

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.05.018

三峡水库不同高程消落区 水分变化对土壤有机碳的影响^①

樊晶晶¹, 慈恩^{1,2}, 连茂山¹, 李兰婷¹, 谢德体^{1,2}

1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 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 400715

摘要: 以位于重庆市涪陵区珍溪镇的三峡典型消落区为研究区, 紫色土和水稻土为供试培养土壤, 在研究区内按 7 个高程(152, 157, 162, 167, 172, 177 和 182 m)实地布设培养试验; 同时, 多点、分层采集研究区内不同高程段(150~155, 155~160, 160~165, 165~170, 170~175, 175~180 和 180~185 m)的剖面(0~40 cm)土样, 探讨三峡水库不同高程消落区水分变化对土壤有机碳(SOC)的影响。结果表明, 两种供试土壤在研究区不同高程点位实地培养 1 a 后, 其 SOC 质量分数相较于培养前均有所降低; 其中, 水稻土在 152 m 处的减少量最大, 其显著大于非消落区的 177 m 和 182 m 高程; 紫色土在 152 m 和 157 m 高程处的总有机碳变化量(ΔT_{SOC})均显著大于 172, 177 和 182 m 高程($p < 0.05$), 但两高程间无明显差异, 由此可见, 与 ≥ 177 m 的高程段相比, 消落区低高程段(152 m)的水分环境更有利于培养土壤 SOC 分解; 此外, 实地培养 1 a 后, 在 152 m 高程下两种培养土壤的老碳损失量(ΔL_{SOC})均较大, 水稻土和紫色土在该高程下的老碳损失比例分别为 14.33% 和 40.22%, 且两种土壤的 ΔL_{SOC} 与 ΔT_{SOC} 间均存在明显的正相关。这表明, 老碳损失是导致消落区 152 m 高程段培养 SOC 损失量较高的主要原因。另外, 结合不同高程原位土壤有机碳分布特征, 得出三峡水库消落区在 160~165 m 高程段的碳汇效应最强。

关键词: 土壤有机碳; 高程; 碳损失量; 消落区

中图分类号: X825; X833

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)05-0120-08

土壤有机碳(Soil organic carbon, SOC)是土壤中动植物等残体通过微生物分解作用输入土壤的一种有机物质, 是土壤中较活跃的组分, 其在保持土壤质量、提高土壤生产力和全球碳循环中具有十分重要的作用^[1-3]。目前, 国内外开展了大量有关 SOC 质量分数变化的研究^[4-8], 且研究者已证明水热因子是影响 SOC 变化的一个主要因素^[9-12]。升温会增强微生物活性, 促进 SOC 分解^[13-14]; 张敬智等^[15]研究指出, 淹水培养会加快 SOC 的矿化分解, 丁长欢等^[16]室内模拟不同水分梯度对三峡水库消落带紫色土 SOC 矿化分解的研究也认为高水分条件下更有利于 SOC 的矿化分解。但上述研究结果均是基于室内培养试验得出, 而自然状态下, 水分的不稳定性对 SOC 动态变化的影响是否具有类似的规律则有待进一步研究。

自三峡水库实行“蓄清排浑”的运行方式后, 夏季低水位运行, 冬季高水位运行, 进而在水库两岸形成了与天然河流涨落季节相反、涨落幅度达 30 m 的水库消落区。三峡水库消落区是我国重要的内陆湿

① 收稿日期: 2017-12-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0800600); 国家科技基础性工作专项项目(2014FY110200A13); 国家自然科学基金项目(41301245); 西南大学本科科技创新基金项目(20162402009)。

