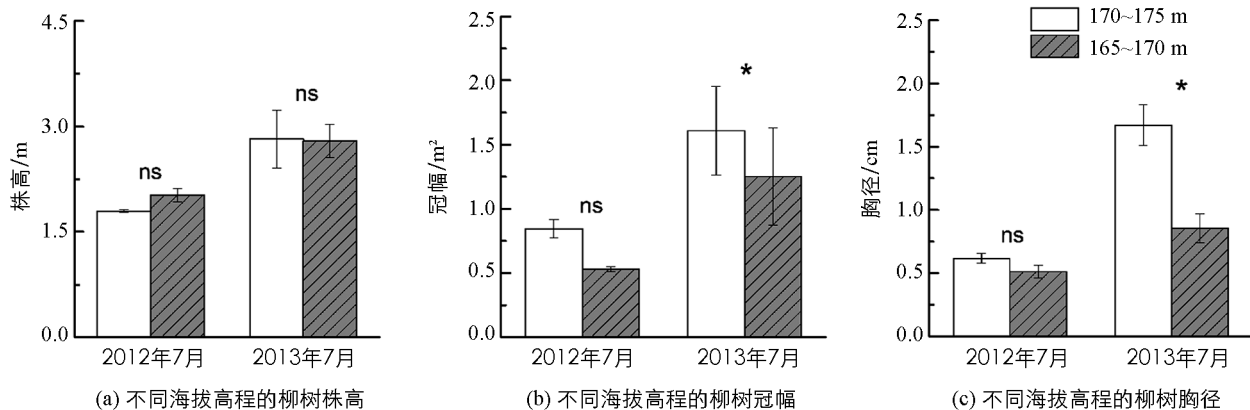
1.3 统计分析

采用成组数据 T 检验(Independent-samplest test)分析不同海拔高程间的柳树生长指标和土壤性质的差异显著性, 采用配对样本 T 检验分析不同取样时间的土壤性质的差异显著性。用单因素方差分析(One-way ANOVA)揭示同一取样时间下不同处理组土壤的性质, 若检验结果表明分析因素对其具有显著影响, 则采用 Tukey 检验法进行多重比较, 检验每个指标在处理间($\alpha=0.05$)的差异显著性; 方差不齐时, 采用 log 进行数据转换以达到方差分析的要求, 若转换后仍不齐, 则采用 Tamhane's HD 法进行多重比较。本研究采用 SPSS 20.0 (SPSS Inc., USA) 软件进行数据分析, 用 Origin 8.5 (Origin lab Corporation) 软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同海拔高程柳树生长状况

与第 1 次取样时相比, 第 2 次取样时的柳树株高、冠幅和胸径均显著增加, 且在第 2 次取样时不同海拔段的柳树冠幅和胸径出现了显著差异, 生长于高海拔的柳树较低海拔的柳树冠幅和胸径分别高出了 22.2% 和 48.8% (图 2)。



* 表示不同海拔高程间柳树生长指标差异显著($p<0.05$), ns 表示不同海拔高程间柳树生长指标间无显著性差异($p>0.05$)。

图 2 不同海拔高程柳树的生长状况(平均值±标准误)

2.2 植物和水文变化对土壤 pH 值的影响

不同海拔高程的裸地土壤在淹水前后呈不同的变化趋势, 其中, 第 1 次取样时高海拔裸地土壤为弱酸性, 经过 1 年的淹水周期后, 其 pH 值呈上升趋势; 而首次取样时低海拔土壤 pH 值为弱碱性, 再次取样时, 其 pH 值显著下降($p<0.05$), 总的来看, 淹水后的裸地土壤 pH 值均趋向中性。第 1 次取样时低海拔土壤 pH 值显著高于高海拔土壤, 柳树土壤 pH 值和裸地并无显著差异; 第 2 次取样时两个不同海拔高程土壤 pH 值已无显著性差异存在($p>0.05$), 而栽植了柳树的土壤 pH 值显著低于裸地(图 3)。所有图中不同大写字母表示不同时间下同一海拔高度、同一植被类型样地土壤性质差异显著($p<0.05$), 不同小写字母表

示相同取样时间下不同植被类型样地土壤性质间有显著差异($p<0.05$).

