

长期施肥对黑土水溶性碳含量和碳矿化的影响^{*}

刘 丽,周连仁,苗淑杰

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要:以农业部哈尔滨黑土生态环境重点野外科学观测试验站长期定位试验为平台,研究了长期施肥对黑土水溶性碳(WSOC)和矿化碳的影响。结果表明,施肥对土壤 WSOC 的含量有很大影响,比较而言,单施化肥对 WSOC 含量无明显影响,而施加有机肥可使黑土 WSOC 含量增加。土壤对水溶性有机碳的吸附量与平衡前水溶性有机碳的浓度显著相关。有机肥与无机肥料配施可以提高土壤矿化碳含量。

关键词:长期施肥;黑土;水溶性碳;可矿化碳

中图分类号:S153.61

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)01-0059-04

Effect of Fertilization on Water Soluble Organic Carbon and Mineralization of Organic Carbon in Mollisols

LIU Li, ZHOU Lian-ren, MIAO Shu-jie

(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Long-term fertilization trial was conducted to study the effect of various fertilizer application on water-soluble organic carbon (WSOC) and organic carbon mineralization at Key Observation Station of the Harbin Black Soil Ecology, Ministry of Agriculture. The results showed that fertilization had various effects on soil WSOC. Only chemical fertilizer application had no significant impact on soil WSOC concentration, however, applying organic fertilizer can increase the concentration of WSOC. Mollisol can absorb WSOC and significantly correlated with WSOC concentration. Organic and inorganic fertilizers combined application can increase the carbon content.

Key words: long-term fertilization; mollisols; water soluble organic carbon; carbon mineralization

水溶性有机碳指在一定的时空条件下,受植物和微生物影响强烈,具有一定溶解性,在土壤中移动比较快、不稳定、易氧化、易分解、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。作为土壤有机碳最活跃的组成部分,WSOC 对于调节土壤阳离子淋失、矿物风化、土壤微生物活动以及其他土壤化学、物理和生物学过程具有重要意义^[1]。此外,土壤 WSOC 的淋溶是土壤有机碳损失的一个重要途径,它作为一项环境指标,对研究碳循环和环境效应有重要的意义^[2]。

土壤中的水溶性有机碳受很多因素影响,如土壤的理化性状、作物种类、温度条件等等。施肥对土壤 WSOC 的含量有很大影响,通常无机肥能减少土

壤 WSOC 的含量,而有机肥能够增加 WSOC 的含量。Chantigny 等^[3]的研究表明,随着 N 肥施用量的增加,土壤中 WSOC 的含量逐渐减少。Lundquist 等^[4]的研究也表明,施有机肥的田间土壤中 WSOC 含量比施无机肥的高 2.5 倍。Christ 等^[5]对森林土壤的研究表明,随着淋溶次数的增多,土壤中淋洗出来的 WSOC 的总量增加;随着温度的升高,土壤中淋洗出的 WSOC 的量也增加。其中,水溶性碳在土壤中的吸附作用是其含量较低的一个重要影响因素,而 WSOC 在土壤中吸附受很多因素的影响,如土壤的矿物组成和 pH 等^[6-7]。林滨等^[6]的研究表明,在 pH 为 6.0 和 7.0 时,草甸沼泽土中水溶性有机物的释放速率常数 K_r 分别为 173.6 ×

* 收稿日期:2008-07-26

基金项目:黑土保护性耕作和定向培育技术研究(GB06B107-1);黑龙江省博士后基金(LBH-Z07229);东北农业大学科学研究和黑龙江省高校寒地黑土利用与保护重点实验室开放基金资助项目(GXS08-5)

作者简介:刘丽(1985-),女,黑龙江省牡丹江人,在读硕士研究生,主要从事土壤肥力方面的研究。E-mail:llli0801@sina.com

通信作者:苗淑杰(1976-),女,黑龙江省齐齐哈尔人,博士,讲师,主要从事土壤肥力方面的研究。E-mail:miaoshujie@126.com

10³ cm/h 和 206.9 ×10³ cm/h。这是因为在低 pH 条件下,腐殖酸类水溶性有机物可能发生絮凝,从而降低了扩散速率。Kuiters 等^[7]研究表明,在 pH 为 7.4 土壤中,加入的 WSOC 有 60%~80% 被土壤吸附,而在土壤 pH 为 4.5 时,加入的 WSOC 几乎全部被土壤吸附。另外,WSOC 不同组分在土壤中的吸附也有差别,土壤对 WSOC 疏水组分的吸附能力要强于亲水组分。

