

水热对三峡水库消落带退耕稻田土壤有机碳矿化的影响^①

唐江¹, 丁长欢¹, 樊晶晶¹, 连茂山¹, 慈恩^{1,2*}, 王子芳¹, 谢德体^{1,2}

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2 重庆市三峡水库农业面源污染控制工程技术研究中心, 重庆 400715)

摘要: 采用模拟培养的方法, 研究了不同水热条件对三峡水库消落带退耕稻田土壤有机碳(SOC)矿化的影响。试验共设 3 个培养温度(10、20 和 30℃)和 4 个水分梯度(40%田间持水量(WHC)、70%WHC、100%WHC 和浅层淹水)。结果表明: 在 66 天培养期内, 各培养温度(10~30℃)下, 70%WHC、100%WHC 和浅层淹水处理之间的 SOC 累积矿化量均无明显差异, 其中 10℃培养时 40%WHC 处理下的累积矿化量要显著低于 70%WHC 和 100%WHC 水分处理 ($P<0.05$), 但与浅层淹水无明显差异, 而 20℃和 30℃培养时 40%WHC 处理下的累积矿化量则要显著低于其他水分处理, 表明相较于 70% WHC 的水分处理, 40%WHC 水分处理会抑制消落带退耕稻田 SOC 矿化, 而高水分(100%WHC 和浅层淹水)对 SOC 矿化则无明显促进和抑制作用。在相同水分条件下, 消落带退耕稻田 SOC 累积矿化量均随培养温度升高而增加。高温下各水分处理之间的温度敏感性无显著差异, 而低温下水分对温度敏感性有显著影响, 低温浅层淹水处理下的 Q_{10} 为 2.33, 显著高于 40%WHC 处理, 与 70%WHC 和 100%WHC 处理之间无明显差异。且随着温度升高, 浅层淹水下消落带退耕稻田 SOC 矿化的温度敏感性显著降低, 而在土壤含水量 $\leq 100\%$ WHC 下则无明显变化。温度和水分均能显著影响 SOC 矿化, 但二者无明显的交互效应。双库一级矿化动力学模型拟合结果表明, 水分和温度通过影响消落带退耕稻田土壤易分解有机碳含量和难分解有机碳的矿化速率, 从而影响 SOC 矿化。

关键词: 土壤有机碳; 矿化; 水分; 温度; 三峡水库

中图分类号: S153.621

土壤有机碳(Soil organic carbon, SOC)的矿化是土壤中重要的生物化学过程, 直接关系到土壤中养分元素的释放与供应、温室气体的形成以及土壤质量的保持等^[1]。温度、土壤水分、SOC 含量以及土壤性质等是影响 SOC 矿化的重要因素^[2-3]。大多数研究认为温度升高有利于增强微生物活性, 提高 SOC 的矿化速率^[4], 从而促进 SOC 矿化^[2]。土壤水分状况通过改变土壤微生物的活性、数量和土壤养分有效性^[5], 进而影响 SOC 矿化速率, 尤其是在稻田生态系统中, 水分状况是影响 SOC 矿化的重要因子^[6]。近年来, 国内外学者对土壤水分含量与 SOC 矿化之间的关系已经开展了大量的研究。通常认为, 淹水条件能抑制水稻土 SOC 的矿化^[7-8]; 然而, 黄东迈等^[9]运用 ¹⁴C 示踪技术对比研究了旱地和水田 SOC 分解速率, 表明水田(淹水条件)SOC 的分解速率高于旱地土壤。另外, 关于水热对 SOC 矿化是否存在明显的交互作用,

也存在争议。王丹等^[10]研究表明温度和水分对 SOC 矿化存在显著的交互效应, 而杨继松等^[11]通过对湿地 SOC 矿化研究表明温度水分二者间无明显的交互效应。

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 km²的反季节生态区域——消落带。退耕稻田土壤是三峡水库的土壤类型之一, 其面积 59.16 km², 占消落带 16.95%。目前, 对 SOC 矿化影响因子的研究多集中在单因子的影响, 而对水热因子交互作用影响的研究较少, 尤其是水热因子对三峡水库消落带 SOC 矿化的研究则鲜有报道。因此本文选取三峡水库消落带退耕稻田土壤为研究对象, 研究了不同水热条件下三峡水库消落带退耕稻田 SOC 矿化特征的动态变化, 以探究水热条件对退耕稻田土壤有机碳矿化的影响, 以期全面