2.3 植物和水文变化对土壤 C,N,P 含量的影响

2.3.1 植物和水文变化对土壤有机质、全氮含量及碳氮比的影响

经过 1 年的水淹周期后,低海拔的裸地土壤 OM 含量显著升高,高海拔则未出现显著变化;柳树土壤 OM 含量在第 2 次采样时显著降低.第 1 次采样时柳树土壤 OM 含量显著高于裸地,而第 2 次取样时高海拔柳树土壤 OM 含量与裸地之间已无显著性差异($p>0.05$);而在高海拔段,柳树土壤 OM 含量显著低于裸地(图 4a).对于土壤 TN 含量而言,除了高海拔的裸地土壤 TN 含量在第 2 次取样时显著升高外,其余各处理组间并未出现显著性差异($p>0.05$)(图 4b).由图 4c 可知,经历 1 年的淹水周期后,高海拔的裸地和两个海拔段的柳树土壤 C/N 均显著下降.与裸地相比,第 2 次取样时高、低海拔段柳树土壤的碳氮比分别下降了 40.7%和 30.7%,差异达到极显著水平($p<0.05$).

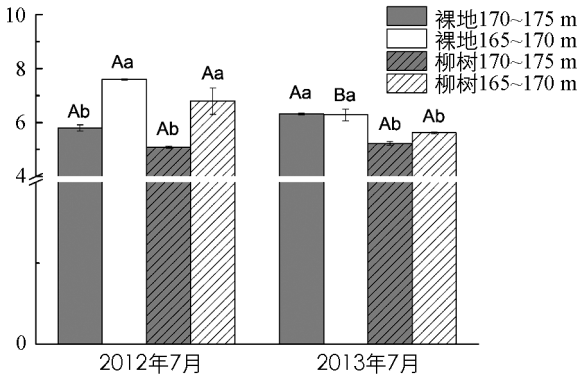


图 3 植物和水文变化对土壤 pH 值的影响(平均值±标准误)

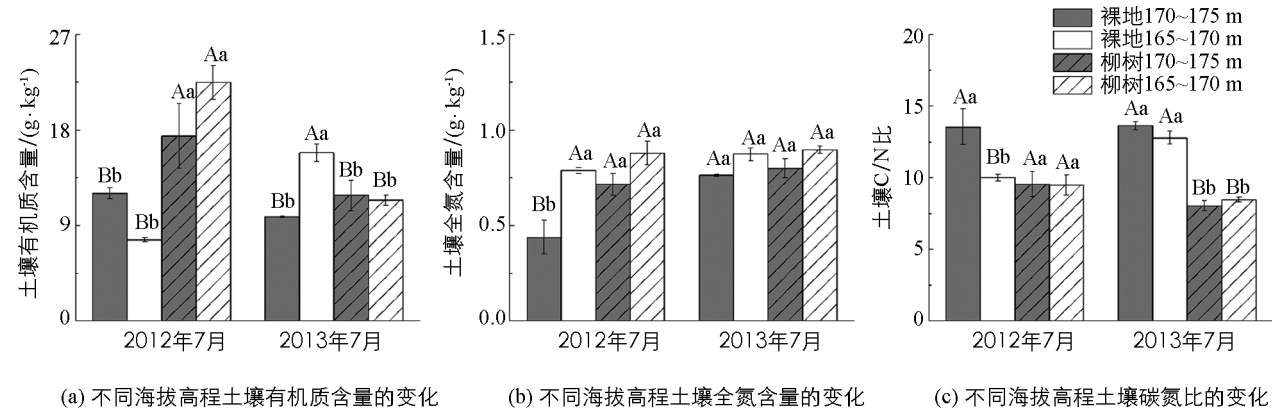


图 4 不同海拔高程土壤有机质、全氮含量及碳氮比的变化(平均值±标准误)

2.3.2 植物和水文变化对土壤硝态氮、铵态氮含量的影响

由图 5 可知,各处理组土壤硝态氮(NO_3^--N)含量在经历 1 年的淹水周期后均显著降低,而铵态氮(NH_4^+-N)含量呈不同的变化趋势,其中,高海拔裸地土壤铵态氮含量显著升高,两个海拔段的柳树土壤铵态氮含量则均显著下降.

