

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.03.020

三峡库区消落带不同高程柳树林地养分特征^①

毛文韬¹, 李堂中², 辜夕容¹, 宋影¹,
吴雪莲¹, 李源³, 曾清平¹

1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 重庆市开县林业局, 重庆 405400;
3. 重庆市涪陵区林业局, 重庆 408000

摘要: 在三峡库区消落带设置固定监测样地, 研究消落带不同水位高程土壤氮磷钾含量、pH 值、微生物生物量碳含量和有机质含量的变化特征. 结果表明: 受三峡库区不同水位影响, 消落带 172 水位高程到 173, 174 水位高程, 土壤养分评价得分降低, 土层的速效氮含量下降 27.53%~50.33%, 速效钾含量下降 21.53%~23.25%, 速效磷含量增加 169.00%~436.68%, 土壤有机质含量下降 20.44%~58.16%, 全磷含量基增加 38.98%~45.05%, 全钾含量下降 4.89%~9.65%, 微生物量碳降低 37.09%~77.45%, pH 值降低 6.97%~8.07%. 相关分析发现, 水位高程与有机质含量、速效氮含量、速效磷含量、微生物碳含量极显著相关($p < 0.01$), 与 pH、全磷、全钾显著相关($p < 0.05$).

关键词: 消落带; 土壤氮磷钾; pH 值; 有机质; 微生物生物量碳; 微生物熵

中图分类号: S153

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)03-0119-07

水库消落带是由于季节性水位涨落使水库周边土地周期性淹没和出露而形成的干湿交替的特殊水陆衔接地带^[1]. 各种大型水库与堤坝的修筑虽然解决了人类对电力、水力等资源的需求问题, 但是对水库周边的生态环境也造成了一定的影响. 水库长期蓄水和非季节性泄洪导致消落带生态系统生产力下降, 结构和功能退化^[2], 容易发生水土流失、生态系统多样性减少、物种组成与数量贫乏等状况, 且各种生态环境问题表现出隐蔽性、潜伏性、传递性、长期性和积累性^[3]. 消落带周期性水位的变化将会直接引起生态系统的一系列变化, 据前人研究表明, 每年仅三峡库区水土流失的泥沙量就有 1.4 亿 t^[4], 三峡库区的土壤养分和土壤性质随着水土流失程度的不同而有所改变^[5-7], 且氮、磷等富营养化因子的吸附释放以及重金属的迁移呈现规律性变化^[8-9]. 这些研究成果为深入探讨消落带土壤变化提供了重要的资料, 但是实验室的模拟条件下终究和现实消落带环境存在差异(如光, 温度, 水, 土, 气候等). 因此, 模拟试验的结果与消落带土壤的真实变化必然会存在一定的差距. 本实验在开县消落带现场取样, 意在避免模拟实验的不足.

三峡库区消落带植被恢复的关键是适生植物的筛选^[10], 柳属植物具有较强的耐淹耐旱能力^[11-12], 董德友^[13]对长江防浪林特点与树种密度效应的调查, 发现柳树具有良好的景观、水土保持和环境保护功能. 钟彦等^[14]研究发现柳树在全淹条件下生长被限制, 但出水后会迅速恢复生长, 且半淹对柳树生长及恢复生长均无明显抑制作用. 因此可以保证柳树在消落带周期性淹水下较高的成活率, 还有许多广泛应用柳属植物作为植被重建的物种成功的生态工程^[15], 但大部分研究是通过室内模拟三峡库区消落带土壤淹水变化特征进行植物淹水试验, 而植物对消落带土壤环境的耐淹机制需要进行实地研究和检验.

① 收稿日期: 2014-04-28

基金项目: “十三五”国家科技支撑计划“长江防护林质量调控与高效经营技术研究与示范”(2015BAD07B04).

作者简介: 毛文韬(1988-), 男, 安徽淮北人, 硕士, 主要从事森林培育研究.

通信作者: 辜夕容, 博士, 副教授.