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301245)、国家科技基础性工作专项(2014FY110200A13)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050506)和中央高校基本科研业务费专项(XDJK2013B043)资助。

* 通讯作者(cien777@163.com)

作者简介: 唐江(1992—), 女, 重庆梁平人, 硕士研究生, 主要从事土壤碳循环研究。E-mail: tangjiang253767@163.com

认识三峡水库消落带土壤碳循环过程提供基础资料和科学参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

2013年6月在三峡水库消落带典型分布区——开县渠口镇铺溪村(108°49'E, 31°13'N, 海拔165 m)采集退耕稻田土壤作为供试土壤, 样地冬季淹水、夏季退水, 其历史利用方式为水田, 2003年首次蓄水, 现已抛荒, 目前以狗牙根、稗子等草本植物为主。在样地内, 沿“S”型路线采集0~10 cm表层土样并混合均匀, 取部分鲜样低温(4℃)保存, 剩余混合土样经风干, 磨细, 过筛后, 用于矿化培养试验和土壤基本理化性质测定。供试土壤基本理化性质如下: SOC 14.67 g/kg, 全氮 1.33 g/kg, 全磷 1.38 g/kg, 全钾 42.11 g/kg, 微生物生物量碳 109.38 mg/kg, pH 7.88, 黏粒(<2 μm) 237.6 g/kg。

1.2 培养试验

称取20 g过2 mm筛的供试土壤, 均匀平铺于300 ml培养瓶底部, 用中间有一小孔的橡胶塞塞住瓶口, 瓶塞小孔处涂上硅胶防止漏气。调节土壤含水量至60%田间持水量(WHC), 置于25℃恒温培养箱中预培养5天。预培养结束后, 利用称重法补充水分。试验共设置4个水分梯度: 40%WHC、70%WHC、100%WHC和浅层淹水(水土比2:1), 分别记为M1、M2、M3和M4; 每个水分梯度均设置10℃、20℃和30℃这3个培养温度, 分别记为T1、T2和T3, 共12个处理, 每个处理4次重复。按上述4个水分梯度设置土壤含水量, 分别放入10℃、20℃和30℃的恒温培养箱中避光密封培养66天, 并设置无土空白对照。定期测定培养瓶重量, 添加适量去离子水以保证瓶内水分恒定, 分别在培养后第1、2、3、5、7、10、13、17、21、25、29、34、39、44、50、56、66天用注射器从培养瓶的瓶塞小孔处抽取约8 ml气体, 并运用气相色谱仪(Agilent, 7820A)分析CO₂浓度。采集气体后打开培养瓶的瓶塞约20 min, 待培养瓶的内外气体交换充分后, 盖上瓶塞并封闭抽气孔, 并将密封培养瓶放入培养箱继续培养。根据气体产物的释放量, 计算培养期内SOC的日均矿化量和累积矿化量等。

1.3 温度敏感性系数(Q₁₀)

温度敏感系数(Q₁₀)表示温度每增加10℃时SOC矿化速率增加的倍数, 按如下公式计算^[12]:

$$Q_{10} = R_{(t, T+10)} / R_{(t, T)}$$

式中: Q₁₀即温度敏感性系数; R_(t, T+10)、R_(t, T)分别为在培养时间t时温度(T+10)和T的SOC矿化速率。文中Q₁₀(10~20)表示10~20℃区间内SOC矿化的Q₁₀值, Q₁₀(20~30)表示20~30℃区间内SOC矿化的Q₁₀值。

1.4 有机碳矿化动力学模型

本研究选用双库一级动力学模型模拟SOC矿化过程^[13]:

$$C_t = C_0 \times (1 - e^{-kt}) + C_s \times (1 - e^{-ht})$$

式中: C_t为培养时间t(d)时的累积矿化量(mg/kg); C₀、k表示SOC易分解碳库含量(g/kg)及其分解速率常数(d⁻¹); C_s、h表示SOC难分解碳库含量(g/kg)及其分解速率常数(d⁻¹)。

