

三峡库区水位消涨对杉木溪消落带土壤性质的影响

王娅傲^{1,2}, 陈芳清^{1,2}, 张 森¹, 陈韶华²

(1. 三峡地区生态保护与治理国际合作研究中心 三峡大学, 湖北 宜昌 443002;

2. 三峡库区生态与环境教育部工程研究中心 三峡大学, 湖北 宜昌 443002)

摘要:为了准确揭示杉木溪消落带土壤养分及其空间分布对三峡库区水位消涨及其所带来的环境变化的响应, 2014年研究了5个完整水位消涨周期的不同海拔梯度和土层深度土壤。沿海拔梯度分别在150、155、160、165、170、175 m处各设置1个样带, 180 m处设置1个对照样带, 每样带设置5个样方, 在样方内选取4个角及中心点共5个样点, 用土壤采集器分别在0~5、5~10和10~15 cm土层分层采集土样。结果表明, 在水位消涨的作用下, 消落带土壤养分含量显著下降, 有机质、全氮和全磷含量与非消落带土壤相比分别减少了14.55%、20.00%和26.12%, 土壤pH值则显著增加。水位消涨还导致消落带土壤养分随海拔梯度呈显著的空间变化。其中, 有机质、全氮和全钾含量以中部消落带土壤的含量最高, 全磷含量则以中下部消落带土壤的含量最高, 而土壤pH值随着海拔梯度的减少而增加。消落带和非消落带土壤养分在不同土层之间有着显著差异, 有机质、全氮、全磷含量随土壤的加深而显著减少。在水位消涨的影响下, 消落带表层土与下层土有机质和全氮含量的差异显著减少, 而全磷和全钾含量的差异则有所增加。

关键词:消落带; 土壤养分; 水位消涨; 空间分布; 三峡库区

中图分类号:X833; P332.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2016)03-0056-06

消落带是指江河、湖泊和水库等水体因水位季节性涨落使土地被周期性淹没和出露成陆地所形成的干湿交替的水陆交错地带, 是一种特殊的湿地生态系统(Wantzen et al, 2008; Gregory et al, 2005)。水位消涨对消落带生态系统有着十分重要的作用, 消落带土壤养分及其空间分布也在多方面受到水位消涨的影响(Battle-aguilar et al, 2012)。水位在洪泛季节的消涨会增加土壤的养分沉积, 而在清水季节的消涨则会增加土壤养分的淋失(张雷等, 2009; 徐德星等, 2009); 其次水位消涨会引起植被组成与结构的变化, 并由此影响到土壤养分的积累(杨小波和胡荣桂, 2000; Yafeng et al, 2011); 此外, 水位消涨的扰动还会引起土壤氧气、含水量和温度的变化, 并进一步引起土壤微生物及其代谢的变化, 最终导致土壤养分的变化(Fromin et al, 2010)。由于不同海拔梯度消落带土壤所经历水位扰动的频率、时间和

强度上存在显著差异, 各海拔梯度土壤养分也因此出现空间变化(郭劲松等, 2012)。对于大多数水体的消落带而言, 由于水位消涨具有一定的规律性, 其土壤养分及其空间变化格局都已基本稳定。但是, 当水位消涨幅度和节律发生急剧变化时, 消落带土壤养分及其空间分布便会因此而发生显著变化。

三峡工程因防洪与发电的需要, 人为地改变了库区水位涨落的节律和幅度, 在海拔145~175 m库区形成了落差达30 m、面积达到440 km²的消落带, 消落带的水位消长节律也由夏淹-冬旱转变为夏旱-冬淹。这种急剧与不可逆的干扰无疑会对消落带土壤养分及其空间分布产生重大影响。三峡水库自2004年开始蓄水, 2005年水位达到138 m, 2006年水位达到156 m。库区水位大幅度消涨对消落带土壤的作用引起了科学家们的关注, 科研人员在成库初期分别对库区消落带的土壤理化性质的变化进行了调查研究, 发现水位消涨引起了消落带土壤养分的流失, 使得土壤有机质、全氮、全磷、全钾的含量均显著下降(常超等, 2009; 王晓荣等, 2010)。但是由于上述研究期间库区消落带的最高水位只达到156 m, 水位的消涨幅度只有10 m左右, 且只进行了1~2次的消涨循环, 其研究结果具有一定的局限性。2009年后库区的最高水位达到175 m, 为准确揭示消落带土壤养分及其空间分布对库区水位消涨

