

冻融次数和含水量对棕壤总有机碳和可溶性有机碳的影响

王 展¹, 张玉龙^{1*}, 张 良², 范庆锋¹, 刘 畅¹

(1.沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866; 2.沈阳农业大学生物科学技术学院, 沈阳 110866)

摘 要:以东北地区棕壤为供试土样,采用人工控温,室内培养的方法,使土样经受不同冻融处理,研究了冻融次数和含水量对棕壤有机碳的影响。研究表明,冻融次数和含水量对棕壤总有机碳的影响不显著,冻融次数对可溶性有机碳的影响达到显著水平,随着冻融次数的增加土壤可溶性有机碳含量呈先降低后升高的趋势,在试验设计范围内表现为冻融降低了棕壤可溶性有机碳的含量,可溶性有机碳占总有机碳的比例随冻融作用的变化趋势与可溶性有机碳基本一致。土壤可溶性有机碳对冻融处理的反映较为敏感,可以作为反映不同冻融处理对土壤有机质影响的一个较好的指标。

关键词:冻融;含水量;棕壤;总有机碳;可溶性有机碳

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)10-1972-04

Effect of Freeze/Thawing Frequency and Soil Water Content on Total Organic Carbon and Dissolved Organic Carbon of Burozem

WANG Zhan¹, ZHANG Yu-long^{1*}, ZHANG Liang², FAN Qing-feng¹, LIU Chang¹

(1.College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2.College of Biological Science and Technology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: This paper studied the effect of freeze/thawing frequency and water content on organic carbon of burozem by simulating the temperature conditions. Burozem was collected from the China northeast as the experiment soil. The results showed that the effect of freeze/thawing frequency and water content on total organic carbon(TOC) was not significant. The effect of freeze/thawing frequency on dissolved organic carbon(DOC) was significant. The DOC content decreased firstly and then increased with the increasing frequency of freeze/thawing cycles. The freeze/thawing decreased the DOC content within this experiment range. The ratio change of DOC/TOC with the freeze/thawing cycles was same to the DOC. DOC was a good indicator of the quality of soil organic carbon under different freeze/thawing treatments for its stronger sensitivity to the freeze/thawing cycles.

Keywords: freeze/thawing; water content; burozem; total organic carbon; dissolved organic carbon

土壤有机碳库是陆地生态系统中最大而且周转时间最长的碳库^[1],其微小变化将会显著改变大气中温室气体的浓度^[2]。土壤有机碳含量又是反映土壤质量高低的重要因子,直接影响土壤的物理、化学和生物学性质以及生产力的形成。土壤有机碳的周转是一个复杂的过程,这个过程受气候条件、土壤性质、土地

利用方式、耕作制度等自然和人为因素的影响。关于土壤有机碳周转的影响因素已有较多的研究^[3-5],但就冻融交替对土壤有机碳周转影响的研究还较少^[6-9]。冻融是北方地区常见的自然现象,由于气温在 0℃附近上下波动,使土壤出现冻结和融化状况,对土壤的理化性质和生物学性质产生直接或间接的影响。东北地区每年经历大约 6 个月的冻融交替,这个过程必然对土壤有机碳的周转产生影响。本文以东北地区地带性土壤类型——棕壤为研究对象,使不同含水量的土壤经历不同冻融次数,测定和分析土壤总有机碳和可溶性有机碳的变化,研究结果将对深入了解该地区土

收稿日期:2012-05-24

基金项目:国家重点基础研究发展(973)计划(No.2004CB418504)

