

# 紫色丘陵区典型旱地土壤有机碳矿化对突发性变温的响应

樊晶晶<sup>1</sup>, 慈恩<sup>1,2</sup>, 唐江<sup>1</sup>, 丁长欢<sup>1</sup>, 连茂山<sup>1</sup>, 王子芳<sup>1,2</sup>

(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:** 以紫色土为供试土壤, 采用室内培养的方法, 设置恒温 20 °C (HW)、突发性降温 (20 °C → 10 °C) (BW1) 和突发性升温 (20 °C → 30 °C) (BW2) 3 个温度处理, 研究了突发性变温下紫色丘陵区典型旱地土壤 (紫色土) 的有机碳矿化特征。其中温度突变的具体设置为: 待 20 °C 恒温培养至土壤有机碳矿化 (Soil organic carbon, SOC) 速率基本平稳且维持在较低水平时 (第 29 天), 将培养温度分别突降至 10 °C 和突升至 30 °C, 继续培养 47 d。结果表明, 突发性变温对紫色土 SOC 矿化有显著影响 ( $P < 0.05$ ), 在变温当天 (第 30 天), 突发性升温 (BW2) 处理对紫色土 SOC 矿化有明显促进作用, 而突发性降温 (BW1) 处理则会明显削弱紫色土 SOC 矿化, 二者的 SOC 矿化速率分别较恒温 (HW) 处理提高了 225.1%, 降低了 38.5%; 变温后的培养初期 (第 30~44 天), 各温度处理间的 SOC 累积矿化量存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 与 HW 处理相比, BW2 和 BW1 处理中紫色土 SOC 累积矿化量的变幅分别为 +140.5% (升高) 和 -55.3% (降低); 随培养时间的延续, 各处理间的 SOC 累积矿化量未发现明显差异。表明突发性变温对紫色土 SOC 矿化的影响具有一定的时限性, 其影响时长在 2 周左右。结合矿化动力学分析可知, 同恒温相比, 突发性变温主要通过改变土壤易分解有机碳库 ( $C_0$ ) 大小进而影响紫色土 SOC 矿化。

**关键词:** 土壤有机碳; 突发性变温; 紫色土; 矿化动力学

**中图分类号:** S153.6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-2242(2017)01-0286-05

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.01.047

## Soil Organic Carbon Mineralization Response to Sudden Temperature Change in the Typical Dry Land Distributed in the Purple Hilly Region

FAN Jingjing<sup>1</sup>, CI En<sup>1,2</sup>, TANG Jiang<sup>1</sup>, DING Changhuan<sup>1</sup>, LIAN Maoshan<sup>1</sup>, WANG Zifang<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715; 2. Chongqing Engineering Research Center for Agricultural Non-point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400715)

**Abstract:** The purple soil was used as the test soil. An incubation experiment in the laboratory was conducted to explore the effects of sudden temperature change on soil organic carbon mineralization of the typical dry land soil (purple soil) sampled from the purple hilly region. Experiment consisted of three treatments, that was, treatment HW (constant temperature 20 °C), treatment BW1 (a sudden cooling from 20 °C to 10 °C) and treatment BW2 (a sudden warming from 20 °C to 30 °C). In treatment BW1 and treatment BW2, the sudden temperature change both happened when soil organic carbon (SOC) mineralization rate was basically stable and maintained a relatively lower level at the temperature of 20 °C (29<sup>th</sup> day). After the sudden temperature change, treatment BW1, treatment BW2 and treatment HW was cultivated for another 47d. The results showed that sudden temperature change had a notable effect on purple soil SOC mineralization ( $P < 0.05$ ). More specifically, treatment BW2 had significantly promoted soil SOC mineralization, however, treatment BW1 dramatically impaired that. Compared with the constant temperature (HW) treatment, the SOC mineralization rates of the two increased by 225.1% and decreased by 38.5%. There was a significant difference in the amount of SOC accumulated mineralization between each temperature treatment ( $P < 0.05$ ) within initial stage after sudden temperature change (30<sup>th</sup>—44<sup>th</sup> day). And compared to accumulated soil SOC mineralization in treatment HW, that in treatment BW2 and treatment BW1 increased by 40.5% and decreased by 55.3% respectively. But with the extension of the culture time, the amount of SOC accumulation in each treatment did not find a significant difference. Indicated that the effect of sudden temperature

