

生物炭对旱作农田土壤有机碳及氮素在团聚体中分布的影响

米会珍^{1,2}, 朱利霞², 沈玉芳^{1,2*}, 李世清¹

(1.西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为研究生物炭输入对旱作农田土壤团聚体及其团聚体碳氮分布的影响, 通过分层(0~10、10~20 cm 和 20~30 cm)采集设置 0 t·hm⁻²(CK)、10 t·hm⁻²(C1)、20 t·hm⁻²(C2)和 30 t·hm⁻²(C3)4 个生物炭水平的田间定位试验的土样, 利用湿筛法获得不同粒径(>2 mm、2~0.25 mm、0.25~0.053 mm 和 <0.053 mm)的团聚体, 测定各级团聚体中有机碳及全氮含量, 分析添加生物炭后旱作农田土壤团聚体及团聚体中有机碳和全氮的分布特征。结果表明:与未施生物炭对照相比, 施用生物炭两年后, 0~10 cm 和 10~20 cm 土层 >0.25 mm 粒级水稳性大团聚体的含量均呈增加趋势;且高添加量(30 t·hm⁻²)显著增加了 10~20 cm 和 20~30 cm 土层 0.25~0.053 mm 粒级微团聚体的含量。生物炭显著增加了各土层不同粒级团聚体中有机碳和全氮的含量, 随施用量的增加 0~10 cm 和 10~20 cm 土层增加规律一致, 均表现为 C3>C2>C1>CK。0~10 cm 土层不同粒级水稳性团聚体中有机碳和全氮的贡献率表现为 2~0.25 mm 粒级最高, 且随土层加深, <0.053 mm 粒级团聚体有机碳和全氮的贡献率增加。从 0~30 cm 土层团聚体有机碳和全氮的平均贡献率来看, 随生物炭施用量的增加, 2~0.25 mm 和 0.25~0.053 mm 粒级贡献率均增加。

关键词:生物炭; 水稳性团聚体; 有机碳; 全氮

中图分类号: S153.6 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2015)08-1550-07 doi:10.11654/jaes.2015.08.017

Biochar Effects on Organic Carbon and Nitrogen in Soil Aggregates in Semiarid Farmland

MI Hui-zhen^{1,2}, ZHU Li-xia², SHEN Yu-fang^{1,2*}, LI Shi-qing¹

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Biochars have many benefits to soil, including increasing soil carbon, enhancing soil water and nutrient retention, and improving soil aggregates. In the present study, the effects of biochar amendments on the distribution of soil organic carbon(SOC) and total nitrogen(TN) in soil aggregates in semiarid farmland were investigated. Soil samples from different depths(0~10 cm、10~20 cm and 20~30 cm) in a field experiment with four biochar application rates 0 t·hm⁻²(CK), 10 t·hm⁻²(C1), 20 t·hm⁻²(C2) and 30 t·hm⁻²(C3) were collected. The soil samples were fractionated into different sized aggregates(>2 mm, 2~0.25 mm, 0.25~0.053 mm and <0.053 mm) using wet sieving method, and then SOC and TN in each aggregate fraction were measured. Compared with the control, two-year amendments of biochar trended to increase the content of >0.25 mm water-stable macro-aggregates in the 0~10 cm and 10~20 cm soil layers. At the rate of 30 t·hm⁻², the percentages of 0.25~0.053 mm micro-aggregates in the 10~20 cm and 20~30 cm soil layers were also significantly increased. Biochar additions significantly increased the SOC and TN content in different aggregates both in the 0~10 cm and 10~20 cm soil layers with C3>C2>C1>CK. In the 0~10 cm soil layer, the contribution rates of SOC and TN in the 2~0.25 mm aggregate to the whole soil were the greatest among all the water-stable aggregates. The contribution rates of SOC and TN in the <0.053 mm aggregates increased with soil depth. In 0~30 cm soil, the average contribution rates of SOC and TN in the 2~0.25 mm and 0.25~0.053 mm aggregates increased with biochar amounts.

