

黑土颗粒有机碳和氮含量对有机肥剂量响应的定量关系^①

邹文秀¹, 梁 尧², 郝翔翔¹, 陆欣春¹, 韩晓增^{1*}, 刘元明³

(1 中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土区农业生态院重点实验室, 海伦农田生态系统国家野外观测研究站, 哈尔滨 150081;

2 吉林省农业科学院, 长春 130124; 3 黑龙江省虎林市八五〇农场农业科, 黑龙江鸡西 158422)

摘 要:黑土是一种非常重要的耕种土壤,但是由于过度地开发利用和水土流失导致土壤有机质含量迅速下降,严重影响了耕地生产力和作物产量。为了能够快速恢复黑土肥力,利用海伦国家野外科学观测研究站内的长期定位试验,定量分析了黑土颗粒有机碳和氮含量对有机肥剂量的响应。田间试验开始于 2001 年,设置了 4 个施肥处理,分别为:单施化肥(OM0);低剂量有机肥与化肥配施(OM1);中剂量有机肥与化肥配施(OM2);高剂量有机肥与化肥配施(OM3)。在 2011 年播种前,采集各处理 0~20 cm 耕层土壤样品。应用有机碳物理分组方法,测定分析了土壤有机碳、氮及各组分的含量。研究结果表明长期不同剂量有机肥输入能够显著增加黑土总有机碳和全氮含量($P<0.05$),每增施 1 t 有机肥,土壤有机碳含量增加 0.186 kg,土壤全氮含量增加 0.02 kg,表明增加有机肥投入量是提高黑土有机碳含量的有效措施。有机肥的施用增加了土壤中粗颗粒和细颗粒组分,不同剂量有机肥处理表现为 OM3>OM2>OM1>OM0,而减小了土壤中矿质结合态组分的含量;随着有机肥施入量的增加,粗颗粒和细颗粒土壤有机碳和氮的含量呈增加的趋势,而矿质结合态中的有机碳含量则略有下降,表明粗颗粒和细颗粒有机碳和氮是黑土有机碳和氮的主要储存库,有机无机配施对土壤有机碳、氮的提升作用主要集中于对活性组分颗粒有机质的形成和积累。与 OM0 处理相比,有机肥的施入显著降低了颗粒有机质和矿质结合态有机质的 C/N,并且随着有机肥施入量的增加而逐渐降低。与单施化肥相比,化肥有机肥配施能够显著增加土壤的总有机碳,全氮,颗粒有机碳、氮含量,其中以化肥配施高剂量有机肥效果最佳,有利于黑土土壤肥力的快速提升,改善黑土的土壤质量。

关键词:黑土;颗粒有机碳、氮;C/N;有机肥;矿质结合态碳、氮

中图分类号:S143.1;S511

黑土是一种自然肥力很高的土壤,在其被开垦初期土壤有机质含量高达 11.82%,但是其被开垦后由于高强度的土地利用和水土流失等因素导致土壤有机质含量迅速下降,开垦 20 年后土壤有机质含量下降了 4.28%,开垦 40 年后下降了 5.88%^[1],到目前为止黑土的有机质含量已经下降了 60%^[2],同时土壤耕作也破坏了土壤中的大团聚体^[3],使得土壤中的颗粒有机碳暴露^[4],其在微生物作用下被分解,降低了土壤颗粒有机碳的含量^[5],降低了黑土肥力,限制了作物的生长,威胁了东北黑土区的粮食产量。因此,如何快速有效地增加土壤有机碳含量,维持和提高土壤肥力,保障该地区的粮食产量,是目前研究的热点之一。土壤中有机碳的积累是一个缓慢的过程,其影响

因素包括耕作、轮作和施肥等^[6]。在农业管理措施中,有机培肥是维持和提高农田生态系统生产力的重要手段,也是影响农田土壤有机碳和氮含量的最主要且最直接的因素之一,有机肥输入量将直接影响土壤有机碳的合成与转化,从而对土壤有机碳含量及组分分布产生重要影响^[7]。大量研究已经报道了有机肥的施用能够增加土壤有机碳的含量^[8]。王改兰等^[9]研究表明,经过 13 年低量有机肥处理,栗褐土有机质含量增加了 65% 左右;而施高量有机肥的处理,土壤有机质含量成倍地增加。通过长期定位试验,研究不同剂量有机肥施入对农田黑土有机碳、氮含量的影响,对提高黑土肥力,改善土壤质量,实现黑土的可持续利用具有重要意义。