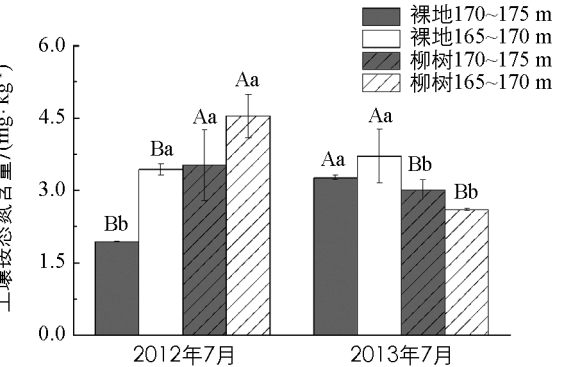


图 5 不同海拔高程土壤硝态氮、铵态氮含量的变化(平均值±标准误)

2.3.3 植物和水文变化对土壤全磷、有效磷含量的影响

与第 1 次取样时相比, 第 2 次取样时裸地土壤 TP 含量未出现显著变化, 而高、低海拔段的柳树土壤 TP 含量则分别显著升高了 58.3% 和 57.2%。第 1 次取样时各处理组间土壤 TP 含量没有显著差异; 第 2 次取样时不同海拔高程间差异不显著, 栽植柳树的土壤 TP 含量显著高于裸地(图 6a)。与 TP 含量相比, AP 含量呈截然不同的趋势: 栽植柳树的土壤 AP 含量在淹水后显著下降, 且第 2 次取样时高海拔柳树土壤 AP 含量显著低于裸地(图 6b)。

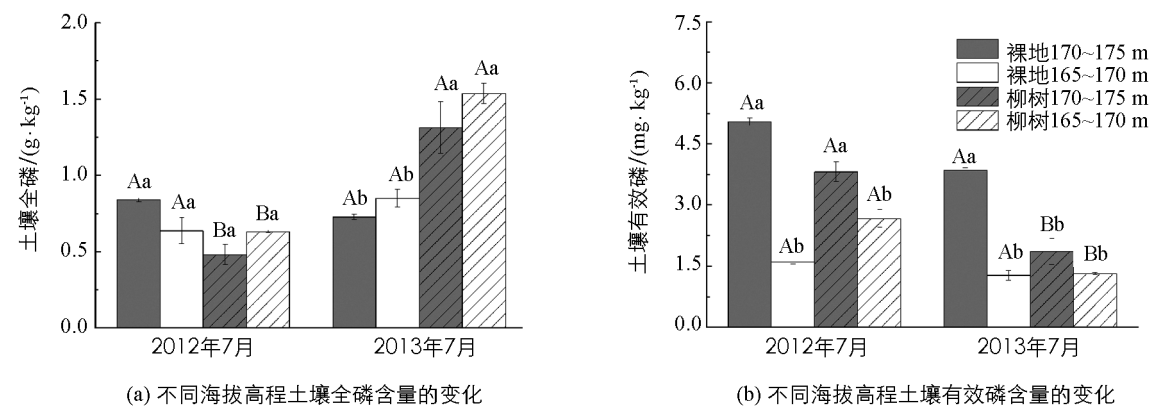


图 6 不同海拔高程土壤磷含量的变化(平均值±标准误)

3 讨论与结论

本研究中由于生长于低海拔的柳树经历更长时间的淹水胁迫, 其冠幅和胸径在第 2 次取样时显著低于低海拔柳树(图 2)。土壤酸碱度是土壤的基本性质之一, 它直接或者间接影响土壤中多数化学过程和化学变化。一方面, 土壤酸碱度支配着土壤中所有氧化还原反应、沉淀、溶解、吸附和解吸等作用^[25]; 另一方面, 土壤酸碱度对土壤养分元素的有效性有显著的影响^[26]。前人研究发现^[27-29], 淹水后, 三峡库区消落带酸性土壤的 pH 值将升高, 碱性土壤的 pH 值将降低, 并且最终都将趋于中性, 这与本研究中的裸地土壤酸碱度变化情况相吻合。而种植了柳树的土壤 pH 值显著降低, 可能是由于柳树通过释放有机酸等酸性物质^[30], 降低了土壤 pH 值。

