

冻融作用下黑土有机碳数量变化的研究

刘淑霞¹, 王 宇¹, 赵兰坡¹, 刘景双², 秦治家³

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林 长春 130118; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所环境室, 吉林 长春 130021;
3. 吉林省东辽县金洲农业站, 吉林 东辽 136615)

摘 要:采用田间监测与室内模拟试验相结合的方法,研究了冻融作用对黑土有机碳数量变化的影响。目的在于探讨黑土有机碳变化的机理,为增加土壤有机碳的固定,提高土壤肥力,减少温室气体排放提供理论依据。结果表明,冻融交替对黑土有机碳总量及易氧化有机碳影响不显著,但对水溶性有机碳影响较大。随着冻结温度和冻融频次的增加,土壤水溶性有机碳含量呈显著上升的趋势,而微生物量碳表现为显著下降的趋势。在土壤冻融过程中,土壤原有土壤有机碳的含量对土壤有机碳的影响不大,但新加入的有机物质对其有一定的影响,可增加土壤中水溶性有机碳和易氧化有机碳的含量。

关键词:冻融交替;黑土;有机碳总量;水溶性有机碳;微生物量碳;易氧化有机碳

中图分类号:S153.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)03-0984-07

Effect of Freezing and Thawing on the Content of Organic Carbon of Black Soil

LIU Shu-xia¹, WANG Yu¹, ZHAO Lan-po¹, LIU Jing-shuang², QIN Zhi-jia³

(1.College of Resource and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2.Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China; 3. Jinzhou Agricultural Station of Dongliao County, Jilin Province, Dongliao 136615, China)

Abstract:In order to investigate the mechanism of organic carbon transformation and provide a theoretical basis for increasing soil organic carbon fixation, improving soil fertility and reducing greenhouse gas emissions, outdoor monitoring and indoor simulating experiments were carried out to study the effects of freezing and thawing treatments on black soil organic carbon. The effects of alternative freezing and thawing treatments on the content of total organic carbon and easily oxidized organic carbon were not significant. With the freezing temperature and freezing and thawing frequency increasing, the content of soil organic carbon decreased by 0.04~0.95 g·kg⁻¹, the content of easily oxidized organic carbon also decreased, with the highest value of oxidizable organic carbon being 1.23 mg·kg⁻¹. However, the correlation analysis showed alternative freezing and thawing treatments had no significant effects on the content of total organic carbon and easily oxidizable organic carbon ($P>0.05$) but had an obvious effect on the water soluble organic carbon and the content of microbial biomass carbon ($P<0.05$). With the alternative freezing temperature and freezing and thawing frequency increasing, the contents of water soluble organic carbon increased by 8.61~46.36 mg·kg⁻¹ and 6.21~37.85 mg·kg⁻¹, averaged 26.08 mg·kg⁻¹ and 20.11 mg·kg⁻¹ respectively, but the content of microbial biomass carbon significantly decreased by 73.21~372.71 mg·kg⁻¹ and 10.64~368.12 mg·kg⁻¹, with the average values being 220.91 mg·kg⁻¹ and 133.54 mg·kg⁻¹ respectively. During the processes of soil freezing and thawing, the content of soil original organic carbon had no significant effects on the soil organic carbon, but the application of organic matter had great influence on the content of soil organic carbon and could enhance the content of water soluble organic carbon and easily oxidized organic carbon.

Keywords:alternative freezing and thawing treatment; black soil; total organic carbon; water soluble organic carbon; microbial biomass carbon; easily oxidized 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],土壤有机碳总量 10%的变化,相当于人类活动 30 a 排放的 CO₂ 量^[2]。每年因土壤有机碳生物分解释放到大气中的总碳量为 68×10^{15} g,而全球因燃烧燃料释放大气的碳仅为 6×10^{15} g^[3]。可见土壤有机碳的变化对全球生态环境具有重大的影响。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^[4]。关于不同因素对土壤有机碳的周转的影响已有较多的报道^[5-9],但就干湿交替和冻融交替作用对土壤有机碳周转的影响报道还较少^[10-11]。干湿交替和冻融作用是土壤所遭受的最为平常的过程,它们使土壤经历一个物理、化学和生物的变化。它们对土壤的理化性质和生物学性质能产生直接或间接的影响^[12-17]。在很大程度上温室气体、尤其是 N₂O 释放量受控于土壤冻融与干湿交替,冻土融化过程可导致 N₂O 释放量的增加^[18,19]。东北的黑土分布区处于温带半湿润季风气候区,冻结时间长达半年左右,在这一期间,尤其是在初冬和初春时土壤的冻结/融化过程发生频繁,这种作用必然对黑土理化性质等产生影响。因此,本研究以黑土为对象,就冻融交替作用对有机碳的影响进行了研究,目的在于探讨黑土有机碳变化的机理,为增加土壤有机碳的固定,提高土壤肥力,减少温室气体排放,改善生态环境提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