基金项目:国家自然科学基金项目(41571219, 41371296, 41301312)和公益性行业(农业)科研专项(201303126, 201303011, 201303030)资助。

* 通讯作者(xzhan@neigaehrb.ac.cn)

作者简介:邹文秀(1982—),女,黑龙江巴彦人,博士,副研究员,主要从事农田生态方面的研究。E-mail:zouwenxiu@iga.ac.cn

土壤颗粒有机碳(POM)属于砂粒级(53 ~ 2 000 μm)的有机质部分,是有机质中的“慢性”库,其来源于植物地上或根部未分解和结构已知的残体,属于分解速度中等的有机物质,周转周期约为5 ~ 20年,其数量和组成能够反映植物残体的归还程度^[4],其对土地管理措施的响应更加敏感,可以作为土壤活性有机质的组分和量度指标^[10],同时也可以作为有机碳长期累积性的指标^[11],与微生物生长、养分供给及碳氮的生物学调控密切相关^[12]。施肥是影响土壤有机碳转化和积累的重要因素之一^[13]。在潮土上的研究表明有机肥及有机肥与化肥配施均能够增加土壤颗粒有机碳和氮含量及储量,同时提高土壤颗粒有机碳和氮分配比例,证明了有机肥的施用能够增加土壤的“固碳”功能^[14]。在栗褐土上的研究表明不同数量有机肥的施用已经影响了土壤的颗粒有机碳的含量,表现为高剂量有机肥的施用已经增加了栗褐土游离态、闭蓄态和总颗粒有机碳的含量,但是却降低了土壤矿质结合态有机碳的含量^[15]。但是在关于不同剂量有机肥对黑土颗粒有机碳的影响还鲜有报道。因此,本研究利用长期定位试验研究了不同剂量有机肥输入对黑土颗粒有机质分布及其有机碳和氮的影响,以其为黑土的土壤有机碳管理提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在中国科学院海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站进行,地理位置 47°26'N, 126°38'E, 海拔 240 m, 属温带大陆性季风气候, 冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨, 雨热同季, 年均气温 1.5℃, 极端最高气温 37℃, 极端最低气温 -39.5℃, 年降水量 500 ~ 600 mm, 且主要集中在 7—9 月份, 年有效积温 2 450℃, 年均日照时数 2 600 ~ 2 800 h, 年无霜期 125 天。土壤类型为中厚层黑土, 是在第四纪形成的黄土状母质上发育起来的地带性土壤, 质地以黏性土为主, 土壤物理性黏粒>60%, 土壤固相比>50%, 土壤膨胀性>25%, 土体结构致密。地下水埋深 20 ~ 30 m。

1.2 试验设计

试验起始于 2001 年, 5 个不同有机肥水平的处理分别为: OM0, 化肥 NPK, 不施有机肥; OM1, 化肥+猪粪 (7.5 t/(hm²·a)); OM2, 化肥+猪粪 (15.0 t/(hm²·a)); OM3, 化肥+猪粪 (22.5 t/(hm²·a)), 每个处理 3 次重复, 小区面积为 12.0 m × 5.6 m, 随机区组排列。

每个处理同一种作物的化肥施用量是相同的(表 1)。作物种植方式采用小麦-玉米-大豆轮作。腐熟的猪粪于每年秋收后撒施于地表, 然后由机械翻耕进入土壤。猪粪的碳含量在 321.0 ~ 338.0 g/kg 之间, 氮含量在 23.8 ~ 24.0 g/kg 之间。取样时间为 2011 年 5 月 3 日, 播种前。

表 1 不同作物化肥施用量(kg/(hm²·a))
Table 1 The amount of chemical fertilizer application (kg/(hm²·a))

作物	氮肥 (N)	磷肥(P ₂ O ₅)	钾肥(K ₂ O)
小麦	75.0	60.0	30.0
玉米	120.0	60.0	30.0
大豆	20.2	51.7	30.0