Keywords: biochar; water-stable aggregate; soil organic carbon; total nitrogen

收稿日期: 2015-01-30

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(YQ2013009); 国家自然科学基金项目(51279197); 杨凌示范区科技计划项目(2014NY-30)

作者简介: 米会珍(1987—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事土壤质量与环境方面的研究。E-mail: mihuihen2005@163.com

* 通信作者: 沈玉芳 E-mail: shenyufang@nwsuaf.edu.cn

土壤团聚体的含量及分布对土壤质量有着重要的影响,是土壤结构稳定性的指标之一^[1-2]。各类有机碳是土壤团聚体最重要的胶结物质,土壤团聚体的物理保护作用则是土壤有机碳稳定性的重要机制,因此,从不同土壤结构单元进行有机碳稳定性研究已经成为最有效的手段^[3]。Six等^[4]也提出了以“大团聚体周转”为核心的概念模型,即新鲜有机物料的加入会促进新一轮大团聚体-微团聚体循环进行。生物炭是由有机物料在厌氧条件下低温热解产生的含碳丰富的固态物质^[5]。作为一种富含碳的外源有机质,因其表面积大、吸附性强等特点^[6-7],施入土壤会对土壤结构产生一定影响。潘根兴等^[8]发现,生物炭可与土壤颗粒形成团聚体和有机无机复合体,在改善土壤团聚结构的同时也增加土壤有机碳含量。而Busscher等^[9]研究发现,添加5、10、20 g·kg⁻¹生物炭70 d后,对土壤团聚体影响不显著,但提高了土壤有机碳及全氮等养分的含量^[9-11],以及各粒级水稳性大团聚体中总碳含量^[12]。制备生物炭的生物资源非常广泛,由于每种生物炭具有独特的特征,不同的土壤对生物炭的反响也不尽相同。同时,制备生物炭的热解温度也会对生物炭的性质有重要影响^[13]。

黄土高原是我国北方重要的旱作农区,近年来高度集约化的农业生产使得该区土壤结构不同程度地遭到了破坏,团聚体含量逐渐减少,团聚体质量下降,限制了降水入渗和作物根系延伸,制约着该区农业生产的可持续发展。因此,改良土壤结构增加降雨入渗,降低农业生产导致的水土流失已成为提高旱地农业生产力和水分利用效率的有效方式。武均等^[14]研究表明,免耕+秸秆覆盖和传统耕作+秸秆覆盖均可提升黄土高原陇中雨养农田水稳性大团聚体含量和稳定性,但团聚体碳氮含量却随团聚体粒径变小而增大。曹丽花等^[15]研究也认为,施用PAM结构改良剂对黄绵土、黑垆土、风沙土团聚体含量和团聚体分形维数的改良效果不同。因此,有必要进一步研究筛选出适合提高黄土高原土壤质量的稳定改良材料和改良方法。将秸秆转变为生物炭再施入土壤中,对黄土高原旱地土壤团聚体及其碳氮库特征有何影响,是否更利于良好团粒结构的形成从而促进作物获得高产,目前尚缺乏深入研究。本研究以黄土高原旱作农田的玉米秸秆为生物炭来源,在农田尺度上研究施用生物炭对土壤团聚体分布及团聚体碳氮养分含量的影响,从农田土壤质量的角度为生物炭在旱作农田的应用提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 田间定位试验

田间定位试验在西北农林科技大学长武国家农业生态试验站进行。该试验站位于黄土高原中南部陕甘交界处的陕西省长武县洪家镇王东村,35°12'N、107°40'E,海拔1200 m。属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均降水584 mm,年均气温9.10℃,无霜期171 d,地下水埋深50~80 m,属典型的旱作农业区;试验区为高原沟壑区的典型代表,地带性土壤为黑垆土,质地均匀疏松。2012年试验前耕层土壤有机碳8.25 g·kg⁻¹,全氮0.80 g·kg⁻¹,全磷0.53 g·kg⁻¹,全钾8.39 g·kg⁻¹,碱解氮46.50 mg·kg⁻¹,速效磷8.96 mg·kg⁻¹,速效钾106.20 mg·kg⁻¹。