典型黑土,采样地点为吉林农业大学试验站内。该土壤有机碳含量为 $22.17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮为 $1.41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮为 $101.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷为 $23.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾为 $186 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,C/N 为 15。

1.2 供试有机物料

玉米秸秆,采自吉林农业大学实验站。该秸秆有机碳含量为 $447.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮为 $9.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷为 $6.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾为 $9.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,C/N 为 49。

1.3 田间冻融试验

选择典型黑土(吉林农业大学试验站内),分别于 2002 年 10 月 28 日、11 月 28 日、12 月 28 日、2003 年 1 月 28 日、3 月 28 日采集两个剖面不同深度 (0~20, 20~40, 40~60 cm) 的土壤(前茬为玉米)样品进行田间冻融实验监测研究,基本包括了整个冻融期。

1.4 室内模拟冻融试验

1.4.1 原土冻融试验

分别在上述地点采集两个剖面 0~20、20~40、40~60 cm 的土壤样品进行模拟冻融交替试验。样品采回后放入冰箱中冻结,控制温度为 $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$,10 d 后取出,在 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下融化 1 d,此期为一个冻融期,取出融化后的部分样品供分析测试用,其余部分继续放入冰箱控温度冻结 10 d,依此类推,共进行 6 次,即 6 个冻融周期。

1.4.2 培养土冻融试验

在上述地点采集 0~20 cm 的土壤样品,土壤经风干处理,研磨,过筛后(20 目),分别称取 4 份(5 000 g),第 1 份为不加秸秆的原土,第 2 份按土重的 1%加入秸秆(玉米秸秆,粉碎、研磨、过 20 目筛),第 3 份按土重的 3%加入秸秆,第 4 份按土重的 6%加入秸秆,依次形成 1 号、2 号、3 号、4 号 4 个秸秆处理的土壤。调控不同处理的土壤含水量达田间持水量的 70%。然后放入培养箱中培养两周(30 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 。培养好的土壤样品分别放入冰箱中于 $-3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻结和 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保存,待土壤完全冻结后(24 h),于 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下完全融化,然后再冻结,如此反复,分别于冻融第 3 次,第 5 次和第 10 次时结束。

1.5 分析方法

1.5.1 土壤微生物量碳

用氯仿熏蒸,硫酸钾提取,重铬酸钾氧化法^[20]。

1.5.2 水溶性有机碳:用水浸提土壤中可溶性有机碳,重铬酸钾氧化法。

1.5.3 土壤易氧化有机碳:采用袁可能的测定方法^[21]。

1.5.4 土壤有机碳:重铬酸钾-外加热法^[22]。

1.5.5 其他项目:采用常规测定方法^[23]。

1.6 数据统计分析

采用 SAS6.2 软件进行。

2 结果与分析

2.1 冻融作用对土壤有机碳总量的影响

田间冻融条件下,冻融作用对黑土总有机碳的影响见图 1。从图 1 可以看出,两个剖面 0~20、20~40、40~60 cm 的土壤,在分别冻结 1 个月、2 个月、3 个月和 5 个月融化后土壤有机碳总量变化很小。从数值上看,变化最大的仅减少了 $0.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。统计分析表明,同一剖面同一层次的土壤在自然冻结条件下,不同的冻融时间对其有机碳总量变化的影响不显著($P>0.05$)。

室内模拟冻融交替对黑土有机碳总量的影响试验结果可以看出(图 2),两个剖面土壤有机碳总量变化趋势基本一致,随着冻融频次的增加,不同剖面同一层次土壤总有机碳含量略有变化,从数值上看,最高降低了 $0.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,但对数据统计分析表明,不同