1.3 样品分析方法

有机碳和全氮含量利用元素分析仪(Elementar, Germany)测定。颗粒有机质(Particulate organic matter, POM)的分离采用 Cambardella 和 Elliott^[4]的方法, 具体过程为将风干土过 2 mm 筛, 50℃ 烘干一夜, 保存在 4℃。称取土样 25 g 于 75 ml 的六偏磷酸钠 (5 g/L) 溶液中, 在振荡器中以 140 r/min 的速度振荡 15 h, 将分散的土样过 0.053 mm 筛, 不断用清水冲洗直至沥滤液澄清。再将筛上物组分分离出>0.25 mm 和 0.053 ~ 0.25 mm 两个组分, 前者为粗颗粒有机质(Coarse POM), 后者为细颗粒有机质(Fine POM), 矿质结合态有机质(Mineral incorporated organic matter, IOM, <0.053 mm)用差值法求得。将分离出的各组分在 45℃ 烘干称重, 计算其所占土壤的百分比, 然后过 0.25 mm 筛, 用元素分析仪(Elementar, Germany)测定土壤颗粒有机碳和氮的含量。

所有试验数据采用 SigmaPlot 7.0 进行整理分析、绘图制作。不同处理间数据的差异显著性(Duncan 法)采用 SPSS17.0 进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 不同有机肥处理对土壤总有机碳和全氮含量的影响

土壤总有机碳和全氮含量与有机肥施入量密切相关(图 1)。与 OM0 处理相比, 有机肥的施入显著增加了土壤总有机碳和全氮的含量($P<0.05$), OM1、OM2 和 OM3 处理下土壤总有机碳和全氮分别增加了 6.2%、11.4%、19.0% 和 6.3%、9.1%、16.0%。对土壤总有机碳和全氮含量与有机肥施入量进行线性回归分析表明, 每增施 1 t 有机肥, 土壤有机碳含量增加 0.186 kg, 土壤全氮含量增加 0.02 kg, 说明有机培肥能够有效地提高土壤有机碳含量和供氮能力, 在一

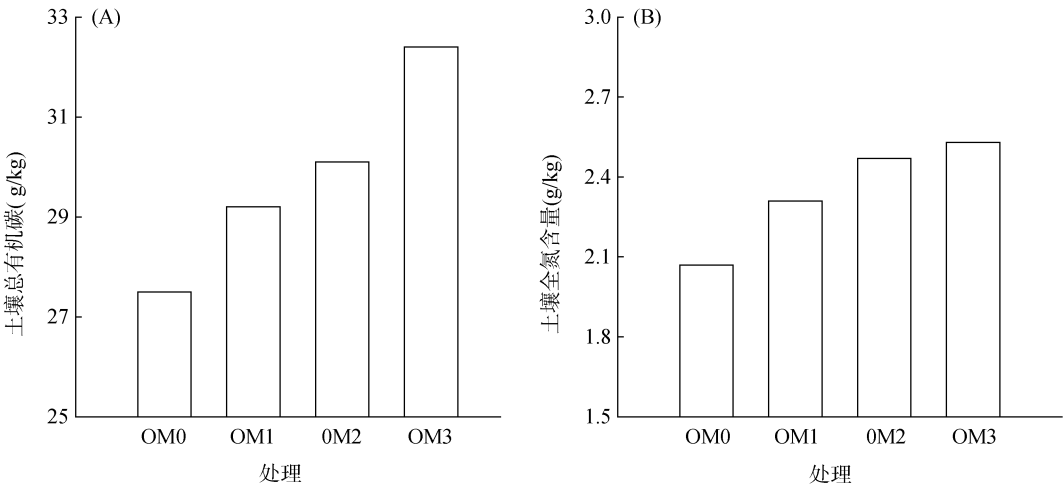


图 1 不同有机肥处理土壤总有机碳和全氮含量变化

Fig. 1 Total organic carbon and nitrogen contents in the soils amended with different amounts of organic manure

定范围内,增加有机肥的施入量能够显著提高土壤有机碳和全氮的含量^[15]。施用有机肥能够增加土壤有机碳和氮含量的原因首先是施肥可以改善土壤中速效养分状况进而促进作物根系和地上部的生长,从而增加土壤的根系分泌物和有机残体数量;其次影响土壤中微生物的数量和活性,进而影响土壤有机物的分解过程^[17]。在东北黑土区,虽然土壤本身有机碳库含量较高,但由于高强度的土地利用方式,加之作物秸秆大量移出农田生态系统,土壤有机碳库呈亏缺状态^[18]。因此,提高有机物质的投入量是改善土壤有机碳储量的有效措施,其中有机肥配施化肥是最佳施肥方法。黑土有机碳含量较高,小剂量有机肥的施入对土壤有机碳的提升作用不明显^[16]。本研究设置了 7.5 ~ 22.5 t/(hm²·a) 3 个水平的有机肥施用量,虽然与 OM1 相比,有机肥的施用均增加了黑土有机碳的含量,但是大剂量(OM3, 22.5 t/(hm²·a)有机肥的施用能够更快速地提高土壤有机碳的含量,恢复黑土的土壤肥力。