1.5 分析方法

SOC采用重铬酸钾容量法测定; 微生物生物量碳采用氯仿熏蒸浸提法测定^[14]; 土壤pH采用酸度计法测定, 土水比为1:2.5; 全氮采用半微量开氏法测定; 全磷采用硫酸-高氯酸消解, 比色法测定; 全钾采用氢氟酸-高氯酸消解, 火焰光度计测定; 田间持水量采用环刀法测定^[15], 黏粒含量采样吸管法测定。

1.6 数据处理

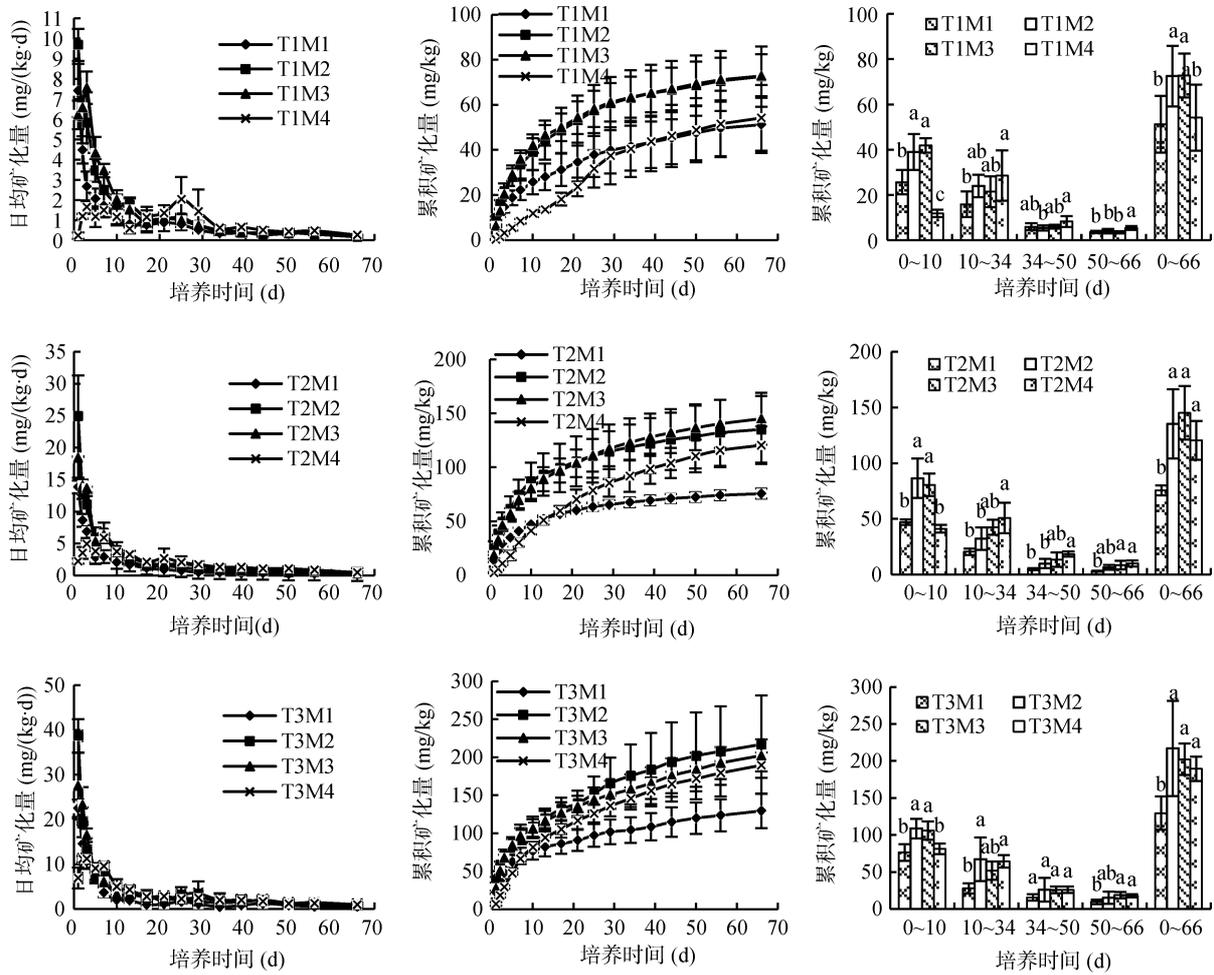
采用Excel 2010和SPSS19.0软件对数据进行处理及作图。其中, 采用双因素方差分析方法检验温度和水分及其交互作用对SOC累积矿化量的影响, 采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较(P<0.05), 运用非线性回归分析进行双库一级动力学模型拟合和参数计算。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳矿化特征