作者简介: 樊晶晶(1991-), 女, 硕士, 主要从事土壤碳循环研究。

通信作者: 慈恩, 副研究员。

地资源,在全球碳储存和调控中扮演着重要的角色^[17-19].同建库前的冬季低水位相比,冬季高水位运行导致三峡水库消落区土壤的水分环境发生了极大的改变,这些改变都会影响到三峡水库消落区 SOC 的动态过程,目前关于水热因素对三峡库区 SOC 变化的研究主要集中于室内培养^[16],而对于自然状态培养下 SOC 动态变化鲜有报道.为此,本研究以三峡水库消落区为试验区,紫色土和水稻土为供试培养土壤,通过三峡水库消落区不同高程的实地培养试验,探讨在三峡水库不同高程消落区的水分变化影响下,培养土壤的 SOC 质量分数变化特征;并结合原位土壤的 SOC 分布特点,揭示三峡水库现行水位调度方式对土壤有机碳动态变化的影响效应,以期对三峡水库消落区碳库调控、水环境保护以及水库调度等提供科学参考和理论依据.

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

本研究以重庆市涪陵区珍溪镇的王家沟(107°31'E, 29°53'N)为研究区,其位于长江北岸,地势从北到南逐渐降低并延伸至长江,属亚热带湿润季风气候,无霜期长,年平均气温 17~18℃,最低气温为-2.5℃,年积温 5 300~5 600℃,年降雨量 1 000~1 100 mm.三峡水库蓄水前消落区有大量的旱地和水田分布,土壤类型主要有紫色土和水稻土等,目前 175 m 高程均已禁耕,但在消落区出露季节仍存在部分耕种.根据三峡工程水位调度方案,水库运行后在每年 6—9 月将水库水位降至 145 m;从 10 月开始蓄水至高水位 175 m,并保持至 11—12 月;1—4 月为供水期,水位逐步降至 156 m,5 月底降至防洪水位 145 m.

1.2 研究方法

1.2.1 试验布设

通过对研究区水分环境的实地调查和相关资料分析,结合三峡水库水位调度方式,于 2015 年 9 月初低水位(145 m)运行时按 7 个高程(152,157,162,167,172,177,182 m)在研究区进行实地培养试验点位的均匀布设.具体设置:采用 400 目尼龙网制作土袋进行实地培养试验,以排除土壤动物、根系和植物凋落物等对培养土壤有机碳变化的影响.利用研究区采集的表层土样(水稻土和紫色土),风干后磨碎过 2 mm 筛,混匀装入尼龙网袋,并记录装土质量,用封条封紧袋口;为了解三峡水库消落区不同高程水热环境对培养土壤 SOC 的现实影响,本研究将培养土壤放入马弗炉中,在 650℃下煅烧 5 h 去除有机质,装袋作为培养对照.装袋后,按布设的培养点位将培养土袋均放入各高程进行实地表层培养,各培养土样在每个高程培养点布置 6 个培养土袋(3 个供试培养土壤土袋和 3 个对照土袋).布设后,在培养点旁设置标志物,同时用 GPS 定位仪记录其坐标和海拔,便于后期采样时寻找培养点.培养土壤的基本理化性质如表 1 所示.

表 1 培养土壤基本理化性质

培养土壤	pH 值	SOC/(g·kg ⁻¹)	DOC/(mg·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)
水稻土	8.02	10.67	176.78	1.10
紫色土	5.82	12.05	178.47	1.17
煅烧水稻土	8.44	1.41	—	0.09
煅烧紫色土	6.08	1.21	—	0.07

1.2.2 样品采集

于 2016 年 9 月初,采集 7 个高程(152,157,162,167,172,177,182 m)的培养样品,将采集后的土袋放入加冰袋的保鲜箱中保存,带回实验室.同时,按高程 150~155,155~160,160~165,165~170,170~175,175~180,180~185 m 进行原位土壤剖面样品的采集,用土钻采取深度为 0~40 cm 剖面土样,采样层次为:0~20,20~40 cm.各高程按随机布点取样法,分别采集 3 个剖面,共采集 21 个剖面、42 个土样.所

有采集样品按研究指标需要进行样品的处理与测定。

1.2.3 测定项目与方法

各测定项目均依照参考文献[18]进行, 具体方法为: 土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾容量法测定; 全氮采用半微量开氏法测定; 土壤 pH 值采用酸度计法测定(水:土=2.5:1); 土壤可溶性碳(dissolved organic carbon, DOC)采用 TOC 仪(multi N/C 2100, Germany)测定。