有机碳矿化是土壤中重要的生物化学过程,与土壤中养分元素的释放与供应、土壤质量的保持等直接相关,很早以来就被人们作为评价土壤肥力的尺度之一^[18]。因此,一直以来,对土壤有机碳矿化方面的研究很多,如李忠佩等(2004)进行不同水土比对土壤有机碳矿化影响的研究,结果表明,可溶性有机碳含量与水土比呈直线相关关系,累积提取量随浸提时间延长而增加,单次提取量随提取次数增加而降低。

关于长期不同施肥对黑土水溶性碳含量及吸附特征、碳矿化的影响研究较少。本文以定位施肥 28 a 的黑土为研究材料,对黑土水溶性有机碳和碳矿化进行了研究,并用平衡法研究土壤水溶性有机碳的含量及其吸附特征,以期明确施肥对黑土有机碳的影响机制。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

农业部哈尔滨黑土生态环境重点野外科学观测试验站位于黑龙江省哈尔滨市(45°40'N,126°35'E),于 1979 年建立。成土母质为洪积黄土状黏土,气候属温带大陆性季风气候,年平均气温 3.5℃,年降水量 533 mm,无霜期 135 d。轮作方式为小麦-大豆-玉米。耕作方式为浅耕深松、旋耕深松相结合的耕作制度。

小区面积 168 m²,每区 8 垄,30 m 长,70 cm 垄距。设 16 个常量施肥处理,8 个 2 倍量处理。常量施肥在小麦和玉米上为 N 150 kg/hm², P₂O₅ 75 kg/hm², K₂O 75 kg/hm²,在大豆上为 N 75 kg/hm², P₂O₅ 150 kg/hm², K₂O 75 kg/hm²,有机肥为纯马粪,每轮作周期施一次,施于玉米茬,按 N 75 kg/hm²(约马粪 18 t/hm²)。

1.2 试验设计

本试验于 2007 年 8 月采集长期施肥试验地典型黑土 0-20 cm 土壤样品,取其中的 4 个施肥处理,分别为不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、单施有机肥(M)、有机肥化肥配施(NPKM)。测得基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤基础肥力

| 处理 | 全氮/ (g·kg ⁻¹) | 碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) | 全磷/ (g·kg ⁻¹) | 有效磷/ (mg·kg ⁻¹) | 缓效钾/ (mg·kg ⁻¹) | 速效钾/ (mg·kg ⁻¹) | 有机质/ (g·kg ⁻¹) | pH |
|------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| CK | 0.84 | 90.64 | 0.34 | 3.67 | 683.62 | 149.93 | 17.57 | 7.11 |
| MNPK | 0.99 | 107.02 | 0.65 | 84.24 | 769.33 | 183.14 | 24.92 | 6.26 |
| NPK | 0.92 | 115.21 | 0.59 | 70.09 | 726.47 | 172.42 | 20.44 | 6.23 |
| M | 1.03 | 98.83 | 0.46 | 22.12 | 755.04 | 160.64 | 26.05 | 7.23 |

1.3 试验方法

1.3.1 水溶性碳测定方法 取土壤样品 12.5 g,置于 250 ml 三角瓶中,加入蒸馏水 50 ml,振荡 20 min,保持在室温中并间歇振荡 2~3 次,平衡 24 h 后再次振荡,置于 50 ml 的离心管中,离心后过 0.45 μm 的滤膜,测定滤液 DOC 的含量并保存在 4℃下备用。

1.3.2 土壤 DOC 的吸附试验 将制备的 DOC 提取液稀释成 0, 5, 15, 25, 35, 45, 55 mg/L 等不同的浓度,并调节 pH 为 5.5 (研究区土壤溶液 pH 为 4.1~6.6)。