从图1可知, 不同温度和水分条件下的SOC日均矿化量随时间呈基本一致的趋势, 即0~17天, 快速矿化阶段; 17~34天, 矿化速率缓慢下降; 34~66天, 矿化速率趋于稳定或略有波动。同一温度条件下, 除浅层淹水处理外, 其他水分处理的SOC日均矿化量均在第1天达到最大值, 且随着培养时间的延长, 矿化速率在培养前期快速下降、后期逐渐趋于平稳。

同一温度条件下, 各水分处理的退耕稻田SOC累积矿化量存在差异, 各培养温度条件下均表现为40%WHC处理SOC累积矿化量显著低于其他处理, 而其他几个处理间差异未达到显著水平; 在10℃和20℃时100%WHC处理的退耕稻田SOC累积矿化量



(图例中 T1、T2 和 T3 分别代表 10℃、20℃ 和 30℃，M1、M2、M3 和 M4 分别代表 40%WHC、70%WHC、100%WHC 和浅层淹水；不同字母组合表示不同水热处理；柱图上不同小写字母表示在同一培养时段内处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著，下同)

图 1 不同水热条件下消落带退耕稻田土壤有机碳矿化特征

Fig. 1 Organic carbon mineralization characteristics of abandoned paddy soils in hydro-fluctuation belts under different soil moistures and temperatures

最高，30℃时 70%WHC 处理的退耕稻田 SOC 累积矿化量最高。在整个培养期内(0 ~ 66 天)，10℃时 40%WHC 处理的退耕稻田 SOC 累积矿化量显著低于 70%WHC 和 100%WHC 处理($P < 0.05$)，分别降低了 21.30、21.59 mg/kg，与浅层淹水处理差异不显著；而在 20℃和 30℃时 40%WHC 处理的 SOC 累积矿化量分别较 70%WHC、100%WHC 和浅层淹水处理降低了 59.65、69.55、44.96 mg/kg 和 87.47、72.87、60.06 mg/kg。在培养初期(0 ~ 10 天)，10℃时浅层淹水处理的 SOC 累积矿化量为 32.54 mg/kg，明显低于其他水分处理($P < 0.05$)；20℃和 30℃时 0 ~ 10、50 ~ 66 天和 0 ~ 66 天的 SOC 累积矿化量在各水分处理之间的变化规律相似，均表现为随着水分含量的增加，退耕稻田 SOC 累积矿化量呈上升趋势。另外，同一水分条件下，不同培养温度处理间的退耕稻田 SOC 累积矿化量呈相似的变化趋势，在快速矿化阶段(0 ~ 17

天)，退耕稻田 SOC 累积矿化量增加较快，10℃、20℃和 30℃培养温度下的 SOC 累积矿化量分别占总累积矿化量的 33.45% ~ 68.66%、49.44% ~ 75.01%、55.53% ~ 66.54%，其中 20℃和 30℃处理的累积矿化量高于 10℃处理。对 66 天内 SOC 累积矿化量进行方差分析，结果表明，温度和水分均能显著影响 SOC 矿化，但二者无明显的交互效应($P > 0.05$) (表 1)。

表 1 水热对消落带退耕稻田土壤有机碳累积矿化量影响的方差分析

Table 1 Variance analyses of soil moisture and temperature on cumulative amount of organic carbon mineralization of abandoned paddy soil in hydro-fluctuation belt

因子	F	P
温度	90.414	<0.001
水分	12.448	<0.001
温度×水分	1.536	0.194

注：P < 0.05 表示差异显著。

2.2 土壤有机碳矿化的温度敏感性

由图 2 可知，在 10 ~ 20℃ 范围内，各处理的温度敏感性系数 Q_{10} 随水分含量增加呈上升趋势，其中浅层淹水处理处理的 Q_{10} (10~20℃) 为 2.33，显著高于 40%WHC 处理 ($P<0.05$)，与 70%WHC 和 100%WHC 处理之间无明显差异；在 20 ~ 30℃ 培养温度下， Q_{10} (20~30℃) 在各水分处理之间未出现明显差异，可见低温条件下，水分对温度敏感性有显著影响。进一步对比同一水分处理下 Q_{10} (10~20℃) 与 Q_{10} (20~30℃) 可知，浅层淹水处理的 Q_{10} (10~20℃) 要显著高于 Q_{10} (20~30℃) ($P<0.05$)，而当土壤含水量 $\leq 100\%$ 时， Q_{10} (10~20℃) 与 Q_{10} (20~30℃) 则无明显差异。