本文实验设置在开县消落带柳树林,研究了不同水位高程土壤养分特征及土壤养分评价得分,欲揭示柳树林不同水位高程消落带土壤养分含量的空间分布规律,了解不同淹水时间对土壤单个养分因子和土壤养分综合质量的影响,为深入揭示三峡库区消落带土壤性质的变化规律和消落带植被建设提供科学依据。

1 研究区概况

开县位于重庆市东北部,地处大巴山麓、三峡库区腹地,介于 $107^{\circ}55'48''-108^{\circ}53'36''E$, $30^{\circ}49'30''-31^{\circ}41'30''N$ 之间,北邻城口,东邻巫溪、云阳,南接万州,西与四川省的宣汉、开江 2 县接壤。海拔最高点 2 626 m,最低点为 134 m,相对高差 2 492 m,幅员面积约 3 962 km²。全县多年平均气温 15.5 ℃,大于 10 ℃,积温长达 277 d,无霜期 180~306 d。开县多年平均降水量 1 385 mm。三峡水库 2003 年开始试验性蓄水至 135 m,2006 年开始试验性蓄水至 156 m,2010 年试验性蓄水至 175 m 的目标。由于开县受淹地区河谷河床平坦、地势开阔,致使该地区受淹面积居库区 22 个市、县之首。开县消落带不同月份成陆面积如表 1^[16]所示,本研究中柳树林地位于 172~174 m 水位高程,林龄为 6 a。174 m 海拔样地柳树林密度 2 490 棵/hm²,平均树高 12 m,起测径阶 3 cm,平均胸径 13 cm,林下草本植物较少;173 m 海拔样地柳树林密度 5 400 棵/hm²,平均树高 9 m,起测径阶 3 cm,平均胸径 9 cm,林下完全被水草覆盖;172 m 海拔样地柳树林密度 4 440 棵/hm²,平均树高 10 m,起测径阶 3 cm,平均胸径 10 cm,林下完全被水草覆盖。

表 1 开县消落带各月成陆面积

月份	1	2	3-4	5	6-9	10
水位/m	175~170	170~165	165~160	155	145	145~175
面积/hm ²	1 000	1 980	3 020	3 755	4 250	

2 材料与方法

2.1 土壤取样

本次测定土壤采样地点位于开县消落带柳树林,于 2013 年 3 月落水后于不同海拔不同垂直土壤剖面深度上进行土壤取样。3 块监测样地的设置方式一致。样地底边设在海拔 172 m,顶边设在海拔 174 m。每个海拔设置 1 个 10 m×10 m 的样地,每个样地“S”形布点 5 个,每个点除去土壤表层的凋落物层后采集 0~15,15~30,30~45 cm 土壤样 1 份后,将这 5 个点的土样混合。每个海拔梯度的试验样地计 3 个样品,共计 9 个土样。将取好的土壤样品迅速装入封口聚乙烯袋带回实验室,充分混匀分为 2 份,1 份挑去根系和石砾,放在 4 ℃冰箱中,进行微生物量碳的测定;另 1 份自然风干,去杂后过 100 目筛,进行土壤养分及理化性质测定。

2.2 测定方法

土壤有机质采用重铬酸钾容量法(K₂Cr₂O₇-H₂SO₄法);碱解氮采用碱解扩散法;有效磷采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;全磷采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法;速效钾采用 NH₄AC 浸提-火焰光度法;全钾采用 NaOH 熔融-火焰光度法;土壤 pH 值测定方法采用电位测定法;微生物生物量碳(MBC)采用氯仿熏蒸浸提法。

2.3 数据处理

采用 SPSS 18.0 对数据进行方差分析和 Pearson 相关性分析,差异显著则进行 Duncan^a 多重比较。采用 Microsoft Excel2010 制表和作图。

3 结果与分析

3.1 土壤速效氮磷钾含量的分异特征

从表 2 可以看出,随着海拔的增加,除表层速效钾外,消落带柳树林地中土壤速效氮与速效钾含量均显著降低,速效磷含量显著增加。其中,速效氮含量减少幅度大于速效钾,平均在 27.53%~50.33%,而速效钾含量平均降幅在 21.53%~23.25%。与速效氮和速效钾有异的是,随着海拔增加,速效磷含量大幅上