剖面同一层次土壤经过不同频次冻融后其总有机碳含量变化没有显著的差异,与田间自然条件下冻融作用对黑土总有机碳的影响的结论是一致的。

为了探讨冻结温度对有机碳变化的影响,在模拟冻融作用时进行了温度控制,同时在土壤中加入不同剂量的玉米秸秆(1、2、3、4 号处理)以增加土壤有机碳含量。试验结果见表 1。由表 1 可知,−3 ℃和−18 ℃冻结条件下,同一处理土壤同一冻融频次下土壤总有机碳变化很小,与对照组(4 ℃)比较总有机碳略有下降,下降幅度在 0.04~0.95 g·kg^{−1},对表 1 数据进行统计分析也表明,在同一冻结温度条件下,同一处理土壤不同冻融频次间没有显著差异(*P*>0.05)。

以上田间试验和模拟试验结果均表明,在短期内,冻融频次和冻融强度对土壤有机碳的影响不显著,即冻融交替作用对土壤有机碳总量变化的影响不大。

2.2 冻融作用对水溶性有机碳的影响

土壤水溶性有机碳、易氧化有机碳和微生物量碳等统称为土壤活性有机碳。水溶性有机碳含量一般较少,但对土壤中养分元素和重金属的迁移转化以及微生物的碳源供应具有重要的意义。

冻融频次和冻结温度对水溶性有机碳变化的影响见表 2。由表 2 可见,不同冻融频次下冻结温度对

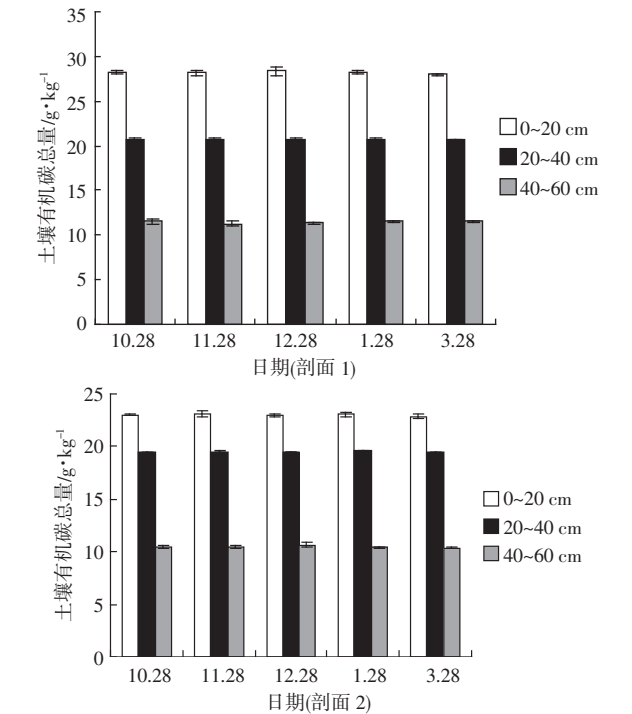


图 1 田间条件下冻融作用对黑土有机碳总量变化的影响
Figure 1 Effect of alternative freezing and thawing on the content of total organic carbon in black soil under field conditions

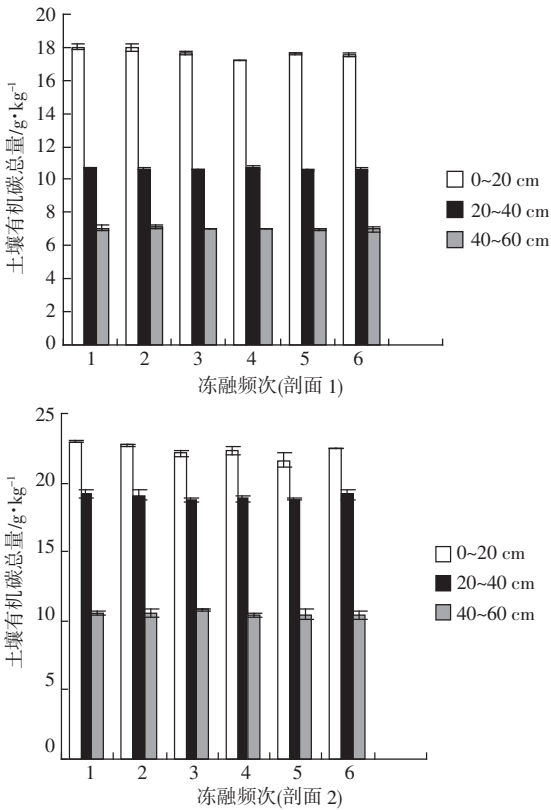


图 2 模拟冻融交替作用对黑土有机碳总量的影响
Figure 2 Effect of alternative freezing and thawing on the content of total organic carbon in black soil under imitative examination