收稿日期: 2015-10-22

基金项目:反季节消涨节律扰动下土壤种子库对消落带植被生态恢复的作用机制(51379105), 国家自然科学基金; 三峡大学研究生科技创新基金(2015CX134)。

作者简介:王娅傲, 1990年生, 女, 硕士研究生, 主要从事恢复生态学。E-mail: 373987776@qq.com

通信作者:陈芳清, 1963年生, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为恢复生态学。E-mail: fqchen@ctgu.edu.cn

和由此带来的环境变化的响应,我们于 2014 年在库区经历了 5 个完整的水位消涨周期后,以库区杉木溪消落带为例证,对消落带土壤进行了取样调查与研究。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

研究样地 (N 30°38'12" ~ 31°11'27", E 110°18'47" ~ 111°00'03") 位于三峡库区秭归茅坪镇附近的杉木溪。样地所在地属于亚热带大陆性季风气候, 四季分明, 年均气温 18℃, 降雨量 1 100 mm, 日照时数 1 631.5 h, 无霜期 260 d 左右。样地坡度 30°左右, 母岩为花岗岩, 土壤类型为黄壤土, 土层厚度 40 cm 左右。样地为弃耕地, 经过 5 年水位消涨的影响, 目前植被类型为以一年生和多年生草本植物为主组成的草丛, 主要植物群落类型为狗尾草 (*Setaria viridis*) + 毛马唐 (*Digitaria ciliaris*) 群落和齿果酸模 (*Rumex dentatus*) + 酢浆草 (*Oxalis corniculata*) 群落。消落带上缘的陆地植物群落类型为栓皮栎 (*Quercus variabilis*) + 马尾松 (*Pinus massoniana*) 针阔混交林群落。

1.2 样方设置与取样

2014 年 5 月在消落带水位降至 148 m 后, 在实验样地沿海拔梯度分别在 150、155、160、165、170、175 和 180 m 处各设置 1 个样带, 共 7 个样带。其中海拔 150 ~ 175 m 属于水位消落带; 海拔 180 m 为消落带上缘的岸上植被带, 用作比较研究。在各样带中每隔 5 m 设置 1 个 1 m × 1 m 的样方, 每一样带设置 5 个样方并进行标记, 在各样方内选取 4 个角及中心点共 5 个样点, 清除表层植被, 用土壤采集器

(直径 8 cm、高 15 cm) 分别在 0 ~ 5、5 ~ 10 和 10 ~ 15 cm 土层分层采集土样, 将 5 个小样点的土壤用自封袋分不同层次分装, 即每个海拔分上、中、下 3 层各 25 个实验样品, 共采集 525 份土壤样品。将采集的土样带回实验室自然风干研磨过筛后进行化学分析和测定。

1.3 土壤养分与酸碱性的测定

土壤有机质含量用重铬酸钾氧化 - 外加热法测定; 全氮含量用凯氏定氮法测定; 全磷含量用酸熔 - 钼锑抗比色法测定; 全钾用 NaOH 熔融, 火焰光度法测定; pH 值用 pH 酸度计测定。

1.4 数据处理与分析

分别以海拔梯度和土层深度为变量, 以土壤养分和 pH 值为因变量进行单因子方差分析, 当因子作用效果显著时, 再采用多重比较 (Turkey) 法分析各处理之间的差异性, 以揭示海拔梯度、土层深度对土壤养分空间分布的作用, 并进一步分析消落带水位消涨对土壤养分的影响。此外还进行了土壤养分与海拔梯度之间的相关性分析。所有的分析采用 SPSS (17.0) 进行。

2 结果与分析

2.1 水位涨落对土壤养分的影响

库区水位消涨的扰动使河岸带土壤养分发生明显的变化 (表 1)。经过 5 年水位消涨的影响, 消落带土壤的有机质、全氮、全磷含量与非消落带土壤相比均显著降低 ($P < 0.05$), 分别减少了 14.55 %、20.00 % 和 26.12 %。消落带土壤的 pH 值则显著增高 ($P < 0.05$), 酸性强度下降。消落带土壤的全钾含量虽有所降低, 但是其变化没有达到显著水平。