取 0-20 cm 的土样 5.0 g 各 7 份,置于 100 ml 离心管中,分别加入 50 ml 不同浓度的 DOC 溶液。在平衡溶液中,用 NaCl 调节溶液中的离子强度为 0.01 mol/L,以消除离子强度所引起的 DOC 吸附差

异,平衡时间为 24 h,加入的 DOC 与平衡后所测定的 DOC 含量之差就是土壤吸附 DOC 的数量,DOC 的含量用总有机碳分析仪(TOC25000A)测定。

由于土壤对 DOC 的吸附量是用相对于土壤的质量(mg/kg)来表示的,为了方便说明,把平衡前 DOC 的加入量转化成相对于土壤的质量,即分别加入:0, 50, 150, 250, 350, 450, 550 mg/kg。

1.3.3 土壤矿化碳测定方法 土壤可矿化碳(MNC)通过室内培养法进行估算,即称取土样 12.5 g (风干土质量)放入广口瓶中,将土壤样品平铺于瓶底,用蒸馏水调至最大田间持水量的 60%,在 25℃的培养箱内培养,每个处理 3 次重复。培养过程中所释放的 CO₂ 用 10 ml 1 mol/L NaOH 溶液吸收,在培养过程中,每隔 3 d 用 H₂SO₄ 溶液滴定法计算累积矿化量,所用指示剂为酚酞。每个处理设两个空白。

2 结果与分析

2.1 水溶性碳含量

长期定位施用不同肥料对黑土水溶性有机碳有显著影响,从图中可以看出,与无肥的对照处理相比,单施矿质肥料对 WSOC 含量有所提高,水溶碳含量由 320.0 mg/L 增加到 362.5 mg/L,但两个处理间未达到差异显著水平。有机肥料和矿质肥料配合施用可显著增加黑土 WSOC 含量,水溶碳含量由 80.00 mg/kg 增加到 180.00 mg/kg,同样地,单施有机肥料也可使黑土 WSOC 含量显著增加(图 1),水溶碳含量由 80.00 mg/kg 增加到 222.67 mg/kg,这两个处理与对照处理间的差异达到了 5 % 的显著水平。施用矿质肥料的 NPK 和 MNPK 两个处理进行比较,有机无机肥料配合施用明显增加了黑土中 WSOC 含量,但未达到差异显著水平。单施有机肥料的处理(M)土壤中 WSOC 含量明显较单施矿质肥料的 NPK 处理高。出现这一结果的可能原因是施肥后增加了作物产量,在增加产量的同时,作物根系分泌物和残落物归还到土壤中的量也随之增加,最终导致土壤中水溶性有机碳含量增加。这些结果表明,长期施用化肥对提高黑土中 WSOC 含量有显著的作用,而当进一步施用有机肥料后,增加 WSOC 含量的作用会更明显,说明有机肥料对增加黑土 WSOC 含量的作用要高于无机肥料。所以,为了长期持续地维持黑土肥力水平和保证农业的可持续发展,推荐在施用无机肥料的同时,配施有机肥料。