表 1 冻结温度对不同秸秆处理土壤有机碳总量变化的影响(g·kg^{−1})

Table 1 Effect of freezing and thawing temperature on the content of total organic carbon under different quantity straw(g·kg ^{−1})		4 ℃	−3 ℃	−18 ℃
土样	冻融次数			
1	3	24.30	23.39	23.42
	5	24.21	23.26	23.36
	10	24.07	23.47	23.48
2	3	28.72	28.47	28.55
	5	28.72	28.31	28.49
	10	28.52	28.37	28.48
3	3	39.78	39.29	39.44
	5	39.54	39.34	39.43
	10	39.72	39.42	39.43
4	3	51.76	51.55	51.44
	5	49.99	51.14	50.42
	10	51.71	51.21	51.34

土壤水溶性有机碳含量影响的变化趋势相似,即随着冻结温度的降低,无论冻融几次(3 次、5 次、10 次)水溶性有机碳均逐渐增加,增加幅度在 8.61~46.36 mg·kg^{−1},平均为 26.08mg·kg^{−1}。而且加入不同剂量玉米秸

表 2 冻融温度对不同秸秆处理土壤水溶性有机碳的影响(mg·kg⁻¹)
Table 2 Effect of freezing and thawing temperature on the content of water soluble organic carbon under different quantity straw(mg·kg⁻¹)

土样	冻融次数	4 ℃	-3 ℃	-18 ℃
1	3	36.54	57.57	84.46
	5	36.33	69.74	96.19
	10	36.43	79.08	102.40
2	3	70.64	92.71	101.32
	5	70.37	103.05	130.28
	10	70.20	124.77	141.32
3	3	111.97	134.38	150.59
	5	111.76	153.72	180.24
	10	111.04	174.38	199.72
4	3	178.74	197.70	228.43
	5	178.29	220.15	258.94
	10	178.84	250.43	296.79

秆处理的土壤(1 号、2 号、3 号、4 号)其水溶性有机碳随加入秸秆剂量的增加而增加。

从表 2 还可以看出,在相同的冻结温度条件下,随着冻融频次的增加,不同秸秆处理土壤水溶性有机碳均表现出逐渐增加的趋势,增加幅度在 6.21~37.85 mg·kg⁻¹,平均为 20.11 mg·kg⁻¹,而且加入秸秆量大的土壤增加幅度大。数据统计分析表明,上述变化差异显著($P<0.05$)。

冻融交替作用对黑土土壤水溶性有机碳的影响所表现出的规律可能与如下因素有关:①冻结作用使土壤中不耐寒的微生物致死,当融化时死亡微生物细胞内所含的有机碳溶解释放出来进入土壤,从而增加了土壤水溶性有机碳含量;②土壤冻融作用中的收缩与膨胀作用使与土壤结合的大分子量的有机碳中氢键破裂或引起土壤与有机碳结合部位的破坏,溶解释放出具有小分子量的有机碳。

2.3 冻融对易氧化有机碳的影响

易氧化有机碳对土壤有机碳的短期变化具有重要意义。Biederbeck(1994)选择易氧化有机碳、可矿化有机碳和微生物量碳作为土壤活性的有机碳来研究土壤有机碳的暂时波动。

冻结温度和冻融频次对黑土易氧化有机碳变化的影响见表 3。由表 3 数值上看,易氧化有机碳有微小的变化,不同值间最大相差 1.23 mg·kg⁻¹,而且不同处理间无明显的规律性。相关分析结果表明,易氧化有机碳在短期内并未因冻结强度和冻融频次的变化而发生显著的变化($P>0.05$)。不同秸秆处理的土壤其易氧化有机碳变化趋势一致,仅表现出加入秸秆量越

表 3 冻融温度对不同秸秆处理土壤易氧化有机碳的影响(mg·kg⁻¹)
Table 3 Effect of freezing and thawing temperature on the content of easily oxidized organic carbon under different quantity straw(mg·kg⁻¹)