表 1 水位消涨对杉木溪河岸带土壤养分的影响

Tab.1 Effects of water-level fluctuation on soil nutrients of the banks of Shanmu River

河岸带	有机质/ g · kg ⁻¹	全氮/ g · kg ⁻¹	全磷/ g · kg ⁻¹	全钾/ g · kg ⁻¹	pH
消落带	8.82 ± 0.22 ^b	0.44 ± 0.21 ^b	0.82 ± 0.04 ^b	3.45 ± 0.11 ^a	6.67 ± 0.02 ^a
非消落带	10.31 ± 0.74 ^a	0.55 ± 0.23 ^a	1.11 ± 0.05 ^a	3.71 ± 0.22 ^a	6.28 ± 0.04 ^b
F 值; Sig.	5.55; 0.02	14.17; 0.00	15.91; 0.00	1.96; 0.16	127.68; 0.00

注: 同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.2 土壤养分在不同海拔梯度的分布

水位消涨还使土壤养分在消落带不同海拔之间发生显著分异 (图 1), 呈现特有的空间分布格局。其中土壤有机质的变化较大, 变化幅度为 4.73 ~ 12.27 g/kg, 随海拔高度的增加呈先增加后减少的趋势, 总体上以消落带中部土壤含量最高, 上部次之,

下部最低。160 m 处的土壤有机质含量比 150 m 和 170 m 处的分别高 61.45 % 和 40.62 %; 土壤的全氮和全磷含量有着相同的变化趋势, 呈先增加后减少的格局, 以消落带中部土壤的含量最高, 下部次之, 上部最低。全氮和全磷含量分别为 0.26 ~ 0.61 g/kg 和 0.41 ~ 0.91 g/kg。165 m 处土壤含氮量

和含磷量分别比 175 m 土壤高出 57.21% 和 54.65% ;消落带土壤全钾含量 2.31 ~4.88 g/kg,随海拔梯度的增加呈先增加后减少的变化趋势,以消

涨带中部的含量最高,但是上部土壤的含量高于下部土壤。

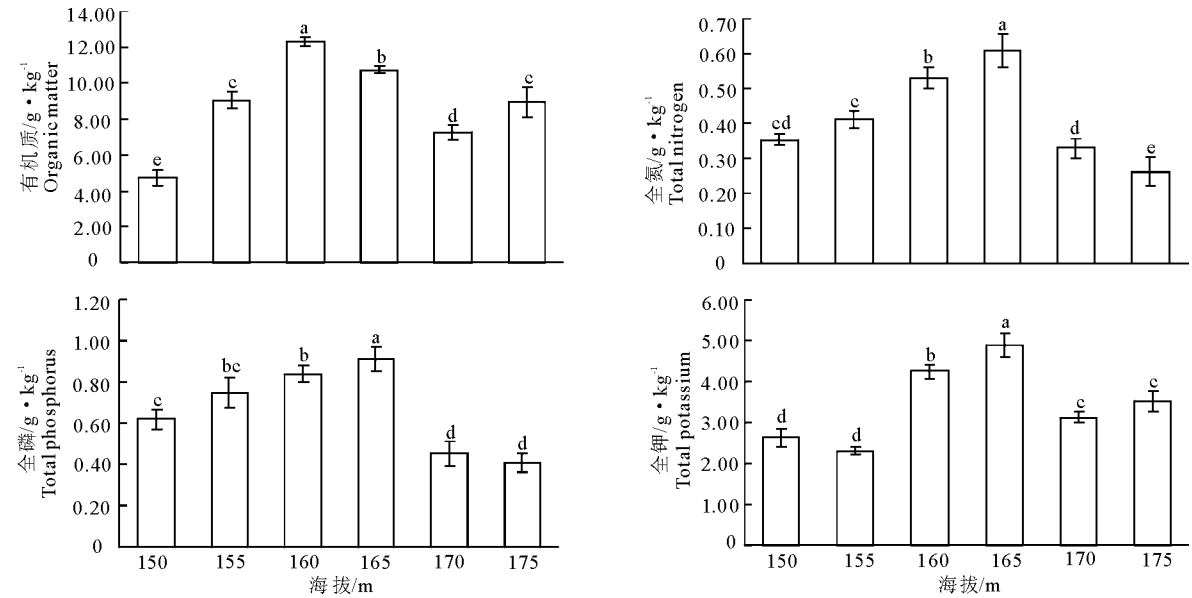


图1 杉木溪消落带土壤养分含量随海拔梯度的变化

Fig. 1 Spatial variation of soil nutrient content with altitude in the water-level fluctuation zone