2.3 土壤有机碳矿化的动力学特征

三峡水库消落带退耕稻田 SOC 矿化符合双库一级动力学方程 ($P<0.01$)。从表 2 可以看出，同一温度条件下，退耕稻田土壤 C_0 的变化趋势为：T1M3>T1M2>T1M4>T1M1、T2M2>T2M3>T2M4>T2M1、T3M4>T3M2>T3M3>T3M1，其中 10℃ 时易分解 SOC 的含量最低，各水分处理的易分解碳库含量的变化范围为 27.01 ~ 50.53 mg/kg，其次为 20℃ 和 30℃ 培养温度处理，分别为 52.19 ~ 91.47 mg/kg 和 72.30 ~ 106.67 mg/kg。

由表 2 可知，易分解 SOC 矿化速率常数 k 最小值出现在 T1M4、T2M4、T3M4 处理上，浅层淹水状

态下 k 较低。各处理的 C_0/C_{66} 值均无显著差异， C_0/C_{66} 值在不同培养温度下的变化范围分别为 51.8% ~ 64.75%、58.04% ~ 69.10%、49.55% ~ 56.12%，表明在 SOC 矿化过程中难分解有机碳同样起着重要作用，SOC 含量与累积矿化量的比值达 30% ~ 40%。10℃ 时各水分处理间的 C_0/SOC 差异均不显著；20℃ 和 30℃ 时，70%WHC 和 100%WHC 处理的 C_0/SOC 无显著差异，但显著高于 40%WHC 和浅层淹水处理 ($P<0.05$)。同一水分条件下， h 随着培养温度的升高呈增加趋势。

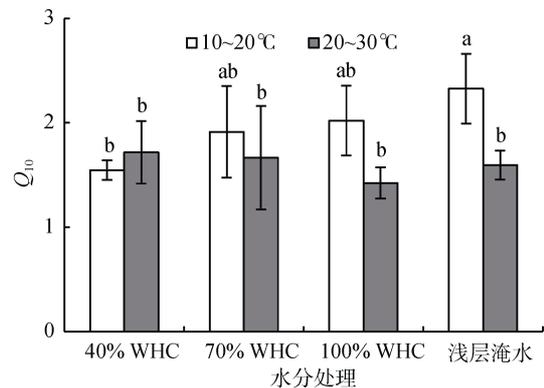


图 2 不同水分条件下消落带退耕稻田土壤有机碳矿化的温度敏感性

Fig. 2 Temperature sensitivities of organic carbon mineralization of abandoned paddy soils in hydro-fluctuation belts under different moisture conditions

表 2 不同水热条件下消落带退耕稻田土壤有机碳矿化的动力学参数

Table 2 Kinetic parameters for organic carbon mineralization of abandoned paddy soils under different soil moistures and temperatures