收稿日期: 2016-08-02

资助项目: 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)

第一作者: 樊晶晶 (1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤碳循环研究。E-mail: fjj138643@163.com

通信作者: 慈恩 (1981—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事土壤碳循环研究。E-mail: cien777@163.com

change on purple soil SOC mineralization was time-bounded, which remained around two weeks. Combined with mineralization kinetic data, the results showed that sudden temperature change affected SOC mineralization by changing the labile SOC pool size.

**Keywords:** soil organic carbon; sudden temperature change; purple soil; mineralization kinetic

土壤有机碳 (Soil organic carbon, SOC) 矿化是重要的土壤生物化学过程之一,直接关系到土壤养分释放和大气 CO<sub>2</sub> 的浓度变化<sup>[1-2]</sup>,研究 SOC 矿化的变化规律可为估算土壤中有有机碳储量和评价环境效应提供科学依据。SOC 矿化受诸多因素影响,其中温度是影响 SOC 矿化的关键因素<sup>[3-4]</sup>。目前,国内外开展的有关温度与 SOC 矿化之间关系的研究主要集中在恒温<sup>[4]</sup>,还有少部分研究探讨了周期性和季节性变温对 SOC 矿化的影响<sup>[5-6]</sup>。然而,自然界气温除昼夜、四季的规律性变化外,还存在频繁的、短时间的突变现象,但目前关于突发性变温如何影响 SOC 矿化的研究鲜有报道。另外,大量研究显示,恒温恒水培养下的 SOC 矿化速率随着培养时间的延长会逐渐递减且最终维持在一个较低水平<sup>[4]</sup>,这明显不同于田间状态下 SOC 矿化速率的变化趋势。田间状态下土壤水分的不稳定性(如频繁的干湿交替)可能是导致上述现象的一个主要原因<sup>[7]</sup>。那么,上述现象与田间状态下土壤温度的不稳定性特别是突发性变温是否也有关联?可见,探明突发性变温与 SOC 矿化之间的关系,对于全面认清 SOC 矿化机制、正确构建 SOC 矿化模型具有重要的科学意义。

四川盆地中东部的紫色丘陵区是长江中上游重要的农业耕作区,该区域农田土壤碳库除人为干扰外,还受气温变化影响,且相比于稻田土壤,旱地耕层 SOC 矿化对环境温度变化更为敏感<sup>[8-9]</sup>。该区域季节交替期间气温突变现象发生频繁<sup>[10]</sup>,尤其是春夏交替期间,一天出现两个季节的情况时有发生。然而,气温突变现象是否会显著影响紫色丘陵区旱地耕层的 SOC 矿化?其是否通过改变土壤有机碳组分或影响土壤中的微生物进而影响 SOC 矿化?明确上述问题将有助于明确该区域旱地 SOC 矿化的温度作用机理。为此,本研究以紫色丘陵区典型旱地土壤—紫色土为研究对象,采用室内培养方法,模拟突发性变温环境,探讨在突发性变温条件下紫色土 SOC 矿化特征,为全面认识紫色丘陵区典型旱地耕层 SOC 矿化的温度影响机制、正确评价气温突变的环境效应提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

供试土壤于 2014 年 2 月取自四川盆地中东部的紫色丘陵区典型旱地,该样地位于重庆市北碚区澄江

镇马台村(106°23' E, 29°53' N),海拔 296 m,考虑到土壤类型的代表性,选取紫色丘陵区分布面积最大的旱地紫色土作为供试土壤,成土母质为侏罗系中统沙溪庙组(J<sub>2</sub>s)紫色砂泥岩风化的残坡积物。采样点属亚热带温暖湿润季风气候,年均温 18.6 °C,1 月份气温最低,月均温 4~8 °C,7—8 月份气温最高,月均温 26~29 °C,季节交替期间气温在短时间内的突变现象时有发生,变幅在 10 °C 左右,无霜期 359 d,年降雨量 1 173.6 mm,轮(套)种作物为玉米、红薯、蚕豆等。采样方法为:沿“S”形路线,多点采集样地表层(0—20 cm)土壤并混合均匀,去除土样中活体根系及可见有机物残体,于实验室内自然风干,待磨细、过筛后,用于 SOC 矿化培养试验和基本理化性质的测定。供试土壤基本理化性质为:pH 5.4, SOC 含量 14.05 g/kg,全氮(N)1.42 g/kg,黏粒(<2 μm)含量 18.19%。