升, 幅度达到 169.00%~436.68%。差异显著性结果表明, 各海拔样地的速效氮磷钾均随着土层的加深而显著降低($p < 0.05$)。

表 2 土壤速效氮磷钾含量

土壤指标	土层/ cm	样 地			变 幅/ %
		172 柳	173 柳	174 柳	
速效氮/(mg·kg ⁻¹)	0~15	91.25a	80.28b	66.13c	-27.53
	15~30	65.96c	69.48c	36.47f	-44.71
	30~45	54.02d	44.04e	26.83g	-50.33
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	0~15	33.57de	54.99c	103.99a	209.77
	15~30	22.13f	29.61e	59.53b	169.00
	30~45	6.38h	11.17g	34.24d	436.68
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	0~15	81.77b	94.47a	83.89b	15.53
	15~30	65.62c	61.20d	51.49f	-21.53
	30~45	65.26c	55.58e	50.09f	-23.25

3.2 土壤有机质含量与 pH 和微生物生物量碳含量的分异特征

从表 3 可以看出, 随着海拔的增加, 消落带柳树林地中土壤有机质含量、微生物生物量碳含量、pH 均显著降低, 其中有机质含量平均降幅在 20.44%~58.16%, 微生物生物量碳含量平均降幅在 37.09%~77.45%, pH 平均降幅在 6.97%~8.07%。差异显著性结果表明, 土壤有机质和微生物生物量碳含量均随土层的加深显著降低, pH 随土层的加深显著增高($p < 0.05$)。

表 3 土壤有机质含量与微生物量碳含量和 pH

土壤指标	土层/ cm	样 地			变 幅/ %
		172 柳	173 柳	174 柳	
有机质含量/(mg·g ⁻¹)	0~15	19.86a	17.39b	15.80c	-20.44
	15~30	10.99d	9.55de	4.95fg	-54.96
	30~45	8.39e	6.24f	3.51g	-58.16
微生物生物量碳/(mg·kg ⁻¹)	0~15	197.47a	166.33b	124.22c	-37.09
	15~30	58.29d	59.55d	36.24e	-39.14
	30~45	56.99d	34.32e	12.85f	-77.45
pH	0~15	6.31c	5.94e	5.87e	-6.97
	15~30	6.55b	6.08d	6.33c	-7.18
	30~45	6.69a	6.15d	6.49b	-8.07

3.3 土壤微生物熵和全磷与全钾含量的分异特征

各样地的微生物熵及全钾、全磷含量见表 4。随着海拔的升高, 全磷含量显著增高, 平均增幅在 38.98%~45.05%, 全钾含量随海拔的增加显著降低, 平均降幅在 4.89%~9.65%。微生物熵、全磷及全钾含量均随土层的增加显著减少($p < 0.05$)。

表 4 土壤全磷与全钾含量和微生物熵

土壤指标	土层/ cm	样 地			变 幅/ %
		172 柳	173 柳	174 柳	
全钾	0~15	4.93a	4.90ab	4.52e	-8.32
	15~30	4.84abc	4.91ab	4.67d	-4.89
	30~45	4.75cd	4.87bc	4.40f	-9.65
全磷	0~15	1.18d	1.59ab	1.64a	38.98
	15~30	1.08d	1.55ab	1.49b	43.52
	30~45	0.91e	1.06d	1.32c	45.05
微生物熵/%	0~15	0.87a	0.86a	0.88a	2.33
	15~30	0.26c	0.31b	0.26c	19.23
	30~45	0.25c	0.18d	0.09e	-64.00

3.4 各测定指标之间的相关性分析

各测定指标间的相关性进行定量分析结果见表 5。从表 5 可以看出,海拔与有机质含量、碱解氮含量、有效磷含量、微生物量碳含量极显著相关($p < 0.01$),与 pH、全磷、全钾显著相关($p < 0.05$);有机质与碱解氮含量、有效磷含量、pH、全磷含量、微生物量碳含量极显著相关,与全钾含量显著相关;碱解氮含量与有效磷含量、微生物量碳含量极显著相关,与 pH、全磷含量、全钾含量显著相关;有效磷含量与全钾含量、微生物量碳含量极显著相关。

