

有机无机肥长期施用对潮土团聚体及其有机碳含量的影响^①

耿瑞霖^{1,2}, 郁红艳¹, 丁维新^{1*}, 蔡祖聪¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 用湿筛法和密度分级相结合的方法, 将土壤区分为不同粒径团聚体, 并进一步把团聚体细分成不同组分, 系统比较了有机无机肥长期施用对潮土及其团聚体中有机 C 含量的影响。结果表明, 潮土团聚体以 53 ~ 250 μm 为主, 有机肥长期施用显著提高了 250 ~ 2000 μm 团聚体数量, 降低了 53 ~ 250 μm 团聚体的比例。无机肥施用增加了各粒径团聚体有机 C 含量, 但没有改变团聚体的比例。团聚体中有机 C 以细颗粒有机 C (fine iPOM) 为主, 有机肥施用显著增加了矿物态有机 C 含量, 并通过增加 250 ~ 2000 μm 团聚体中细颗粒有机 C (fine iPOM) 和矿物态有机 C 比例来提高土壤有机 C 含量。无机肥则通过比较均匀地增加团聚体中各组分有机 C 含量来提高土壤有机 C 水平。因此, 有机肥和无机肥在潮土上增加土壤有机质含量的机制存在明显差异。

关键词: 团聚体; 有机碳; 潮土; 施肥处理

中图分类号: S153.6; S152.4; S14

随着农田土壤利用集约化程度提高, 土壤退化已成为当今全球高度关注的问题之一, 其中土壤结构退化是土壤退化最重要的过程之一, 其最明显的特征是土壤有机质含量减少和土壤团聚体稳定性降低。

土壤有机质被认为是土壤质量或土壤健康的一个重要指标^[1], 是土壤团聚体的主要胶结剂之一, 团聚体形成的重要物质基础^[2], 对土壤团聚体结构的形成和发育起着十分重要作用^[3], 而团聚体是土壤结构的基本单元^[4], 调控了土壤的物理、化学和生物过程, 进而影响土壤有机质的分解和肥力功能的发挥^[5-6]。不同粒径团聚体对土壤肥力和性质的影响不同^[7-9]。因此, 土壤有机质与团聚体形成研究一直是土壤学关注的热点之一。揭示不同粒径团聚体及其组分有机碳含量的变化规律对培育土壤肥力具有重要的指导意义^[10-11]。

关于土壤团聚体的形成机制, 国内外学者已经开展了大量探索性研究, 并提出了不同的观点。Tisdall 和 Oades^[11]建立了团聚体等级机制模型, 认为土壤首先被较为稳定的胶结物质胶结而成为微团聚体, 然后再受到临时性的胶结物质作用而形成大团聚体。Oades^[12]则认为首先形成大团聚体。Six等^[13-14]提出了大团聚体“生命循环”的概念模型, 解释了大团聚体内新微团聚体的形成和团聚体内有机质的积累和损失机制。

已有研究结果表明, 土壤团聚体形成与土壤有机质含量之间存在着正相关关系^[15-16]。但也有研究发现, 有机质含量与团聚体之间的关系并不是简单的正相关关系, 可能受团聚体粒径的影响^[17]。耕作土壤中大团聚体比微团聚体能够固定更多的有机C, 但是大团聚体中的有机C存留时间比微团聚体短。因此, 微团聚体有机C含量及其比例越高, 越有利于土壤有机质含量提高。

土壤有机质含量受多种因素影响, 包括耕作方式、轮作和施肥等^[15], 其中施肥通过改善土壤养分状况来提高土壤有机质含量^[16]。现有研究结果表明, 有机肥比无机肥更有利于土壤有机质的积累^[18]。Yin 和 Cai^[19]曾利用密度分级方法将土壤有机质分为重组和轻组, 发现有机肥长期施用较无机肥更有效地提高轻组而不是重组有机C含量。本文利用湿筛法和密度分级相结合的方法研究了有机无机肥长期施用对潮土团聚体及其组分中有机C含量的影响, 目的是揭示不同种类肥料对有机C在潮土团聚体及其组分中的积累规律, 为土壤结构改善、肥力提高以及土壤退化阻控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

有机无机肥长期定位试验设于河南省封丘县的中

①基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(40725003)、国家自然科学基金项目(40971134)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-439)和江苏省自然科学基金项目(BK2008057)资助。

* 通讯作者(wxding@issas.ac.cn)