### 1.2 培养试验

培养试验设置 3 个培养温度处理:恒温 20 °C 培养(HW)、突发性降温(20 °C→10 °C)培养(BW1)和突发性升温(20 °C→30 °C)培养(BW2)。其中温度突变的具体设置为:待 20 °C 恒温培养至土壤有机碳矿化速率基本平稳且维持在较低水平时(第 29 天),相应培养箱温度在 2 h 内分别突降至 10 °C 和突升至 30 °C,继续培养 47 d。具体操作方法为:称取 20 g 已剔除根系并过 2 mm 筛的供试土样,均匀平铺于 250 ml 培养瓶底部,调节含水量至 60%田间持水量,置于 25 °C 恒温培养箱中开盖预培养 5 d。预培养结束后,利用称重法补充水分,并设置无土空白对照,培养瓶瓶口用中间有一小孔的橡胶塞密封,瓶塞小孔处涂上硅胶防止漏气,放入 20 °C 恒温培养箱避光密闭培养,培养至第 29 天,对应培养箱温度在 2 h 内突降至 10 °C 和突升至 30 °C,继续避光密闭培养 47 d。定期测定培养瓶重量,添加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, 30, 31, 32, 34, 39, 44, 50, 56, 66, 76 天用注射器从培养瓶的瓶塞小孔处抽取约 9 ml 气体,并运用气相色谱仪(Agilent 7820A)分析 CO<sub>2</sub> 浓度,每个处理重复 4 次。每次采集气样后,密封小孔,根据所测定的 CO<sub>2</sub> 浓度,计算培养期内 SOC 矿化速率和累积矿化量。同时,在第 1, 5, 29, 30, 32, 34, 44, 66 天测定培养土壤的微生物量碳(Microbial biomass carbon, MBC)含量,每个处理重复 3 次。

### 1.3 测定项目及方法

各测定项目均依照参考文献[11]进行,具体方法为:土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾容量法测定;土壤 pH 采用酸度计法测定(水:土=2.5:1);全氮采用半微量开氏法测定;黏粒含量采用吸管法测定;土壤微生物量碳(MBC)采用氯仿熏蒸浸提法测定。

### 1.4 矿化动力学模型

选用双库一级矿化动力学模型拟合供试土壤的 SOC 矿化过程<sup>[6,9]</sup>,拟合模型的具体公式为:

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

式中: $C_t$  为培养  $t$ (d) 时的累积矿化量(mg C/kg); $C_0$  为土壤中易分解有机碳库含量(mg C/kg); $T_c$  为土壤中总有机碳含量(mg C/kg);( $T_c - C_0$ ) 为土壤中难分解有机碳库含量(mg C/kg); $k$ 、 $h$  分别为易分解碳和难分解碳的矿化速率常数( $d^{-1}$ )。

### 1.5 数据处理

采用 Excel 2010 制图,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( $P < 0.05$ ),运用非线性回归进行矿化动力学模型拟合和参数计算。

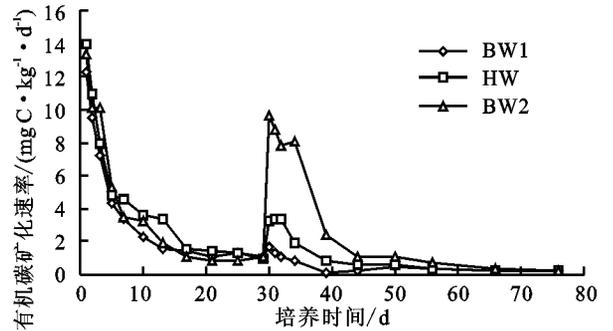
## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机碳矿化速率和累积矿化量