试验从2012年4月开始,共设4个生物炭施用水平,分别为施生物炭0 t·hm⁻²(CK)、10 t·hm⁻²(C1)、20 t·hm⁻²(C2)和30 t·hm⁻²(C3),每处理3次重复,每个试验小区面积为56 m²,共12个小区,随机区组排列。试验供试生物炭来源于玉米秸秆热解炭化(炭化温度350~450℃,河南三利新能源有限公司)。生物炭、基施氮肥、磷肥和钾肥均在播前撒于地表后微耕机翻耕,使其充分混匀,追施氮肥用点种器施入。氮肥以含氮量46%的尿素为氮源按4:3:3分三次施入,每公顷施纯氮225 kg;磷肥以含P₂O₅ 12%的过磷酸钙为肥源,每公顷施纯磷40 kg;钾肥以含K₂O 45%的硫酸钾为肥源,每公顷施纯钾80 kg。试验玉米品种为先玉335,采用宽窄行种植(60:40),种植密度65 000株·hm⁻²。试验期间采用雨养方式,不进行灌溉处理。

1.2 土壤团聚体分级及有机碳和全氮含量测定

2014年春玉米播前分层(0~10、10~20、20~30 cm)在每个小区随机多点采集土样,然后将采集的混合土样带回实验室(尽量避免挤压,以保持原状土壤结构)。

团聚体分级采用湿筛法^[16],利用振荡筛(套筛直径为2、0.25、0.053 mm)对土壤团聚体进行分级。称取过8 mm筛(去除杂草和植物根系)的土样平铺于2 mm筛面上,在室温条件下加去离子水缓慢湿润10 min后,以每2 min 50次的频率在去离子水中进行振荡,上下振幅3 cm,将各筛上的水稳性团聚体分别冲洗至容器中。获取>2 mm、2~0.25 mm和0.25~0.053 mm的水稳性团聚体和<0.053 mm的粉黏粒组分。各粒级组分在60℃下烘干,称重,研磨,过筛(0.149 mm)。

土壤有机碳采用外加热-重铬酸钾氧化法^[17]测

定,土壤全氮采用半微量凯氏定氮法^[17]测定。

1.3 数据处理与统计检验

试验结果采用 SPSS 13.0 进行单因素方差分析 (ANOVA),采用 LSD 检验,显著性水平为 $P<0.05$ 。

各粒级团聚体对土壤养分的贡献率计算公式:

某粒级团聚体的养分贡献率=

$$\frac{\text{该级团聚体中养分含量} \times \text{该级团聚体的含量}}{\text{耕层土壤中该养分含量}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 生物炭对不同土层土壤水稳性团聚体分布的影响

从表 1 可以看出,不同处理各土层土壤团聚体粒级分布基本一致,2~0.25 mm 和 <0.053 mm 两个粒级的团聚体含量较高,>2 mm 粒级的大团聚体次之,0.25~0.053 mm 粒级的微团聚体含量最低。随土层加深,>2 mm 粒级水稳性团聚体和 <0.053 mm 粉黏粒含量增加,2~0.25 mm 和 0.25~0.053 mm 粒级团聚体含量有降低趋势。生物炭添加对不同粒级团聚体影响趋势不一。与未施生物炭对照相比,添加生物炭降低了 >2 mm 粒级水稳性大团聚体含量,随施用量增加表现为 CK>C1>C3、C2。生物炭增加了 2~0.25 mm 和 0.25~0.053 mm 粒级团聚体含量,但 0~10 cm 土层的增加差异均不显著;10~20 cm 土层中,2~0.25 mm 和 0.25~0.053 mm 粒级团聚体含量最高增加幅度分别为 32.99% 和 35.58%;20~30 cm 土层中,2~0.25 mm 和