作者简介: 耿瑞霖(1984—), 男, 陕西人, 硕士研究生, 主要从事土壤碳循环方面的研究工作。E-mail: rlgeng@issas.ac.cn

国科学院封丘农业生态实验站 (35°00'N, 114°24'E), 试验始于1989年秋季, 共设7个处理: 长期不施肥的对照(CK)、NPK肥(NPK)、NK肥(NK)、NP肥(NP)、PK肥(PK)、有机肥(OM)和一半有机肥N与一半无机肥N配施(1/2OM), 重复4次, 随机区组排列, 小区面积为47.5 m²。种植方式是夏玉米-冬小麦轮作。该区域是华北平原的典型代表区, 属于半干旱半湿润的暖温带季风气候。年均气温为13.9℃, 月均最低温度出现在1月份, 为-1.0℃, 最高月均温是27.2℃, 出现在7月份。年均降水量615 mm, 其中2/3集中在夏季的6—9月份。土壤为黄河冲积物发育而成的潮

土, 质地为沙粒52%、粉粒33%和黏粒15%, 属砂壤土, pH值8.65。

1.2 土壤样品采集和分析

2007年6月小麦收获后采集0~20 cm耕层土样, 每个小区随机选取4个采集点, 采集原状土壤样品, 样品采集后小心地沿土块本身的裂隙分开, 由于潮土黏粒含量比较低, 极易分散成不同粒径的颗粒。一部分新鲜土样用于物理分组, 一部分土样风干后用于测定有机C和全N含量。

土壤团聚体的物理分级采用湿筛法和密度分组相结合的方法^[20-21]。具体的操作过程如图1。

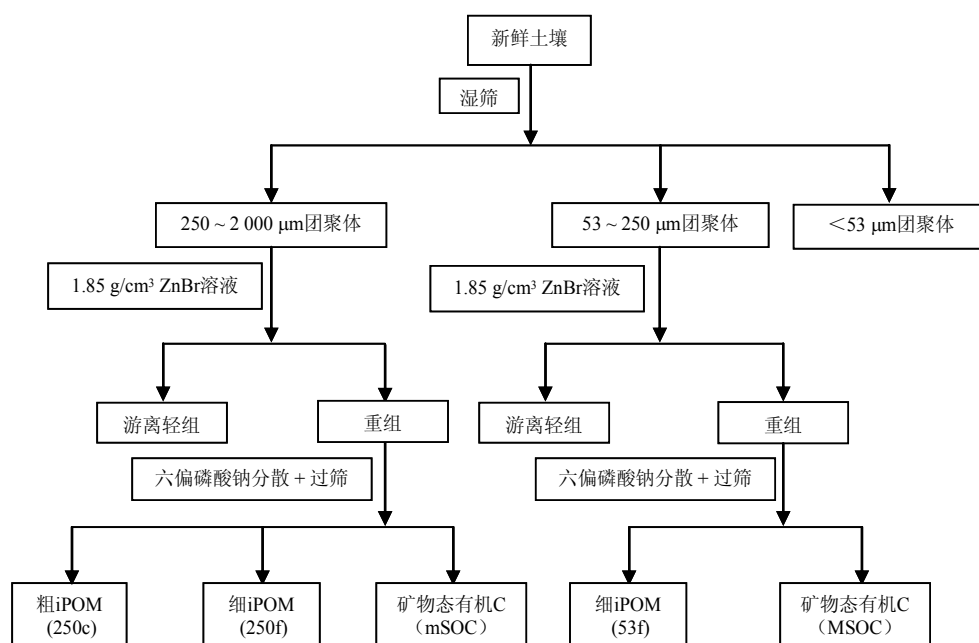


图1 土壤团聚体的物理分级方法

Fig. 1 Schematic diagram of the combined aggregate size and density fractionation

湿筛法: 称取100 g土样(烘干重), 放在置于25℃去离子水中的2000 μm筛子上浸泡5 min, 然后在2 min内以3 cm的幅度上下移动筛子50次, 筛上土样洗至烧杯, 获得>2000 μm的团聚体。通过2000 μm的土壤小心地洗入250 μm的筛子, 重复上述过程, 获得250~2000 μm的团聚体。再用53 μm的筛子进行分组, 重复上述步骤, 获得53~250 μm和<53 μm的团聚体。在本试验中, 没有收集到>2000 μm的团聚体, 因此团聚体共分为3级, 即250~2000 μm、53~250 μm和<53 μm。将3个粒径团聚体在40℃下烘干并称重。为了获得足够数量的团聚体进行下一步密度分级, 各处理的每个重复土样再进行一次上述分组。