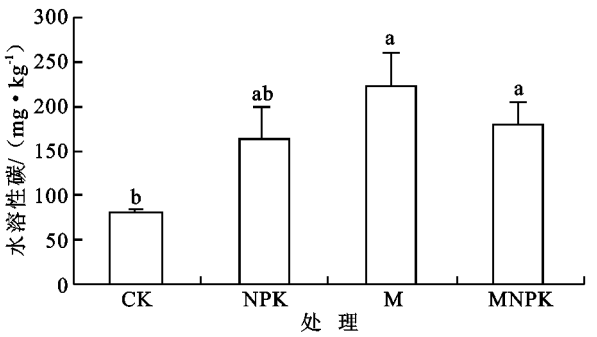


图 1 不同施肥处理黑土中水溶性碳含量

2.2 水溶性有机碳在土壤中的吸附

土壤中的 DOC 含量不仅对调节土壤养分流动有很大影响,与土壤内在的生产力高度相关,而且与温室气体排放有直接关系,这都源自于 DOC 是土壤中活性有机碳组分。因此,土壤的一些理化性状对 DOC 含量的影响将对上述各个作用必然产生影响,其中土壤对 DOC 的吸附作用就是一个非常重要的过程。通过对不同施肥处理的土壤中添加各种浓度的 DOC 溶液,结果发现,在 DOC 加入量小于 55 mg/L 时,土壤尚未达到最大吸附量,继续加入 DOC,土壤仍然可以吸附加入的 DOC(表 2),土壤吸附 DOC 的数量与实验中加入的 DOC 的量成线性关系。无论是哪一种施肥处理的土壤,随着 DOC 加入量的增加,黑土对 DOC 的吸附量都随之增加,然而不同施肥处理土壤对 DOC 吸附的能力存在明显差异。与对照处理相比,单施有机肥料对水溶性有机碳吸附量影响不大,而施有机肥料与有机肥料和矿质肥料配合施用对土壤有机碳吸附量影响较大。

表 2 DOC 的吸附量 mg/kg

| DOC 加入量/ (mg · L ⁻¹) | 处理 | | | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | CK | M | NPK | MNPK |
| 0 | 0.00 ±0.00 | 0.00 ±0.00 | 0.00 ±0.00 | 0.00 ±0.00 |
| 5 | 33.36 ±0.31 | 33.36 ±0.96 | 66.70 ±0.82 | 66.70 ±0.95 |
| 15 | 66.74 ±0.47 | 100.09 ±0.99 | 133.44 ±0.78 | 166.76 ±0.97 |
| 25 | 100.13 ±0.31 | 166.81 ±1.56 | 166.84 ±1.03 | 200.16 ±0.75 |
| 35 | 133.51 ±0.32 | 200.20 ±1.21 | 166.91 ±1.05 | 222.45 ±1.02 |
| 45 | 166.90 ±1.01 | 200.26 ±1.53 | 200.32 ±0.96 | 233.62 ±0.86 |
| 55 | 216.98 ±0.98 | 266.99 ±0.73 | 233.72 ±0.58 | 267.02 ±1.03 |

2.3 碳矿化

有机碳的矿化是土壤中重要的物理化学过程,直接关系到土壤中养分元素的释放与供给、温室气体的形成以及土壤质量的保持等。土壤有机碳的矿化过程是在微生物的参与下进行的,受诸多因素的影响,包括温度条件、水分状况、土壤性质等。本文研究了不同施肥处理对黑土有机碳矿化的影响,如表 3,4 所示。结果表明,随着培养时间的延长,有机

碳的矿化速率下降,无肥处理(CK),第 6 d 以后,日均矿化量快速下降,第 9 - 18 天的日均矿化量趋于稳定,第 18 天的日均矿化量仅为第 6 天的 28.6 %;单施化肥的处理(NPK),第 6 - 12 天日均矿化量急速下降,此后趋于稳定,第 18 天的日均矿化量为第 6 天的 45.5 %;化肥有机肥配施的处理(NPKM)在培养后的第 6 至第 12 天,日均矿化量维持在较高的水平,而且较稳定,第 12 天后开始明显下降,第 18

天的日均矿化量仅为第 12 天的 42.9 %;单施有机肥的处理(M),第 3 至第 12 天,日均矿化量迅速下降,第 12 天的日均矿化量为第 3 天的 46.2 %,12 天后趋于稳定。而累计矿化量,随着培养时间的延长而增加,表现为 NPKM>M>NPK>CK。总体来讲,化肥有机肥配施处理土壤的日均矿化量和累积矿化量均高于其它处理,分别高 0~133.3 % (平均值 73.0 %)和 0~56.1 % (平均值 22.6 %);单施化肥处理在培养 9 天后,日矿化量和累计矿化量比无肥处理分别高 36.4~80.0 % (平均值 41.6 %);单施

化肥处理在培养 6 d 后,日均矿化量比单施有机肥的处理高 28.6~54.1 % (平均值 20.4 %)。差异显著性检验结果表明,在培养第 9 天和第 12 天,化肥有机肥配施的处理日均矿化量与其它各处理间差异达到了差异显著水平($p<0.01$);无肥处理与单施化肥处理仅在培养后的第 9 天,处理间日均矿化量达到差异极显著水平($p<0.01$);单施有机肥的处理仅在培养后的第 3 天与有化肥施用的处理(NPK 和 NPKM),处理间的日均矿化量达到 5 % 的差异显著水平(表 3,4)。