1.2.4 数据处理与统计方法

1) 培养土壤总有机碳变化量(ΔT_{SOC})

根据培养前后土壤 SOC 质量分数变化, 计算三峡水库消落区各高程水热环境影响下, 培养土壤总有机碳的变化量(ΔT_{SOC}), 计算公式如下:

$$\Delta T_{\text{SOC}} = H_{\text{SOC}} - Q_{\text{SOC}} \quad (1)$$

式中: ΔT_{SOC} 为培养土壤总有机碳的变化量(g/kg); $Q_{\text{SOC}}, H_{\text{SOC}}$ 分别为培养前后培养土壤的有机碳质量分数(g/kg)。

2) 培养土壤老碳损失量(ΔL_{SOC})

为分析消落区各高程水热环境对培养土壤老碳(即土壤原有碳)的实际影响, 需要扣除培养对照新碳(即新摄入外源碳)的净累积量, 计算公式如下:

$$\Delta L_{\text{SOC}} = -[(H_{\text{SOC}} - Q_{\text{SOC}}) - (DSH_{\text{SOC}} - DSQ_{\text{SOC}})] \quad (2)$$

于是有:

$$\Delta L_{\text{SOC}} = -(\Delta T_{\text{SOC}} - \Delta N_{\text{SOC}})$$

式中: ΔL_{SOC} 为培养土壤老碳的损失量(g/kg); $\Delta T_{\text{SOC}} = H_{\text{SOC}} - Q_{\text{SOC}}$ 为供试土壤的总有机碳变化量(g/kg); $\Delta N_{\text{SOC}} = DSH_{\text{SOC}} - DSQ_{\text{SOC}}$ 为培养对照新碳的净累积量, 其中, $DSQ_{\text{SOC}}, DSH_{\text{SOC}}$ 分别为培养前后煅烧土壤有机碳质量分数(g/kg)。

3) 老碳损失比例

$$\text{老碳损失比例} = -(\Delta L_{\text{SOC}} / \text{SOC}_{\text{质}}) \quad (3)$$

式中: ΔL_{SOC} 为培养土壤老碳的损失量(g/kg); $\text{SOC}_{\text{质}}$ 为培养前供试土壤的有机碳质量分数。

4) 数据统计

采用 Origin 8.5 和 Excel 2010 制作图表, 利用 SPSS 16.0 进行数据统计与分析, 其中, 采用 LSD 法进行多重比较($p < 0.05$)。

2 结 果

2.1 不同高程下培养土壤总有机碳的变化特征

由公式(1)计算可得, 水稻土和紫色土的总有机碳变化量(ΔT_{SOC})均为负值。这表明, 与培养前两种土壤的 SOC 初始值相比, 在研究区不同高程环境下实地培养 1 a 后, 其 SOC 质量分数均降低。为方便比较, 计算结果用绝对值表示(图 1)。由图 1 可见, 两种培养土壤 ΔT_{SOC} 的绝对值均表现为低高程较高, 高高程较低的趋势。其中, 水稻土总有机碳减少量的最大值出现在 152 m 高程, 且高程 152 m 处的减少量分别是非消落区 177 m 和 182 m 高程的 3.7 倍和 5.7 倍; 但消落区各高程间水稻土的 ΔT_{SOC} 差异无统计学意义。另外, 各高程培养下, 紫色土 ΔT_{SOC} 的变化趋势与水稻土基本一致, 其在 152 m 和 157 m 高程处的 ΔT_{SOC} 显著大于 172, 177 和 182 m 高程($p < 0.05$), 但两高程间的 ΔT_{SOC} 无明显差异。由此可见, 与 ≥ 177 m 的高程段相比, 消落区低高程段(152 m)的水分环境更有利于 SOC 的分解, 且紫色土 SOC 对高程的变化更为敏感。