表 5 2013 年 3 月各测定指标含量相关性分析

	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	pH	全磷	全钾	微生物熵
碱解氮	0.967**							
有效磷	-0.926**	-0.979**						
速效钾	-0.257	-0.071	-0.061					
pH	0.928**	0.869*	-0.809	-0.530				
全磷	-0.940**	-0.884*	0.796	0.512	-0.960**			
全钾	0.816*	0.911*	-0.966**	0.309	0.630	-0.632		
微生物熵	-0.458	-0.364	0.447	-0.204	-0.301	0.186	-0.563	
微生物量碳	0.963**	1.000**	-0.982**	-0.061	0.866*	-0.877*	0.915*	-0.376

3.5 土壤理化性质的主成分分析

对有机质、有效磷、有效氮、有效钾、全磷、全钾、微生物量碳、pH 进行主分量分析(表 6),结果表明,土壤理化性质第 1 主成分方差贡献率 57.14%,且在第 1 主分量上的负荷量均在 0.400 以上,其中有机质在第 1 组分量的负荷量最大,达 0.947,表明土壤养分含量第 1 主分量表达了其绝大多数信息,其主分量方程为:

$$\beta = 0.207\beta_1 + 0.116\beta_2 + 0.192\beta_3 + 0.206\beta_4 + 0.106\beta_5 + 0.088\beta_6 + 0.204\beta_7 - 0.150\beta_8$$

表 6 土壤养分主成分分析

参数	主分量		参数	主分量	
	P1	P2		P1	P2
β_1	0.947	0.216	β_7	0.935	0.197
β_2	0.531	-0.795	β_8	-0.685	0.488
β_3	0.878	0.424	特征值	4.571	2.270
β_4	0.940	0.086	贡献率	57.139	28.377
β_5	0.485	-0.775	累计贡献率	57.139	85.516
β_6	0.400	0.726			

β_1 : 土壤有机质; β_2 : 有效磷; β_3 : 有效氮; β_4 : 有效钾; β_5 : 全磷; β_6 : 全钾; β_7 : 微生物量碳; β_8 : pH.

为了能更直观地比较各个海拔土层下养分含量,根据第 1 个主分量方程,计算各海拔不同土层土壤养分含量得分,并进行排序(表 7).

表 7 不同海拔各土层土壤养分评价

样地	0~15 cm		15~30 cm		30~45 cm		平均得分	排名
	得分	排名	得分	排名	得分	排名		
172 柳	4.889 337	1	1.716 095	5	0.993 354	6	2.532 929	1
173 柳	4.811 927	2	1.925 373	4	0.455 303	8	2.397 535	2
174 柳	4.494 07	3	0.967 048	7	-0.028 46	9	1.810 885	3

由表 7 看出,相同海拔样地土壤养分评价均随土层深度的增加而降低,表明随着土层的加深,土壤养分含量降低.各个土层土壤养分评价随海拔的增加而降低,土壤养分评价平均得分由大到小为样地 172 柳,173 柳和 174 柳.表明随着海拔的增加土壤养分含量降低.由于不同海拔样地淹水时间不同,在水位下降过程中,土壤养分会随上覆水转移到低海拔样地.

4 结论与讨论

消落带不同水位高程土壤在淹水期间遭受的淹水强度不同,低水位土壤要遭受长时间的持续淹水.这

将导致本研究中 174—172 水位高程土壤化学性质出现差异性。

大量流域研究及三峡消落带模拟试验研究发现,经过淹水,碱性土壤 pH 降低,酸性土壤 pH 升高,最终将趋近于中性^[17]。本研究中,酸性土壤 pH 随海拔的升高显著升高,逐步趋近于中性,与前人研究类似。因为水位高程较低时淹水时间较长,土壤在厌氧还原条件下形成大量溶解度较大的还原性碳酸铁、锰,导致 pH 升高。表层土壤 pH 随海拔升高而降低的现象与王晓荣等^[18]在三峡库区的研究结论也相同。土壤 pH 和微生物生物量碳含量呈极显著正相关,可能是由于随着 pH 逐渐趋近于中性,一定程度上增加了微生物活性,致使微生物生物量碳增加。