2.3 消落带不同海拔梯度土壤 pH 值的变化

海拔 150、155、160、165、170 和 175 m 处土壤 pH 的平均值分别为 6.70、6.67、6.66、6.62、6.61 和 6.54。不同海拔梯度下土壤酸碱性差异不显著,但随海拔升高而降低(图 2)。土壤被淹没的时间增长,土壤 pH 呈逐渐增高的趋势。

有 31.78%、31.58% ;全磷和全钾含量的差异在非消落带分别为 41.05% 和 5.01% ,而在消落带增加到 43.24% 和 10.33% ,其中土壤全钾含量的差异由不显著变为显著。

2.5 相关性分析

杉木溪土壤含量与空间分布的相关性分析见表 3。消落带土壤 pH、全磷和全钾含量与海拔呈现相关性,但有机质和全氮含量与海拔梯度相关性不显著。所有消落带土壤养分除全钾外均与土层深度呈显著相关,其中土壤 pH 与土层深度呈正相关性,而土壤有机质、全氮、全磷含量与土层呈负相关性。同时,各养分之间也存在一定程度的相关性。表明海拔梯度和土层影响着消落带土壤养分的分布。

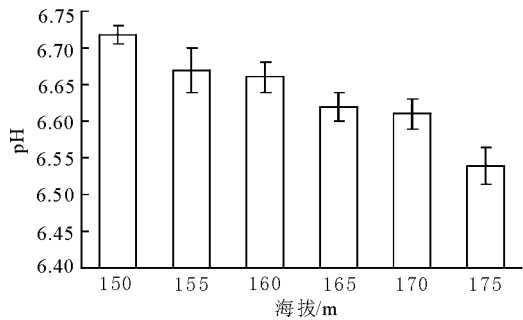


图2 杉木溪消落带土壤 pH 随海拔梯度的变化

Fig.2 Change in soil pH with altitude in the water-level fluctuation zone of Shanmu River

2.4 河岸带不同土层土壤养分的空间分布

河岸带(含消落带和非消落带)土壤的有机质、全氮、全磷和全钾含量均随土层的加深而减少(表 2),但是经过水位消涨的影响,消落带土壤有机质和全氮含量在不同层次间的差异缩小,全磷和全钾含量的差异却在增加。其中表土层(0~5 cm)与中土层(5~10 cm)的有机质和全氮含量的差异在非消落带分别为 108.56% 和 46.94% ,而在消落带只

3 讨论

3.1 水位消涨对土壤养分的影响

河流水位消涨对湿地土壤有 2 个方面的影响:一方面是洪水上涨带来大量的泥沙沉积在消落带,增加了湿地营养物质的来源,特别是有机质和磷的含量增加(郭松松等,2012;詹艳慧等,2006);另一方面是水位消涨使消落带土壤经历周期性的淹没、暴晒、冲刷、淋溶等(郑志伟等,2011)。这些作用使得土壤对营养物质的机械吸收、阻留、理化吸附、沉淀、生物吸收等过程会更加活跃,同时还加速了土壤

养分的分解、释放、运动和扩散过程,使消落带土壤营养物质流失,特别是水淹期间向水体的释放,最终使土壤养分含量降低(范小华等,2006)。在一些坡度较陡的河岸带上,土壤养分的流失大于养分沉积,水位消涨会使土壤养分含量减少(王晓荣等,2010)。

