

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.03.020

# 三峡库区典型消落带土壤有机碳分布特征<sup>①</sup>

王莲阁, 高岩红, 丁长欢,  
陈序根, 慈恩, 谢德体

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716; 2. 重庆市三峡库区农业面源污染控制工程技术研究中心, 重庆 400716

**摘要:** 选取三峡库区典型消落带—涪陵区珍溪镇王家沟消落带为研究对象, 于 2013 年 6 月中旬三峡水库低水位(145 m)运行时, 采集了研究区内 150~155 m, 160~165 m, 170~175 m 和 180~185 m(对照)高程 0~40 cm 剖面土样 192 个, 于室内对消落带土壤有机碳分布特征进行研究. 结果表明: 三峡水库反季节性水位涨落显著影响消落区各高程土壤有机碳剖面分布特征, 同时该水位变化也有利于土壤有机碳在低海拔区域(150~155 m, 160~165 m)累积, 并可有效( $p < 0.05$ )降低高海拔区域(170~175 m)的表层有机碳质量分数. 消落带研究区土壤碳氮比相对较低, 集中在 4~15 范围内, 低海拔区域经过特有的干湿交替后土壤碳的累积速度比氮更快一些. 研究结果还表明, 150~155 m 高程 10~20 cm 土层中有机碳及碳氮关系在空间上的分布较为均匀, 160~165 m 高程 0~40 cm 土体中有机碳及碳氮关系空间变异性最小.

**关键词:** 三峡库区; 消落带; 土壤有机碳

**中图分类号:** X833

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2015)03-0120-05

三峡水库实行“蓄清排浑”的运行方式, 夏季低水位运行, 冬季高水位运行, 从而形成了垂直距离 30 m(水位 145~175 m)、总面积 348.93 km<sup>2</sup>、夏季出露冬季淹没的反季节生态区域—消落带. 消落带可以看作淡水湿地的一种, 属于一类特殊的湿地生态系统<sup>[1]</sup>. 湿地是陆地生态系统不可缺少的组成部分, 在全球碳的储存和调控中扮演着重要的角色<sup>[2-4]</sup>. 土壤有机碳(SOC)是湿地碳的主要存储形式, 联系着湿地生态系统的内、外物质循环<sup>[5-6]</sup>, 其含量变化显著影响湿地生态系统的生产力<sup>[7]</sup>. 本文选取三峡库区长江干流典型消落带——涪陵区珍溪镇王家沟消落带为研究对象, 对消落带研究区土壤有机碳质量分数进行研究, 探讨不同高程土壤有机碳剖面分布特征, 以期对三峡库区消落带土壤有机碳的含量变化、物质循环以及碳库调控等提供基础数据和理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

通过综合考虑重庆境内三峡水库消落带的分布特征和研究区的典型性, 选取位于涪陵区珍溪镇王家沟长江干流开阔河段的消落带为研究对象(108°30'E, 30°46'N). 该消落带研究区位居长江北岸, 地势从北到南逐渐降低并延伸至长江, 现主要被草本植物覆盖, 土壤类型为紫色土. 珍溪镇属于亚热带湿润季风气候, 日照时间较长, 春秋季雾照较多, 无霜期长. 年均气温 17℃~18℃, 最低气温-2.5℃, 年积温 5 300℃~

① 收稿日期: 2014-02-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301245); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050506); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2013B043); 重庆市环境保护局环保科技项目(环科字 2010 第 26 号).

作者简介: 王莲阁(1988-), 女, 河南睢县人, 硕士, 主要从事农田土壤碳循环研究.

通信作者: 慈恩, 博士, 副研究员, 硕士研究生导师.

5 600 ℃, 年降雨量 1 000~1 100 mm.

## 1.2 样品采集与分析

在选定的消落带研究区, 根据水库调度时间表, 于 2013 年 6 月中旬三峡水库低水位(145 m)运行时, 按高程 150~155 m, 160~165 m, 170~175 m 进行土壤样品的采集, 并采集未淹没区 180~185 m 高程的土壤样品作为对照. 用土钻采取深度为 0~40 cm 剖面土样, 0~20 cm 剖面深度按 10 cm 间隔取样, 随后的取样深度间隔为 20 cm, 各高程按随机布点取样法, 相邻样点水平距离约 10 m; 分别采集 16 个剖面, 共 64 个剖面, 192 个土样, 同时各采样点用环刀法测定土壤表层容质量.