本研究中有机质随水位高程的增加显著减少。土壤处于淹水状态下,氧化还原电位低,形成大量还原性物质,有利于有机质积累,国内外很多研究都已经证明了这一点^[19-20]。淹水状态下微生物活动受阻,有机质分解减弱。高水位高程落干暴露后,氧气含量增加,温度升高,微生物活动迅速加强,促进有机质分解,有机质含量减少^[21],还有可能就是受水土流失的影响,富含有机质的表层土从高坡度带到低坡度堆积,增加了低坡土壤的有机质含量^[22]。

自然条件下土壤氮素的主要来源包括有机质的矿化分解和生物固氮,土壤氮的积累和消耗程度取决于土壤有机质的积累和分解^[23],轻组有机质能破坏沉积物团聚体中的胶结物,无机氮释放量增加^[24]。因此土壤中碱解氮含量同土壤有机质含量变化基本一致。这与二者定量分析存在极显著正相关相吻合,与杨予静^[5]等研究结果也相同。

土壤有效磷含量和海拔呈极显著正相关,随着海拔的升高显著增高。这和土壤中有机质含量变化趋势是相反的。因为土壤有机质可增加对磷的解吸^[25],土壤有机胶体可包被铁铝氧化物及粘土矿物,减少其对磷的固定作用,因此土壤对磷的解吸量与有机碳含量呈正相关。这与有效磷含量、全磷含量和有机质含量在定量分析中都是存在极显著负相关也相吻合。另一方面,长期的强烈厌氧状态也易使 Fe^{3+} 转化为 Fe^{2+} ,与 P 形成可溶性的磷酸亚铁盐,与磷酸盐一起释入上覆水中^[26],造成速效 P 的化学释放,落水后停留在高海拔林地。

有机质具有保钾作用^[27],这和有机质含量和全钾含量显著正相关相吻合,和郭泉水等^[28]研究结果也类似。本研究中有机质含量和速效钾含量并没有呈现显著正相关,而是负相关关系,但并没有达到显著水平,速效钾含量和海拔、土层等也没有呈现规律变化,具体原因还待进一步研究。

本研究中土壤微生物生物量碳随土壤深度的增加而下降,与 Nsabimana D^[24]、姜培坤^[29]等研究结果相同,相关性分析表明土壤微生物量碳与土壤有机质和碱解氮呈极显著正相关,与 Kushwaha 等^[30]的报告相似,但本研究中微生物生物量碳含量偏少。魏天凤^[31]在樟子松人工林中测定土壤微生物量碳平均值为 260.7 mg/kg, Zhang 等^[32]在半干旱地区栋树林对土壤微生物量碳的研究中微生物量碳变幅在 100~300 mg/kg,本研究中微生物量碳变化范围在 36.24~197.47 mg/kg,主要是因为微生物数量的减少而引起微生物生物量碳含量的偏少。张新民^[33]等发现土壤微生物对微生物生物量碳有深刻的影响,肖国生等^[34]对三峡库区万州段消落带蓄水前后的研究表明,三峡水库淹没后,消落带土壤微生物总量有所下降,且细菌、真菌数量明显减少,土壤环境质量降低,不适宜微生物的生长,微生物需耗费更高能量维持自身的生长,使土壤微生物对有机碳的利用效率逐渐降低。

本研究中微生物熵随土壤深度增加而呈下降的趋势,与姜培坤^[29]的研究一致,也说明土壤表层积累的土壤微生物量碳较多。魏天凤^[32]研究樟子松人工林地下 0~30 cm 土壤微生物熵变幅为 0.78%~4.12%,平均值为 1.84%。Bauhus 等^[35]报道不同林地的土壤微生物熵变幅为 0.53%~2.41%,姜培坤^[33]所研究的林地 0~30 cm 土壤微生物熵的变幅为 0.90%~2.51%。本研究中 0~30 cm 土壤微生物熵变幅为 0.26%~0.88%,较以往研究,微生物熵偏小,说明消落带土壤环境质量降低,可能是由于水淹导致微生物量偏少,加上有机质的流失,从而导致底物碳的可利用度较低。