土样	冻融次数	4 ℃	-3 ℃	-18 ℃
1	3	22.38	21.67	22.07
	5	21.77	21.12	21.73
	10	21.73	21.66	22.43
2	3	27.13	27.26	27.64
	5	26.79	27.13	27.41
	10	26.28	27.23	27.51
3	3	38.26	37.22	37.76
	5	37.97	37.72	37.39
	10	38.08	37.45	37.75
4	3	49.08	48.64	48.61
	5	48.91	48.47	48.59
	10	48.72	48.56	48.66

多的处理土壤易氧化有机碳含量越高。

2.4 冻融对黑土微生物量碳的影响

土壤微生物量对土壤环境的变化极为敏感,它不仅是土壤有机碳和土壤养分转化、循环的动力,同时也是植物有效养分的储备库。

田间冻融试验条件下黑土土壤微生物量碳含量的变化规律见图 3。由图可知,随着冻融时间的增加,土壤微生物量碳先降低后增加,从温度变化上来看,随着温度的降低,微生物量碳含量趋于降低。从月份看,秋季最高,春季次之,初冬居中,严冬最低。两个剖面所显示的土壤微生物量碳变化规律及其不同层次间的变化趋势基本一致,表层土壤微生物量碳均高于下层,这可能与土壤表层温度高于下层有关。

室内模拟冻融试验表明,不同秸秆处理的土壤在相同冻融频次及不同冻融频次的情况下,土壤微生物量碳所表现出的变化趋势一样,即随着冻结温度降低微生物量碳逐渐降低(表 4),降低幅度在 73.21~372.71 mg·kg⁻¹,平均为 220.91 mg·kg⁻¹,与田间冻融试验结果一致。同一冻结温度及不同冻结温度条件下,不同秸秆处理的土壤微生物量碳所表现出的变化趋势均为随着冻融频次增多微生物量碳逐渐降低,降低幅度在 10.64~368.12 mg·kg⁻¹,平均为 133.54 mg·kg⁻¹,相关分析表明,不同冻融温度和冻融频次处理间差异均达显著水平($P<0.05$)。

以上田间与模拟冻融试验对土壤微生物量碳影响结果表明,冻融交替作用对土壤微生物量碳含量变化

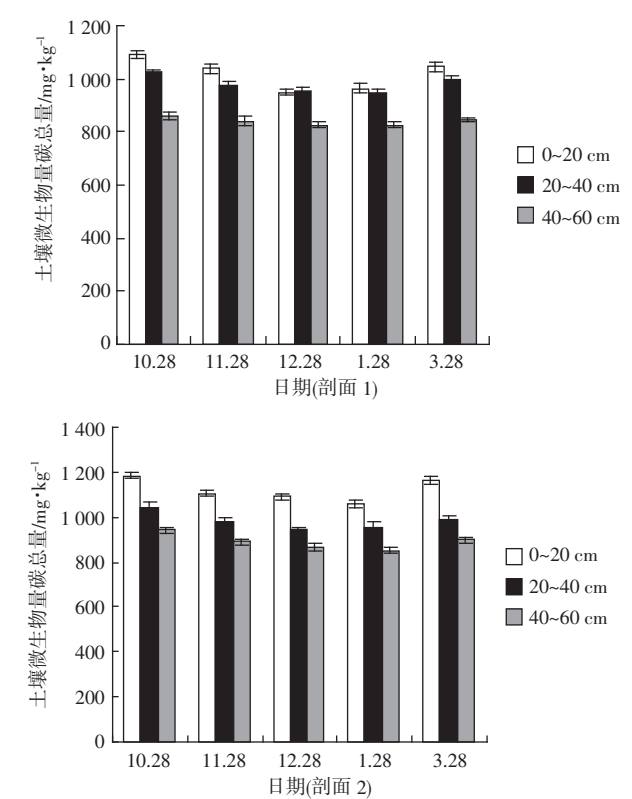


图 3 田间条件下冻融作用对黑土微生物量碳的影响

Figure 3 Effect of freezing and thawing on the content of microbial biomass carbon in black soil under field examination

表 4 冻融温度对不同秸秆处理土壤微生物量碳的影响(mg·kg⁻¹)