表 2 杉木溪土壤养分含量随土层深度的变化

Tab. 2 Changes in soil nutrient content with soil depth in the water-level fluctuation zone of Shanmu River						
河岸带	土层/cm	有机质/ g · kg ⁻¹	全氮/g · kg ⁻¹ Mean ± SE	全磷/ g · kg ⁻¹	全钾/ g · kg ⁻¹	pH
消落带	0 ~ 5	10.78 ± 0.41 ^a	0.50 ± 0.02 ^a	1.06 ± 0.02 ^a	3.63 ± 0.11 ^a	6.63 ± 0.02 ^b
	5 ~ 10	8.18 ± 0.34 ^b	0.38 ± 0.02 ^b	0.74 ± 0.04 ^b	3.29 ± 0.12 ^b	6.64 ± 0.02 ^b
	10 ~ 15	7.53 ± 0.32 ^b	0.40 ± 0.02 ^b	0.58 ± 0.03 ^c	3.41 ± 0.12 ^{ab}	6.74 ± 0.01 ^a
F 值;Sig		44.24;0.00	24.76;0.00	81.78;0.00	5.17;0.006	8.48;0.00
非消落带	0 ~ 5	16.81 ± 0.41 ^a	0.72 ± 0.06 ^a	1.34 ± 0.05 ^a	3.77 ± 0.22 ^a	6.19 ± 0.04 ^a
	5 ~ 10	8.06 ± 0.46 ^b	0.49 ± 0.06 ^b	0.95 ± 0.06 ^b	3.59 ± 0.19 ^a	6.29 ± 0.06 ^a
	10 ~ 15	6.09 ± 0.39 ^c	0.45 ± 0.03 ^b	1.05 ± 0.06 ^b	3.74 ± 0.26 ^a	6.35 ± 0.05 ^a
F 值;Sig		40.51;0.00	6.67;0.00	11.32;0.00	0.17;0.84	2.19;0.12

注:同列不同字母表示差异显著(P<0.05).
Note: Different letters in the same row indicate significant differences (P<0.05).

表 3 杉木溪土壤养分含量与空间分布的相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of soil nutrient content and spatial distribution							
pH	有机质	全氮	全磷	全钾	海拔	土层深度	
pH	1	-0.374 **	-0.366 **	-0.702 **	0.047 *	-0.383 **	0.197 *
有机质		1	0.294 **	0.066	0.463 **	0.425	-0.550 *
全氮			1	0.205 *	-0.204 *	-0.258	-0.400 *
全磷				1	0.252 **	0.34 *	-0.515 *
全钾					1	0.214 *	-0.225
海拔						1	0
土层深度							1

注:**在0.01水平上显著相关;*在0.05水平上显著相关。
Note: ** significant correlation at the level of 0.01; * significant correlation at the level of 0.05.

三峡水库成库后消落带每年都经受大幅度反季节水位消涨,消落带土壤经历周期性“淹没-出露”的交错作用,土壤养分因此而发生相应的变化。由于库区主要由峡谷型河道组成,消落带的坡度多比较陡峭,因此其土壤养分在水位消涨的影响下常呈下降的变化。朱强等(2014)对三峡水库小江流域不同海拔消落带的土壤性质进行研究,认为土壤有机质含量在经历淹水后总体呈下降趋势。常超等(2009)和郭泉水等(2012)分别以忠县石宝寨和秭归兰陵溪为例研究了三峡库区初期蓄水对三峡消落带土壤的影响,发现淹水后消落带土壤养分平均含量普遍下降,且土壤由微碱性变为碱性,认为水位消涨过程中的淹水阶段易造成土壤养分流失。康义(2010)在2008年和2009年分别对秭归和巫山消落带进行了检测,消落带土壤经过水位消涨周期越多,土壤养分含量越小。王晓荣等(2010)对秭归消落带初期蓄水土壤养分变化的研究结果也相似,弃耕地土壤经水淹后土壤养分有一定下降,其中有机质的下降幅度显著,而其他养分的变化不显著。本研

究表明,经过5个全程的水位消涨周期后,消落带土壤养分流失和土壤碱性增加的趋势进一步增强,其中以有机质、全氮和全磷含量变化最为显著,而全钾的含量虽有所下降,但没有达到显著水平。由于实验所涵盖的河岸带在库区水位上涨前均为陆地退化森林,其土壤质地和养分状况相近,因此消落带与非消落带土壤养分差异的直接相关因素是海拔梯度,其内在因素则是因为消落带每年都经历了水位消涨的影响。