综上所述,本研究是基于开县消落带 172 水位高程到 174 水位高程柳树林下的土壤养分变化进行研究的,由于水位高程的不同导致柳树林地淹水时间不同,水位高程越高,淹水时间越短,从而导致土壤的化学性质伴随水位高程的变化出现差异。各个土层土壤养分评价得分随海拔的增加排名降低,其中土壤有机质、速效氮、全钾、微生物生物量碳含量和 pH 随水位高程的增加显著减少($p < 0.05$),有效磷和

全磷含量随水位高程的增加显著增加($p < 0.05$)。速效钾含量和海拔、土层等也没有呈现规律性变化,具体原因还待进一步研究。对于不同消落带地区、不同水位高程及不同土壤植被下的土壤养分变化仍有待长期观测和研究。

参考文献:

- [1] WANTZEN K M, ROTHHAUPT K O, MORTAL MARTIN, et al. Ecological Effects of Water-Level Fluctuations in Lakes: an Urgent Issue [J]. *Hydrobiologia*, 2008, 613(1): 1-4.
- [2] GOODWID C N, HAWKINS C P, KERSHNER J L. Riparian Restoration in the Western United States: Overview and Perspective [J]. *Restoration Ecology*, 1997, 5(S4): 4-14.
- [3] 谢德体, 范小华, 魏朝富. 三峡水库消落区对库区水土环境的影响研究 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2007, 29(1): 39-47.
- [4] 程 鑫. 三峡库区水土流失及其防治对策 [D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [5] 何丙辉, 郭 甜, 姚 军, 等. 紫色土坡耕地不同施肥水平下泥沙中氮、磷流失特征 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2012, 34(7): 1-8.
- [6] 倪九派, 魏朝富, 高 明. 三峡库区坡耕地土壤养分流失的实验研究 [J]. *水土保持学报*, 2008, 22(5): 38-42.
- [7] 黄 茹, 黄 林, 何丙辉, 等. 三峡库区不同林草治理措施下土壤入渗特征研究 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(9): 119-126.
- [8] 霍洪江, 汪 涛, 魏世强, 等. 三峡库区紫色土坡耕地氮素流失特征及其坡度的影响 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(11): 112-117.
- [9] 傅杨武. 三峡库区消落带土壤-水体系统中重金属模拟研究 [J]. *环境科学与技术*, 2007, 30(10): 14-16.
- [10] 马 菲, 邵呈龙, 刘 芸. 三峡库区松软堆积型消落带植被恢复引种可行性分析 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 35(6): 169-179.
- [11] 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): 1229-1232.
- [12] 程瑞梅, 王晓荣, 肖文发, 等. 消落带研究进展 [J]. *林业科学*, 2010, 46(4): 111-119.
- [13] 董德友. 浅析长江防浪林特点与树种密度效应 [J]. *防护林科技*, 2008(1): 53-54.
- [14] 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.
- [15] PEZESHKI S R, LI Shu-wen, SHIELDS F D, et al. Factors Governing Survival of Black Willow (*Salix nigra*) Cuttings in a Streambank Restoration Project [J]. *Ecological Engineering*, 2007, 29(1): 56-65.
- [16] 刘宏伟. 三峡工程库区消落带开发利用研究一以开县为例 [D]. 重庆: 西南师范大学, 1998.
- [17] 唐罗忠, 生原喜久雄, 户田浩人. 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.
- [18] 王晓荣, 程瑞梅, 肖文发, 等. 三峡库区消落带初期土壤养分特征 [J]. *生态学杂志*, 2010, 29(2): 281-289.
- [19] 董元华, 徐 琪. 水成土壤演化中有机质含量变化的研究 [J]. *生态学报*, 1990, 10(4): 323-327.
- [20] SAHRAWAT K L. Organic Matter Accumulation in Submerged Soils [J]. *Advances in Agronomy*, 2003, 81: 169-201.
- [21] 杨继松, 刘景双, 孙丽娜. 温度、水分对湿地土壤有机碳矿化的影响 [J]. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 38-42.
- [22] 钟远平, 唐 将, 王 力. 三峡库区土壤有机质区域分布及影响因素 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(5): 73-76.
- [23] DECAU M L, SIMON J C, JACQUET A. Nitrate Leaching Undergrassland as Affected by Mineral Nitrogen Fertilizer and Cattle Urine [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(2): 637-644.
- [24] 吴群河, 曾学云, 黄 钊. 河流底泥中 DO 和有机质对三氮释放的影响 [J]. *环境科学研究*, 2005, 18(5): 34-39.
- [25] NSABIMANA D, HAYNES R J, WALLIS F M. Size, Activity and Catabolic Diversity of the Soil Microbial Biomass as Affected by Land Use [J]. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26(2): 81-92.
- [26] WATTS C J. The Effect of Organic Matter on Sedimentary Phosphorus Release in an Australian Reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 431(1): 13-25.
- [27] 刘世全, 高丽丽, 蒲玉琳, 等. 西藏土壤磷素和钾素养分状况及其影响因素 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 75-78, 88.
- [28] 郭泉水, 康 义, 赵玉娟, 等. 三峡库区消落带土壤氮磷钾、pH 值和有机质变化 [J]. *林业科学*, 2012, 48(3): 7-10.
- [29] 姜培坤. 不同林分下土壤活性有机碳库研究 [J]. *林业科学*, 2005, 41(1): 10-13.
- [30] KUSHWAHA C P, TRIPATHI S K, SINGH K P. Variations in Soil Microbial Biomass and N Availability Due to Residue and Tillage Management in Dryland Rice Agroeco system [J]. *Soil & Tillage Research*, 2000, 56(3): 153-166.
- [31] 魏天凤, 任艳林, 曾 辉, 等. 降水改变对樟子松人工林土壤微生物量碳及微生物商动态变化的影响 [J]. *北京大学学*