作者简介:王 展(1979—),女,辽宁大连人,博士研究生,讲师,主要从事土壤改良方面的研究。E-mail:zhanwanglv1979@163.com

* 通信作者:张玉龙 E-mail:ylzsau@163.com

壤碳库变化和有机碳循环机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试棕壤采自沈阳农业大学试验田 ($41^{\circ}82'N$, $123^{\circ}57'E$)。土壤母质类型为黄土状母质,粘土矿物主要以伊利石为主,其次是蒙脱石。取样深度 0~20 cm,样品自然风干,去除植物残体、砾石,过 2 mm 筛,备用。该土壤样品的 pH 为 5.70(水土比为 2.5:1),有机质含量为 $13.24\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,总有机碳含量为 $7.68\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,容重为 $1.36\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,阳离子交换量为 $14.10\text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 冻融试验方法

称取过 2 mm 筛的土样 500 g,盛装于塑料自封袋内,向塑料袋内加入去离子水使土壤的含水量分别为田间持水量的 10%、40%、70%、100%、120%,记为 W1、W2、W3、W4、W5。充分混匀土水,使土壤含水量均匀。在室温下陈化培养 24 h,然后将不同含水量的土壤放在超低温冰箱内冷冻培养 (-30°C) 24 h,再放入生化培养箱内融化培养 (20°C) 24 h,此为一个冻融周期。本试验共设定 5 个冻融次数梯度,分别为 0、1、3、6、9 次,记为 F0、F1、F3、F6、F9。试验设计为 2 因素、5 水平、全排列,共 25 个处理,每个处理重复 3 次。

1.3 测定项目与分析方法

1.3.1 土壤总有机碳

经冻融培养的土样,风干,过 0.25 mm 筛,用元素分析仪 (Elementar Vario EL III, 德国产) 测定。

1.3.2 可溶性有机碳

经冻融培养的土样,风干,过 2 mm 筛,称取 10 g 于塑料瓶内,按水土比 2:1 添加蒸馏水,在 25°C 下恒温振荡 30 min 后,用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜抽滤,滤液直接在 TOC-1020A 有机碳分析仪 (Elementar, 德国产) 上测定。

2 结果与讨论

2.1 冻融次数和含水量对棕壤总有机碳的影响

图 1 为土壤总有机碳含量随冻融作用的变化。可以看出供试棕壤总有机碳含量在 $7.255\sim 8.240\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $7.624\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,含量较小。不同含水量棕壤经冻融处理后总有机碳基本没有产生变化,始终保持比较稳定的含量。而且随着冻融次数的增加,不同含水量处理间的总有机碳含量更趋于一致。方差分析结果表明,土壤含水量、冻融次数及二者的相互作

用对棕壤总有机碳的影响均未达到显著水平 ($P>0.05$)。可能是由于供试棕壤中有机碳含量已经处于一个相对稳定的状态,土壤有机碳中稳定态有机碳所占比重较大,短期的外力作用不会引起土壤有机碳较大的变化。魏丽红^[6]、刘淑霞等^[7]以黑土为研究对象也得出了相同的结论。

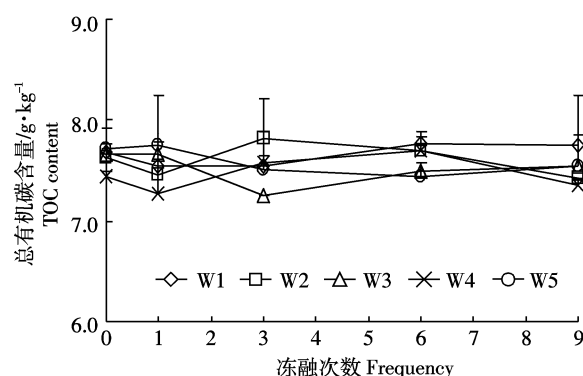


图1 土壤总有机碳含量随冻融作用的变化

Figure 1 The change of the soil TOC content with the freeze/thawing

2.2 冻融次数和含水量对棕壤可溶性有机碳的影响

土壤可溶性有机碳 (DOC) 通常是指能通过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 微孔滤膜的水溶性有机物质。水溶性有机质是矿质土壤的活性有机质,土壤中水溶性有机质的含量很少,但作为环境污染物移动的载体因子,对土壤的 C、N、P、S 等养分和重金属元素的迁移、转化起着重要的作用。