土壤有机质是土壤营养元素的最重要来源之一, 其含量大小可以指示土壤健康状况与肥力的好坏^[31]。土壤 OM 含量一方面取决于有机残体的腐殖化系数, 另一方面来源于有机残体和地表枯落物向土壤的归还量^[32]。在本研究中, 第 1 次取样时, 栽植柳树的土壤有机质的含量显著高于裸地, 极有可能是因为柳树向地表归还了大量的掉落物, 使其 OM 含量显著上升; 而第 2 次取样时可能是柳树经过 1 年的生长, 根系微生物活性显著上升, 加速了对 OM 的分解速率, 降低了土壤中 OM 的含量^[33]。土壤全氮含量与有机质含量间有着密切相关关系^[34], 而本研究中土壤 TN 的变化趋势与 OM 含量并不完全相同, 说明该研究区域的土壤全氮除了大部分有机态外, 还有其他的含氮成分, 其变化的具体原因还有待进一步研究。

土壤碳氮比反映了土壤生物分解过程中碳和氮转化作用的密切关系^[35]。一般情况下, 土壤生物在土壤 C/N 约为 25 时获得平衡营养; 若 C/N 高于 25, 则表明土壤中的氮含量无法满足微生物的需要, 此时不仅氮素不会积累, 腐败菌类也会迅速繁殖, 使有机质的分解速率加快, 且土壤中的铵态氮含量不足以产生硝化作用^[36]。本研究区域的土壤碳氮比相对较低, 变化范围在 8.09~13.62 之间(图 4c), 这意味着土壤中有有机碳具有较高的腐殖化程度, 有机氮易于矿化, 致使消落带土壤无机氮的增加^[37], 从而导致研究区域较低的 C/N。与裸地土壤相比, 栽植了柳树的土壤 C/N 显著降低, 表明柳树土壤有机碳的腐殖化程度较高, 有机氮容易矿化, 有利于土壤有机质的分解和矿质氮的增加, 同时也增加了土壤无机氮在淹水期间存在向上

覆水体释放的可能性.

土壤铵态氮和硝态氮是无机氮的主要组成部分,其含量极易受到周围环境影响^[38]. 本研究中,很可能由于 NO_3^- -N 极易随水分迁移^[39],经过 1 年的淹水周期,其含量显著降低(图 5a). 而对土壤铵态氮,则可能是由于植物根系的大量吸收,导致柳树土壤 NH_4^+ -N 含量显著下降(图 5b). 土壤全磷和有效磷含量主要决定于植物体养分循环过程和土壤的成土母岩类型,同时也受人为施肥的影响^[40]. 整个研究中,未对研究区域进行人为施肥,故土壤 TP 含量主要来源于土壤母质和植物体养分循环过程. 本研究中第 2 次取样时栽植柳树土壤 TP 显著升高(图 6a),很可能是柳树根际微生物参与土壤中的物质循环和能量流动,对磷素有显著的富集作用,导致其含量显著上升^[41]. 前人研究发现^[42],长期的厌氧环境会使 Fe^{3+} 转变为 Fe^{2+} ,与磷素相互作用形成可溶的磷酸亚铁盐,与磷酸盐一起释放到上覆水体中,造成 AP 含量的释放,另一方面,可能由于取样时正值柳树生长旺季,柳树根系从土壤吸收大量的有效态磷,导致柳树土壤 AP 含量在淹水后显著下降,且第 2 次取样时高海拔柳树土壤 AP 含量显著低于裸地(图 6b).

本研究结果表明,栽植在三峡库区消落带的柳树在经历 1 个淹水周期后能迅速恢复生长,适于在该地区种植. 但是柳树的栽植显著增加了该区域土壤的全磷含量,降低了土壤碳氮比,因此需要考虑在三峡库区特定的水文条件下,柳树栽植可能导致更多氮磷进入水体而引起富营养化的风险.