Table 4 Effect of freezing and thawing temperature on the content of microbial biomass carbon under different quantity straw(mg·kg⁻¹)

土样	冻融次数	4 ℃	-3 ℃	-18 ℃
1	3	900.51	800.67	645.14
	5	960.12	763.42	548.53
	10	925.79	669.36	446.08
2	3	981.45	889.32	799.03
	5	970.81	774.56	701.35
	10	954.15	651.81	600.00
3	3	1 895.93	1 455.45	1 055.36
	5	1 527.81	1 334.37	948.13
	10	1 316.09	1 030.87	851.56
4	3	1 782.42	1 697.57	1 324.86
	5	1 717.31	1 496.87	1 254.56
	10	1 745.81	1 352.29	1 039.25

有明显的影响,随着冻融频次和冻结温度的增加,土壤微生物量碳含量降低,微生物量碳含量越大变化越大。

3 讨论

3.1 冻融交替作用对黑土有机碳总量的影响

土壤含水量和土壤温度是影响和调控土壤有机

碳矿化的重要因子^[23]。土壤冻融对土壤有机碳矿化作用的影响主要表现为土壤有机氮和碳的矿化作用的增强^[11、14、19]。另一方面,冻融作用下土壤因团聚体破坏而释放出较多的有机物质,而且大部分是易于分解的有机质^[24]。Varson 等^[25]研究表明,当土壤温度降到-14 ℃时,可利用的低分子量游离氨基酸和水溶性糖类有机化合物的浓度含量增加,低分子量有机质含量较高的土壤,对一些水解酶的激活效果显著,所以冻融作用也通过对酶的激活效应,而影响土壤有机质的分解矿化^[11]。本研究结果表明,冻融作用对黑土有机碳总量影响不显著。冻融前土壤中有机碳含量差异并未引起因冻融作用而导致的土壤有机碳变化趋势的改变。出现上述现象的原因可能是由于黑土土壤中有机碳含量已经处于相对稳定的状态,土壤中稳定态有机碳占比比例较大,冻融交替作用不足以引起土壤有机碳总量的显著变化。另一方面,虽然冻融作用可以因其对土壤结构的破坏,而增加土壤中易分解有机碳的含量,但因其土壤总有机碳含量中所占比例过小,而不足以引起土壤有机碳总量的显著变化。

3.2 土壤活性有机碳的变化

土壤活性有机质是指在一定的时空条件下,受植物、微生物影响强烈、具有一定溶解性、在土壤中移动比较快、不稳定、易氧化、分解、易矿化,其形态、空间位置对植物、微生物来说,活性比较高的那一部分土壤碳素^[13]。土壤活性有机质受气候影响较大,在不同程度上反映土壤有机质(碳)的有效性,指示土壤有机质(碳)或土壤质量。它主要包括水溶性有机质、易氧化有机质、微生物量碳等。温度对土壤活性有机碳影响比较显著^[26]。有研究表明^[19],土壤冻融通过影响土壤温度变化速率、通气性以及水分而影响微生物量和活性。冻结过程具有灭菌作用,可以冻死土壤中的部分微生物,微生物量碳转化为可溶性有机碳,同时土壤中冰晶快速形成破坏了微生物细胞机构,使其转化为其他微生物可利用的有机碳,从而使微生物量碳含量下降。由于冻融过程中土壤结构的改变,有机物质的释放,细根死亡导致土壤中活性物质的输入,提高了微生物的活性,加快了土壤中有机质的矿化与硝化过程,而使土壤中易分解的有机碳含量增加。本研究结果表明,冻融作用对土壤水溶性有机碳和微生物量碳含量影响较大,随冻结温度和冻融频次的增加土壤中水溶性有机碳的含量呈显著的上升趋势,而土壤微生物量碳含量表现为显著的下降趋势。这与李世清等的研究结果是一致的^[27]。在冻融过程中,水溶性有机碳

和易氧化有机碳含量受新进入土壤中的有机物质的影响,即随加入秸秆剂量的增加而增加。但冻融作用对土壤中易氧化有机碳的影响效果不显著。这与以往的研究结果是相反的^[25]。分析原因可能是 1 a 的试验结果并不能完全显示冻融作用对其的影响效果,还需要进一步的研究。

