

稻草及其制备的生物质炭对土壤团聚体有机碳的影响*

尹云锋^{1,2} 高人^{1,2†} 马红亮^{1,2} 杨玉盛^{1,2} 李淑香^{1,2} 刘燕萍^{1,2}

(1 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007)

(2 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要 向土壤中添加生物质炭已被认为是改善土壤质量, 增加碳吸存的有效措施。通过模拟实验, 利用同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 标记技术, 研究稻草及其制备的生物质炭添加对土壤团聚体有机碳的影响。结果表明: 稻草和生物质炭对土壤团聚体中新形成碳和原有有机碳的影响截然不同。培养 112 d, 来自稻草或生物质炭的新碳主要进入到中团聚体 (50 ~ 250 μm) 中, 比例为 70.3% ~ 75.3%。与对照土壤相比, 稻草添加显著促进了大团聚体 (250 ~ 2 000 μm) 原有有机碳的分解 ($p < 0.05$), 但对中团聚体和微团聚体 (< 50 μm) 原有有机碳的影响并不明显, 而生物质炭添加 (SB250 和 SB350) 则对大团聚体和中团聚体原有有机碳没有显著影响, 但 SB250 处理 (土壤中加入 250 $^{\circ}\text{C}$ 热解制备的生物质炭) 显著抑制了微团聚体原有有机碳的分解 ($p < 0.05$), 而 SB350 处理 (土壤中加入 350 $^{\circ}\text{C}$ 热解制备的生物质炭) 的则无影响。对于同一粒级团聚体, 稻草与生物质炭处理的区别, 主要体现在新碳分配上, 而对原有有机碳的影响并不显著。

关键词 生物质炭; $\delta^{13}\text{C}$; 碳固持; 团聚体; 土壤有机碳

中图分类号 S153 **文献标识码** A

近年来, 随着对巴西亚马逊流域土壤中大量黑碳的发现及探究, 众多学者越来越关注人工制备生物质炭 (biochar) 的利用^[1-3]。研究表明, 生物质炭在改善土壤质量^[4-5]、提高养分有效性^[6]、增加作物产量^[7-8]、减缓温室气体排放^[9-11]等方面具有积极作用。向土壤中添加生物质炭, 已被认为是减缓气候变暖的一个有效途径^[12-13]。目前围绕生物质炭添加对土壤有机碳分解的影响研究, 已成为土壤碳循环领域的热点, 但研究还存在争议, 促进、抑制或无影响均有报道^[14-17]。

在农业生态系统中, 生物质炭主要来源于农作物秸秆焚烧。据统计, 全球每年农作物秸秆量大约为 3.8 Gt^[18]。一种传统而广泛的秸秆管理方式就是将其原地直接燃烧或搬移他处做燃料, 这不仅导致空气污染、养分流失, 并且也会威胁人类健康^[19]。Haefele 等^[12]提出将不完全燃烧炭化的稻草和烧焦的稻草混合添加到稻田土壤里, 与野外露天燃烧相比, 这种处理措施具有燃烧过程可

产生可利用能源、减少温室气体排放、减少土壤养分流失等诸多优势。据估算, 2009 年中国作物秸秆产量约 8.07 亿 Mg, 其中 31% 的作物秸秆搁置在农田, 31% 的作物秸秆被牲畜食用, 仅仅有 19% 的作物秸秆用于产生生物能^[19]。近来生物质炭的农业利用越来越受到国内的广泛关注^[20-21]。然而, 对于有限的秸秆资源, 选择将秸秆直接施入土壤中, 还是将其转变为生物质炭再施入土壤中, 施入后对土壤碳库组分有何影响, 何种措施更有利土壤固碳, 尚缺乏深入研究。团聚体是土壤有机碳的重要储存场所, 其分组方法已被广泛用于土壤有机碳组分研究中^[22-24]。目前秸秆施入对土壤团聚体有机碳的影响已有较多研究^[25-26], 但生物质炭添加对土壤团聚体有机碳的影响还鲜见报道。为此, 本文利用 $\delta^{13}\text{C}$ 技术, 对比研究稻草及其制备的生物质炭添加对土壤团聚体有机碳的影响, 为深入认识和评价生物质炭在土壤碳循环中的作用和贡献提供科学依据。

