

# 不同施肥处理红壤生物活性有机碳 变化及与有机碳组分的关系

徐江兵, 何园球, 李成亮, 刘晓利, 姜灿烂

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:** 采用物理分组方法对长期不同施肥处理的旱地红壤有机碳组分进行了区分, 布置室内培育试验观测了培养过程中土壤有机碳的矿化动态, 通过拟合一级动力学方程计算土壤生物活性有机碳库量。研究表明, 不同施肥处理的土壤中, 轻组有机碳 (LF-C)、团聚体包裹的粗颗粒有机碳 (iPOMc-C) 及细颗粒有机碳 (iPOMf-C)、矿物结合态有机碳 (mSOC) 分别占总有机碳的 7%~10%、0.5%~1.5%、4%~7%、76%~85%, 并与总有机碳 (TOC) 含量显著相关; 厩肥处理显著增加了各组分含量, 其作用优于绿肥处理和单施无机肥处理 (CK); 培养过程中土壤有机碳矿化动态符合一级反应动力学方程; 有机无机肥配施处理的土壤生物活性有机碳库 ( $C_0$ ) 显著提高; 和绿肥相比, 厩肥处理中生物活性有效碳库 ( $C_0$ ) 增加幅度更大, 但其周转速率常数  $k$  更小; 各组分有机碳含量与  $C_0$  含量均达到极显著 ( $p < 0.01$ ) 相关, 但除 LF-C 外其余有机碳组分占 TOC 的百分率均与  $C_0$  达到极显著水平。

**关键词:** 施肥; 红壤; 生物活性有机碳; 一级动力学方程

中国分类号: S158

土壤有机碳是反映土壤肥力和评价土壤质量的重要指标, 在调节土壤理化性质、提供作物养分、改善土壤结构和减少环境负面影响等方面具有重要作用。但是, 在较短时间段内, 土壤有机碳总量对人为活动和环境因子变化的响应较不灵敏<sup>[1-2]</sup>, 需要通过一些活性指标反映土壤有机碳和土壤质量变化, 这些活性指标主要指土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解利用、对植物养分供应有最直接作用的那部分有机碳<sup>[3]</sup>, 包括微生物生物量碳, 轻组有机碳, 易矿化有机碳和可溶性有机碳等<sup>[4]</sup>。但这些不同有机碳组分在概念上有重叠, 单一的指标很难表征土壤活性有机碳库。施肥是提高红壤有机碳水平的重要措施<sup>[5]</sup>, 旱地红壤中有机肥对土壤有机碳、氮、磷等含量的影响已有相应的报道<sup>[6]</sup>, 但对有机碳组分及生物活性有机碳库量的影响方面的研究较少。

借助生态模型来研究活性有机碳库是另一种重要的方法<sup>[7-9]</sup>。本文对长期施肥处理的旱地红壤的团聚体中有机碳组分进行测定, 并对其进行室内矿化培育, 采用一级动力学方程来估测红壤中生物活性有机碳库的大小和周转速率, 讨论有机碳组分与生物活性有机碳库间的关系, 旨在探讨不同施肥措施的效果, 以便

制订针对性措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

长期试验位于中国科学院红壤生态试验站 (北纬  $28^{\circ}15'20''$ , 东经  $116^{\circ}55'30''$ ) 内, 该站地处中亚热带, 年均温  $17.6^{\circ}\text{C}$ , 年降雨量  $1794.7\text{ mm}$ , 年蒸发量  $1318\text{ mm}$ , 降雨集中于每年的 3—6 月份, 无霜期 261 天。试验始于 1989 年, 设单施无机肥处理和有机无机肥配施处理, 每处理设 3 个重复, 小区面积  $33\text{ m}^2$ 。本试验选用有机无机肥配施处理中的对照 (CK, 单施无机肥 NPK), 厩肥 + NPK (厩肥), 绿肥 + NPK (绿肥) 3 种处理。供试土壤为第四纪红色黏土发育的退化红壤。轮作制在 1994 年以前主要是花生-油菜轮作, 以后改为一季花生。无机肥的施用量为: 尿素  $75\text{ kg/hm}^2$ , 钙镁磷肥  $63.75\text{ kg/hm}^2$ , 硫酸钾  $100\text{ kg/hm}^2$ ; 有机碳输入量分别为: 厩肥处理约  $1033\text{ kg/hm}^2$  (C/N 为 7.3); 绿肥处理  $926\text{ kg/hm}^2$  (C/N 为 11.9)。有机物料的养分含量如表 1 所示。试验开始时土壤理化性质: 有机碳  $3.71\text{ g/kg}$ , 全 N  $0.34\text{ g/kg}$ , 全 P  $0.5\text{ g/kg}$ , 全 K  $10.6\text{ g/kg}$ 。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40671108) 资助。