2.2 不同有机肥处理对土壤颗粒组分及其碳、氮分配的影响

2.2.1 土壤颗粒组分与矿质结合态组分的分布 不同有机肥处理对土壤颗粒组分和矿质结合态组分的分配存在显著差异(表 2)。黑土中粗颗粒有机质(2 ~ 0.25 mm)、细颗粒有机质(0.25 ~ 0.053 mm)和矿质结合态有机质(<0.053 mm)的分配比例分别为 1.06% ~ 2.12%, 1.22% ~ 2.29% 和 95.6% ~ 97.7%。不同有机肥处理土壤粗颗粒有机质分配比例表现为 OM3>OM2>OM1>OM0, 各处理之间的差异达到显著水平($P<0.05$)。细颗粒有机质的分配比例中 OM3 处理显著高于其他处理($P<0.05$)。土壤矿质结

表 2 不同有机肥处理土壤颗粒组分与矿质结合态组分的分配比例(%)

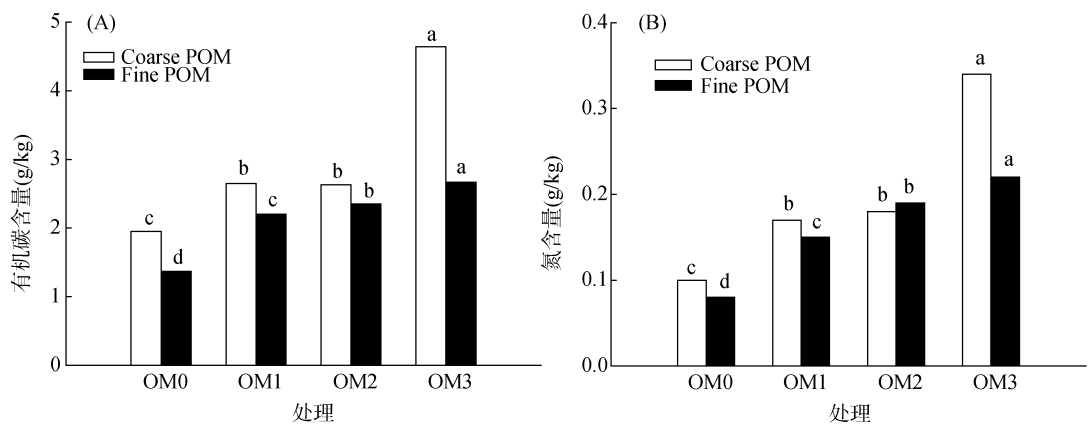
Table 2 Distribution of different particulate fractions from the soils amended with different amounts of organic manure (%)

处理	粗颗粒 (2 ~ 0.25 mm)	细颗粒 (0.25 ~ 0.053 mm)	矿质结合态组分 (<0.053 mm)
OM0	1.0 ± 0.04 d	1.22 ± 0.06 c	97.7 ± 0.10 a
OM1	1.66 ± 0.06 c	1.82 ± 0.19 b	96.5 ± 0.21 b
OM2	1.92 ± 0.03 b	1.82 ± 0.21 b	96.6 ± 0.25 b
OM3	2.12 ± 0.05 a	2.29 ± 0.06 a	95.6 ± 0.14 c

注:表中数据为平均值±标准差,同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平,下表同。

合态有机质的变化趋势表现为 OM0>OM2≥OM1>OM3, 其中 OM3 处理与其他处理之间差异达显著水平($P<0.05$)。因此,有机肥的施入能够增加土壤的粗颗粒有机质和细颗粒有机质的含量。本研究结果与龚伟等^[14]的研究结果相一致,即有机肥的施用能够有效地增加土壤中粗颗粒的分配比例。李维福等^[19]在黑土上的研究也表明有机肥的施用能够增加土壤中的游离态有机质和闭蓄态有机质的含量。