密度分组方法: 称取上述分级获得的不同粒径团

聚体50 g(烘干重)于250 ml离心管中, 加入密度为1.85 g/cm³的ZnBr重液150 ml, 加盖后上下倒转10次, 用少量重液冲洗管壁及盖子, 使其完全进入溶液, 静置20 min后以2500 r/min转速离心30 min, 然后将上清液用600目尼龙滤网过滤, 重复3次使轻组(LF)完全洗出, 再加入去离子水离心, 重复3次洗出残余ZnBr。

向剩余重组中加入0.5% (w/v) 六偏磷酸钠(HMP)溶液150 ml, 放入振荡机振荡18 h分散团聚体后, 依次过250 μm和53 μm的筛子, 分别得到250~2000 μm团聚体内粗颗粒有机C(coarse iPOM, 250c)、细颗粒有机C(fine iPOM, 250f)和<53 μm矿物结合态有机C(mSOC), 53~250 μm团聚体内细颗粒有

机碳 (fine iPOM, 53f) 和 $<53\ \mu\text{m}$ 矿物结合态有机碳 (MSOC)。将各级组分土壤在 40°C 下烘干称重。

将原土及分级所得组分土壤烘干磨细过筛后进行有机 C 测定, 有机 C 测定采用重铬酸钾容量法。

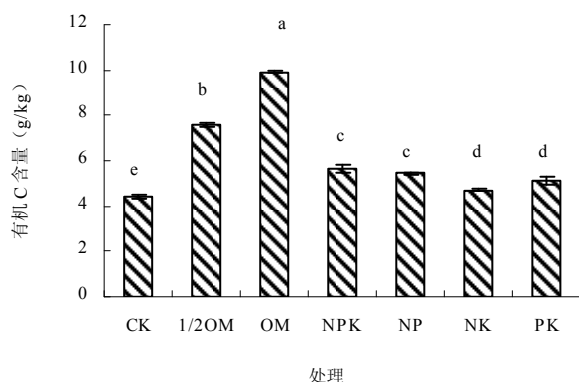
1.3 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析, 使用 LSD 法分析平均值在 $p<0.05$ 水平的显著性差异。

2 结果与分析

2.1 施肥对土壤有机碳含量的影响

封丘潮土砂粒含量较高, 属于砂质壤土, 对有机质的固持能力相对较弱。过去 17 年不施肥土壤 (CK) 的有机 C 含量只有 $4.43\ \text{g/kg}$; 相反, 有机或者无机肥施用不同程度地提高了土壤有机 C 含量 (图 2)。施用有机肥 (1/2OM 和 OM 处理) 的土壤有机 C 含量增加最为明显, 与 CK 相比分别提高了 $3.19\ \text{g/kg}$ 和 $5.47\ \text{g/kg}$, 增幅达到 72.0% 和 123.5%。NPK 和 NP 处理次之, 土壤有机 C 含量分别是 $5.60\ \text{g/kg}$ 和 $5.43\ \text{g/kg}$, 而 PK 和 NK 处理土壤有机 C 含量增加幅度较小。这些结果表明, 潮土有机质含量提升具有巨大潜力, 而有机肥单施或与无机肥配施是快速提高土壤有机质含量的有效措施; 相反, 不施 P 或者 N 肥强烈地影响有机 C 含量的提高。



(不同小写字母代表差异达到显著水平 ($p<0.05$, $n=4$))

图 2 有机无机肥施用对土壤有机 C 含量的影响

Fig. 2 Influences of the application of organic manure and chemical fertilizers on the concentration of soil organic carbon

2.2 施肥对土壤团聚体的影响

图 3 给出了 4 个重复测定获得的土壤不同粒径团聚体的平均相对含量。潮土中未测到 $>2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体, $<53\ \mu\text{m}$ 、 $53\sim 250\ \mu\text{m}$ 和 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体的相对含量分别为 14% ~ 28%、55% ~ 72% 和 9% ~