作者简介: 徐江兵 (1981—), 男, 江苏如皋人, 硕士研究生, 从事有机碳循环和转化方面的研究。E-mail: jiangbxu@126.com

表 1 供试有机物料的养分含量 (g/kg, 烘干基)

Table 1 Nutrient contents of organic manures (dry matter) used in the test

有机物料	有机 C	全 N	全 P	全 K
绿肥	265.0	36.5	23.0	52.0
厩肥	386.0	32.4	10.2	39.9

注: 数据来源于文献[6]。

## 1.2 采样及分析方法

样品采集在 2004 年 9 月 (收完花生后 1 个月) 进行, 用五点法采集表层 0~15 cm 原状土混合样。一部分用来测定有机碳组分; 其余风干后过 1 mm 筛, 进行培养实验。

1.2.1 有机碳组分测定 有机碳库的分级采用 Six<sup>[10]</sup> 和土壤农业化学分析方法<sup>[11]</sup> 中的方法。称取 5.00 g 样品置于 100 ml 离心管中, 加入相对密度为 1.78 g/cm<sup>3</sup> 的碘化钠 (NaI) 溶液, 用超声波分散 10 min, 离心 (3500 r/min) 10 min 后将上清液倾入砂芯漏斗中, 抽滤, 收集漏斗上的轻组组分 (LF), 重复上述过程 3 次, 直至重液中无轻组组分为止, 再用去离子水反复冲洗轻组组分数次后移至铝盒中, 在 60 °C 下烘干。

剩余重组组分加入 5.0 g/L 的六偏磷酸钠 (HMP) 后在震荡机上震荡 18h。分散后的重组组分依次倒入 250 μm、53 μm 筛子, 将留在筛子上的 250~2000 μm, 53~250 μm 团聚体内颗粒有机物和砂 (iPOM + sand) 在 60 °C 烘干 (分别记为 iPOMc 和 iPOMf)。

将烘干后的 LF、iPOMc、iPOMf 磨细过 100 目筛, 用元素分析仪测定其有机碳含量 (LF-C、iPOMc-C、iPOMf-C)。矿物结合态有机碳 (mSOC) 用差减法计算得出。

1.2.2 培育实验 参考 Magid 的方法<sup>[12]</sup>, 并做一定的调整<sup>[13]</sup>。各处理的土壤样品风干后过 1 mm 筛, 调节土壤含水量至土壤饱和持水量的 60%, 并在 24 °C 下闭光预培养 3 周。之后, 称取样品 550 g (湿重) 置于 1000 ml 的培养瓶中, 然后将盛有 5 ml 0.8 mol/L NaOH 溶液的吸收瓶和装有去离子水的小塑料瓶置于培养瓶分别作吸收土壤呼吸产生的 CO<sub>2</sub> 和维持培养瓶中的湿度之用。此外设置装有相同体积石英砂的培养瓶作为空白。将培养瓶置于 24 °C 闭光条件下培养。

在培养的第 1、3、5、7、13、20、27、34、42、49、55 天取出吸收瓶测定 CO<sub>2</sub>。其原理为 NaOH 溶液中的 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 用过量的 BaCl<sub>2</sub> 沉淀, 加 2 滴酚酞指示剂, 然后用 0.2 mol/L 的 HCl 滴定到粉红色消失, 根据消耗盐酸的量计算 CO<sub>2</sub> 的量。