从图 1 可知,在第 1~29 天的恒温培养期内,供试土壤的 SOC 矿化率先呈急剧下降趋势,随后渐趋平稳,保持在  $0.9 \text{ (mg C)/(kg} \cdot \text{d)}$  左右;待 BW1 和 BW2 的培养温度分别突降和突升  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  后,与恒温处理(HW)相比,BW1 和 BW2 处理的 SOC 矿化速率在变温当天(第 30 天)均发生显著变化,其中,BW1 的 SOC 矿化速率明显下降了  $38.5\%$ ,而 BW2 则显著上升了  $225.1\%$ ( $P < 0.05$ );在培养第 30~44 天期间,2 个温度突变处理(BW1 和 BW2)和恒温处理(HW)之间的 SOC 矿化速率一直存在显著差异( $P < 0.05$ );随着培养时间的延续,在培养第 45~76 天期间,上述 3 个培养处理间的 SOC 矿化速率则未发现显著差异。另外,在培养第 30~34 天期间,恒温处理(HW)的 SOC 矿化速率有所提升(图 1),究其原因,可能是该阶段采样测定密集、开盖通气频繁,使得培养系统内氧气补充迅速,增强了其土壤微生物群落的总体代谢能力,进而出现上述现象;温度突变处理也在相同操作下测定,但由于 BW1 和 BW2 处理对 SOC 矿化速率影响的变幅更大,因此该操作并不影响各温度处理间的相对差异。

从表 1 可知,在培养温度突降和突升  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  后,第 30~76 天培养期内,各温度处理的 SOC 累积矿化量高低顺序依次为  $\text{BW2} > \text{HW} > \text{BW1}$ 。其中,在第 30~44 天培养期间,BW1、HW 和 BW2 处理间的 SOC 累积矿化量达显著差异( $P < 0.05$ ),与 HW 处

理相比,BW2 和 BW1 处理的 SOC 累积矿化量变幅分别为  $+140.5\%$ (升高)和  $-55.3\%$ (降低);随着培养时间的延续,BW2 处理的 SOC 累积矿化量虽高于 HW 和 BW1 处理,但未发现明显差异。此外,不同温度处理在第 30~44 天期间的 SOC 累积矿化量占温度突变后整个培养期(第 30~76 天)SOC 累积矿化量的变化范围为  $48.1\% \sim 74.2\%$ ,可见突发性变温对 SOC 矿化的影响主要在变温初期。结合 SOC 矿化速率分析可知,培养温度突降和突升  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  对供试土壤的 SOC 矿化具有显著影响( $P < 0.05$ ),其影响时长在 2 周左右。



注:图中 BW1、HW、BW2 分别表示突发性降温( $20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 10 \text{ }^\circ\text{C}$ )、恒温( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )、突发性升温( $20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 30 \text{ }^\circ\text{C}$ )。下同。

图 1 不同温度处理中供试土壤 SOC 矿化速率动态

表 1 不同温度处理中供试土壤 SOC 累积矿化量动态

处理	SOC 累积矿化量/(mg C · kg <sup>-1</sup> )			
	第 1~29 天	第 30~44 天	第 45~56 天	第 57~76 天
BW1	75.31±13.18a	7.92±0.36c	4.80±0.43a	4.08±2.37a
HW	73.61±8.71a	17.73±0.09b	5.28±0.21a	3.97±0.43a
BW2	68.53±12.93a	42.63±0.29a	9.79±0.53a	5.31±0.71a

注:各列数值后不同小写字母表示同列数值之间差异达显著水平( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.2 土壤微生物量碳