图 2 给出了不同处理下土壤可溶性有机碳含量随冻融作用的变化。可以看出土壤 DOC 的含量范围为 $0.110\sim 0.225\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均值为 $0.163\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,随着冻融次数的增加呈先降低后增加的趋势。方差分析结果表明,冻融次数对土壤 DOC 的影响达到了极显著水平 ($P<0.01$),而土壤含水量和冻融次数与含水量的交互作用对土壤 DOC 的影响不显著 ($P>0.05$)。进一步对不同冻融次数处理下土壤的 DOC 含量进行多重比较,结果表明 (表 1), $F_0>F_1>F_9>F_6>F_3$, F_0 显著高于 F_1 、 F_3 、 F_6 、 F_9 , 在本试验范围内冻融降低了土壤中 DOC 的含量,使可溶性碳向稳定性碳转化,促进了有机碳的稳定性, F_3 处理 DOC 含量达到最小值。土壤 DOC 含量与土壤 TOC 含量显著正相关 [$r=0.488$, $r(23, 0.05)=0.396$]。

土壤 DOC 虽然只占有机碳库的很少比例,但它与土壤有机质其他组分之间可以在一定条件下相互转化,始终处于动态平衡之中。土壤 DOC 的含量反映土壤中有机质分解转化过程的一个动态,有机碳的输

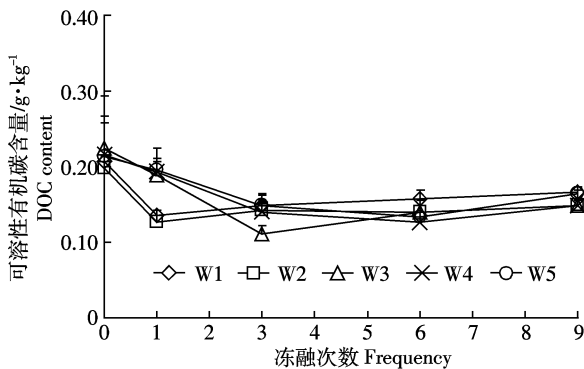


图2 土壤可溶性有机碳含量随冻融作用的变化
Figure 2 The change of the soil DOC content with the freeze/thawing

入量及分解速率之间的平衡是决定该过程的主要因素。目前关于冻融作用对土壤 DOC 影响的研究结果一致表明冻融交替循环对土壤中 DOC 含量有重要影响,但其影响趋势不尽相同。刘淑霞等研究认为黑土 DOC 含量随着冻结温度和冻融次数增加而显著增加;郝瑞军^[8]和周旺明^[9]的研究则认为随着冻融交替处理次数的增加土壤中 DOC 含量出现先增大后减小的趋势;Wang 等^[10]认为冻融交替处理影响土壤中水分的有效性及其运动方向,导致一部分微生物死亡并分解,从而释放出一些小分子糖、氨基酸等,增加了土壤有机质的含量,因此也增加了土壤中水溶性有机碳的含量。另一方面,冻融影响土壤的理化性质^[11-14],土壤理化性质不仅影响有机质的分解速率,而且对分解产生的 DOC 有吸附作用^[15]。冻融对土壤 DOC 的影响是上述两方面作用的综合结果。

2.3 土壤可溶性有机碳占总有机碳的比例

土壤可溶性有机碳及其占总有机碳的比例是反映土壤碳库质量的重要指标,可以用来指示有机碳的稳定性、有效性和水溶性^[14]。土壤水热条件不同,影响土壤有机质矿化和腐质化过程,致使土壤中的有机碳