## 1.3 统计分析

统计分析采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 进行, 绘图采用 Origin 7.5 进行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同施肥处理对红壤有机碳组分的影响

长期有机无机肥配施显著提高了表层土壤有机碳含量 (表 2), 单施无机肥、绿肥、厩肥分别使土壤中有机碳含量提高了 2.45 g/kg, 4.12 g/kg, 5.83 g/kg, 年增长率分别为 3.9%、6.5%、9.2%, 有机无机肥配施的效果显著优于单施无机肥, 不同有机肥由于其自身的性质 (如 C/N、腐殖化系数等) 不同, 对土壤中有机碳积累效果不同。与红壤地区常量施用有机肥的水稻土年增长率 5% 相比, 厩肥和绿肥处理中有机碳增长率均高于水稻土, 这主要是旱地红壤较贫瘠, 其有机碳含量低、碳库饱和度低的缘故。

表 2 供试土壤基本性质

Table 2 Basic properties of test soils

施肥处理	有机 C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	P (g/kg)	K (g/kg)
绿肥	7.83b	0.82b	9.52	0.51	9.49
厩肥	9.54c	1.03c	9.24	1.24	9.12
CK	6.16a	0.66a	9.38	0.51	9.33

注: 样品采集于 2004 年 10 月; 不同字母代表不同处理间同一粒级团聚体差异显著 (P < 0.05) (Duncan 检验)。

根据分析方法的原理, 可将土壤有机碳分为轻组有机碳 (LF-C)、团聚体包裹的粗颗粒有机碳 (iPOMc-C) 及细颗粒有机碳 (iPOMf-C)、矿物结合态有机碳 (mSOC)。不同施肥处理的土壤中, 各组分分别占总有机碳 (TOC) 的 7%~10%、0.5%~1.5%、4%~7%、76%~85% (表 2 和表 3)。轻组组分 (LF) 是介于植物残体和腐殖化有机质之间的组分<sup>[14]</sup>, 具有较高潜在的生物活性; 并且 LF-C 与土壤呼吸速率强相关, 是土壤微生物重要的碳和能量来源<sup>[3]</sup>。长期施肥显著提高了土壤中 LF-C 的含量, 与试验开始时土壤性质相比, CK、绿肥、厩肥处理分别使 LF-C 的含量增加了 99.3、380.0、525.1 mg/kg, 年增长率分别为 1.4%、5.5%、7.6%, 但低于 TOC 增长率, 还低于在潮土中相应的增幅<sup>[15]</sup>, 这与施肥量以及土壤性质有关。不同有机肥种类对 LF-C 占 TOC 百分率的影响不大, 厩肥和绿肥处理中百分率分别为 9.7% 和 10.0%, 差异不显著, 这说明这两种有机肥对旱地红壤中有机碳活性组分和稳定组分促进效果相近。

表3 不同施肥处理土壤中有机碳各组分的含量 (平均值 ± 标准差)  
Table 3 Contents of organic carbon fractions in soils under different fertilizer treatments

施肥处理	LF-C* (mg/kg)	iPOMc-C (mg/kg)	iPOMf-C (mg/kg)	mSOC (g/kg)
绿肥	786.7 ± 119.8	46.1 ± 2.2	361 ± 8.1	6.49 ± 0.35
厩肥	931.8 ± 45.4	148.5 ± 16.5	673.4 ± 50.3	7.22 ± 0.42
CK	506 ± 93.2	29.6 ± 3.4	238.4 ± 50.5	5.26 ± 0.7