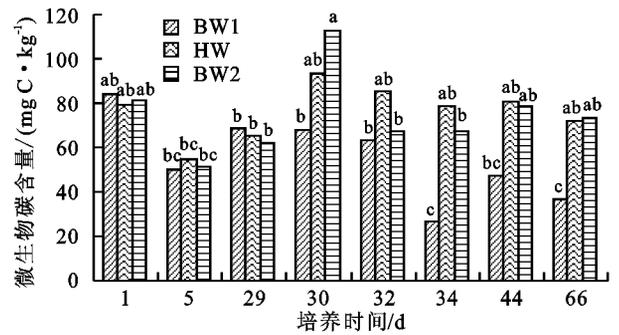
由图 2 可知,在培养温度突变当天(第 30 天),与恒温(HW)处理相比,突发性降温(BW1)处理的土壤微生物量碳(MBC)降低了  $26.9\%$ ,而突发性升温(BW2)处理则升高了  $20.8\%$ ,但未出现显著差异。在第 30~76 天培养期内,BW1 处理的 MBC 在不同测定时间点均低于 HW,但仅在第 34 天和第 66 天达显著水平( $P < 0.05$ );而 BW2 与 HW 一直未表现出明显差异,说明 MBC 含量不能有效的反映恒温和突发性变温间的 SOC 矿化差异。

### 2.3 土壤有机碳矿化动力学特征

由表 2 可见,在第 30~76 天培养期间,不同温度处理中供试土壤的易分解有机碳库( $C_0$ )大小依次为: $\text{BW2} > \text{HW} > \text{BW1}$ ,这与供试土壤 SOC 累积矿化量的变化规律一致。与恒温(HW)处理相比,培养温度突降  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ (BW1)的  $C_0$  显著减小了  $71.7\%$ ,而培养温度突升  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ (BW2)的  $C_0$  明显增大了  $180.4\%$ ( $P < 0.05$ )。BW1 处理的易分解有机碳矿化速率常

数( $k$ )明显高于 BW2 和 HW 处理。 $C_0/C_{30-76}$  是易分解有机碳含量占第 30~76 天累积矿化量的比值,由表 2 可知,BW2 处理中的  $C_0/C_{30-76}$  达 70% 以上,分别较 HW 和 BW1 处理显著提高了 16.18%,45.11% ( $P < 0.05$ ),可见温度变化对 SOC 矿化过程中的难分解有机碳有不同的作用,其中温度突升处理有利于难分解有机碳矿化。进一步对比难分解有机碳矿化速率常数( $h$ )发现,相比于 HW 处理,BW2 和 BW1 处理的  $h$  值有所提高,但两个温度突变处理与恒温处理之间的  $h$  均无显著差异。 $C_0/SOC$  值的大小能反映 SOC 矿化能力<sup>[13]</sup>,由表 2 可知,BW2 处理的 SOC 矿化能力明显高

于 HW,而 BW1 处理明显低于 HW ( $P < 0.05$ )。



注:图中不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

图 2 培养期内供试土壤的微生物量碳变化

表 2 突发性变温后(第 30~76 天)供试土壤有机碳矿化的动力学参数

处理	$C_0 /$ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$k$	$C_0 / C_{30-76} /$ %	$h /$ ( $\times 10^{-5}$ )	$C_0 / \text{SOC} /$ %	$R^2$
BW1	4.22 ± 0.40c	0.62 ± 0.26a	26.21 ± 0.09c	2.10 ± 0.45a	0.30 ± 0.40c	0.98**
HW	14.88 ± 0.08b	0.22 ± 0.06b	55.14 ± 0.01b	2.04 ± 0.06a	1.07 ± 0.08b	0.99**
BW2	41.73 ± 0.37a	0.22 ± 0.35b	71.32 ± 0.04a	2.71 ± 0.17a	2.99 ± 0.37a	0.99**

注: $C_0$  为土壤中易分解有机碳库含量; $k$ 、 $h$  为易分解有机碳和难分解有机碳矿化速率常数(即易分解有机碳和难分解有机碳的相对矿化速率); $C_0/C_{30-76}$  为易分解有机碳占第 30~76 天累积矿化量的比例; $C_0/SOC$  为易分解有机碳占总有机碳的比例; \*\* 表示极显著相关( $P < 0.01$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 突发性变温对 SOC 矿化特征的影响