2.2.2 土壤颗粒有机碳、氮含量的变化 土壤粗颗粒有机碳、氮和细颗粒有机碳、氮含量与有机肥施入量密切相关(图 2, 表 3)。不同有机肥处理黑土粗颗粒有机碳、氮的含量为 1.95 ~ 4.64 g/kg 和 0.10 ~ 0.34 g/kg, 占土壤总有机碳和全氮含量的 7.08% ~ 14.60% 和 4.49% ~ 13.20%。与 OM0 处理相比, OM1、OM2 和 OM3 处理粗颗粒有机碳、氮含量分别增加了 36.63%、37.61%、75.80% 和 78.51%、138.22%、259.51%。不同有机肥处理下黑土细颗粒有机碳、氮的含量为 1.37 ~ 2.67 g/kg 和 0.08 ~ 0.22 g/kg, 占土壤总有机碳和全氮含量的 4.99% ~ 8.36% 和 3.88% ~ 8.44%。不同有机肥处理细颗粒有机碳、氮含量的变



(Coarse-POM 和 Fine-POM 分别代表粗颗粒有机质和细颗粒有机质，下同)

图 2 不同有机肥处理土壤颗粒有机质中碳(A)和氮(B)含量的变化

Fig.2 Organic carbon (A) and nitrogen contents (B) in particulate organic matter from soils amended with different amounts of organic manure

表 3 不同有机肥处理土壤颗粒有机碳和氮占全土有机碳和全氮的比例(%)

Table 3 The ratios of organic carbon and nitrogen in different size fractions to bulk soil under different amounts of organic manure application (%)

处理	粗颗粒有机质		细颗粒有机质		矿质结合态有机质	
	C	N	C	N	C	N
OM0	7.08 ± 0.33 d	4.49 ± 0.20 c	4.99 ± 0.14 d	3.88 ± 0.18 d	87.9 ± 0.34 a	91.6 ± 0.14 a
OM1	9.15 ± 0.51 b	7.18 ± 0.46 b	7.23 ± 0.25 c	6.21 ± 0.25 c	82.7 ± 0.82 b	86.6 ± 0.35 b
OM2	8.87 ± 0.17 c	6.96 ± 0.12 b	7.66 ± 0.03 b	6.99 ± 0.02 b	83.8 ± 0.15 b	86.1 ± 0.11 b
OM3	14.60 ± 0.20 a	13.20 ± 1.31 a	8.36 ± 0.11 a	8.44 ± 0.11 a	78.0 ± 0.35 c	78.4 ± 1.29 c

化均表现为 OM3>OM2 >OM1> OM0 ,其中各处理间的差异均达到显著水平($P<0.05$)。

因此，与单施化肥相比，有机无机配施显著增加了土壤颗粒有机碳、氮的含量，且随着有机肥施用量的增加呈逐渐升高的趋势，与 Ou · drogo 等^[20]研究结果相一致。本研究中不同处理土壤颗粒有机碳、氮含量的增加应该归因于土壤中总有机物料投入量的增加。试验中施用的有机物料为腐熟的猪粪，其自身可以直接作为胶结剂，促进颗粒有机质的形成^[21]；另一方面有机肥的施入大幅度地提高了作物的根茬量与根系分泌物的数量，改善土壤的结构，使更多的

有机碳进入大团聚体而被保护起来，从而增加了土壤颗粒有机碳和氮的含量^[22]。

2.2.3 土壤矿质结合态有机碳、氮含量的变化 有机肥施入量对土壤矿质结合态有机碳、氮含量的影响不显著，含量分别为 24.2 ~ 25.0 g/kg 和 1.94 ~ 2.04 g/kg，占土壤总有机碳和全氮量的 78.0% ~ 87.9% 和 78.4% ~ 91.6%(图 3，表 3)。与 OM0 处理相比，有机肥处理对土壤矿质结合态有机碳含量的影响并不明显($P>0.05$)，但却显著增加了土壤矿质结合态有机氮的含量($P<0.05$)。有研究已经报道长期施用有机肥能够增加黑垆土矿质结合态有机碳的