\*原始样品 LF-C 含量 406.7 mg/kg。

iPOMc-C、iPOMf-C、mSOC 均是土壤中稳定有机碳库的组成部分,其中矿物结合态有机碳 (mSOC) 是土壤有机碳的主要部分<sup>[16]</sup>,而 iPOMc 和 iPOMf 在团聚体的形成及周转中起着不同的作用。Six 等<sup>[17]</sup>认为新鲜残茬进入土壤后可以作为微生物的活性碳源而促使大团聚体的形成,而残茬有机物在这一过程中则转变为团聚体包裹的粗颗粒有机物 (iPOMc)。本实验中,与 CK 相比,有机肥处理的土壤中 iPOMc-C 的含量有显著提高 (表 3),这也证明了以上过程。结果中 iPOMc-C 含量在 29.6~148.5 mg/kg,和文献<sup>[18]</sup>中耕作的氧化土(Oxisol)中的含量相近,但远低于软土 (Mollisol) 和淋溶土 (Alfisol)。

而 iPOMf 是 iPOMc 在大团聚体中分解后的产物, iPOMf 与包裹到其上的黏砂粒和微生物产物促使大团聚体内稳定的微团聚体的形成,最终使得大团聚体的胶结剂解体,降低了大团聚体的稳定性<sup>[17]</sup>。实验结果中厩肥和绿肥处理的旱地红壤中 iPOMf-C 含量为 CK 的 2.8 倍和 1.5 倍,表明有机肥处理中大团聚体的周转速率比 CK 慢了 1~2 倍,也即表明,增施有机肥有助于土壤对有机碳的固持。

相关性分析表明,LF-C, iPOMc-C, iPOMf-C, mSOC 与 TOC 均有很好的相关性,相应的相关系数为 0.91、0.77、0.78、0.97、0.92,均达到  $P < 0.01$  的极显著水平。

## 2.2 不同施肥处理下红壤生物活性有机碳库量及周转特征

不同施肥处理的土壤好气培养时所释放的  $\text{CO}_2$  的量随着培养时间的延长而增多。结果表明 (图 1), 56 天内土壤矿化的  $\text{CO}_2\text{-C}$  为 112.9~286.4 mg/kg, 占土壤 TOC 的 1.7%~3.1%。用一级反应动力学方程模型对累积矿化的  $\text{CO}_2$  进行拟合,其表达式为:

$$C_t = C_0(1 - e^{-kt})$$

式中  $C_0$  为土壤中生物活性有机碳库的大小,  $C_t$  为经过  $t$  时间后土壤中累积释放的  $\text{CO}_2$  量,  $k$  为生物活性有机碳库的周转速率,半周转期  $T_{1/2} = \ln 2/k$ 。求得的土壤有机碳矿化特征参数列于表 4。