2.2 不同高程下培养土壤老碳的损失量

由图 2 可知, 研究区各高程下, 两种培养土壤老碳损失量(ΔL_{SOC})的变化趋势与 ΔT_{SOC} 大致相同。两种

培养土壤 ΔL_{SOC} 的最大值均出现在消落区 152 m 高程, 其中, 水稻土在 152 m 高程处的 ΔL_{SOC} 显著大于除 167 m 高程外的其余高程 ($p < 0.05$), 老碳损失比例为 14.33% (表 2); 紫色土在 152 m 高程的 ΔL_{SOC} 与其余高程的差异均有统计学意义 ($p < 0.05$), 且该高程的老碳损失比例达 44% 以上 (表 2). 这说明在长期淹水高程, 老碳更易被分解损失, 而紫色土在 152 m 高程的老碳损失比例是水稻土的 3 倍以上, 其可能主要由于紫色土原始有机碳 (SOC) 质量分数和可溶性有机碳 (DOC) 质量分数均大于水稻土. 此外, 除 157 m 高程外, 水稻土在消落区 152, 162, 167, 172 m 高程培养下的 ΔL_{SOC} 均大于 ΔT_{SOC} ; 而紫色土在整个消落区 (152~172 m) 各高程培养下的 ΔL_{SOC} 均比 ΔT_{SOC} 大; 且两培养土壤在 152 m 高程的 ΔL_{SOC} 显著大于该高程的 ΔT_{SOC} ($p < 0.05$). 这表明在消落区低高程下 (152 m), 培养土壤有机碳的损失大于积累, 且该高程 SOC 损失量较大的原因也主要归结于老碳损失.

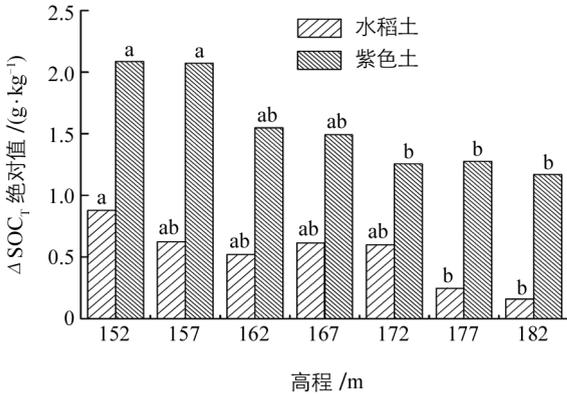


图 1 不同高程下培养土壤总有机碳变化量 (ΔT_{SOC}) 的绝对值
方柱上不同小写字母表示同一类型土壤各高程间差异有统计学意义 ($p < 0.05$). 下同.

图 1 不同高程下培养土壤总有机碳变化量 (ΔT_{SOC}) 的绝对值

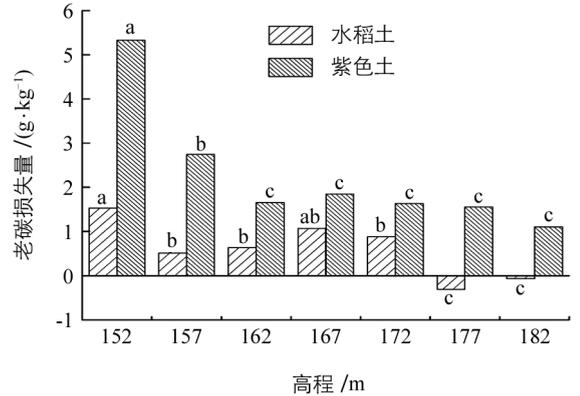


图 2 不同高程下培养土壤的老碳损失量

表 2 不同高程下培养土壤的老碳损失比例

高程 / m	老碳损失比例 / %	
	水稻土	紫色土
152	14.33	44.22
157	4.78	22.78
162	5.95	13.73
167	10.01	15.37
172	8.25	13.56
177	2.89	12.90
182	0.65	9.16