* 国家自然科学基金项目 (31070549, 40801087) 和福建省自然科学基金项目 (2010J01248) 资助

† 通讯作者, E-mail: ren.gao@fjnu.edu.cn

作者简介: 尹云锋 (1975—), 男, 黑龙江人, 博士, 从事土壤碳循环研究。E-mail: yunfengyin@163.com

收稿日期: 2012-10-29; 收到修改稿日期: 2013-04-06

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料

供试土壤采自福建师范大学旗山校区甘蔗实验地。土壤为普通红壤,连续种植甘蔗多年,土壤有机碳含量为 8.28 g kg^{-1} 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -22.49% 、pH 5.65。采集的新鲜土壤样品去除植物残体和碎屑,过 4 mm 筛备用。

生物质炭制备方法参照文献[27]。将 ^{13}C 标记

的稻草(过 1 mm 筛)置于烘箱中,70℃ 烘至恒重,冷却后准确称取 2~3 g 秸秆于坩埚中,用坩埚盖盖好放入马弗炉中,关闭炉门,达到预设的温度时开始计时燃烧 2 h,之后打开炉门,将坩埚移至炉口处冷却至 200℃ 左右,移入干燥器中冷却至室温,准确称重。热解温度分别设定为 250℃ (B250) 和 350℃ (B350),每个处理重复 15 次,样品制备完毕后备用。供试稻草(R)和生物质炭(B250 和 B350)的基本性质见表 1。

表 1 稻草和生物质炭的化学性质

Table 1 Chemical properties of rice straw and biochar used in the experiment

材料 Materials	全碳 TotalC (g kg^{-1})	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	烷基碳 Alkyl C 0 ~ 45 (%)	氧烷基 O-alkyl C 45 ~ 110 (%)	芳基碳 Aryl C 110 ~ 160 (%)	羧基碳 Carboxyl C 160 ~ 240 (%)
R	386	1 745	16	54	22	8
B250	497	1 877	19	23	40	18
B350	468	1 742	16	18	52	14

注: R、B250 和 B350 分别代表稻草、250℃ 和 350℃ 热解制备的生物质炭 Note: R, B250 and B350 denote rice straw, straw biochars prepared at 250℃ and at 350℃, respectively

1.2 培养方法

以不加稻草或生物质炭的土壤作为对照,向土壤中分别添加稻草和生物质炭(均过 1 mm 筛),实验设置 4 个处理,分别为土壤(CK)、土壤 + 稻草(SR)、土壤 + B250(SB250)、土壤 + B350(SB350),每个处理重复 4 次。具体步骤如下,将稻草或生物质炭与新鲜土样(相当于烘干土 50 g)混合均匀,稻草添加量为 1.00 g,生物质炭添加量为 1.00 g 稻草在 250℃ 和 350℃ 下热解的质量剩余量,分别为 0.52 g 和 0.34 g,然后装入玻璃瓶中进行培养,培养温度为 25℃,培养时间为 112 d。培养过程中定期补充水分,保持土壤持水量(WHC)为 60%。培养结束后,取出土壤样品,用于团聚体分组。

土壤团聚体采用干筛法[28]。利用筛分仪(EML200 digital plus T,德国)将土壤全土分成大团聚体(250~2 000 μm)、中团聚体(50~250 μm)和微团聚体(< 50 μm),分级后将 250~2 000 μm 和 50~250 μm 粒级的团聚体研磨过 0.149 mm,以供测定有机碳含量和同位素丰度。

1.3 分析方法

土壤有机碳、稻草和生物质炭的碳含量采用元素分析仪(Elementar Vario EL III, Elementar, 德国)测定;土壤 pH(水土比 2.5:1)采用电位法测定;样