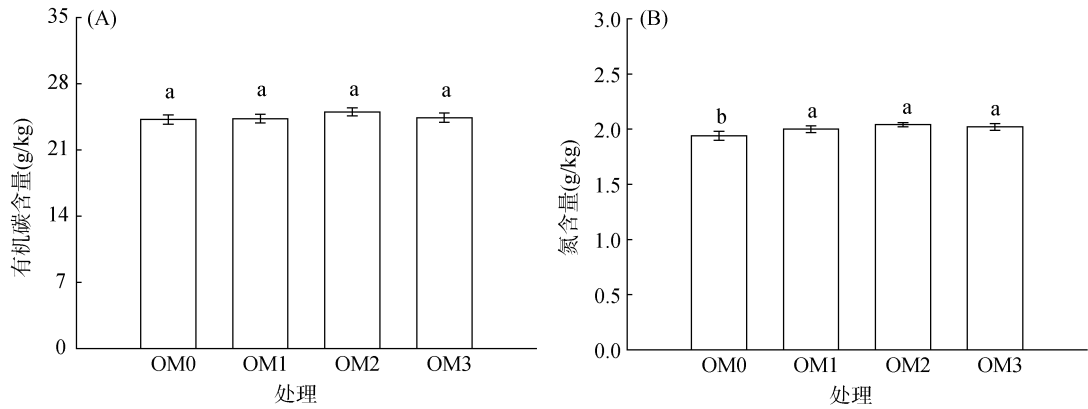


图 3 不同有机肥处理土壤矿质结合态有机质中碳(A)、氮(B)含量的变化

Fig.3 Organic carbon (A) and nitrogen contents (B) in mineral-bound fraction from soils amended with different amounts of organic manure

含量^[23],但是本研究中高量有机肥与化肥配施处理中土壤矿质结合态有机碳含量略有降低,与王朔林等^[15]的研究结果一致,其原因可能是土壤中的有机碳由矿质结合态向颗粒态转移,并且微生物代谢分泌物所增加的矿质结合态有机碳含量小于矿质结合态有机碳向颗粒有机碳转移的含量,最终导致矿质结合态碳净含量减少。从矿质结合态有机碳、氮的分配比例来看,有机肥显著降低了矿质结合态有机碳、氮在土壤总有机碳和全氮中的分配比例,且随着有机肥施入量的增加而呈逐渐降低的趋势,以 OM3 处理矿质结合态有机碳、氮的分配比例最低,仅为 78.0% 和 78.4%。说明有机无机肥配施对土壤有机碳、氮的提升作用主要集中于对活性组分颗粒有机质的形成和积累。

2.2.4 土壤及各颗粒组分 C/N 的变化 不同有机肥处理对土壤各颗粒组分 C/N 的影响并不一致(图 4)。全土与各颗粒有机质 C/N 的大小表现为粗颗粒有机质>细颗粒有机质>全土>矿质结合态有机质,其中粗颗粒有机质和细颗粒有机质的 C/N 显著高于矿质结合态有机质和全土($P<0.05$),说明碳和氮在黑土以及颗粒有机质和矿质结合态有机质中的分解和转化速率存在差异,并且与矿质结合态有机质相比,颗粒有机质更容易被分解和转化。Kaiser 等^[24]应用 ^{13}C 同位素技术研究发现,与有机无机复合体相比,颗粒有机质具有更短的平均驻留时间和更快的周转速度,表明其具有较高的生物活性。而矿质结合态有机质是被黏粒和粉粒紧密保护的有机质,这些有机质主要是颗粒有机质的分解产物,因此其 C/N 最低,微生物活性较差^[37]。

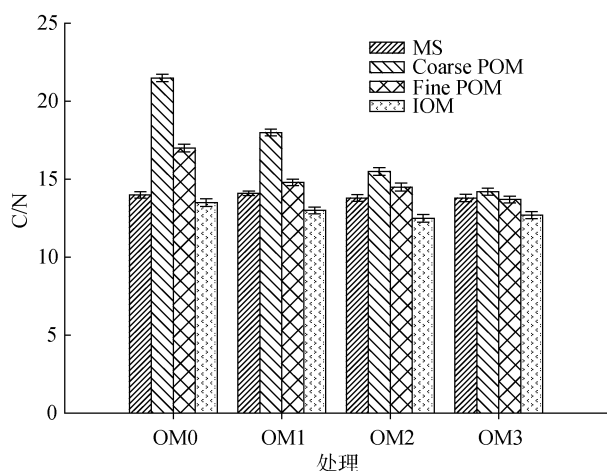


图 4 不同有机肥处理全土及各颗粒组分 C/N 的变化(MS 代表全土)