处理	C_0 (mg/kg)	k (d ⁻¹)	h ($\times 10^{-5}$ d ⁻¹)	C_0/C_{66} (%)	C_0/SOC (‰)
T1M1	27.01 ± 4.03 e	0.225 ± 0.043 bc	2.73 ± 0.28 c	52.27 ± 1.71 a	1.84 ± 0.27 e
T1M2	47.38 ± 6.07 de	0.165 ± 0.019 cd	2.85 ± 0.16 c	64.75 ± 2.96 a	3.23 ± 0.41 de
T1M3	50.53 ± 4.16 de	0.149 ± 0.012 cd	2.48 ± 0.15 c	69.21 ± 1.36 a	3.45 ± 0.28 de
T1M4	28.71 ± 6.25 e	0.030 ± 0.013 e	3.01 ± 0.62 a	51.81 ± 5.06 a	1.96 ± 0.43 e
T2M1	52.19 ± 2.04 de	0.222 ± 0.020 bc	2.73 ± 0.28 c	69.10 ± 2.45 a	3.56 ± 0.14 de
T2M2	91.47 ± 10.41 abc	0.229 ± 0.022 bc	5.01 ± 0.75 bc	67.71 ± 2.29 a	6.24 ± 0.71 abc
T2M3	88.09 ± 7.41 abc	0.194 ± 0.022 cd	6.47 ± 1.32 abc	61.52 ± 5.47 a	6.01 ± 0.50 abc
T2M4	68.50 ± 9.26 cd	0.039 ± 0.012 e	8.01 ± 3.82 abc	58.04 ± 10.09 a	4.67 ± 0.63 cd
T3M1	72.30 ± 5.18 bcd	0.327 ± 0.020 ab	6.31 ± 0.71 abc	56.12 ± 1.39 a	4.93 ± 0.35 bcd
T3M2	101.58 ± 3.59 ab	0.344 ± 0.049 a	13.40 ± 0.86 a	49.55 ± 6.27 a	6.93 ± 0.24 ab
T3M3	100.33 ± 6.36 ab	0.302 ± 0.033 ab	11.27 ± 0.76 ab	49.58 ± 1.44 a	6.84 ± 0.43 ab
T3M4	106.67 ± 14.09 a	0.104 ± 0.014 de	8.94 ± 1.13 abc	55.98 ± 5.98 a	7.27 ± 0.96 a

注：1) C_0 指易分解碳库； k 指易分解碳库矿化速率常数； h 指难分解碳库矿化速率常数； C_{66} 指 66 天内的累积矿化量； C_0/C_{66} 指易分解碳库含量占累积矿化量的比例； C_0/SOC 指易分解碳库含量占总有机碳的比例；2) 表中同列不同小写字母表示处理间差异达显著水平 ($P<0.05$)。

3 讨论

本研究表明，在整个培养期内，各培养温度(10 ~ 30℃)条件下，40%WHC 处理下退耕稻田 SOC 累积

矿化量显著低于 70%WHC 处理，而 100%WHC 和浅层淹水下的 SOC 累积矿化量与 70%WHC 处理则无明显差异，表明相较于 70% WHC 水分处理，40%WHC 处理对退耕稻田 SOC 累积矿化量有抑制作用，这与

前人的结果相同^[10],当水分含量过低时,土壤微生物和酶的活性降低,不利于土壤呼吸,从而抑制 CO₂ 的释放;而 100%WHC 和浅层淹水处理对 SOC 矿化无明显促进和抑制作用,这与前人的部分研究结果不一致。以往的研究认为淹水更利于有机碳的矿化^[16-19]或好气更利于有机碳的矿化^[20-22]。针对本研究结果,笔者认为可能由以下原因导致:其一,消落带退耕稻田土壤长期形成的一个“冬季淹水、高温落水”的环境,而以前的水稻土是呈现冬季落干的现象,这可能导致消落带退耕稻田土壤本身的理化性质有所改变,浅层淹水下土壤孔隙被水填充,提高了 SOC 的溶出量,然而浅层淹水同时改变了土壤原有通气状态,抑制了微生物的活性;其二,可能与淹水深度有关,本试验模拟的是浅层淹水,在浅层淹水下水体中溶氧量较高,且消耗的氧气也能较易获得补充,然而低温下,可能导致该水体条件下微生物群落的碳代谢能力降低^[23-25]。同时,本研究发现双库一级动力学模型中难分解 SOC 矿化速率在高温下淹水与 70%WHC 处理无明显差异,且浅层淹水下的 $Q_{10}(10\sim 20^{\circ}\text{C})$ 要显著高于 $Q_{10}(20\sim 30^{\circ}\text{C})$ ($P<0.05$),而当土壤含水量 $\leq 100\%$ 时, $Q_{10}(10\sim 20^{\circ}\text{C})$ 与 $Q_{10}(20\sim 30^{\circ}\text{C})$ 则无明显差异,这可能是浅层淹水对 SOC 矿化无明显促进和抑制作用的原因之一。由于本试验模拟的是一种持续稳定的水分状态,与实际情况有所差别。在三峡水库消落带受降雨影响频繁,水分含量不断波动,其近水面土壤受干湿交替作用明显,可以提高土壤的矿化作用^[26]。然而在冬季蓄水期,长期淹水使得消落带退耕稻田土壤处于稳定环境中,无干湿交替现象;且本试验中 10°C 培养时,40%WHC 和浅层淹水下的累积矿化量无明显差异,而 20°C 和 30°C 培养时浅层淹水下的累积矿化量明显高于 40%WHC 处理 ($P<0.05$)。由于各培养温度下,40%WHC 处理抑制 SOC 矿化,相较于低温 (10°C) 培养,高温 (30°C) 培养下浅层淹水条件释放的 CO₂ 较多,表明三峡水库冬季蓄水有利于减缓碳释放,其调度是科学的。