品 $\delta^{13}\text{C}$ 值采用同位素质谱分析仪(MAT 253, Thermo Fisher, 德国)测定;稻草和生物质炭的化学结构采用 ^{13}C -NMR 核磁共振仪(Bruker 200, 德国)测定。

1.4 数据处理

分析数据采用 Excel 2003 进行分析,用 SPSS 16.0 进行单因素方差分析,采用 LSD 检验,显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果

2.1 土壤团聚体有机碳同位素丰度变化

与 CK 处理相比,稻草处理(SR)和生物质炭处理(SB250 和 SB350)的全土 $\delta^{13}\text{C}$ 值均显著提高(表 2)。对于 SR 处理,土壤团聚体有机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值递减顺序为中团聚体(50~250 μm)、微团聚体(< 50 μm)和大团聚体(250~2 000 μm),而 SB250 和 SB350 处理的 $\delta^{13}\text{C}$ 值则呈现了粒度越细, $\delta^{13}\text{C}$ 值越高的趋势。方差分析表明,对于中团聚体和微团聚体,不同处理间的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异均达显著水平($p < 0.05$),但对于大团聚体,SB250 和 SB350 处理的土壤 $\delta^{13}\text{C}$ 值则无显著差异。

表 2 全土和不同粒级团聚体有机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值Table 2 $\delta^{13}\text{C}$ value of organic carbon (‰) in bulk soil and soil aggregates different in size fraction

处理 Treatment	全土 Bulk soil	不同粒级团聚体 Different fractions of aggregates		
		250 ~ 2 000 μm	50 ~ 250 μm	< 50 μm
CK	-22.36 \pm 0.27c	-21.72 \pm 0.09c	-21.49 \pm 0.06d	-22.07 \pm 0.31d
SR	563.2 \pm 23.3b	254.4 \pm 15.2a	965.9 \pm 18.3b	765.4 \pm 31.0c
SB250	683.3 \pm 57.9a	157.6 \pm 16.6b	1 097 \pm 61a	1 197 \pm 63a
SB350	556.7 \pm 74.9b	129.5 \pm 39.8b	838.9 \pm 81.2c	1 035 \pm 66b

注:同一列中不同字母表示差异达到显著水平($p < 0.05$)。下同 Note: Different letters within the same column indicate significant difference between treatments at $p < 0.05$ level. The same below. CK, the control soil without rice straw or biochar added; SR, soil amended with rice straw; SB250, soil amended with biochar (prepared at 250°C); SB350, soil amended with biochar (prepared at 350°C)

2.2 土壤团聚体有机碳含量变化

与 CK 处理相比,稻草或生物质炭处理的全土有机碳浓度明显增加,其中 SB250 处理的最高,而 SR 和 SB350 处理间的差异并不显著(表 3)。除 CK 处理外,其他三种处理的不同粒级团聚体,呈现了粒级越细,有机碳浓度越高的规律。根据不同粒级

团聚体占全土的质量分数,以及有机碳浓度数据,将其换算成全土有机碳含量,单位统一为 C g kg^{-1} 全土。由表 4 可见,有机碳回收率介于 99% ~ 107% 之间。与 CK 处理相比,稻草或生物质炭添加对大团聚体有机碳的影响并不显著,但显著提高了微团聚体和中团聚体有机碳含量($p < 0.05$)。

表 3 全土和不同粒级团聚体有机碳浓度

Table 3 Concentration of organic carbon (g kg^{-1}) in bulk soil and soil aggregates different in size fraction