参考文献:

- [1] 黄京鸿. 三峡水库水位涨落带的土地资源及其开发利用 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1994, 19(5): 528—533.
- [2] 冯义龙, 先旭东, 王海洋. 重庆市区消落带植物群落分布特点及淹水后演替特点预测 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2007, 32(5): 112—117.
- [3] 李 川, 周 倩, 王大铭, 等. 模拟三峡库区淹水对植物生长及生理生化方面的影响 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(10): 46—50.
- [4] 蔡庆华, 胡征宇. 三峡水库富营养化问题与对策研究 [J]. 水生生物学报, 2006, 30(1): 7—11.
- [5] 肖文发, 雷静品. 三峡库区森林植被恢复与可持续经营研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(2): 138—144.
- [6] 刘维璋, 王 杰, 王 勇, 等. 三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异 [J]. 生态学报, 2012, 32(17): 172—184.
- [7] 张 晔, 李昌晓. 水淹与干旱交替胁迫对湿地松幼苗光合与生长的影响 [J]. 林业科学, 2011, 47(12): 158—164.
- [8] 周 珺, 魏 虹, 吕 茜, 等. 土壤水分对湿地松幼苗光合特征的影响 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(1): 30—37.
- [9] 李 娅, 曾 波, 叶小齐, 等. 水淹对三峡库区岸生植物秋华柳(*Salix variegata* Franch.) 存活和恢复生长的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28(5): 1923—1930.
- [10] COTE L, BROWM S, PARE D, et al. Dynamics of Carbon and Nitrogen Mineralization in Relation to Stand Type, Stand Age and Soil Texture in the Boreal Mixedwood [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(8): 1079—1090.
- [11] PAUL M, CATTERALL C P, POLLARD P C, et al. Recovery of Soil Properties and Functions in Different Rainforest Restoration Pathways [J]. Forest Ecology and Management, 2010, 259(10): 2083—2092.
- [12] 杨予静, 李昌晓, 张 晔, 等. 水淹——干旱交替胁迫对湿地松幼苗盆栽土壤营养元素含量的影响 [J]. 林业科学, 2013, 49(2): 61—70.
- [13] 杨 斌, 刘淑明. 洮河滩地柳树护岸林营造与防护效应 [J]. 西北林学院学报, 2007, 22(6): 48—50.
- [14] 陈芳清, 郭成圆, 王传华, 等. 水淹对秋华柳幼苗生理生态特征的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1229—1233.
- [15] 钟 彦, 刘正学, 秦洪文, 等. 冬季淹水对柳树生长及恢复生长的影响 [J]. 南方农业学报, 2013, 44(2): 275—279.
- [16] 任雪梅, 杨达源, 徐永辉, 等. 三峡库区消落带的植被生态工程 [J]. 水土保持通报, 2006, 26(1): 42—43.
- [17] 郭泉水, 洪 明, 康 义, 等. 消落带适生植物研究进展 [J]. 世界林业研究, 2010, 23(4): 14—20.