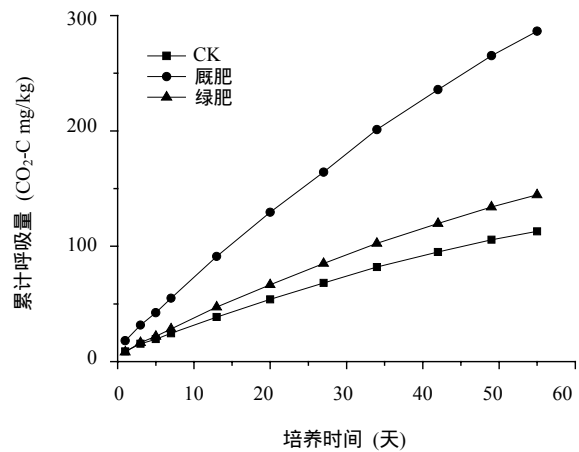


图 0 培育过程中土壤有机碳累积矿化量变化

Fig. 1 Cumulative  $\text{CO}_2$  production during incubation

结果表明,  $\text{CO}_2$  累积释放量能很好的吻合一级反应动力学方程, 相关系数达到 0.99。土壤活性有机碳库  $C_0$  的大小可以反映土壤中潜在活性养分的含量<sup>[19]</sup>, 在旱地红壤中其变化范围为 165.0~502.2 mg/kg, 占土壤 TOC 的 1.8%~5.8%。这与红壤地区水稻土的生物活性有机碳库<sup>[20]</sup>相当, 但显著低于黑土中的生物活性有机碳库<sup>[21]</sup>。有机无机肥配合施用后, 活性有机碳库  $C_0$  显著高于单施无机肥 (CK) 处理。这主要是由于增施有机肥后土壤中可供微生物利用的有机碳源增加, 使得参与土壤呼吸的有机碳数量增加, 生物活性有机碳库增大。不同有机肥种类对  $C_0$  亦有影响, 与 CK 相比, 厩肥和绿肥处理的  $C_0$  分别提高了 2 倍和 0.4 倍, 厩肥增幅较明显, 这主要是由于厩肥处理中活性有机碳组分较多 (如轻组有机碳 LF-C), 微生物的活性较强, 因此土壤呼吸旺盛, 活性有机碳库较大。长期施用有机肥后  $C_0$  值提高, 表明通过施用有机肥可以显著增加土壤活性养分库量。

生物活性有机碳库周转速率常数  $k$  可以反映土壤中的养分循环和供应状况<sup>[21]</sup>, 是矿化快慢的标志。由表 4 可以看出,  $k$  的范围为 (0.0136~0.0181) / 天, 半周转期为 38.4 天~51.4 天。长期增施有机

表 4 土壤生物活性有机碳库的大小周转速率常数和半周转期

Table 4 Size, turnover and half-life of the biologically active organic carbon pool

施肥处理	C <sub>0</sub> mg/kg	C <sub>0</sub> /TOC g/kg	k (d <sup>-1</sup> )	T <sub>1/2</sub> (d)	R <sup>2</sup>
绿肥	257.31	32.85	0.0152	46.17	0.9991
厩肥	547.38	57.43	0.0136	51.41	0.9990
CK	179.97	29.20	0.0181	38.41	0.9978

肥显著降低了活性有机碳的周转速率常数, 延长了有机碳库的半周转期。CK 处理的周转速率较快, 可能由于该处理中几乎没有有机物料输入, 生物活性有机碳主要来源于植物残茬及根系分泌物, 易于分解; 而在厩肥和绿肥处理中, 新加入的物料中易分解的组分消耗殆尽, 有机源主要成分为残留的较难分解的组分, 在有机碳输入量相近的条件下, 分解速率主要与有机物料的种类有关。李忠佩等<sup>[22]</sup>研究表明, 不同有机物质碳的残留量 (%) 或腐殖化系数不同, 在旱地红壤中, 厩肥与绿肥腐殖化系数分别为 0.38、0.28, 据此及有机碳输入量计算得出有机碳年积累速率与上一节测定结果相近, 厩肥分解速率慢于绿肥, 因而其周转速率

常数最低; 但在相同有机肥种类投入情况下, 由于腐殖化系数相同, 周转速率常数 k 则与有机肥的输入量正相关<sup>[21]</sup>。因此, 在旱地红壤中, 有机肥的种类对生物活性有效碳库及其周转速率均有很大的影响。

### 2.3 土壤生物活性有机碳库与有机碳组分的关系

对土壤中全量以及有机碳组分与生物活性有机碳库 C<sub>0</sub> 的相关性进行分析, 结果表明 (表 5), C<sub>0</sub> 与 TN, TOC, LF-C, iPOMc-C, iPOMf-C, mSOC 均呈极显著正相关; C<sub>0</sub>/TOC 与 mSOC 呈显著相关, 而与其余有机碳组分及全量呈极显著相关。由于各有机碳组分中碳含量都与 TOC 极显著相关, 因此决定 C<sub>0</sub> 大小的因素可能是 TOC 的含量<sup>[19]</sup>。

表 5 生物活性有机碳库大小、周转速率与土壤有机碳组分及部分理化性质的相关性

Table 5 Correlation between size, turnover of the biologically active soil organic carbon pool and fractions of organic carbon, physical and chemical properties

相关系数	全 N (g/kg)	有机 C (g/kg)	LF-C (g/kg)	iPOMc-C (g/kg)	iPOMf-C (g/kg)	mSOC (g/kg)
C <sub>0</sub> (mg/kg)	0.937**	0.913**	0.942**	0.995**	0.984**	0.817**
C <sub>0</sub> / TOC (%)	0.882**	0.847**	0.915**	0.978**	0.967**	0.728*
K (d <sup>-1</sup> )	-0.878**	-0.865**	-0.945**	-0.896**	-0.792*	-0.840**