处理 Treatment	全土 Bulk soil	不同粒级团聚体 Different fractions of aggregates		
		250 ~ 2 000 μm	50 ~ 250 μm	< 50 μm
CK	6.94 \pm 0.08c	7.55 \pm 0.23c	6.13 \pm 0.16c	7.82 \pm 0.22d
SR	10.21 \pm 0.16b	9.24 \pm 0.57a	11.47 \pm 0.31b	12.05 \pm 0.49c
SB250	11.66 \pm 0.50a	8.43 \pm 0.18b	14.84 \pm 0.77a	21.65 \pm 1.10a
SB350	10.25 \pm 0.57b	8.57 \pm 0.22ab	12.02 \pm 1.03b	17.48 \pm 0.30b

表 4 不同粒级土壤团聚体有机碳含量

Table 4 Content of organic carbon (g kg^{-1}) in soil aggregates different in size fraction

处理 Treatment	不同粒级团聚体 Different fractions of aggregates			回收率 Recovery rate (%)
	250 ~ 2 000 μm	50 ~ 250 μm	< 50 μm	
CK	3.97 \pm 0.44a	2.66 \pm 0.02c	0.33 \pm 0.04c	100
SR	4.05 \pm 0.05a	5.30 \pm 0.08b	0.77 \pm 0.11b	99
SB250	4.05 \pm 0.20a	6.64 \pm 0.34a	1.59 \pm 0.31a	107
SB350	4.23 \pm 0.03a	4.84 \pm 0.40b	1.09 \pm 0.08b	99

2.3 土壤团聚体有机碳的来源

培养结束后的土壤团聚体有机碳可分为新进入的外源新碳(稻草或生物质炭)以及原有有机碳。由表 5 可知,稻草和生物质炭添加对不同粒级团聚体新碳及原有有机碳的影响截然不同。SR 处理的新碳分配递减顺序为中团聚体、大团聚体和微团聚体,而 SB250 和 SB350 处理的新碳分配递减顺序为中团聚体、微团聚体、大团聚体,表明新碳主要进入

到中团聚体里。方差分析进一步表明,与 CK 处理相比,稻草添加显著促进了大团聚体原有有机碳的分解,但对中团聚体和微团聚体原有有机碳的影响并不显著;而生物质炭添加则不同,SB250 和 SB350 处理对大团聚体和中团聚体原有有机碳的影响均不显著,但 SB250 处理显著抑制了微团聚体原有有机碳的分解,而 SB350 处理的则无显著影响。

表 5 不同粒级土壤团聚体有机碳的来源
Table 5 Source of organic carbon in soil aggregates different in size fraction

处理 Treatment	不同粒级团聚体 Different fractions of aggregates (g kg ⁻¹)					
	250 ~ 2 000 μm		50 ~ 250 μm		< 50 μm	
	新碳 Fresh C	原有机碳 Native SOC	新碳 Fresh C	原有机碳 Native SOC	新碳 Fresh C	原有机碳 Native SOC
CK	0c	3.97 ± 0.44a	0c	2.66 ± 0.02a	0d	0.33 ± 0.04b
SR	0.63 ± 0.04a	3.42 ± 0.03b	2.96 ± 0.10b	2.34 ± 0.03a	0.34 ± 0.04c	0.43 ± 0.07ab
SB250	0.38 ± 0.04b	3.67 ± 0.18ab	3.92 ± 0.39a	2.72 ± 0.15a	1.01 ± 0.16a	0.57 ± 0.16a
SB350	0.41 ± 0.03b	3.82 ± 0.04ab	2.51 ± 0.03c	2.33 ± 0.39a	0.65 ± 0.04b	0.44 ± 0.07ab

3 讨 论

黑碳作为土壤惰性碳库重要组成部分,不仅是大气中 CO₂ 的主要碳汇,而且是全球碳循环中“迷失碳”的重要组成部分^[29-30]。以往研究更多关注自然生态系统土壤黑碳的来源、分配规律以及影响因素等诸多方面^[31-32]。而近年来向农业土壤中施入人工制备生物质炭的报道逐渐增多^[7-8]。向土壤中施入生物质炭可以增强土壤碳汇能力,减少温室气体排放,从而减缓气候变化^[1,3]。研究表明,施入生物质炭后土壤碳库明显提高^[14,21],这与本文的结果一致。本研究表明,土壤中添加生物质炭后有机碳含量显著提高,其中 SB250 处理的最高,显著高于稻草处理的,而 SB350 处理的则与稻草处理的有机碳含量相当(表 3)。并且,当稻草转变为生物质炭后,芳基碳和羧基碳含量增加,化学结构更趋于稳定(表 1)。因此,从土壤固碳的角度,将部分稻草低温热解制成生物质炭后添加到土壤中,较稻草直接施用更有利。