Fig. 4 C/N ratios in bulk soil and different size fractions from soils amended with different amounts of pig manure

与 OM0 处理相比,有机肥的施入显著降低了颗粒有机质和矿质结合态有机质的 C/N,并且各组分 C/N 的变化与有机肥的输入量密切相关(图 4)。粗颗粒有机质和细颗粒有机质的 C/N 随着有机肥输入量的增加而呈逐渐降低的趋势,不同有机肥处理下矿质结合态有机质的 C/N 之间的差异不显著。随着有机肥施入量的增加粗颗粒有机质和细颗粒有机质的 C/N 降低,这可能是因为有机肥中含有大量的碳水化合物和 N、P、K 等矿质营养,为土壤中细菌的生长提供了充足的能源和其他有效养分,进而激发了土壤中细菌的活性,增强了其对有机质的分解利用^[25]。

3 结论

1) 长期施用有机肥增加了黑土有机碳和全氮含量,并且随着有机肥施入量的增加,土壤有机碳和全氮含量呈增加的趋势,说明大剂量有机肥投入是提高黑土土壤肥力的有效措施。

2) 长期施用有机肥增加了土壤中粗颗粒有机质和细颗粒有机质的分配比例,降低了土壤中矿质结合态有机质的分配比例;高剂量有机肥的施入显著增加黑土颗粒有机碳和氮的含量,而降低了矿质结合态有机碳的含量,因此,颗粒有机质是黑土有机质的主要储存形式,高剂量有机肥配施化肥对土壤有机碳、氮的提升作用主要集中于对活性组分颗粒有机质的形成和积累。

3) 不同颗粒有机质的 C/N 表现为粗颗粒有机质>细颗粒有机质>矿质结合态有机质,表明黑土中的碳和氮更容易在颗粒有机质中发生分解和转化,同时有机肥的施用降低了各组分有机质的 C/N。

参考文献:

- [1] 何万云. 黑龙江土壤[M]. 北京: 农业出版社, 1992
- [2] 张兴义, 隋跃宇, 宋春雨. 农田黑土退化过程[J]. 土壤与作物, 2013, 2(1): 1-6
- [3] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明, 等. 黑土颗粒有机碳与矿物结合态有机碳的变化研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(1): 153-159
- [4] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56: 777-783
- [5] Chan KY, Heenan D P, Oates A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management[J]. Soil and Tillage Research, 2002, 63: 133-139
- [6] 侯化亭, 张丛志, 张佳宝. 不同施肥水平及玉米种植对土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. 土壤, 2012, 44(1): 163-166