3.2 水位消涨对消落带土壤养分空间分布的影响

水位消涨的频率、幅度与持续时间是消落带水位消涨节律的重要特征(白军红等,2002)。不同海拔位置湿地受水位消涨影响的程度有所差异,水位消涨节律对土壤养分在消落带的空间分布有着重要的影响(喻菲等,2006)。三峡库区反季节水位消涨过程中,由于不同海拔位置消落带土壤所经历的水淹和出露时间以及经受水位消涨的频率不一样,其中海拔越高土壤所经历的水淹时间越短、出露时间越长。而消落带中部海拔165 m左右处于干湿交替

状态的时间相对最长。这种扰动特点使得不同海拔位置土壤的养分状况呈现一定的空间变化格局。

研究表明,经过多次大幅度的水位消涨,消落带土壤养分随着海拔梯度的不同呈现了特有的空间分布格局。其中有机质、全氮、全钾含量均以消落带中部土壤的含量最高,全磷的含量以消落带中下部土壤的含量最高,而土壤的 pH 值随海拔升高而下降。该分布格局形成与库区水位消涨规律及杉木溪消落带地形特征有关。消落带上部长时间处于出露阶段,土壤氧气充足有利于养分的分解(石孝洪, 2004),因此消落带上部土壤的养分分解程度比较高,期间长时间的雨水冲刷以及冬季江水大幅涨落使得消落带上部土壤养分淋失程度较高,同时由于其受江水淹没时期为冬季,期间水质较为清澈,养分沉积作用低,最终使得上部土壤养分含量最低;而消落带下部土壤受水位波动影响的时间在夏季,期间温度较高,土壤湿度也较适宜,土壤微生物的活力较强(许川等, 2005),土壤养分的分解较为强烈,其后又经历长时间的水淹,养分不断由土壤向营养物质浓度相对较低的水体释放。此外,由于杉木溪消落带地形比较陡(坡度 30° 左右),且消落带下部高于河床,下部土壤养分的沉积作用不明显。在上述因素的影响下,消落带下部土壤的养分含量也相对较低;消落带中部一年有 2 次受水位波动的影响,水位停留的时间相对较长,各种养分在此沉积的程度较高,因此各种土壤养分的含量相对较高。

水位消涨的扰动还使得消落带土壤养分在不同土壤层次产生变化,消落带与陆地土壤养分随土层变化趋势整体一致。其中有机质、全氮、全磷含量随土壤的加深而显著减少,而土壤 pH 值随土层加深而增加。但是消落带土壤养分经过水位消涨冲刷后,造成表层土营养物质的流失,其有机质、全氮含量在不同土层之间的差异相比陆地土壤显著减少,而全磷和全钾含量的差异却有所增加。

参考文献

白军红,邓伟,朱颜明,等, 2002. 水陆交错带土壤氮素空间分异规律研究:以月亮泡水陆交错带为例[J]. 环境科学学报, 22(3): 243–348.

常超,谢宗强,熊高明,等, 2009. 三峡库区不同植被类型土壤养分特征[J]. 生态学报, 29(11): 5978–5985.

范小华,谢德体,魏朝富, 2006. 水、土环境变化下消落区生态环境问题研究[J]. 中国农学通报, 22(10): 373–379.

郭泉水,康义,赵玉娟,等, 2012. 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, 48(3): 8–10.

康义, 2014. 三峡库区消落带土壤理化性质和植被动态变化研究[D]. 北京:中国林业科学研究院.

石孝洪, 2004. 三峡水库消落区土壤磷素释放与富营养化[J]. 土壤肥料, 1(13): 41–44.

王晓荣,程瑞梅,肖文发,等, 2010. 三峡库区消落带初期土壤养分特征[J]. 生态学杂志, 29(2): 281–289.

徐德星,秦延文,张雷,等, 2009. 三峡入库河流大宁河回水区沉积物和消落带土壤磷形态及其分布特征研究[J]. 环境科学, 30(5): 1338–1343.

许川,舒为群,曹佳,等, 2005. 三峡库区消落带富营养化及其危害预测和防治[J]. 长江流域资源与环境, 14(4): 440–443.

杨小波,胡荣桂, 2000. 热带滨海沙滩上森林植被的组成成分与土壤性质的研究[J]. 生态学杂志, 19(4): 6–11.

喻菲,张成,张晟,等, 2006. 三峡水库消落区土壤重金属含量及分布特征[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 28(1): 165–168.

詹德慧,王里奥,焦艳静, 2006. 三峡库区消落带土壤氮素吸附释放规律[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 29(8): 10–13.