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] Kirschbaum M U F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming [J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 21–51.
- [3] 金 峰, 杨 浩, 赵其国. 土壤有机碳储量及影响因素研究进展[J]. 土壤, 2000, 1: 11–17.
- JIN Feng, YANG Hao, ZHAO Qi-guo. Progress of study on the store of soil organic carbon and the factors of affecting the soil organic carbon[J]. *Soils*, 2000, 1: 11–17.
- [4] Anna E Richards, Ram C Dalal, Susanne Schmidt. Soil carbon turnover and sequestration in native subtropical tree plantations [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(8):2078–2090.
- [5] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B R. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19: 159–164.
- [6] 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.
- [7] Muller C, Martin M, Stevens R J. Processes leading to N₂O emissions in grassland soil during freezing and thawing [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(9): 1325–1331.
- [8] 沈 宏. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响 [J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 166–17.
- SHEN Hong. Effect of fertilization on different carbon fractions and carbon management index in soils [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(2): 166–17.
- [9] 吴建国, 艾 丽, 朱 高. 祁连山北坡之杉林和草甸土壤有机碳矿化及其影响因素[J]. 草地学报, 2007, 15(1):20–28.
- WU Jian-guo, AI Li, ZHU Gao. Mineralization of soil organic carbon and its motivating factors to the dragon spruce forest and alpine meadows of the Qilian mountains[J]. *Acta Grestia Snica*, 2007, 15(1):20–28.
- [10] 朴河春, 刘广深, 洪业汤. 干湿交替和冻融作用对土壤肥力和生态环境的影响[J]. 生态学杂志, 1995, 14(6):29–34.
- PIAO He-chun, LIU Guang-shen, HONG Ye-tang. Effect of alternative drying–rewetting and freezing–thawing on soil fertility and ecological environment[J]. *Ecological Environment*, 1995, 14(6):29–34.
- [11] 王 洋, 刘景双, 王国平, 等. 冻融作用与土壤理化效应的关系研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(2):91–96.
- WANG Yang, LIU Jing-shuang, WANG Guo-ping, et al. Study on the effect of freezing and thawing action to soil physical and chemical characteristics [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(2): 91–96.
- [12] 龚家栋, 祁旭升, 谢忠奎, 等. 季节性冻融对土壤水分的作用及其在农业生产中的意义[J]. 冰川冻土, 1997, 19(4):328–330.
- GONG Jia-dong, QI Xu-sheng, XIE Zhong-kui, et al. Effect of seasonal freezing on soil moisture and its significance for agriculture[J]. *Journal of Glaciology and Georyology*, 1997, 19(4):328–330.
- [13] 刘 艳, 汪思龙, 王晓伟. 不同温度条件下杉木、火力楠木细根分解对土壤活性有机碳的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3):481–486.
- LIU Yan, WANG Si-long, WANG Xiao-wei. Effect of tree species fine root decomposition on soil active organic carbon during different temperature [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (3):481–486.
- [14] Edwards L M. The effect of alternate freezing and thawing on aggregate stability and aggregate size distribution of some prince Edward Island soil[J]. *Journal of Soil Science*, 1991, (42):193–204.
- [15] 朴河春, 袁芷云, 刘广深, 等. 冻融对土—水系统中亚硝酸盐积累的影响[J]. 环境科学学报, 1995, 15(3):281–287.
- PIAO He-chun, YUAN Zhi-yun, LIU Guang-shen, et al. Effect of the accumulation of nitrite in soil–water system[J]. *ATA Scientiae Circumstantiae*, 1995, 15(3):281–287.
- [16] 朴河春, 刘广深, 洪业汤. 非生物应力对土壤性质的影响[J]. 土壤肥料, 1998, 3:17–21.
- PIAO He-chun, LIU Guang-shen, HONG Ye-tang. Effect of non-biological stress on the soil characteristics[J]. *Soil and Fertilizer Sciences*, 1998, 3:17–21.
- [17] 邓西民, 王 坚, 朱文珊. 冻融作用对梨底层土壤物理性状的影响[J]. 科学通报, 1998, 43(23):2583–2587.
- DENG Xi-min, WANG Jian, ZHU Wen-shan. Effect freezing and thawing on the soil physical characteristics in pear first floor [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(23):2583–2587.
- [18] Teepe R, Brumme R, Beese F. Nitrous oxide emissions from frozen soils under agricultural, fallow and forest land[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(11–12):1807–1810.
- [19] Herrmann A, Witter E. Sources of C and N contributing to the flush in mineralization upon freeze–thaw cycles in soils[J] *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34: 10, 1495–1505;38 ref.
- [20] 王 岩, 等. 土壤生物量碳和氮与土壤有机碳、氮及施肥的关系[J]. 南京农业大学学报, 1993, 16(3):59–63.
- WANG Yan, et al. Study on the relationship between soil Biomass–C, –N and soil organic C N as well as fertilization[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1993, 16(3):59–63.
- [21] 袁可能. 土壤有机矿质复合体研究 I. 土壤有机矿质复合体中腐殖质氧化稳定性的初步研究[J]. 土壤学报, 1963, 11(3):286–292.
- YUAN Ke-neng. Studies on organo–mineral complexes in soil: I Initial studies on the oxidation stability of soil humus in soil organo–mineral complexes[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1963, 11(3):286–292.
- [22] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京科学出版社, 1983. 105–107.
- Chief editor: Chinese Soil Academic Society Agrochemistry Specialized