注: \*表示显著性水平 P < 0.05; \*\*表示显著性水平 P < 0.01; n = 9。下同。

有机碳组分占 TOC 的百分率比有机碳组分的绝对含量更能体现土壤碳库状况, 因而采用有机碳组分占 TOC 的百分率作为指标可以消除 TOC 含量差异对有机碳组分的影响。对土壤中有机碳组分占 TOC 的百分率与 C<sub>0</sub> 进行相关性分析 (表 6), 结果表明, 相关性均达到显著差异水平。但作为容易被微生物利用的有机

碳组分 LF-C, 其百分率与 C<sub>0</sub> 相关性未达到极显著水平; 而较难被微生物利用的团聚体内颗粒有机物 (iPOMc-C 及 iPOMf-C) 及 mSOC, 其百分率与 C<sub>0</sub> 的相关性均达到极显著水平。

生物活性有机质主要是指土壤中易被微生物利用和转化的有生命和无生命有机质的多相混合物<sup>[23]</sup>。通

表 6 生物活性有机碳库大小与土壤有机碳组分百分率的相关性

Table 6 Correlation between size of biologically active organic carbon pool and percentages of organic carbon fractions to TOC

相关系数	LF/TOC (%)	iPOMc-C/TOC (%)	iPOMf-C/TOC (%)	mSOC/TOC (%)
C <sub>0</sub> (mg/kg)	0.730*	0.993**	0.948**	-0.930**

过一级动力学方程估测出土壤中生物活性有机碳库的大小与活性有机碳组分相关性已经有一定的研究<sup>[19, 21]</sup>，但稳定有机碳组分与活性有机碳库相关性却未见报道，有文献<sup>[19]</sup>表明 LF-C 的百分率与  $C_0$  不相关，但本研究中不仅这两者存在相关性，稳定有机碳组分百分率与  $C_0$  更是呈极显著相关，这表明，生物活性有机碳库与物理分级获得的各有机碳组分含量的关系是很复杂的，要揭示其明确的相互关系，还需要更进一步的深入研究。

### 3 结论

(1) 长期施肥显著提高表层土壤有机碳含量；矿物结合态有机碳 (mSOC) 是土壤有机碳的主要组成部分；各有机碳组分与总有机碳 (TOC) 呈极显著相关。

(2) 有机无机肥配施显著提高土壤中生物活性有机碳库  $C_0$ ；和绿肥处理相比，厩肥处理中  $C_0$  增加幅度更大，但其周转速率常数  $k$  更小。

(3) 各有机碳组分与  $C_0$  均达到极显著相关；但 LF-C 占 TOC 的百分率与  $C_0$  未达到极显著水平，其余组分占 TOC 的百分率与  $C_0$  均达到极显著水平。