报(自然科学版), 2009, 45(3): 533—540.

- [32] ZHANG Q S, ZAK J C. Effects of Water and Nitrogen Amendment on Soil Microbial Biomass and Fine Root Production in a Semi-Arid Environment in West Texas [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1998, 30(1): 39—45.
- [33] 张新民, 柴发合, 王淑兰, 等. 中国酸雨研究现状 [J]. *环境科学研究*, 2010, 23(5): 527—532.
- [34] 肖国生, 胡廷章, 唐华丽, 等. 三峡水库消落带淹没前后土壤微生物生态分布及优势菌群的鉴定 [J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(4): 493—496.
- [35] BAUHUS J, PARE D, COTE L. Effects of Tree Species, Stand Age and Soil Type on Soil Microbial Biomass and Its Activity in a Southern Boreal Forest [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1998, 30(8): 1077—1089.

Spatial Characteristics of the Soil Nutrients in Willow Forest Land at Different Elevations of the Three Gorges Reservoir Area, China

MAO Wen-tao¹, LI Tang-zhong², GU Xi-rong¹,
SONG Ying¹, WU Xue-lian¹, LI Yuan³, ZENG Qing-ping¹

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Kaixian Forestry Bureau, Chongqing 405400, China;

3. Fuling Forestry Bureau, Chongqing 408000, China

Abstract: Monitoring transects were set in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir with an elevation of 172—174 m to investigate the changes in the contents of N, P, K, pH, microbial biomass C and organic matter of the soil, which experienced the influence of different water levels. The results showed that influenced by water level fluctuation, the contents of soil N, P, K, pH and organic matter changed at different altitudes in the hydro-fluctuation belt. The evaluation scores of soil nutrients were reduced. Available N decreased by 27.53%~50.33%, available K decreased by 21.53%~23.25%, available P increased by 169.00%~436.68%, content of soil organic matter decreased by 20.44%~58.16%, total P increased by 38.98%~45.05%, total K decreased by 4.89%~9.65%, content of microbial biomass C decreased by 37.09%~77.45%, and pH decreased by 6.97%~8.07%. Water level elevation was in a highly significant correlation with the contents of organic matter, available N, available P and microbial biomass C ($p < 0.01$) and in a significant correlation with the contents of total P, total K and pH ($p < 0.05$).

Key words: hydro-fluctuation belt; soil NPK; pH; organic matter; microbial biomass C; microbial quotient

责任编辑 陈绍兰