2.3 不同高程原位土壤有机碳的分布特征

从表 3 可知, 消落区 (150~175 m) 不同高程段原位表层的 SOC 质量分数 ($\text{SOC}_{0\sim 20}$) 介于 20.70~26.40 g/kg 之间, 其从高到低顺序依次为: 160~165, 150~155, 170~175, 155~160, 165~170 m, 其中, 160~165 m 高程段的 $\text{SOC}_{0\sim 20}$ 明显大于 165~170 m, 而与其余高程段差异无统计学意义; 结合消落区培养土壤的老碳损失量分析, 在 162 m 高程培养下两种土壤的老碳损失量均较低, 这表明, 消落区 160~165 m 高程段土壤的碳汇效应较强; 另外, 非消落区 175~180 m 高程段的 $\text{SOC}_{0\sim 20}$ 是 180~185 m 高程段的 1.5 倍, 两者差异有统计学意义, 且非消落区 175~180 m 高程段的 $\text{SOC}_{0\sim 20}$ 也明显高于消落区的所有高程段. 此外, 在消落区由于受水分季节性涨落的影响, 该区域主要的植被为低矮灌草、木, 根系主要分布于 0~20 cm 的表层, 植物根系干物质积累增加, 因此随土层的加深, 各高程段 SOC 质量分数显著

降低; 20~40 cm 土层的 SOC 质量分数在各高程的高低顺序与表层存在差异. 另外, SOC_{20~40} 的最大值在高程 175~180 m, 其显著高于 160~165, 170~175 和 180~185 m.

表 3 不同高程段原位 SOC 分布特征

高程/m	SOC _{0~20} /(g·kg ⁻¹)	SOC _{20~40} /(g·kg ⁻¹)
150~155	25.57±0.71b	8.65±1.61ab
155~160	23.41±2.46bc	7.86±0.83ab
160~165	26.34±1.13b	5.36±2.66b
165~170	20.87±1.59c	8.37±1.57ab
170~175	24.27±2.12b	6.57±1.66b
175~180	29.74±3.26a	10.25±1.10a
180~185	20.07±0.80c	6.82±0.36b

注: SOC_{0~20}, SOC_{20~40} 分别表示 0~20, 20~40 cm 土层的有机碳质量分数; 各列数值后不同小写字母表示同列数值之间差异有统计学意义($p < 0.05$).

3 讨 论

3.1 消落区不同高程水分变化对培养土壤 SOC 的影响

两种类型培养土壤在研究区不同高程下实地培养 1 a 后, 其各高程培养下的 SOC 质量分数较培养前 SOC 初始值均有所降低. 即 ΔT_{SOC} 均为负值, 这说明培养水稻土和紫色土的总 SOC 变化形式为分解损失, 其损失量可能部分来源于老碳的分解, 还有部分来源于新累积碳的分解. 本培养试验中采用的 400 目尼龙网制作的培养土袋仅允许水分的自由进出, 植物凋落物、根系和土壤动物等则无法进入, 因此培养土壤有机物质的输入和输出主要受限于培养土袋内的微生物数量和其分解能力, 以及培养土袋周围水热环境的变化情况; 此外, 整个培养期内, 152 m 高程淹水时间最长(7 个月以上), 随高程的升高淹水时间逐渐缩短, 172 m 高程仅淹水 3 个月左右, 而 177 m 和 182 m 为非淹水区; 同时, 大量研究^[20-22]也表明, 水热环境变化会显著影响 SOC 的分解矿化. 故在没有大量外源新鲜碳(植物根系、凋落物等)补充的情况下, 各高程培养土壤有机碳呈不同比例的分解损失; 且与 ≥ 177 m 的高程段相比, 消落区低高程段(152 m)的水分环境更有利于 SOC 的分解, 这与部分室内培养研究得出的长期淹水会促进 SOC 的矿化分解的结果一致^[15-16]. 淹水条件可显著提高 SOC 的溶出并导致土壤团聚体的裂解、分散, 使被团聚体包裹、微生物难以利用的有机物质溶解释放出来, 进而增加可溶性有机碳量和提高微生物对 SOC 的可利用性^[23]. 李忠佩等^[24]对可溶性有机碳的质量分数动态及其与土壤有机碳矿化的关系研究发现, 长期淹水可显著提高土壤可溶性有机碳量从而导致其 SOC 总矿化量高于其他水分处理. 同时, 黄哲等^[25]研究也表明, 消落带高程越低淹水时间越长, 越容易造成土壤碳和可溶性碳的损失. 另外, 本研究还发现, 各高程培养下两种培养土壤的 ΔL_{SOC} 变化趋势与 ΔT_{SOC} 大致相同, 且培养水稻土的 ΔL_{SOC} 与 ΔT_{SOC} 的正相关极有统计学意义($p < 0.001$); 培养紫色土的 ΔL_{SOC} 与 ΔT_{SOC} 的相关性也有统计学意义($p < 0.05$)(表 4); 另外, 消落区内, 培养土壤在 152 m 高程的 ΔL_{SOC} 均显著大于该高程的 ΔT_{SOC} . 这也进一步证明, 老碳损失量是导致 152 m 高程段培养土壤 SOC 损失量较高的主要原因.