31%。很明显, 潮土团聚体以 $53\sim 250\ \mu\text{m}$ 粒径为主。有机肥施用强烈地改变了不同粒径团聚体的相对含量, 显著提高了 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体的比例, 与 CK 处理相比, 1/2OM 和 OM 处理土壤 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体含量分别增加了 101% 和 250%, 但是明显降低了 $53\sim 250\ \mu\text{m}$ 和 $<53\ \mu\text{m}$ 团聚体的比例, 因此 $53\sim 250\ \mu\text{m}$ 团聚体不断形成 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体的过程可能是有机肥施用增加旱地土壤有机质含量的机制。

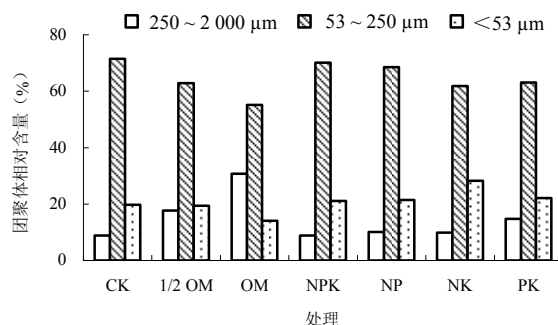


图 3 施肥对土壤团聚体相对含量的影响 ($n=4$)

Fig. 3 Influences of application of organic manure and chemical fertilizers on the ratio of different aggregates

除 PK 处理一定程度提高了 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体相对含量外, 其他无机肥处理对 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体比例的影响不大。但值得注意的是, NK 处理土壤 $53\sim 250\ \mu\text{m}$ 团聚体相对含量在下降, 而 $<53\ \mu\text{m}$ 团聚体在增加, 表明土壤团粒结构在退化并首先表现在 $53\sim 250\ \mu\text{m}$ 团聚体。因此, 测定土壤团聚体相对含量可以用来反映土壤质量的状况以及土壤有机质含量提升的潜力。

2.3 施肥对土壤团聚体中有机碳含量的影响

表 1 列出了施肥对土壤团聚体中有机 C 含量的影响。所有供试土壤中, $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体中有机 C 含量显著高于其他粒径团聚体, 而 $53\sim 250\ \mu\text{m}$ 和 $<53\ \mu\text{m}$ 团聚体之间有机 C 含量没有明显差异。有机肥施用显著提高了各个粒径团聚体中有机 C 含量, 并通过大幅提高 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 团聚体所占比例来增加土壤有机 C 含量 (图 3)。相反, 无机肥施用虽然也一定程度地提高了各粒径团聚体中有机 C 含量, 但是由于 $250\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 和 $<53\ \mu\text{m}$ 团聚体所占比例比较小并且没有发生明显变化, 因此对土壤有机 C 含量增加的贡献较小, 而 $53\sim 250\ \mu\text{m}$ 团聚体中有机 C 含量的增加则对土壤有机 C 含量提高起着重要作用。在无机肥处理中, NPK 平衡施用或者 NP 处理使得各粒径团聚体中有机 C 含量不同程度提高, 而 NK 处理则加速 $53\sim 250\ \mu\text{m}$

团聚体中有机 C 含量下降。很明显, 有机肥主要通过提高不同粒径团聚体中有机 C 含量以及 250 ~ 2 000 μm 团聚体占土壤的比例来提高土壤有机 C 含量; 除 NK 处理外, 无机 N 肥则主要通过提高团聚体尤其是 53 ~ 250 μm 团聚体有机 C 含量来提升土壤有机 C 含量, 两者存在着明显差异。

表 1 施肥对土壤团聚体中有机 C 含量影响 (g/kg)

Table 1 Influences of fertilization on the contents of soil organic carbon in aggregates

处理	250 ~ 2 000 μm	53 ~ 250 μm	<53 μm
CK	6.31 e	4.22 e	3.14 f
1/2 OM	11.82 b	7.59 b	7.32 b
OM	12.17 a	8.80 a	10.51 a
NPK	8.85 c	5.05 c	5.77 c
NP	8.68 c	4.81 d	4.02 e
NK	8.66 c	3.66 f	4.43 e
PK	6.86 d	4.82 d	5.06 d