- [18] WIESHAMMER G, UNTERBRUNNER R, GARCIA T B, et al. Phytoextraction of Cd and Zn from Agricultural Soils by *Salix* ssp. And Intercropping of *Salix caprea* and *Arabidopsis halleri* [J]. Plant and Soil, 2007, 298(1/2): 255—264.
- [19] BEREDES G, FREDRIKSON F, BORJESSON P. Cadmium Accumulation and *Salix*-Based Phytoextraction on Arable Land in Sweden [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004, 103(1): 207—223.
- [20] 李春艳, 李传荣, 许景伟, 等. 泥质海岸防护林土壤微生物, 酶与土壤养分的研究 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 156—159.
- [21] 张建锋, 孙启祥. 盐胁迫对柳树新无性系苗木生长和土壤酶活性的影响 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 125—129.
- [22] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容, 方法和技术规范 [J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533—548.
- [23] XU R, COVENTRY D R. Soil pH Changes Associated with Lupin and Wheat Plant Materials Incorporated in a Red-Brown Earth Soil [J]. Plant and Soil, 2003, 250(1): 113—119.
- [24] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 62—153.
- [25] 蒋 实, 徐争启, 张成江. 四川省万源市土壤 pH 值测定及土壤酸碱度分析 [J]. 安徽农业科学, 2009, 39(25): 12105—12108.
- [26] 孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 等. 基础生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [27] 张金洋, 王定勇, 石孝洪. 三峡水库消落区淹水后土壤性质变化的模拟研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 18(6): 120—123.
- [28] 唐罗忠, 生原喜久雄, 户田浩人, 等. 湿地林土壤的 Fe^{2+} , Eh 及 pH 值的变化 [J]. 生态学报, 2005, 25(1): 103—107.
- [29] 程瑞梅, 王晓荣, 肖文发, 等. 三峡库区消落带水淹初期土壤物理性质及金属含量初探 [J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 156—161.
- [30] TAFAFDAR J C, CLAASSEN N. Organic Phosphorus Compounds as a Phosphorus Source for Higher Plants Through the Activity of Phosphatases Produced by Plant Roots and Microorganisms [J]. Biology and Fertility of Soils, 1988, 5(4): 308—312.
- [31] 赵明松, 张甘霖, 王德彩, 等. 徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析 [J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 1—11.
- [32] 张世熔, 黄元仿, 李保国, 等. 黄淮海冲积平原区土壤有机质时空变异特征 [J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2041—2047.
- [33] FORSTER S, GRAF G. Continuously Measured Changes in Redox Potential Influenced by Oxygen Penetrating from Burrows of *Callianassa subterranea* [J]. Hydrobiologia, 1992, 235(1): 527—532.
- [34] 郭劲松, 黄轩民, 张 彬, 等. 三峡库区消落带土壤有机质和全氮含量分布特征 [J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 213—219.
- [35] BENGTTSSON G, BENGTTSON P, MANSSON K F. Gross Nitrogen Mineralization-, Immobilization-, and Nitrification Rates as a Function of Soil C/N Ratio and Microbial Activity [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(1): 143—154.
- [36] 吕国红, 周 莉, 赵先丽, 等. 芦苇湿地土壤有机碳和全氮含量的垂直分布特征 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 384—389.
- [37] 白军红, 邓 伟, 张玉霞. 内蒙古乌兰泡湿地环带状植被区土壤有机质及全氮空间分异规律 [J]. 湖泊科学, 2002, 14(2): 145—151.
- [38] 朱小龙, 张丽楠, 耿养会, 等. 三峡库区汝溪河流域马尾松林地土壤氮素特性研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2012, 34(11): 88—94.
- [39] 高 茹, 李裕元, 杨 蕊, 等. 亚热带主要耕作土壤硝态氮淋失特征试验研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 67—80.

- [40] 蒋文伟, 周国模, 余树全, 等. 安吉山地主要森林类型土壤养分状况的研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 73—76.
- [41] 张 薇, 魏海雷, 高洪文. 土壤微生物多样性及其环境影响因子研究进展 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(1): 48—52.
- [42] WATTS C J. The Effect of Organic Matter on Sedimentary Phosphorus Release in an Australian Reservoir [J]. Hydrobiologia, 2000, 431(1): 13—25.

Soil C, N and P Contents After Short-Term Revegetation by *Salix matsudana* in the Water-Level-Fluctuation Zone of Three Gorges Reservoir

MA Peng, LI Chang-xiao, REN Qing-shui,
YANG Yu-jing, MA Jun

Key Laboratory for the Eco-Environment of the Three Gorges Reservoir Region of the Ministry of Education,
School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Soils at two altitudes (165—170 m and 170—175 m) located in the water-level fluctuating zone of Three Gorges Reservoir (TGR) under *Salix matsudana* vegetation were selected as the study objects. The dynamics of soil chemical properties (pH, C/N, TN, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, TP and AP) before and after flooding were contrastively studied in the Ruxi water basin area. Blank soils with no vegetation at each altitude were set up as the control (CK). *S. matsudana* seedlings growing in the TGR were in good condition, and their canopy and diameter at breast height (DBH) after flooding were 22.2% and 48.8% higher at 170—175 m than at 165—170 m, respectively. For the CK, pH increased in acid soil, but decreased in alkaline soil, and the contents of total nitrogen and NH_4^+ -N increased, while NO_3^- -N content decreased significantly after flooding. Compared with the CK, the TN content in the soil under *S. matsudana* vegetation significantly increased, while C/N ratio, AP, OM, and NH_4^+ -N significantly decreased. It can be seen from the above results that after planting *S. matsudana* in the riparian areas of the Three Gorges Reservoir, water eutrophication might be aggravated due to the increase of soil N and P contents.

Key words: water-level-fluctuating zone; soil nutrient; *Salix matsudana*; water eutrophication

责任编辑 周仁惠