### 参考文献：

- [1] Bremer E, Janzen HH, Johnston AM. Sensitivity of total, light fraction and mineralizable organic matter to management practices in a leithbridge soil. *Can. J. Soil Sci.*, 1994, 74: 131-138
- [2] Haynes RJ. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Advances in Agronomy*, 2005, 85: 221-268
- [3] Janzen HH, Campbell CA, Brandt SA, Lafond GP. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, 56: 1799-1806
- [4] Gregorich EG, Carter MR, Angers DA, Monreal CM, Ellert BH. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.*, 1994, 74: 376-385
- [5] 李忠佩, 焦坤, 林心雄, 程励励. 施肥条件下瘠薄红壤的生物化学性状变化. *土壤*, 2003, 35(4): 304-310
- [6] 孔宏敏, 何园球, 吴大付, 李成亮. 长期施肥对红壤旱地作物产量和土壤肥力的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 782-786
- [7] Sleutel S, Neve SD, Roibas MRP. The influence of model type and incubation time on the estimation of stable organic carbon in organic materials. *European Journal of Soil Science*, 2005, 56: 505-514
- [8] 黄东迈, 朱培立, 王志明, 余晓鹤. 旱地和水田有机碳分解速率的探讨与质疑. *土壤学报*, 1998, 35(4): 482-492
- [9] Zou XM, Ruan HH, Fu Y, Yang XD, Sha LQ. Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation-incubation procedure. *Soil Biol., and Biochem.*, 2005, 37(10): 1923-1928
- [10] Six J, Elliott ET, Paustian K. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1998, 62: 1367-1377
- [11] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [12] Magid J, Kjarard C. Recovering decomposing plant residues from the particulate soil organic matter fraction: Size versus density separation. *Biol. Fertil. Soils*, 2001, 33: 252-257
- [13] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云. 可溶性有机碳的含量及其与土壤有机碳矿化的关系. *土壤学报*, 2004, 41(4): 544-552
- [14] Turchenek LW, Oades JM. Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. *Geoderma*, 1979, 21(4): 311-343
- [15] 尹云锋, 蔡祖聪, 钦绳武. 长期施肥条件下潮土不同组分有机质的动态研究. *应用生态学报*, 2005, 16(5): 875-878
- [16] Six J, Elliott ET, Paustian K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, 63(5): 1350-1358
- [17] Six J, Elliott ET, Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol., and Biochem.*, 2000, 32: 2099-2103
- [18] Six J, Bossuyt H, Degryze S, Deneff K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 2004, 79: 7-31
- [19] 倪进治, 徐建民, 谢正苗. 土壤生物活性有机碳库及其表征指标的研究. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(1): 56-63
- [20] Li ZP, Zhang TL, Han FX, Felix-Henningsen P. Changes in soil C and N contents and mineralization across a cultivation chronosequence of paddy fields in subtropical China. *Pedosphere*, 2005, 15(5): 554-562
- [21] 诸葛玉平, 张旭东, 刘启. 长期施肥对黑土呼吸过程的影响. *土壤通报*, 2005, 36(3): 391-394
- [22] 李忠佩, 林心雄. 瘠薄红壤中有机物质的分解特征. *生态学报*, 2002, 22(8): 1224-1230
- [23] Wander MM, Traina SJ, Stinner BR, Peters SE. Organic and conventional management effects on biologically active organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58: 1130-1139

## Relationship Between Biologically Active Organic Carbon Pool and Carbon Fractions in Upland Soils Different in Fertilization

XU Jiang-bing, HE Yuan-qiu, LI Cheng-liang, LIU Xiao-li, JIANG Can-lan

( *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China* )

**Abstract:** Fractions of organic carbon in upland soils different in fertilization were determined with a physical fractionation technique, and samples of the soils were incubated in lab to observe dynamics of mineralization of organic carbon in the soil. Calculation of the biologically active organic carbon pool was fitted with a first-order kinetic model. Results indicated that in soils different in fertilization, the content of organic carbon in light fraction (LF-C), coarse intra-aggregate particulate organic matter (iPOMc-C), fine intra-aggregate particulate organic matter (iPOMf-C) and mineral associated organic carbon (mSOC) accounted for 7% ~ 10%, 0.5% ~ 1.5%, 4% ~ 7% and 76% ~ 85%, respectively, of the total organic carbon (TOC) in soils, and was significantly correlated with TOC. Barnyard manure (manure + NPK) increased the contents of carbon in all fractions, more significantly than green manure (green manure + NPK) and CK (NPK). The dynamic of soil organic carbon mineralization under incubation consisted with the first-order kinetic model. Both green manure and barnyard manure significantly increased the size of biologically active organic carbon pool ( $C_0$ ), and the latter showed a better effect, than the former, but had a lower turnover rate ( $k$ ). The contents of organic carbon in all fractions were significantly related to  $C_0$  at the 0.01 level, and so were the percentages of all the fractions to TOC, except LF-C.

**Key words:** Fertilization, Red soil, Biologically active organic carbon pool, First-order kinetic model