秸秆还田是保持土壤肥力,提高土壤有机碳含量的重要措施。目前国内有关秸秆还田对土壤团聚体有机碳的影响研究亦有诸多报道^[25-26]。如徐江兵等^[25]认为,各种有机肥处理均对土壤团聚体中有机碳含量的增加表现出不同程度的促进作用,与 CK 处理相比,各粒级中添加秸秆的有机碳含量增加了 10% ~ 30%,而本研究发现稻草处理的土壤各粒级有机碳含量较对照土壤增加 2% ~ 57%,生物质炭处理的土壤各粒级有机碳含量较对照土壤增加 2% ~ 79%。并且,三种处理的土壤新增加的碳主要分配在中团聚体(50 ~ 250 μm)中,这与 Verchot 等^[24]的研究结果类似。但也有研究表明外源新碳在土壤团聚体中的分配是随机的,并没有分配

到特定的某一类团聚体中^[23]。本研究也进一步表明,稻草及其制备的生物质炭添加后,大团聚体(250 ~ 2 000 μm)有机碳含量没有明显提高,但微团聚体(< 50 μm)与中团聚体有机碳含量显著提高,说明稻草或生物质炭添加对大团聚体土壤有机碳的影响并不大,而对微团聚体有机碳的影响较大。

一般而言,秸秆施入会促进土壤原有机碳的分解,其原因在于秸秆中含有较多的新鲜易分解有机碳,刺激了微生物的增长,从而促进了原有机碳的分解。但生物质炭施入对土壤原有机碳的影响却不一致,促进、抑制、无影响均有报道^[33-36]。Wardle 等^[15]报道,火烧产生的黑碳促进了土壤腐殖类物质的分解,但这一研究已引起很多争议。Zimmerman 等^[17]利用室内培养实验发现短期内生物质炭添加也促进了土壤原有机碳的分解。但 Jones 等^[35]却发现生物质炭添加抑制了土壤原有机碳的分解,而 Smith 等^[36]利用¹³C 自然丰度方法发现生物质炭添加对土壤有机碳分解几乎没有影响。导致这种截然不同结论的主要原因在于研究者采用的生物质炭类型、制备条件、添加量、培养条件以及土壤类型不同所致。本研究利用团聚体分组,进一步表明稻草及其制备的生物质炭添加对土壤团聚体新碳和原有机碳的影响明显不同,对于同一粒级团聚体,稻草和生物质炭添加的差异主要体现在新碳的分配上,而对土壤原有机碳的影响差别并不大。

4 结 论

通过对比分析,发现将等量的稻草低温热解制成生物质炭后添加到土壤中,较稻草直接施用更有利于提高土壤碳库。而增加的新碳主要进入到中团聚体(50 ~ 250 μm)中,比例达 70% 以上。并且,稻草与生物质炭施入土壤中最大的区别主要体现