表 3 不同施肥处理条件下培育过程中黑土有机碳日均矿化量变化 mg/(kg·d)

| 处理 | 处理时间/d | | | | | |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
| CK | 55.73 ±0.87 | 78.03 ±1.07 | 27.87 ±0.97 | 33.44 ±0.86 | 22.29 ±0.54 | 22.29 ±0.43 |
| NPK | 44.59 ±0.93 | 66.88 ±0.87 | 50.16 ±0.86 | 33.44 ±0.74 | 33.44 ±0.62 | 30.41 ±0.38 |
| MNPK | 44.59 ±0.65 | 78.03 ±0.96 | 72.45 ±1.05 | 78.03 ±1.78 | 50.16 ±1.80 | 33.44 ±0.65 |
| M | 72.45 ±0.86 | 50.16 ±1.45 | 39.01 ±1.03 | 33.44 ±1.04 | 39.01 ±0.46 | 19.73 ±0.28 |

表 4 不同施肥处理下黑土有机碳累积矿化量 mg/kg

| 处理 | 处理时间/d | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
| CK | 167 ±1.46 | 401 ±1.96 | 485 ±1.45 | 585 ±1.25 | 652 ±1.46 | 686 ±1.18 |
| NPK | 134 ±1.28 | 334 ±2.05 | 485 ±2.65 | 585 ±1.43 | 686 ±2.42 | 686 ±2.46 |
| MNPK | 134 ±1.06 | 368 ±2.21 | 585 ±2.81 | 819 ±2.65 | 970 ±3.42 | 1070 ±3.43 |
| M | 217 ±1.97 | 368 ±2.03 | 485 ±1.46 | 585 ±1.56 | 702 ±2.36 | 761 ±1.26 |

3 结 论

(1) 长期施用不同的肥料对土壤 WSOC 含量的影响有很大不同,单施矿质肥料对 WSOC 含量无明显影响,而施有机肥料可以使 WSOC 含量增加。

(2) 在 DOC 加入量小于 55 mg/L 时,土壤尚未达到最大吸附量,继续加入 DOC,土壤仍然可以吸附加入的 DOC。单施有机肥料对水溶性有机碳吸附量影响不大,而施有机肥料与有机肥料和矿质肥料配合施用对土壤有机碳吸附量影响较大。

(3) 有机肥与 NPK 矿质肥料配施促进土壤碳矿化。施用有机肥可以提高土壤累积矿化量,但增加有机肥含量不能使累积矿化量成比例增加。

参考文献:

[1] 俞元春,何晟,李炳凯,等. 杉林土壤溶解有机碳吸附及影响因素分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2005,29(2):15-18.

[2] 李淑芬,俞元春,何晟. 土壤溶解性有机碳的研究进展[J]. 土壤与环境,2002,11(4):422-429.

[3] Chantigny M H, Angers D A, Prevost D, et al.

Dynamics of soluble organic C and C mineralization in cultivated soils with varying N fertilization[J]. Soil Biol. Biochem.,1999,31:543-550.

[4] Lundquist E J, Jackson L E, Scow K M. Wet-dry cycles affect dissolved organic carbon in two California agricultural soils[J]. Soil Biol. Biochem.,1999,31:1031-1038.

[5] 倪进治,徐建明,谢正苗. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001,7(4):374-378.

[6] 林滨,陶澍,刘晓航. 土壤与沉积物中水溶性有机物释放动力学研究[J]. 环境科学学报,1997,17:8-13.

[7] Kuiters A T, Mulder W. Water-soluble organic matter in forestsoils. I. Complexing properties and implications for soil equilibria[J]. Plant and Soil, 1993,152:215-224.

[8] Dobbins D C. Methodology for assessing respiration and cellular incorporation of radio labeled substrates by soil microbial communities[J]. Microbial Ecology, 1988,15:257-276.

[9] 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.