- [7] Chantigny M H, Angers D A, Rochette P. Fate of carbon and nitrogen from animal manure and crop residues in wet and cold soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34: 509–517
- [8] 董春华, 高菊生, 曾希柏, 等. 长期有机无机肥配施下红壤稻田水稻产量及土壤有机碳变化特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(2): 336–345
- [9] 王改兰, 段建南, 李旭霖. 长期施肥条件下土壤有机质变化特征研究[J]. *土壤通报*, 2003, 34(6): 589–591
- [10] Zeller B, Dambrine E. Coarse particulate organic matter is the primary source of mineral N in the topsoil of three beech forests[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43: 542–550
- [11] 于建光, 李辉信, 陈小云, 等. 秸秆施用及蚯蚓活动对土壤活性有机碳的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 818–824
- [12] 李维福, 解宏图, 何红波, 等. 颗粒有机质的来源、测定及其影响因素[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1 849–1 856
- [13] 何翠翠, 王立刚, 王迎春, 等. 长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究[J]. *土壤学报*, 2015, 52(1): 194–203
- [14] 龚伟, 颜晓元, 蔡祖聪, 等. 长期施肥对小麦-玉米作物系统土壤颗粒有机碳和氮的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2 375–2 381
- [15] 王朔林, 王改兰, 赵旭, 等. 长期施肥对栗褐土有机碳含量及其组分的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(1): 104–111
- [16] 曹宏杰, 汪景宽. 长期不同施肥处理对黑土不同组分有机碳的影响[J]. *国土与自然资源研究*, 2012(3): 39–41
- [17] 于镇华, 元野, 刘居东, 等. Biolog-Eco 解析垦殖与自然恢复黑土微生物群落代谢功能季节变化[J]. *土壤与作物*, 2013(3): 105–111
- [18] 殷睿, 蒋先敏, 徐振锋, 等. 季节性雪被对川西亚高山岷江冷杉林冬季土壤氮矿化和淋溶的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(5): 138–143
- [19] 李维福, 谢宏图, 白震, 等. 长期施肥对黑土颗粒有机质的分布及其碳、氮含量的影响[J]. *土壤通报*, 2009, 40(2): 267–272
- [20] Ou · draogo E, Mando A, Stroosnijder L. Effects of tillage, organic resources and nitrogen fertilizeron soil carbon dynamics and crop nitrogen uptake in semi-arid West Africa[J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 91: 57–67
- [21] Fortuna A, Harwood R R, Paul E A. The effects of compost and crop rotations on carbon turnover and the particulate organic matter fraction[J]. *Soil Science*, 2003, 168: 434–444
- [22] Golchin A, Oades J M, Skjemstd J O, et al. Soil structure and carbon cycling[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, 32: 1 043–1 068
- [23] 樊廷录, 王淑英, 周广业, 等. 长期施肥下黑垆土有机碳变化特征及碳库组分差异[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(2): 300–309
- [24] Kaiser M, Wirth S, Ellerbrock R H, et al. Microbial respiration activities related to sequentially separated, particulate and water-soluble organic matter fractions from arable and forest topsoils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42: 418–428
- [25] 孙瑞莲, 朱鲁生, 赵秉强, 等. 长期施肥对土壤微生物的影响及其在养分调控中的作用[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1 907–1 910

Effect of Long-term Application of Organic Manure in Different Amounts on the Distribution of Particulate Organic Matter and the Contents of Carbon and Nitrogen in a Mollisol

ZOU Wenxiu¹, LIANG Yao², HAO Xiangxiang¹, LU Xinchun¹, HAN Xiaozeng^{1*}, LIU Yuanming³

(1 Key Laboratory of Mollisols Agroecology, National Observation Station of Hailun Agroecology System, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China; 2 Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130124, China; 3 850 Farm in Heilongjiang Province, Jixi, Heilongjiang 158422, China)

Abstract: The Mollisol is an important arable soil. A quickly decrease of organic matter in the Mollisol had limited the agricultural production and crop yields. The relationship between the input amount of organic manure application and the contents of carbon and nitrogen in soil particulate organic matter was investigated using soil samples from a long-term field experiment in National observation station of Hailun agro-ecology system to restore the soil fertility of a Mollisol. Soil samples from 0–20 cm layer were collected in four treatments including: chemical fertilizer (OM0), low amount organic manure (OM1), medium amount organic manure (OM2), high amount organic manure (OM3) set up in 2001. Physical fraction of organic carbon was used to test soil organic carbon, nitrogen and the contents of different fractions. Soil organic carbon and nitrogen were significantly increased by long-term organic manure application ($P < 0.05$). Soil organic carbon and nitrogen contents were increased by 0.186 kg and 0.02 kg when organic manure application was increased by 1 t, respectively, indicating that increased organic manure was an effective practice for increasing organic carbon and nitrogen of the soil. Organic manure application enhanced coarse particulate and fine particulate fractions with the order of OM3>OM2>OM1>OM0, while mineral particulate fraction was decreased. Organic carbon and nitrogen contents in coarse particulate and fine particulate fractions were increased with the increasing organic manure application, suggesting that organic carbon and nitrogen in coarse particulate and fine particulate fractions were main storing form of soil organic carbon and nitrogen for the Mollisol. The impact of chemical fertilizer and organic manure application on soil organic carbon and nitrogen was attributed to the formation and transformation of active particulate fraction. The application of organic manure significantly reduced C/N ratios in particulate and mineral fractions with the order of OM1>OM2>OM3 compared with OM0. The combination of chemical fertilizer and organic manure significantly increased soil organic carbon and nitrogen in bulk soil, coarse particulate and fine particulate fractions compared with OM0. High amount of organic manure with chemical fertilizer application was the most effective practice to improve soil fertility and quality.

Key words: Mollisoil; Particulate organic carbon and nitrogen; C/N; Organic manure; Mineral bound carbon and nitrogen