土壤有机碳采用重铬酸钾容量法; 土壤全氮(TN)采用半微量凯氏定氮法<sup>[8]</sup>; 土壤容质量采用环刀法<sup>[9]</sup>.

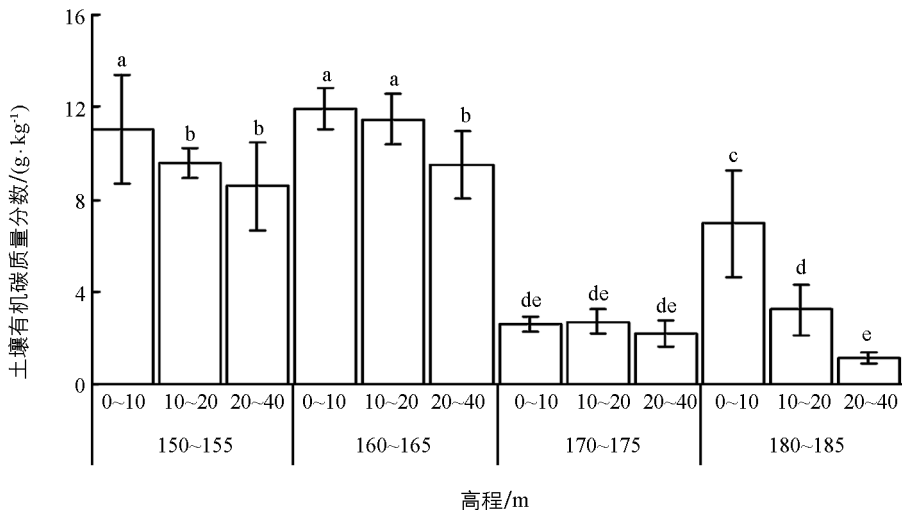
## 1.3 数据处理

采用 Excel 2003 制图, 相关指标的差异显著性检验及相关性分析采用 SPSS 16.0 软件进行.

# 2 结果与讨论

## 2.1 土壤有机碳剖面分布特征

从图 1 可知, 除 170~175 m 高程 10~20 cm 土层有机碳质量分数略高于表层(0~10 cm)外, 随土层的加深, 不同高程剖面土壤有机碳质量分数均呈下降趋势. 150~155 m 高程 10~20 cm 和 20~40 cm 土层中有机碳质量分数无明显差异, 但均显著低于表层( $p < 0.05$ ); 160~165 m 高程表层和 10~20 cm 土层中有机碳质量分数差异不显著, 但要显著高于 20~40 cm 土层; 170~175 m 高程剖面(0~10, 10~20, 20~40 cm)SOC 含量之间差异不明显; 未淹没区 180~185 m 高程各土层 SOC 含量之间均存在显著差异(图 1), 说明三峡水库反季节性水位涨落显著影响消落区各高程土壤有机碳剖面分布特征, 其主要表现如下, 消落区水位涨落冲刷的地面凋落物大都沉积在 150~155 m 高程表层, 从而显著( $p < 0.05$ )提高了其表层有机碳质量分数; 160~165 m 高程土体内水肥气热状况有利于植物根系生长, 表层和 10~20 cm 土层中根系分布比例较高, 植物根系干物质积累量显著增加, 从而使表层和 10~20 cm 土层中有机碳质量分数显著高于 20~40 cm 土层; 而 170~175 m 高程淹水期最短, 且受水位变化的影响, 地表几乎无植被生存, 有机碳剖面分布趋于均匀.



方柱上不同小写字母表示差异达 5% 显著水平, 下同.