committee. Soil agrochemistry conventional analysis method[M]. Scientific publishing company, 1983. 105–107.

[23] Pekka Vanhala, Kristiina Karhu, Mikko Tuomi. Old soil carbon is more temperature sensitive than the young in an agricultural field[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(11):2967–2970.

[24] Eun-Jin Park, Woo Jun Sul, Alvin J. Glucose additions to aggregates subjected to drying/wetting cycles promote carbon sequestration and aggregate stability [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(11): 2758–2768.

[25] Varson K C, Sowden F J. Effect of frost action and storage of soil at freezing temperatures on the free amino acids , free sugars and respiratory activity of soil[J].*Canadian Journal of Soil Science*,1970 ,50: 191–198.

[26] 柳 敏, 宇万太, 姜子绍. 土壤活性有机碳[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(11):1412–1417.

LIU Min , YU Wan-tai, JIANG Zi-shao. The soil active organic carbon [J]. *Ecological Environment*, 2006, 25(11):1412–1417.

[27] 李世清, 任书杰, 李生秀. 土壤微生物体氮的季节变化及其与土壤水分和温度的关系[J]. *植物营养与肥科学报*, 2003, 22(10):18–123.

LI Shi-qing, REN Shu-jie, LI Sheng-xiu. Study on the changes of soil Biomass–N in different season and the relationship between soil Biomass–N and soil water and temperature [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 22(10):18–123.



中国自然资源学会 2008 年学术年会通知

本届学术年会由中国自然资源学会和南开大学主办,南开大学环境科学与工程学院、中国自然资源学会资源循环利用专业委员会、教育部“985 工程”循环经济哲学社会科学创新基地、环境污染过程与基准教育部重点实验室、国家环保总局环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室、天津市城市生态环境修复与污染防治重点实验室和中国科学院陆地生态过程重点实验室联合承办,中国科学院地理科学与资源研究所协办。

一、会议时间

2008年 7 月 20 日全天报到;7 月 21–22 日会议学术交流;7 月 23–24 日考察。

二、学术年会主题

生态文明与资源节约

三、学术年会的组织形式

- 1、学术年会的开幕式和大会特邀报告,届时将邀请著名专家和主管部门领导到会并作学术报告。
- 2、分会场学术交流(初步确定 11 个分会场,将根据论文征集情况予以合并或调整)。
- 3、评选青年优秀论文奖。

4、本届年会将于会前出版《中国自然资源学会 2008 年学术年会论文摘要文集》,请按要求撰写论文和投稿。经过专家评审的优秀论文,将推荐到《自然资源学报》、《应用基础与工程科学学报》、《资源科学》、《地理科学进展》、《干旱区资源与环境》等核心期刊优先发表(依据刊物要求收取入选论文版面费)。

5、中国自然资源学会网页(www.csnr.org)将公布本届年会消息,与会者可以在报名和投稿有效期内,下载相关表格,并按照规定办理报名和投稿手续。

四、联系方式

联系地址:天津市卫津路 94 号 南开大学环境科学与工程学院

邮政编码:300071

电话/传真:(022)66229392; 23501117

联系人: 许桢、沈祖庭、宋晓静

电子信箱:xuz@tedamail.nankai.edu.cn; songxiaojing@mail.nankai.edu.cn