张雷,秦延文,郑丙辉,等, 2009. 三峡入库河流大宁河回水区浸没土壤及消落带土壤氮形态及分布特征[J]. 环境科学, 30(10): 2884–2890.

郑志伟,邹曦,安然,等, 2011. 三峡水库小江流域消落区土壤的理化性状[J]. 水生态学杂志, 32(4): 1–6.

朱强,张志永,胡红青,等, 2014. 淹没–出露条件下三峡水库小江消落带土壤性质变化研究[J]. 土壤, 46(5): 927–932.

Battle-afuliar J, Brovelli A, Luster J, et al, 2012. Analysis of Carbon and Nitrogen Dynamics in Riparian Soils; Model Validation and Sensitivity to Environmental Controls [J]. Science of the Total Environment, 429: 246–256.

Fromin N, Pinay G, Montuelle B, et al, 2010. Impact of Seasonal Sediment Desiccation and Rewetting on Microbial Processes Involved in Greenhouse Gas Emissions [J]. Ecohydrology, 3: 339–348.

Gregory S V, Swanson F J, McKee W A, 2005. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones [J]. Bioscience, 41(8): 540–551.

Wantzen K M, Rothhaupt K O, Cantonati M, et al, 2008. Ecological Effects of Water-level Fluctuations in Lakes: An Urgent Issue [J]. Hydrobiologia, 613(1): 1–4.

Yafeng W, Bojie F, Yihe L, et al, 2011. Effects of Vegetation Restoration on Soil Organic Carbon Sequestration at Multiple Scales in Semi-arid Loess Plateau, China [J]. Catena, 85(1): 58–66.

Response of Soil Nutrient Levels and Spatial Distribution to Water-level Fluctuation on the Shanmu Riverbanks in the Three Gorges Reservoir Area

WANG Ya-jing^{1,2}, CHEN Fang-qing^{1,2}, ZHANG Miao¹, CHEN Shao-hua²

- (1. International Research Center for Ecological Protection and Management in the Three Gorges Area, China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China
2. Engineering Research Center of the Ministry of Education for the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment, China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China)

Abstract: The Three Gorges Project has changed the natural rhythm and range of water level fluctuations in the reservoir area, forming a 440 km² water-level fluctuation zone at elevations from 145 – 175 m. The rhythm of water-level variation has been reversed, from high in summer and low in winter to low in summer and high in winter. The rapid reversal in rhythm and range has significantly influenced soil properties in the fluctuation zone. To determine the response in soil nutrient levels and spatial distribution to these disturbances, a case study of soil along Shanmu River tributary of Three Gorges Reservoir was carried out in 2014, when five water-level fluctuation cycles had occurred after impoundment reached 175 m in 2009. Soil samples in the water-level fluctuation zone of Shanmu River were collected at seven elevations (150, 155, 160, 165, 170, 175 and 180 m) and at three soil depths (0 – 5 cm, 5 – 10 cm and 10 – 15 cm). The samples were analyzed for pH, organic matter, total phosphorus, total nitrogen and total potassium. Results show that soil nutrients decreased significantly under the influence of water-level fluctuation. Organic matter, total nitrogen and total phosphorus decreased by 14.55%, 20.00% and 26.12%, respectively, compared to soil outside the fluctuation zone, while soil pH increased significantly. Water level fluctuations also caused significant changes in the spatial variation of soil nutrients with elevation. The highest levels of organic matter, total nitrogen and total potassium occurred in the mid-elevation soils of the fluctuation zone, while total phosphorus content was the highest in the mid-to lower elevations. Soil pH increased as elevation decreased. Nutrient depth profiles also changed significantly. While soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus decreased significantly with soil depth both inside and outside the fluctuation zone, water-level fluctuation decreased the differences in soil organic matter and total nitrogen between surface and bottom soils, but increased the difference in total phosphorus and potassium. The total phosphorus, potassium and pH of soil in the fluctuation zone were significantly related to the elevation, but soil organic matter and total nitrogen were not. With soil depth, there was a significant positive correlation with soil pH and a significant negative correlation with organic matter, total nitrogen and total phosphorus.

Key words: fluctuation zone; soil nutrients; water-level fluctuation; spatial distribution; Three Gorges Reservoir