在新碳分配上,而对原有机碳的影响并不显著。当然,稻草及其制备的生物质炭施入对土壤碳库的影响,还需野外长期试验的进一步验证。

参 考 文 献

- [1] Lehmann J, Rillig M C, Thies J, et al. Biochar effects on soil biota-A review. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43: 1812—1836
- [2] 刘玉学, 刘微, 吴伟祥, 等. 土壤生物质炭环境行为与环境效应. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 977—982. Liu Y X, Liu W, Wu W X, et al. Environmental behavior and effect of biomass-derived black carbon in soil: A review (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(4): 977—982
- [3] 谢祖彬, 刘琦, 许燕萍, 等. 黑碳研究进展及其研究方向. *土壤*, 2011, 43(6): 857—861. Xie Z B, Liu Q, Xu Y P, et al. Advances and perspectives of biochar research (In Chinese). *Soils*, 2011, 43(6): 857—861
- [4] Laird D A, Fleming P, Davis D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 2010, 158: 443—449
- [5] Peng X, Ye L L, Wang C H, et al. Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research*, 2011, 112: 159—166
- [6] Anderson C R, Condon L M, Clough T J, et al. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*, 2011, 54: 309—320
- [7] Jeffery S, Verheijen F G A, van der Velde M, et al. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 144: 175—187
- [8] Atkinson C J, Fitzgerald J D, Hipsley N A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*, 2010, 337: 1—18
- [9] Zhang A F, Liu Y M, Pan G X, et al. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant and Soil*, 2012, 351: 263—275
- [10] Wang J Y, Zhang M, Xiong Z Q, et al. Effects of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from two paddy soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47: 887—896
- [11] Feng Y Z, Xu Y P, Yu Y C, et al. Mechanisms of biochar decreasing methane emission from Chinese paddy soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, 46: 80—88
- [12] Haefele S M, Konboon Y, Wongboon W, et al. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research*, 2011, 121: 430—440
- [13] Bruun E W, Ambus P, Egsgaard H, et al. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, 46: 73—79
- [14] Steinbeiss S, Gleixner G, Antonietti M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, 41: 1301—1310
- [15] Wardle D A, Nilsson M C, Zackrisson O. Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. *Science*, 2008, 320: 629
- [16] Luo Y, Durenkamp M, De Nobili M, et al. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43: 2304—2314
- [17] Zimmerman A R, Gao B, Ahn M Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43: 1169—1179
- [18] Lal R. World residues production and implication of its use as a biofuel. *Environment International*, 2005, 31: 575—584
- [19] Jiang D, Zhuang D F, Fu J Y, et al. Bioenergy potential from crop residues in China: Availability and distribution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16: 1377—1382
- [20] 刘世杰, 窦森. 黑碳对玉米生长和土壤养分吸收与淋失的影响. *水土保持学报*, 2009, 23(1): 79—82. Liu S J, Dou S. The effects of black carbon on growth of maize and the absorption and leaching of nutrients (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(1): 79—82
- [21] 张阿凤, 潘根兴, 李恋卿. 生物黑炭及其增汇减排与改良土壤意义. *农业环境科学学报*, 2009, 28(12): 2459—2463. Zhang A F, Pan G X, Li L Q. Biochar and the effect on C stock enhancement, emission reduction of greenhouse gases and soil reclamation (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12): 2459—2463
- [22] Angers D, Recous S, Aita C. Fate of carbon and nitrogen in water-stable aggregates during decomposition of ¹³C/¹⁵N-labelled wheat straw in situ. *European Journal of Soil Science*, 1997, 48: 295—300
- [23] Urbanek E, Smucker A J M, Horn R. Total and fresh organic carbon distribution in aggregate size classes and single aggregate regions using natural ¹³C/¹²C tracer. *Geoderma*, 2011, 164: 164—171
- [24] Verchot L V, Dutaer L, Shepherd K D, et al. Organic matter stabilization in soil aggregates: Understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soils. *Geoderma*, 2011, 161: 182—193
- [25] 徐江兵, 李成亮, 何园球, 等. 不同施肥处理对旱地红壤团聚体中有机碳含量及其组分的影响. *土壤学报*, 2007, 44(4): 675—682. Xu J B, Li C L, He Y Q, et al. Effect of fertilization on organic carbon content and fractionation of aggregates in upland red soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(4): 675—682
- [26] 刘中良, 宇万太, 周桦, 等. 不同有机厩肥输入量对土壤团聚体有机碳组分的影响. *土壤学报*, 2011, 48(6): 1149—1157. Liu Z L, Yu W T, Zhou H, et al. Effect of application rate of barnyard manure on organic carbon fraction of soil aggregates (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(6): 1149—1157
- [27] Bruun S, Jensen E S, Jensen L S. Microbial mineralization and