本研究表明,各水分下 SOC 的累积矿化量均随培养温度升高而增加,这与前人的研究结果类似^[27],这是由于随着温度升高,土壤微生物的活性增强,从而促进 SOC 矿化^[2]。高温下各水分处理之间的温度敏感性无显著差异,而低温下浅层淹水处理下的 Q_{10} 要显著高于其他水分处理,表明低温下水分对温度敏感性有显著影响。Leifeld 等^[27]认为在土壤水分不受限制的情况下,土壤呼吸的温度敏感性随温度的增加而下降。造成不同结果的原因可能与土壤类型、SOC 含量、易分解有机碳等活性有机碳含量和土壤质地等

因素有关。土壤温度、水分及其交互作用对温度敏感性的影响较为复杂,还有待进一步研究。

4 结论

1) 在整个培养期内(66 天),相较于 70%WHC 的水分处理,40%WHC 水分处理会抑制消落带退耕稻田 SOC 矿化,而高水分(100%WHC 和浅层淹水)对 SOC 矿化则既无明显抑制也无促进作用;在 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 区间内,各水分下消落带退耕稻田 SOC 累积矿化量均随培养温度升高而增加;温度和水分均能显著影响 SOC 矿化,但二者无明显的交互效应。

2) 水分和温度通过影响消落带退耕稻田土壤易分解有机碳含量和难分解有机碳的矿化速率,致使各处理之间 SOC 累积矿化量存在差异。随着温度升高,浅层淹水下消落带退耕稻田 SOC 矿化的温度敏感性显著降低,而在土壤含水量 $\leq 100\%$ WHC 下则无明显变化。

参考文献:

- [1] 刘云凯,张彦东,孙海龙. 干湿交替对东北温带次生林与落叶松人工林土壤有机碳矿化的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 213-222
- [2] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change[J]. Nature, 2006, 440(7081): 165-173
- [3] 米迎宾,杨劲松,姚荣江,等. 不同措施对滨海盐渍土壤呼吸、电导率和有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(3): 612-620
- [4] 唐玉姝,王磊,席雪飞,等. 典型气候/环境因子变化对九段沙湿地碳固定潜力的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(4): 874-880
- [5] Leirós M C, Trasar-Cepeda C, Seoane S, et al. Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(3): 327-335
- [6] 康熙龙,张旭辉,张硕硕,等. 旱地土壤施用生物质炭的后效应——水分条件对土壤有机碳矿化的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1): 1-7
- [7] Devêvre O C, Horváth W R. Decomposition of rice straw and microbial carbon use efficiency under different soil temperatures and moistures[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(32): 1 773-1 785
- [8] 张薇,王子芳,王辉,等. 土壤水分和植物残体对紫色水稻土有机碳矿化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1 013-1 019
- [9] 黄东迈,朱培立,王志明,等. 旱地和水田有机碳分解速率的探讨与质疑[J]. 土壤学报, 1998, 35(4): 482-492
- [10] 王丹,吕瑜良,徐丽,等. 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6 436-6 443
- [11] 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
- [12] Reichstein M, Bednorz F, Broll G, et al. Temperature dependence of carbon mineralization: conclusions from a long-term incubation of subalpine soil samples[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(7): 947–958
- [13] Ouyang X J, Zhou G Y, Huang Z L, et al. Effect of N and P addition on soil organic C potential mineralization in forest soils in South China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(9): 1 082–1 089
- [14] Vance E D, Brooks P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(6): 703–707
- [15] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 118–119
- [16] 李海鹰, 潘剑君, 孙波. 土壤水分对水稻土和菜园土有机碳分解的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(5): 853–856
- [17] 郝瑞军, 李忠佩, 车玉萍, 等. 好气与淹水条件下水稻土各粒级团聚体有机碳矿化量[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(9): 1 944–1 950
- [18] 唐国勇, 董成立, 苏以荣, 等. 含水量对¹⁴C标记秸秆和土壤原有有机碳矿化的影响[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(3): 538–543
- [19] 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
- [20] Sahrawat K L. Organic matter accumulation in submerged soils[J]. *Advances in Agronomy*, 2003, 81(3): 169–201
- [21] 卢锐, 彭小英, 刘以珍, 等. 水热因素对城乡梯度森林土壤碳矿化的影响[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2015, 39(2): 199–204
- [22] 孙中林, 吴金水, 葛体达, 等. 土壤质地和水分对水稻土有机碳矿化的影响[J]. *环境科学*, 2009, 30(1): 214–220
- [23] Yang Q P, Xu M, Liu H S, et al. Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(8): 2 301–2 311
- [24] 曹生奎, 曹广超, 陈克龙, 等. 青海湖高寒湿地土壤有机碳含量变化特征分析[J]. *土壤*, 2013, 45(3): 392–398
- [25] Liu Y P, Tang Y P, Lu Q, et al. Effects of temperature and land use change on soil organic carbon mineralization[J]. *Journal of Anhui Agriculture Sciences*, 2011, 39(7): 3 896–3 927
- [26] 王苑, 宋新山, 王君. 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
- [27] Leifeld J, Fuhrer J. The temperature response of CO₂ production from bulk soils and soil fractions is related to soil organic matter quality[J]. *Biogeochemistry*, 2005, 75(3): 433–453