注: 同列不同字母表示差异达到显著水平 ($p < 0.05$)。

2.4 施肥对团聚体中组分有机碳含量的影响

由图 4 可见, 250 ~ 2 000 μm 和 53 ~ 250 μm 团聚体中不同组分有机 C 含量存在着很大差异, 以粗颗粒有机碳(coarse iPOM, 250c)含量最高, 达到 12.7 ~ 18.1 g/kg, 其他组分中有机 C 含量则受所施肥料种类影响, 不同组分有机 C 含量变化无一致规律。与 CK 处理相比, 施用有机肥显著提高了 250 ~ 2 000 μm 团聚体中所有组分有机 C 含量, 粗颗粒有机 C (250c) 含量增加最大, 矿物态有机 C (mSOC) 含量次之, 细颗粒有机 C (fine iPOM, 250f) 含量增加幅度最小; 无机肥施用则主要增加了粗颗粒有机 C (250c) 含量, 对矿物态有机 C (mSOC) 也有一定影响, 而对细颗粒有机 C (250f) 含量增加的效果等于甚至大于有机肥处理。就不同无机肥而言, NPK 和 NP 处理对不同组分有机 C 含量均有提升效果, 对细颗粒有机 C (250f) 提高作用甚至优于有机肥处理, NK 处理则主要提高粗颗粒有机 C 含量, 而 PK 处理主要增加细颗粒有机 C (250f) 和矿物态有机 C (mSOC)。OM 和 1/2OM 处理与 NPK 处理相比, 矿物态有机 C (mSOC) 含量增加幅度最为显著。在 53 ~ 250 μm 团聚体中, 有机肥施用明显提高了矿物态有机 C (MSOC) 含量, 但是增加幅度远低于 250 ~ 2 000 μm 团聚体中矿物态有机 C (mSOC)。对细颗粒有机 C (53f) 含量的提升幅度, 有机肥的作用略高于无机肥。不同无机肥处理中, NPK 和 NP 处理对细颗粒有机 C (53f) 提高的效果优于 NK 和 PK

处理。这些结果表明, 施用有机肥更有利于粗颗粒有机 C 和矿物态有机 C 的积累, 而对细颗粒有机 C 含量的影响较小, 并且不同团聚体中矿物态有机 C 含量提升的速率存在着明显的差异, 总体上随着团聚体减小而降低。相反, 无机肥施用对团聚体中各组分有机 C 含量都有一定程度提高, NPK 和 NP 处理的作用更加明显。

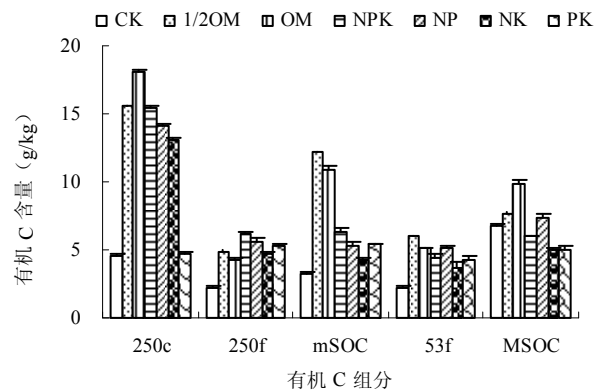


图 4 施肥对团聚体中不同组分有机 C 含量的影响 ($n = 4$)

Fig. 4 Influences of application of organic manure and chemical fertilizers on the contents of organic carbon in fractions of aggregates

综合分析团聚体中组分有机 C 含量和组分所占比例可以发现(图 5), 有机肥施用提高土壤有机 C 含量, OM 处理主要是通过增加 250 ~ 2 000 μm 团聚体中矿物态有机 C (mSOC) 和细颗粒有机 C (250f), 而 1/2OM 处理则通过提高 250 ~ 2 000 μm 团聚体中矿物态有机 C (mSOC) 和 53 ~ 250 μm 团聚体中细颗粒有机 C (53f) 来实现的。无机肥料施用尤其是 NPK 和 NP 处理主要通过提高 53 ~ 250 μm 团聚体中细颗粒有机 C (53f) 含量来增加土壤有机 C。这些研究结果表明, 53 ~ 250 μm 团聚体中细颗粒有机 C (53f) 在土壤有机 C 含量提升过程中可能起着关键的作用。

3 讨论

3.1 施肥对土壤水稳性团聚体及其有机碳含量的影响

华北平原潮土中水稳性团聚体以 53 ~ 250 μm 为主, 占到 55% ~ 75%, 250 ~ 2 000 μm 和 <53 μm 团聚体所占比例随所施肥料种类而变化。有机肥长期施用的 OM 和 1/2OM 处理中, 250 ~ 2 000 μm 团聚体数量显著增加, 53 ~ 250 μm 团聚体的比例则降低, 而无机肥施用对不同粒径团聚体比例没有产生明显的影响。这一团聚体分布特征明显不同于水稻土上发现的规律。周萍和潘根兴^[22]对太湖地区有机 C 含量为 16 g/kg 的水稻土研究发现, 土壤团聚体以 >2 000 μm