图 1 消落带土壤有机碳质量分数

## 2.2 不同高程土壤有机碳分布特征

由图 1 可知, 消落带土壤各土层 SOC 含量最高值均出现在 160~165 m 高程, 表层和 10~20 cm 土层 SOC 含量最低值出现在 170~175 m 高程. 150~155 m 高程和 160~165 m 高程仅 10~20 cm 土层 SOC 含量存在显著差异( $p < 0.05$ ), 这与 160~165 m 高程该土层植物根系分布比例较高有关, 且各土层 SOC 含量显著高于 170~175 m 高程和未淹没区; 170~175 m 高程和未淹没区之间仅 0~10 cm 土层 SOC 含量存在显著差异,

170~175 m 高程表层 SOC 含量较未淹没区下降了 65%, 这表明反季节性水位涨落有利于土壤有机碳在低海拔区域(150~155 m, 160~165 m) 累积, 并可有效降低高海拔区域(170~175 m) 的表层有机碳质量分数. 究其原因, 一方面是长期淹水状态下有机物质不易矿化, 易发生累积<sup>[10]</sup>; 另一方面消落带主要优势植物的土壤种子库存量、种子萌发等受水位变动和微生物干扰明显<sup>[11]</sup>, 这必然造成各高程植被数量及优势物种的差异, 有资料显示, 不同高程植被数量和优势物种的差异<sup>[12-13]</sup>及水位涨落对地面凋落物的冲刷<sup>[14]</sup>均会影响到消落带土壤有机碳的输入量. 消落区上层冲刷的地面凋落物大都沉积在 150~155 m 高程, 故其土壤有机碳积累较多; 水库泄水期 160~165 m 高程植被数量较 150~155 m 高程丰富, 因而其 SOC 积累量略高于 150~155 m 高程; 水位变化致使 170~175 m 高程细小颗粒向下层冲击, 土壤肥力退化, 几乎无植被生存, 土壤 SOC 来源减少. 另外, 土壤有机质空间变化同土壤容质量也有较明显的相关性<sup>[15-16]</sup>. 不同高程表层土壤容质量的大小顺序为: 170~175 m(1.74 g/cm<sup>3</sup>), 180~185 m(1.63 g/cm<sup>3</sup>), 150~155 m(1.46 g/cm<sup>3</sup>) 和 160~165 m(1.32 g/cm<sup>3</sup>), 土壤容质量与表层有机碳质量分数呈显著负相关( $r = -0.960$ ,  $p < 0.05$ ), 170~175 m 高程容质量相对较高, 土壤渗透性较差<sup>[17]</sup>, 更不利于植被生长及有机质的积累. 此外, 消落区不同高程土壤有机碳质量分数的差异性也与土壤原有的利用类型<sup>[18]</sup>和人为干扰程度有关.

消落带土壤中 SOC 含量变化范围均较大(表 1). 各高程 0~10 cm 和 10~20 cm 土层中 SOC 的变异系数均小于未淹没区, 而 20~40 cm 土层中仅 160~165 m 高程的 SOC 变异系数小于未淹没区; 160~165 m 高程 0~10 cm 和 20~40 cm 土层中 SOC 的变异系数小于其他高程; 10~20 cm 土层中, 低海拔区域(150~155 m, 160~165 m) 的 SOC 变异系数明显小于 170~175 m 高程, 仅为 6.88%, 9.68%, 由此可见 160~165 m 高程 0~40 cm 土体中有机碳空间变异性最小, 150~155 m 高程 10~20 cm 土层中不同采样点有机碳质量分数之间的差异最小, 其土壤有机碳在空间上的分布较为均匀. 前人研究也表明, 消落带土壤由于在水中长时间的浸泡, 使得 SOC 含量在空间上的分布变得均匀<sup>[19-20]</sup>.