表 4 老碳损失量(ΔL_{SOC})与总有机碳变化量(ΔT_{SOC})的相关性分析

土壤类型	r	p
水稻土	0.939**	0.002
紫色土	0.834*	0.02

由图 1 结果可看出各高程培养下紫色土的 SOC 损失量均大于水稻土, 且紫色土的 SOC 变化相较于水稻土对高程变化更为敏感, 该现象可能主要由两种培养土壤的基本理化性质差异所导致. 紫色土初始 SOC 和可溶性有机碳(DOC)质量分数均较高, 供微生物利用的营养物质充足, 在没有大量外源新碳补充的情况

下,培养土袋内的微生物主要分解利用老碳;同时有研究证明原土 DOC 质量分数较高的土壤,淹水后更易于提高可溶性有机碳的质量分数^[24],从而被分解损失.李顺姬等^[26]研究也指出,不同类型土壤的 SOC 变化量与其 SOC 和全氮的正相关有统计学意义,而与 pH 值负相关有统计学意义.

3.2 消落区不同高程水分变化对原位 SOC 的影响

在整个消落区,160~165 m 高程段的原位表层土壤有机碳(SOC_{0~20})质量分数最大,且显著大于 165~170 m($p < 0.05$).这与王莲阁等^[27]对三峡库区典型消落带土壤有机碳分布特征的研究结果一致.160~165 m 高程段的 SOC_{0~20} 质量分数可能与该高程段植物数量和表层植物根系的分布比例有关,植被凋落物及其地下部分根系的分泌物和细根周转产生的碎屑是土壤有机碳的主要来源之一^[9].刘维曄等^[28]对三峡水库消落区不同海拔的植物群落多样性差异研究表明,消落区中部(156~165 m)植物丰度显著大于下部(145~156 m),其植物群落为狗牙根—水花生—苍耳—狼把草的共优群落;在对研究区实地观测也得,三峡水库低水位运行时,消落区 160~165 m 高程段生长着大量苍耳—狼把草.蓄水后,这些植物会被淹没,并在相对较长的淹水环境下腐殖化,故消落区该高程段表层土壤有机质的积累量大于其余高程;此外,培养试验结果表明,在 160~165 m 高程段内两种培养土壤的 ΔL_{SOC} 均较低,结合分析可得三峡水库消落区在 160~165 m 高程段的碳汇效应较强.150~155 m 高程段虽受到淹水胁迫最强,但其在出露期间也有耐水淹的低矮灌草在此生长^[27],且消落区中上部冲刷的凋落物大部分均沉积在该高程,所以其 SOC_{0~20} 仅次于 160~165 m 高程段.另外,消落区 165~170 m 高程段的 SOC_{0~20} 显著低于其余高程段,其可能由于该高程段落干期仍被耕种,受人为扰动所致.非消落区 175~180 m 高程段的 SOC_{0~20} 显著高于 180~185 m 高程段,且明显高于消落区的所有高程段($p < 0.05$).该现象可能由以下原因所导致:其一,三峡水库蓄水至最高水位 175 m 后,保持该水位约 2 个月左右,然而 175 m 高程上部的邻近区域水分适中,环境稳定;175~180 m 高程段全年出露,适宜的水热环境致使该高程植物物种较丰富、群落覆盖度大^[28].且有资料显示,不同高程植被数量及凋落物的腐殖化均会影响到消落区有机质的输入量^[29];其二,培养试验结果表明,淹水也将显著影响 SOC 的分解损失.因此非消落区 175~180 m 高程段 SOC_{0~20} 显著高于受淹水胁迫的高程.