品质产生差异,进而使不同组分有机碳的绝对量以及相对量产生一定差异。研究可溶性有机碳占总有机碳的比例更有助于了解土壤中有机碳转化与冻融条件的关系。不同冻融处理可溶性有机碳占总有机碳的比例如图3所示,可以看出,土壤 DOC 占 TOC 的比例为 1.81%~2.93%,平均值为 2.15%,随着冻融次数的增加先减小后增加,与可溶性有机碳的变化趋势一致。

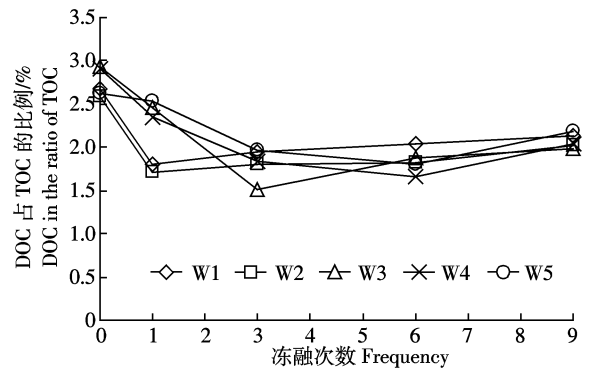


图3 不同冻融处理下可溶性有机碳占总有机碳比例
Figure 3 The soil DOC accounting for the proportion of TOC under different freeze/thawing treatments

2.4 土壤有机碳质量的表征指标

变异系数(CV)通常用来反映数据之间的离散程度。由表2可知,不同冻融处理下可溶性有机碳含量的变异系数最大,其次是可溶性有机碳占总有机碳的比例,总有机碳含量的变异系数最小。这也就说明了可溶性有机碳含量对不同冻融处理最敏感,DOC/TOC次之,总有机碳含量最不敏感。可以认为可溶性有机碳含量是反映不同冻融处理对土壤有机质影响大小的一个较好的指标。

3 结论

(1)供试棕壤总有机碳含量的平均值为 7.624 g·kg⁻¹,含量较小。冻融次数和含水量及其二者的交互作

表1 不同冻融次数处理下土壤可溶性有机碳含量的多重比较

Table 1 Duncan's multiple comparison of the soil DOC content under different freeze/thawing frequencies

变异来源 Variation sources	处理 Treatment				
	F0	F1	F3	F6	F9
冻融次数 Freeze/thawing frequency	0.211 8aA	0.168 2bB	0.137 7cC	0.139 9cC	0.156 0bcBC

表2 不同处理土壤有机碳指标的变异系数

Table 2 CV of the soil organic carbon index under different freeze/thawing treatments

总有机碳 TOC/g·kg ⁻¹			可溶性有机碳 DOC/g·kg ⁻¹			DOC/TOC/%		
平均数 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	平均数 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	平均数 Mean	标准差 SD	变异系数 CV
7.624	0.220	2.88	0.163	0.032	19.787	2.130	0.397	18.323

用对棕壤总有机碳含量的影响不显著。

(2)冻融次数对棕壤可溶性有机碳含量的影响达到显著水平。可溶性有机碳及其占总有机碳的比例均随冻融次数的增加先降低后增加,总体表现为冻融降低了土壤可溶性有机碳的含量。含水量和含水量与冻融次数的交互作用对棕壤可溶性有机碳含量的影响不显著。

(3)可溶性有机碳对冻融处理的反映最敏感,可以作为反映不同冻融处理对土壤有机碳质量影响的较好的指标。

参考文献:

- [1] Schledinger W H. Carbon storage in the Calishe of arids soils: A case study of Arizona[J]. *Soil Science*, 1982, 133: 247-255.
- [2] Kmbler J M, Rattan LAL, Follett R F. Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil[M]. New York: CRC/Lewis Publishers, 2001: 21-30.
- [3] 郭胜利, 马玉红, 车升国, 等. 黄土区人工与天然植被对凋落物量和土壤有机碳变化的影响[J]. *林业科学*, 2009, 45(10): 14-18.
GUO Sheng-li, MA Yu-hong, CHE Sheng-guo, et al. Effects of artificial and natural vegetations on litter production and soil organic carbon change in loess hilly areas[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(10): 14-18.
- [4] 刘德燕, 宋长春. 磷输入对湿地土壤有机碳矿化及可溶性碳组分的影响[J]. *中国环境科学*, 2008, 28(9): 769-774.
LIU De-yan, SONG Chang-chun. Effects of phosphorus enrichment on mineralization of organic carbon and contents of dissolved carbon in a fresh water marsh soil[J]. *China Environmental Science*, 2008, 28(9): 769-774.
- [5] Alex T, Kenneth K, Suduan Gao. Temperature, water content and wet-dry cycle effects on DOC production and carbon mineralization in agricultural peat soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(3): 477-488.
- [6] 魏丽红. 冻融交替对黑土有机质及氮钾养分的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2004: 6-10.
WEI Li-hong. The effect of alternative freezing and thawing on soil organic matter and nitrogen potassium nutrition of black soil [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2004: 6-10.
- [7] 刘淑霞, 王宇, 赵兰坡, 等. 冻融作用下黑土有机碳数量变化的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(3): 984-990.
LIU Shu-xia, WANG Yu, ZHAO Lan-po, et al. Effect of freezing and thawing on the content of organic carbon of black soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 7(3): 984-990.
- [8] 郝瑞军, 李忠佩, 车玉萍. 冻融交替对水稻土溶性有机碳含量及有机碳矿化的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(6): 1052-1057.
HAO Rui-jun, LI Zhong-pei, CHE Yu-ping. Effects of freezing and thawing cycles on the contents of WSOC and the organic carbon mineralization in paddy soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(6): 1052-1057.
- [9] 周旺明, 王金达, 刘景双, 等. 冻融对湿地土壤可溶性碳、氮和氮矿化的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(3): 1-6.
ZHOU Wang-ming, WANG Jin-da, LIU Jing-shuang, et al. Effects of freezing and thawing on dissolved organic carbon and nitrogen pool and nitrogen mineralization in typical wetland soils from San-jiang Plain, Heilongjiang, China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(3): 1-6.
- [10] Wang F L, Bettany J R. Influence of freeze-thaw and flooding on the loss of soluble organic carbon and carbon dioxide from soil[J]. *J Environ Qual*, 1993, 22: 709-714.
- [11] 秦胜金, 刘景双, 丁洪, 等. 冻融对沼泽湿地土壤水稳性大团聚体的影响[J]. *水土保持通报*, 2009, 29(6): 115-118.
QIN Sheng-jin, LIU Jing-shuang, DING Hong, et al. Effects of freezing-thawing on soil water-stable aggregates in fresh marsh[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(6): 115-118.
- [12] 王恩超, 赵雨森, 陈祥伟. 季节性冻融对典型黑土区土壤团聚体特征的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 889-894.
WANG En-heng, ZHAO Yu-sen, CHEN Xiang-wei. Effects of seasonal freeze-thaw cycle on soil aggregate characters in typical phaeozem region of Northeast China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(4): 889-894.
- [13] Carl Beierkuhnlein, Anke Jentsch. Effects of soil freeze-thaw cycles differ between experimental plant communities[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2010, 11: 65-75.
- [14] 汪太明, 王业耀, 香宝, 等. 交替冻融对黑土可溶性有机碳荧光特征的影响[J]. *光谱学与光谱分析*, 2011, 31(8): 2136-2140.
WANG Tai-ming, WANG Ye-yao, XIANG Bao, et al. Effect freezing and thawing cycles on fluorescence characterization of black soil dissolved organic matter[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2011, 31(8): 2136-2140.
- [15] 徐秋芳. 森林土壤活性有机碳库的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003: 12-13, 72-79.
XU Qiu-fang. Study on labile organic carbon pool in forest soils[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003: 12-13, 72-79.