表 1 消落带土壤有机碳变异系数(CV)

高 程 /m	CV/%		
	0~10/cm	10~20/cm	20~40/cm
150~155	21.26	6.88	21.92
160~165	7.62	9.68	15.50
170~175	12.73	20.29	24.70
180~185	32.97	33.33	21.66

### 2.3 土壤碳氮比

土壤碳氮比(C/N)指示土壤生物分解过程中碳和氮转化作用的密切关系. 消落带研究区土壤 C/N 相对较低, 集中在 4~15 范围内, 这表明土壤有机质腐殖化程度高, 有机氮容易矿化<sup>[10]</sup>; 150~155 m 和 160~165 m 高程各土层 C/N 之间无明显( $p < 0.05$ )差异, 但要显著高于 170~175 m 高程和未淹没区, 170~175 m 高程和未淹没区各土层 C/N 之间差异不显著(图 2), 由此说明消落带低海拔区域经过特有的干湿交替后土壤碳的累积速度比氮更快一些. 从表 2 可知, 各高程 10~20 cm 和 20~40 cm 土层中碳氮比的变异系数均小于未淹没区, 而 0~10 cm 土层中仅 160~165 m 高程的碳氮比变异系数小于未淹没区. 160~165 m 高程 0~10 cm 和 20~40 cm 土层中碳氮比的变异系数明显小于其他高程, 分别为 9.72%, 6.89%; 10~20 cm 土层中, 150~155 m 和 160~165 m 高程的碳氮比变异系数小于 170~175 m 高程, 说明 160~165 m 高程 0~40 cm 土体中碳氮关系的空间变异性较小, 150~155 m 高程 10~20 cm 土层中不同采样点 C/N 之间的差异最小, 其碳氮关系在空间分布上较为均匀, 由此也表明 C/N 的变化主要有 SOC 含量决定.

表 2 消落带土壤 C/N 变异系数

高 程 /m	CV/%		
	0~10/cm	10~20/cm	20~40/cm
150~155	22.93	4.18	19.16
160~165	9.72	8.66	6.89
170~175	29.50	11.77	16.10
180~185	21.16	39.66	22.42

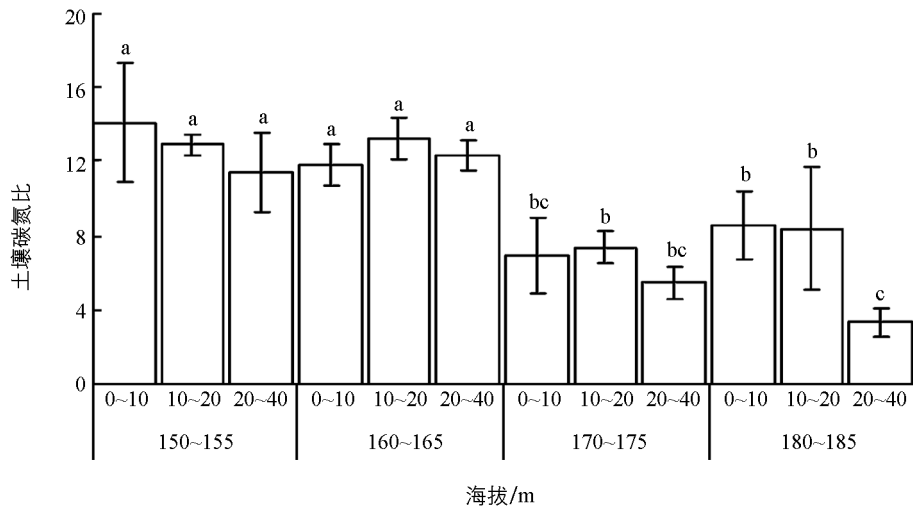


图 2 消落带土壤碳氮比

### 3 结 论

1) 三峡水库反季节性水位涨落显著影响消落区各高程土壤有机碳的剖面分布特征, 同时该水位变化也有利于土壤有机碳在低海拔区域(150~155 m, 160~165 m)累积, 并可有效( $p < 0.05$ )降低高海拔区域(170~175 m)的表层有机碳质量分数。

2) 消落带研究区土壤 C/N 相对较低, 集中在 4~15 范围内, 低海拔区域经过特有的干湿交替后土壤碳的累积速度比氮更快一些。

3) 150~155 m 高程 10~20 cm 土层中有机碳及碳氮关系在空间上的分布较为均匀, 160~165 m 高程 0~40 cm 土体中有机碳及碳氮比空间变异性最小。