培养温度突降和突升 10 °C 后,相较于恒温(HW)处理,突发性变温(BW1 和 BW2)处理对供试土壤 SOC 矿化有显著影响,在第 30~44 天培养期间,BW1 处理的 SOC 累积矿化量显著低于 HW 处理,而 BW2 处理则明显高于 HW 处理 ( $P < 0.05$ ),且 BW2 对 SOC 累积矿化量的影响效应(增/减幅度)大于 BW1,这与郭剑芬等<sup>[12]</sup>的研究结果类似。究其原因,一方面可能由于温度变化使土壤的一些性质(比如微生物、pH、土壤结构等)发生改变<sup>[13-14]</sup>,从而使土壤中的有机碳更易被分解;另一方面,土壤有机碳矿化与土壤中微生物活动密切相关,而土壤微生物活性对土壤中的水分和温度变化较为敏感<sup>[15]</sup>。王丹等<sup>[4]</sup>研究了水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响,表明 SOC 矿化对高温较敏感,当温度从低温升至高温时将显著影响土壤有机碳矿化。在培养中后期(第 45~76 天),供试土壤的 SOC 累积矿化量的增量在 3 种温度模式下差异不大,主要由于本培养试验是一个半封闭系统,没有外源新碳(如新鲜植物残体等)的进入,且水分保持基本恒定,只有温度一个变量,在保持培养温度不变的情况下,系统内的环境将基本稳定,以致培养后期供试土壤的 SOC 累积矿化量的增量基本相同,这表明如果长期保持温度,水分等其他影响 SOC 矿化的因素不变,土壤有机碳可能将长期处于较稳定状态。针对本研究结果,笔者认为突发

性变温对紫色土 SOC 矿化的影响具有时限性。

在第 30~76 天培养期内,BW1 处理中不同时间点测定的 MBC 均低于 HW 处理,且在第 34 天和第 66 天达显著差异 ( $P < 0.05$ );而 BW2 与 HW 处理之间一直无明显变化。分析可知,除 HW 处理的 MBC 与供试土壤 SOC 累积矿化量显著负相关 ( $r = -0.944, P < 0.05$ ) 外,BW1 与 BW2 处理的 MBC 与供试土壤 SOC 矿化速率和累积矿化量均无明显相关性;另外,土壤微生物量碳含量也不能有效的反映突发性变温与恒温之间的 SOC 矿化差异,表明突发性变温不能通过显著改变土壤微生物数量来有效影响 SOC 矿化。这与前人周期性变温的研究结果一致<sup>[6,16]</sup>。除土壤微生物数量外,土壤微生物群落活性也是影响 SOC 矿化的重要因素之一。微生物活性可反映土壤微生物新陈代谢的能力和强度,直接反映土壤微生物对土壤碳的分解能力<sup>[6]</sup>,同时有资料显示<sup>[15,17]</sup>,温度升高,可增强土壤微生物活性,从而促进 SOC 矿化;而温度降低时,土壤微生物活性受到限制。结合本研究结果分析可知,微生物群落活性变化是影响供试土壤 SOC 矿化的关键因素。

#### 3.2 突发性变温对 SOC 矿化动力学特征的影响

本研究中双库一级矿化动力学模型对恒温培养、培养温度突降和突升 10 °C 环境下的 SOC 矿化动态有较好的拟合效果。与恒温处理相比,温度突降和突升 10 °C 分别可显著减小和增大土壤中易分解有机碳库 ( $P < 0.05$ ),这与 Ci 等<sup>[6]</sup>研究结果相似,同时有资料显示<sup>[8]</sup>,土壤中易分解有机碳库与不同温度条件下微生

物利用 SOC 的能力显著相关,温度上升可提高土壤微生物活性进而增强其代谢 SOC 的能力,温度降低则反之<sup>[14]</sup>。另外,相较于 HW 处理,培养温度突降 10 ℃可显著提高易分解有机碳的相对矿化速率( $k$ ) ( $P < 0.05$ ),而培养温度突升 10 ℃的  $k$  值无明显变化,这与葛序娟等<sup>[18]</sup>研究培养温度对水稻土有机碳矿化参数影响的结果不同,在其研究中,供试水稻土的易分解有机碳矿化速率常数随培养温度的升高而显著降低。本研究认为,出现上述差异的原因可能与供试材料的相关属性、CO<sub>2</sub> 释放量的测定方法以及培养试验设置等因素有关。相较于 HW 和 BW2 处理,虽然 BW1 处理中的  $k$  值较大,但其易分解有机碳库较小,因此在该处理下易分解有机碳的矿化速率仍低于其他两个处理。此外,3 种温度处理间的难分解有机碳相对矿化速率( $h$ ) 无显著差异,在易分解有机碳被分解完后,突发性变温不能通过显著改变微生物代谢难分解有机碳的速率来影响 SOC 矿化。该现象也解释了在本试验培养后期不同温度处理下供试土壤的 SOC 累积矿化量的增量基本相同这一观点。