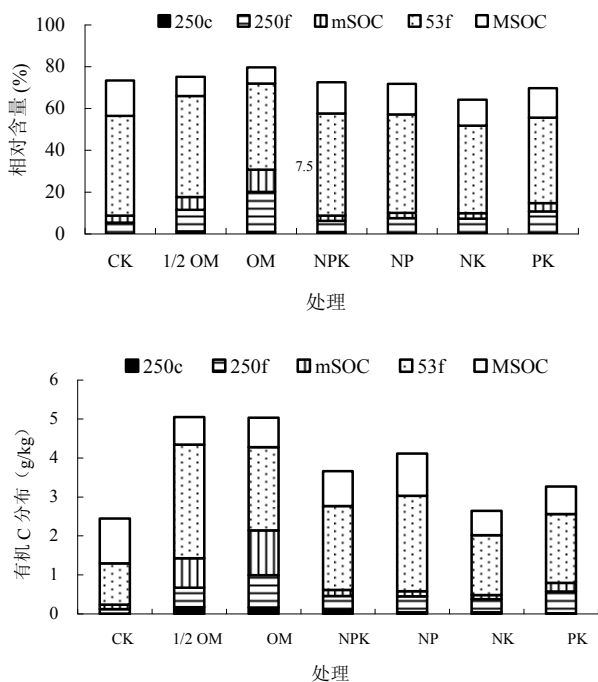


图 5 施肥对团聚体中组分比例及其有机 C 量的影响 ($n=4$)

Fig. 5 Influences of fertilization on the distributions of organic carbon in fractions of aggregates

和 $250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ 为主, 并且施用有机肥显著增加了 $>2\,000\ \mu\text{m}$ 水稳性团聚体, 减少了 $250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ 水稳性团聚体。李成亮等^[23]对旱地红壤研究发现, 施用有机肥显著促进了 $>1\,000\ \mu\text{m}$ 水稳性团聚体的形成。杨长明等^[24]比较了不同施肥方式对山东禹城潮土团聚体稳定性的影响, 观察到有机无机肥配施明显增加了土壤 $>250\ \mu\text{m}$ 水稳性团聚体的含量, NPK 肥则没有影响, 这与本研究获得的结果相似。

单施化肥由于作物地上部分全部移出农田, 因此土壤增加的有机 C 主要来自根系及其分泌物。NPK 处理土壤各团聚体中有机 C 含量高于其他无机肥处理是由于 NPK 平衡施用更加有效地促进了作物生长, 从而有更多根系及其分泌物输入土壤 (表 1)。周萍和潘根兴^[22]认为这些物质把土壤中较小的颗粒胶结成大的水稳性团聚体, 即根系分泌物或者根毛等物质将 $250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ 的水稳性团聚体进一步团聚为更大团聚体。Six 等^[10]分析了大气 CO_2 浓度升高对土壤团聚体的影响, 发现随着土壤中小粒径大团聚体 ($250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$) 减少, 更大粒径团聚体 ($>2\,000\ \mu\text{m}$) 的数量明显增加, 这种变化是植物生物量增加导致更多的新鲜有机物质输入土壤并作用于团聚体的结果。本研究中无机肥处理所增加的土壤有机 C 几乎均匀地分布于各粒径团聚体中, 表明即便 $<53\ \mu\text{m}$ 团聚体

中, 有机 C 含量还是有很大的提升空间。由此我们推测, 施肥对华北平原潮土团聚体的影响明显有别于红壤和水稻土的原因在于, 团聚体中有机 C 含量比较低, 只有当小粒径团聚体中有机 C 含量达到一定程度时才能进一步复合形成更大的团聚体。