4 结 论

1) 两种类型土壤(水稻土和紫色土)在三峡水库消落区不同高程下实地培养 1 a 后,其 SOC 质量分数相较于培养前均有所降低;与 ≥ 177 m 的非消落区高程段相比,消落区低高程段(152 m)的水分环境更有利于 SOC 的分解,且老碳损失是导致 152 m 消落区高程段培养土壤 SOC 损失量较高的主要原因;相较于水稻土,紫色土的 SOC 分解对消落区高程变化更为敏感.

2) 三峡水库消落区不同高程原位表层 SOC 质量分数从大到小的分布特征为:160~165,150~155,170~175,155~160,165~170 m,结合各高程下培养土壤老碳损失量的变化分析可得,三峡水库消落区在 160~165 m 高程段的碳汇效应最强.

参考文献:

- [1] MEINSHAUSEN M, MEINSHAUSEN N, HARE W, et al. Greenhouse-Gas Emission Targets for Limiting Global Warming to 2 °C [J]. Nature, 2009, 458(7242): 1158-1162.
- [2] LAL R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security [J]. Science, 2004, 304(5677): 1623-1627.
- [3] 曹宏杰,王立民,罗春雨,等.三江平原地区土壤有机碳及其组分的空间分布特征 [J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1111-1118.
- [4] 马维伟,王 辉,李 广,等.甘南尕斯湖湿地不同植被退化阶段土壤有机碳含量及动态 [J]. 水土保持学报, 2015,

- 29(5): 254-259.
- [5] 罗怀良,王慧萍,陈浩. 川中丘陵地区近25年来农田土壤有机碳密度变化——以四川省盐亭县为例[J]. 山地学报, 2010, 28(2): 212-217.
- [6] STERGIADI M, VAN DER PERK M, DE NIJS T C M, et al. Effects of Climate Change and Land Management on Soil Organic Carbon Dynamics and Carbon Leaching in Northwestern Europe [J]. Biogeosciences, 2016, 13(5): 1519-1536.
- [7] 王玉竹,肖和艾,周萍,等. 江汉平原农田土壤有机碳分布与变化特点:以潜江市为例[J]. 环境科学, 2015, 36(9): 3422-3428.
- [8] 朱凌宇,潘剑君,张威,祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 668-675.
- [9] 郝瑞军,李忠佩,车玉萍. 水分状况对水稻土有机碳矿化动态的影响[J]. 土壤, 2006, 38(6): 750-754.
- [10] DAVIDSON E A, TRUMBORE S E, AMUNDSON R. Soil Warming and Organic Carbon Content [J]. Nature, 2000, 408(6814): 789-790.
- [11] 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.
- [12] 王苑,宋新山,王君,等. 干湿交替对土壤碳库和有机碳矿化的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 342-350.
- [13] FANG C, MONCRIEFF J B. The Dependence of Soil CO₂ Efflux on Temperature [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(2): 155-165.
- [14] 胡亚林,汪思龙,颜绍旭. 影响土壤微生物活性与群落结构因素研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 170-176.
- [15] 张敬智,马超,郜红建. 淹水和好气条件下东北稻田黑土有机碳矿化和微生物群落演变规律[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(6): 1160-1166.
- [16] 丁长欢,王莲阁,唐江,等. 水热变化对三峡水库消落带紫色土有机碳矿化的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(7): 2763-2769.
- [17] 宋长春. 湿地生态系统碳循环研究进展[J]. 地理科学, 2003, 23(5): 622-628.
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000.
- [19] 张立冬,李新,秦洪文,等. 三峡水库消落区周期性水淹对狗牙根非结构性碳水化合物积累与分配的影响[J]. 三峡生态环境监测, 2018, 3(2): 27-33.
- [20] 王成己,潘根兴,田有国. 保护性耕作下农田表土有机碳含量变化特征分析——基于中国农业生态系统长期试验资料[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2464-2475.
- [21] 王媛华,苏以荣,李杨,等. 水田和旱地土壤有机碳周转对水分的响应[J]. 中国农业科学, 2012, 45(2): 266-274.
- [22] GAO J Q, OUYANG H, LEI G C, et al. Effects of Temperature, Soil Moisture, Soil Type and Their Interactions on Soil Carbon Mineralization in Zoigê Alpine Wetland, Qinghai-Tibet Plateau [J]. Chinese Geographical Science, 2011, 21(1): 27-35.
- [23] 郝瑞军,李忠佩,车玉萍. 好气和淹水处理间苏南水稻土有机碳矿化量差异的变化特征[J]. 中国农业科学, 2010, 43(6): 1164-1172.
- [24] 李忠佩,张桃林,陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 544-552.
- [25] 黄哲,江长胜,雷利国,等. 三峡库区消落带不同淹水期土壤可溶性碳氮的研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(1): 98-106.
- [26] 李顺姬,邱莉萍,张兴昌. 黄土高原土壤有机碳矿化及其与土壤理化性质的关系[J]. 生态学报, 2010, 30(5): 1217-1226.
- [27] 王莲阁,高岩红,丁长欢,等. 三峡库区典型消落带土壤有机碳分布特征[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(3): 120-124.
- [28] 刘维擘,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): 5454-5466.
- [29] 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.