#### 参考文献:

- [1] 王学雷, 蔡述明, 任宪友, 等. 三峡库区湿地生态建设与保护利用 [J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(2): 149-152.
- [2] BARTLETT K B, HARRIS R C. Review and assessment of methane emissions from wetlands [J]. Chemosphere, 1993, 26(14): 261-320.
- [3] 宋长春. 湿地生态系统碳循环研究进展 [J]. 地理科学, 2003, 23(5): 621-628.
- [4] BESASIE N J, BUCKLEY M E. Carbon Sequestration Potential at Central Wisconsin Wetland Reserve Program Sites [J]. Soil Science Society of America Journal, 2012, 76(5): 1904-1910.
- [5] LAL R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security [J]. Science, 2004, 304(5677): 1623-1627.
- [6] CHEN Y T, BORKEN W, STANGE C F, et al. Dynamics of Nitrogen and Carbon Mineralization in a Fen Soil Following Water Table Fluctuations [J]. Wetland, 2012, 32(3): 579-587.
- [7] MITSCH W J, GOSELINK J G. Wetlands [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc. 2000: 89-125.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版, 2000.
- [9] 依艳丽. 土壤物理研究法 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2009.
- [10] 白军红, 邓伟, 张玉霞, 等. 洪泛区天然湿地土壤有机质及氮素空间分布特征 [J]. 环境科学, 2002, 23(2): 77-81.
- [11] 陈忠礼, 袁兴中, 刘红, 等. 消落带湿地土壤苍耳种子库研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2011, 36(2): 147-152.
- [12] 白宝伟, 王海洋, 李先源, 等. 三峡库区淹没区与自然消落区现存植被的比较 [J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 27(5): 684-691.
- [13] 王业春, 雷波, 张晟. 三峡库区消落带不同水位高程植被和土壤特征差异 [J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 206-212.
- [14] 周莉, 李保国, 周广胜, 等. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 99-105.
- [15] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响 [J]. 生态学报, 2006, 26(11):

3685—3695.

- [16] 郑志伟, 邹曦, 安然, 等. 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, 2011, 32(4): 1—6.
- [17] 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.
- [18] 耿彩英, 高明, 陈晨. 土壤有机碳对土地利用方式变化的响应 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(11): 125—130.
- [19] 胡刚, 王里奥, 袁辉, 等. 三峡库区消落带下部区域土壤氮磷释放规律模拟实验研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 780—784.
- [20] 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.

## Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon in a Typical Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area

WANG Lian-ge, GAO Yan-hong, DING Chang-huan,  
CHEN Xu-gen, CI En, XIE De-ti

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;
2. Chongqing Engineering Research Center for Agricultural Non-Point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400716, China

**Abstract:** We investigated the distribution characteristics of soil organic carbon (SOC) in a typical water-level-fluctuating zone (WLFZ) of the Three Gorges Reservoir area during the low level runtime by field sampling and laboratory analysis. A total of 192 soil samples in the study area were collected from the 0—40 cm layer in the profile at the elevations of 150—155 m, 160—165 m, 170—175 m and 180—185 m, respectively, and the elevation of 180—185 m served as the control area. The results showed that the anti-seasonal water level fluctuation significantly influenced the distribution of SOC in the profile in the WLFZ, and was advantageous to the accumulation of SOC at the low-elevation areas (150—155 m and 160—165 m). It significantly ( $p < 0.05$ ) reduced the content of SOC in surface soil at the high-elevation area (170—175 m). Soil C/N was relatively low in the study area, mainly concentrated within 4—15. At the low-elevation sites, affected by the water level fluctuation, the accumulation rate of soil carbon was greater than that of soil nitrogen. The results also indicated that the soil organic carbon and C/N tended to be more uniform in the 10—20 cm layer at the elevation of 150—155 m, and the spatial variability of soil organic carbon and C/N in the 0—40 cm layer at the elevation of 160—165 m was minimal, as compared with other elevations.

**Key words:** Three Gorges Reservoir area; water-level-fluctuating zone; soil organic carbon

责任编辑 陈绍兰