- assimilation of black carbon: Dependency on degree of thermal alteration. *Organic Geochemistry*, 2008, 39: 839—845
- [28] Covalada S, Pajares S, Gallardo J F, et al. Short-term changes in C and N distribution in soil particle size fractions induced by agricultural practices in a cultivated volcanic soil from Mexico. *Organic Geochemistry*, 2006, 37: 1943—1948
- [29] Kuhlbusch T A J. Black carbon and the carbon cycle. *Science*, 1998, 280: 1903—1904
- [30] 张旭东, 梁超, 诸葛玉平, 等. 黑碳在土壤有机碳生物地球化学循环中的作用. *土壤通报*, 2003, 34(4): 349—355. Zhang X D, Liang C, Zhuge Y P, et al. Roles of black carbon in the biogeochemical cycles of soil organic carbon (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(4): 349—355
- [31] Czimczik C I, Masiello C A. Controls on black carbon storage in soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, 1(3): 1029—1036
- [32] Glaser B, Balashov E, Hauroaler L, et al. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 669—678
- [33] Hamer U, Marschner B, Brodowski S, et al. Interactive priming of black carbon and glucose mineralization. *Organic Geochemistry*, 2004, 35: 823—830
- [34] Knoblach C, Maarifat A A, Pfeiffer E M, et al. Degradability of black carbon and its impact on trace gas fluxes and carbon turnover in paddy soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43: 1768—1778
- [35] Jones D L, Murphy D V, Khalid M, et al. Short-term biochar-induced increase in soil CO₂ release is both biotically and abiotically mediated. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43: 1723—1731
- [36] Smith J L, Collins H P, Bailey V L. The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42: 2345—2347

EFFECTS OF APPLICATION OF RICE STRAW AND STRAW BIOCHAR ON ORGANIC CARBON IN SOIL AGGREGATES

Yin Yunfeng^{1,2} Gao Ren^{1,2†} Ma Hongliang^{1,2} Yang Yusheng^{1,2} Li Shuxiang^{1,2} Liu Yanping^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, × Fuzhou 350007, China)

(2 College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract Applying biochar to soil has been suggested as a practice both to improve soil quality and to increase carbon sequestration of the soil. In this study effects of amendment of rice straw and straw biochar on organic carbon in aggregates various in fraction were investigated using the stable carbon isotope technique. ¹³C-labeled rice straw and straw biochar (prepared at 250°C or 350°C) was mixed separately with red soil (Ferrosols) for incubation in the experiment. Results show that the effects of rice straw and biochar on fresh carbon and native soil organic carbon were completely different. After 112 days of incubation, the fresh carbon supplied by straw or biochar was mainly found in the 50 ~ 250 μm fraction of soil aggregates, making up 70.3% ~ 75.3% of the total. Compared with CK, amendment of rice straw significantly stimulated decomposition of the native organic carbon in the 250 ~ 2 000 μm fraction of soil aggregates, but had no such significant effect in the 50 ~ 250 μm and < 50 μm fractions of aggregates, and the amendment of biochar (either SB250 or SB350) did not affect much decomposition of the native organic carbon in the 250 ~ 2 000 μm and 50 ~ 250 μm fractions of aggregates, but the amendment of biochar SB250 did significantly inhibit decomposition of the native organic carbon in the < 50 μm fraction of aggregates, however, no such effect was found with the amendment of biochar SB350. The effects of rice straw and straw biochar on carbon in soil aggregates of the same size fraction differed mainly in distribution of fresh carbon, rather than native soil organic carbon.

Key words Biochar; δ¹³C; Carbon sequestration; Aggregate; Soil organic carbon

(责任编辑:陈德明)