3.2 施肥对土壤团聚体中不同组分有机碳含量的影响

土壤团聚体中有机 C 固定和保护机制的探讨已经成为土壤有机 C 截获研究的热点。国内外大量研究表明, 土壤有机 C 库中颗粒有机 C (POC) 可以反映不同管理措施对土壤有机 C 含量的影响。史奕等^[25]对松嫩平原典型黑土研究发现, POC 主要存在于水稳性大团聚体中。周萍和潘根兴^[22]的研究表明, 水稻土中的 POC 含量以 $>2\,000\ \mu\text{m}$ 水稳性大团聚体中最高, 随团聚体粒径的减小而下降, 并且发现不同肥料种类影响着 POC 含量, 化肥和秸秆配施加速了 $>2\,000\ \mu\text{m}$ 团聚体中 POC 的积累, 化肥和猪粪配施则显著提高了 $250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ 和 $53 \sim 250\ \mu\text{m}$ 团聚体中 POC 的含量, 相反单施化肥则减少了 $>2\,000\ \mu\text{m}$ 团聚体中 POC 的数量。本研究中颗粒有机 C 的分布明显不同于黑土和水稻土, 从图 5 可见, POC 主要分布在 $53 \sim 250\ \mu\text{m}$ 的微团聚体 (53f) 中。

有机肥施用显著地提高了 $250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ 团聚体中颗粒有机 C 特别是细颗粒有机 C (250f) 所占的份额, 但有机肥的更大作用是显著增加了矿物态有机 C 含量 (图 4), 可能的原因是有机肥施入土壤后不断遭到微生物分解并产生大量的中间产物, 这些物质在团聚体内与矿物结合成为矿物态有机 C。这一现象也间接地说明供试土壤固定有机 C 的潜力很大。我们的研究结果进一步表明, 有机肥施用提高土壤有机 C 含量不仅取决于颗粒有机 C 的积累, 而且与矿物态有机 C 含量提高密切相关, 后者可能比颗粒有机 C 更加稳定, 更加有效地提高土壤有机质含量。方华军等^[26]发现, 矿物态有机 C 含量比颗粒有机 C 含量高 1 倍多。周萍和潘根兴^[22]的结果表明, 随着团聚体减小, 颗粒有机 C 占土壤有机 C 量的比例不断降低。

与有机肥处理不同, 无机肥处理主要增加 $53 \sim 250\ \mu\text{m}$ 团聚体中细颗粒有机 C 的积累 (图 5), 然而我们也发现, 除粗颗粒有机 C (250c) 和矿物态有机 C (mSOC 和 MSOC) 外, 团聚体中其他组分有机 C 含量在不同无机肥处理之间具有一定差异, 但幅度不是很大, 可能是施用无机肥的土壤中有机物质主要来自根系及其分泌物, 缺少有机肥中的有效胶结物, 从而限制更大团聚体形成, 使得团聚体比例没有发生变化。因此, 施用有机肥较无机肥不仅可以有效地增加土壤

有机质含量,同时也提高了团聚体的稳定性。

综上所述,对华北平原潮土而言,无机肥长期施用比较均匀地提高了团聚体中各组分有机C的含量,相反,有机肥施用加速小团聚体结合形成更大的团聚体,并且有利于矿物态有机C的积累。也就是说,团聚体粒径越大,矿物态有机C的积累就越快。

4 结论

(1) 华北平原潮土水稳性团聚体以 53 ~ 250 μm 为主。有机肥长期施用显著提高了 250 ~ 2 000 μm 团聚体数量,降低了 53 ~ 250 μm 团聚体的比例。无机肥施用增加了各粒级团聚体有机C含量,但没有改变团聚体的比例。

(2) 潮土以细颗粒有机C(53f+250f)为主,有机肥施用显著地增加了矿物态有机C含量,并通过增加 250 ~ 2 000 μm 团聚体中细颗粒有机碳(250f)和矿物态有机C比例来提高土壤有机C含量。无机肥则比较均匀地增加团聚体中各组分有机C含量来提高土壤有机C水平,有机和无机肥提高土壤有机质的机制存在着明显差异。

参考文献:

- [1] Powelson DS, Brookes PC, Christensen BT. Measurement of soil microbial biomass provided a nearly indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, 1989, 19: 159-164
- [2] 刘京, 常庆瑞, 李岗, 魏永胜. 连续不同施肥对土壤团聚性影响的研究. *水土保持通报*, 2000, 20(4): 24-26
- [3] Beare MH, Hendrix PE, Coleman DC. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58: 777-786
- [4] Mikha MM, Rice CW. Tillage and manure effect on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 809-816
- [5] Eynard A, Schumacher TE, Lindstrom MJ, Malo DD. Effects of agricultural management systems on soil organic carbon in aggregates of Ustolls and Usterts. *Soil and Tillage Research*, 2005, 81: 253-263
- [6] Whalen JK, Hu QC, Liu AG. Compost applications increase water stable aggregates in conventional and no tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67: 1 842-1 847
- [7] 汪景宽, 张继宏, 王雷, 陈恩凤. 棕壤不同粒级微团聚体中磷素的保持与供应. *土壤通报*, 2001, 32(3): 113-116
- [8] 陈恩凤, 关连珠, 汪景宽, 颜丽, 王铁宇, 张继宏, 周礼恺, 陈利军, 李荣华. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价. *土壤学报*, 2001, 38(1): 49-53
- [9] 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评判土壤肥力中的作用. *土壤学报*, 1994, 31: 18-28
- [10] Six J, Elliott ET, Paustian K. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62: 1 367-1 377
- [11] Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and water-stables aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 1982, 33: 141-163
- [12] Oades JM. Soil organic matter and structural stability: Mechanism and implications for management. *Plant Soil*, 1984, 76: 319-337
- [13] Six J, Elliott ET, Paustian K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63: 1 350-1 358
- [14] Six J, Bossuyt H, Degryze S, Deneef K. A history of research on the link between micro aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 2004, 79: 7-31
- [15] Barthes B, Roose E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion validation at several levels. *Catena*, 2002, 47: 133-149
- [16] Angers DA. Waterstable aggregation of Québec silty clay soils: Some factors controlling its dynamics. *Soil & Tillage Research*, 1998, 47: 91-96
- [17] Amelung W, Zech W. Organic species in pedsurface and core fractions along a climosequence in the prairie, North America. *Geoderma*, 1996, 74: 193-206
- [18] Ding WX, Meng L, Yin YF, Cai ZC, Zheng XH. CO₂ emission in an intensively cultivated loam as affected by long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39: 669-679
- [19] Yin YF, Cai ZC. Equilibrium of organic matter in heavy fraction for three long-term experimental field soils in China. *Pedosphere*, 2006, 16(2): 177-184
- [20] Yamashita T, Flessa H, John B, Helfrich M, Ludwig B. Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: Effect of land use. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38: 3 222-3 234
- [21] Elliott ET. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1986, 50: 627-633
- [22] 周萍, 潘根兴. 长期不同施肥对黄泥土水稳性团聚体颗粒态有机碳的影响. *土壤通报*, 2007, 38: 256-261
- [23] 李成亮, 孔宏敏, 何园球. 施肥结构对旱地红壤有机质和物理性质的影响. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 116-119

- [24] 杨长明, 欧阳竹, 董玉红. 不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚体稳定性的影响. 生态学杂志, 2005, 24: 887-892
- [25] 史奕, 张璐, 陈欣, 宇万太. 不同经营方式对黑土水稳性团聚体组成及微粒有机质积累分布的影响. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 122-124
- [26] 方华军, 杨学明, 张晓平, 梁爱珍, 申艳. 耕地黑土活性有机碳空间分布及生物有效性. 水土保持学报, 2006, 20: 59-63

Effects of Long-term Application of Organic Manure and Chemical Fertilizers on Organic Carbon in Aggregates of a Sandy Loam

GENG Rui-lin^{1,2}, YU Hong-yan¹, DING Wei-xin¹, CAI Zu-cong¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To evaluate the effects of long-term application of organic manure and chemical fertilizers on the concentration of soil organic matter, fluvo-aquic soils collected in the North China plain were separated into different size aggregates by wet sieving and the particulate organic matter of them were further segregated through combining density fractionation, dispersion and wet-sieving. The water-stable aggregates were dominated by the size fraction of 53 – 250 μm in the tested soil. Organic manure addition significantly increased the size fraction of 250 – 2 000 μm , but lowered the proportion of the fraction of 53 – 250 μm . The application of chemical fertilizers increased soil organic C concentrations in aggregates but did not change ratio of aggregates in soils. Soil organic carbon in aggregates mainly existed as fine particulate organic matter. Application of organic manure sharply increased concentrations of mineral-combined organic C and the proportion of fine particulate organic matter and mineral-combined organic matter. In contrast, Chemical fertilizer amendment nearly evenly increased organic carbon concentrations in different fractions of aggregates.

Key words: Aggregates, Organic carbon, Fluvo-aquic soil, Fertilization