## 4 结论

(1) 在培养条件下,突发性变温对紫色土 SOC 矿化具有显著影响( $P < 0.05$ ),其中,突发性升温(20 ℃ → 30 ℃)对紫色土 SOC 矿化有显著促进作用,而突发性降温(20 ℃ → 10 ℃)则会明显削弱紫色土 SOC 矿化;且温度突降和突升 10 ℃对紫色土 SOC 矿化的影响具有一定的时限性。

(2) 结合双库一级矿化动力学模型对培养温度突降和突升 10 ℃环境下的 SOC 矿化动态拟合结果可得,相较于恒温处理,突发性升温显著增大了易分解有机碳库,而突发性降温下易分解有机碳库明显减小( $P < 0.05$ );另外,突发性升温对易分解有机碳和难分解有机碳的矿化速率常数均无明显影响,而突发性降温虽可显著提高易分解有机碳的相对矿化速率( $k$ ),但由于易分解有机碳库较小,其矿化速率仍较小。可见突发性变温主要通过改变供试土壤的易分解有机碳库大小,进而影响 SOC 矿化。

### 参考文献:

[1] Stockmann U, Padarian J, Mcbratney A, et al. Global soil organic carbon assessment [J]. *Global Food Security*, 2015, 6(10): 9-16.

[2] 姜勇, 庄秋丽, 梁文举. 农田生态系统土壤有机碳库及其影响因子[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(2): 278-285.

[3] 邬建红, 潘剑君, 葛序娟, 等. 不同土地利用方式下土壤

有机碳矿化及其温度敏感性[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(3): 130-135.

[4] 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): 6436-6443.

[5] 郭冬楠, 臧淑英, 赵光影, 等. 冻融作用对小兴安岭湿地土壤溶解性有机碳和氮素矿化的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(5): 260-265.

[6] Ci E, Alkaiji M M, Wang L G, et al. Soil organic carbon mineralization as affected by cyclical temperature fluctuations in a karst region of Southwestern China [J]. *Pedosphere*, 2015, 25(4): 512-523.

[7] 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.

[8] Zhu B, Cheng W. Constant and diurnally-varying temperature regimes lead to different temperature sensitivities of soil organic carbon decomposition [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(4): 866-869.

[9] Reichstein M, Bednorz F, Broll G, et al. Temperature dependence of carbon mineralisation: conclusions from a long-term incubation of subalpine soil samples [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(7): 947-958.

[10] 尹文有, 田文涛, 琚建华. 西南地区不同地形台阶气温时空变化特征[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6(6): 429-435.

[11] 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.

[12] 郭剑芬, 陈玲, 林雪婷, 等. 温度对武夷山不同海拔土壤有机碳矿化的影响[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2012, 7(3): 1-7.

[13] 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.

[14] 刘少冲, 段文标, 钟春艳, 等. 阔叶红松林不同大小林隙土壤温度、水分、养分及微生物动态变化[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(5): 79-89.

[15] Liu Y, Tang Y, Lu Q, et al. Effects of temperature and soil moisture on wetland soil organic carbon mineralization [J]. *Journal of Anhui Agriculture*, 2011, 39(7): 3896-3927.

[16] Kemmitt S J, Lanyon C V, Waite I S, et al. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass—a new perspective [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(1): 61-73.

[17] 杨凯, 朱教君, 张金鑫, 等. 不同林龄落叶松人工林土壤微生物量碳氮的季节变化[J]. *生态学报*, 2009, 29(10): 5500-5507.

[18] 葛序娟, 潘剑君, 邬建红, 等. 培养温度对水稻土有机碳矿化参数的影响研究[J]. *土壤通报*, 2015, 46(3): 562-569.