Effects of Soil Moisture and Temperature on Organic Carbon Mineralization of Abandoned Paddy Soil in the Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir

TANG Jiang¹, DING Changhuan¹, FAN Jingjing¹, LIAN Maoshan¹, CI En^{1,2*}, WANG Zifang¹, XIE Deti^{1,2}

(1 College 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: An incubation experiment was conducted in the laboratory to investigate the effects of soil moisture and temperature on soil organic carbon (SOC) mineralization of abandoned purple paddy soil in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir. Three incubation temperatures (10, 20 and 30°C) and four moisture levels (40% water holding capacity (WHC), 70%WHC, 100%WHC and shallow submerged condition) were designed in the experiment. The results showed that: 1) During the entire incubation period (66 d), there were no significant differences in SOC cumulative mineralization amounts among 70%WHC, 100%WHC and shallow submerged conditions at the three temperatures (10–30°C). At 10°C incubation, SOC cumulative mineralization amount at 40%WHC treatment was significantly lower than those of 70%WHC and 100%WHC treatments ($P<0.05$), but there was no significant difference between shallow submerged and 40%WHC conditions. SOC cumulative mineralization amounts of 40%WHC treatments at 20°C and 30°C incubation were significantly lower than those of other treatments. So, it indicated that compared to 70%WHC treatment, 40% WHC treatment had negative-effects on SOC cumulative mineralization of abandoned paddy soil, but high moisture (100%WHC and shallow submerged condition) had no significant promoting or inhibiting effects to SOC mineralization. 2) Under the same soil moisture condition, SOC cumulative mineralization amounts of abandoned paddy soil in the hydro-fluctuation belt increased as temperature increasing. 3) Under higher temperature, the temperature sensitivity had no significant difference in treatments under different soil moisture conditions, but soil moisture significantly influenced temperature sensitivity under lower temperature. The Q_{10} under shallow submerged condition was 2.33, significantly higher than 40%WHC treatment, but had no significant difference with 70%WHC or 100%WHC treatment. With the increase of temperature, temperature sensitivity was significantly decreased under shallow submerged condition, but it changed inconspicuously when soil moisture content was less than 100%WHC treatment. Both temperature and moisture could affect SOC mineralization significantly, but they had no significant interaction effects. 4) Two-pool first-order model indicated that temperature and soil moisture influenced SOC mineralization through influencing the content of labile SOC fraction and the mineralization rate of recalcitrant SOC fraction.

Key words: Soil organic carbon; Mineralization; Soil moisture; Temperature; Three Gorges Reservoir