Effects of Water Variation at Different Altitudes in the Hydro-Fluctuating Areas of Three Gorges Reservoir on Soil Organic Carbon

FAN Jing-jing¹, CI En^{1,2}, LIAN Mao-shan¹,
LI Lan-ting¹, XIE De-ti^{1,2}

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Agricultural Non-point Source Pollution Control
in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to investigate the effect of water variation at different altitudes of the hydro-fluctuating areas on soil organic carbon (SOC), the typical hydro-fluctuating area of the Three Gorges Reservoir (TGR) at Zhenxi town in Fuling District of Chongqing was used as the research area, and purple soil and paddy soil were used as the culture soil. An *in situ* culture experiment was carried out at the altitude of 152, 157, 162, 167, 172, 177 and 182 m. Meanwhile, soil samples were collected from the 0-40 cm layer at the altitude of 150-155, 155-160, 160-165, 165-170, 170-175, 175-180 and 180-185 m. The result showed that SOC content decreased after one-year field cultivation. The SOC decrement of paddy soil at the altitude of 152 m was the largest, which was significantly higher than the decrement of paddy soil at the altitude of 177 m or 182 m. The total organic carbon change (ΔT_{SOC}) of purple soil at the altitude of 152 m and 157 m was significantly larger than that at the altitude of 172 m, 177 m and 182 m ($p < 0.05$), but there was no significant difference between the altitude of 152 m and 157 m. Compared with that of the altitude of ≥ 177 m, the water environment of the low altitude (152 m) in the hydro-fluctuating areas was more favorable for the decomposition of soil SOC. In addition, after one-year culture experiment, the old carbon loss (ΔL_{SOC}) of the two soils at the altitude of 152 m was large, the loss ratio of the paddy soil and the purple soil was 14.33% and 40.22%, respectively. Meanwhile there was a significant positive correlation between ΔL_{SOC} and ΔT_{SOC} of the two soils. This indicated that the decrease of ΔL_{SOC} was the primary cause that resulted in the reduction of SOC at the altitude of 152 m. In addition, combined with distribution characteristics of soil organic carbon at different altitudes, the results showed that the carbon sink capacity was highest in the hydro-fluctuating areas of 160-165 m altitude of the TGR.

Key words: soil organic carbon; altitude; carbon loss quantity; hydro-fluctuating area