表 1 不同土层中各粒级水稳性团聚体分布

Table 1 Size distribution of water-stable aggregates in different soil layers

土层深度 Soil depth/cm	处理 Treatment	团聚体百分含量 Percentages of aggregates/%			
		>2 mm	2~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
0~10	CK	18.50a	37.45a	8.00a	36.06a
	C1	17.38a	37.65a	8.16a	36.81a
	C2	16.47a	39.10a	8.80a	35.63a
	C3	16.79a	40.41a	8.76a	34.04a
10~20	CK	25.07a	25.89b	6.07c	42.97a
	C1	22.39a	30.54b	7.26b	39.82ab
	C2	18.23b	34.43a	8.23a	39.11ab
	C3	20.91ab	32.49ab	7.58ab	39.01b
20~30	CK	25.21a	22.84c	6.23b	45.72a
	C1	22.35ab	24.56b	6.04b	47.05a
	C2	20.26ab	27.89ab	8.10a	43.75a
	C3	19.99b	27.94a	7.43a	44.65a

注:同一土层中同一列不同字母表示差异显著性($P<0.05$)。下同。

Note: Different letters within a column in same soil depth mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

0.25~0.053 mm 粒级团聚体含量最高增加幅度分别为 22.33% 和 30.02%, 差异显著。与不施生物炭对照相比, <0.053 mm 粒级粉黏粒含量有降低的趋势,除 10~20 cm 土层 C3 处理团聚体含量降幅达 9.22% 外,其他土层各处理变化规律不一,差异不显著。总体上看,施用生物炭两年后,与未施生物炭处理相比,0~10 cm 和 10~20 cm 土层农田土壤 >0.25 mm 粒级的水稳性大团聚体和 0.25~0.053 mm 粒级的微团聚体含量均呈增加趋势,但差异均未达显著水平。

2.2 生物炭对土壤有机碳在团聚体中分布的影响

2.2.1 不同粒级土壤团聚体中有机碳含量

对不同粒级土壤团聚体中有机碳含量的测定结果表明(表 2),试验不同处理各土层土壤均以 0.25~0.053 mm 粒级团聚体中有机碳的含量最高,其次是 >2 mm 和 2~0.25 mm 粒级, <0.053 mm 粒级团聚体中有机碳的含量最低。随土层加深,不同粒级团聚体有机碳含量均表现为 0~10 cm>10~20 cm>20~30 cm 土层。与未施生物炭对照相比,生物炭增加了各土层不同粒级团聚体有机碳含量,随施用量的增加 0~10 cm 和 10~20 cm 土层增加规律一致,均表现为 C3>C2>C1>CK。施生物炭 30 t·hm⁻² 显著增加了不同土层不同粒级团聚体中有机碳含量,0~10 cm 土层 >2 mm、2~0.25 mm、0.25~0.053 mm 和 <0.053 mm 粒级团聚体中有机碳含量增幅最大,分别增加 29.12%、26.20%、57.33% 和 69.83%;10~20 cm 土层分别增加 20.18%、26.30%、21.43% 和 25.51%;20~30 cm 土层增幅最小,分别增加 15.29%、17.70%、15.35% 和 21.12%。

2.2.2 不同粒级土壤团聚体有机碳的贡献率

表 2 不同粒级土壤团聚体有机碳含量

Table 2 Content of organic carbon in different size aggregates

土层深度 Soil depth/cm	处理 Treatment	不同粒级团聚体中有机碳含量/Content of organic carbon in different aggregates/g·kg ⁻¹			
		>2 mm	2~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
0~10	CK	9.34b	9.81c	14.88d	7.26d
	C1	11.12a	11.48b	17.77c	9.86c
	C2	11.80a	12.27ab	22.40b	11.02b
10~20	C3	12.06a	12.38a	23.41a	12.33a
	CK	9.07b	9.62c	16.33b	7.80b
	C1	9.11b	10.34bc	17.38b	8.30ab
20~30	C2	9.83ab	10.61b	18.13ab	9.01ab
	C3	10.90a	12.15a	19.83a	9.79a
	CK	7.98b	8.42b	13.68b	6.96bc
0~10	C1	8.47ab	9.35ab	16.86a	7.32b
	C2	8.35ab	9.27ab	15.01ab	6.57c
	C3	9.20a	9.91a	15.78a	8.43a

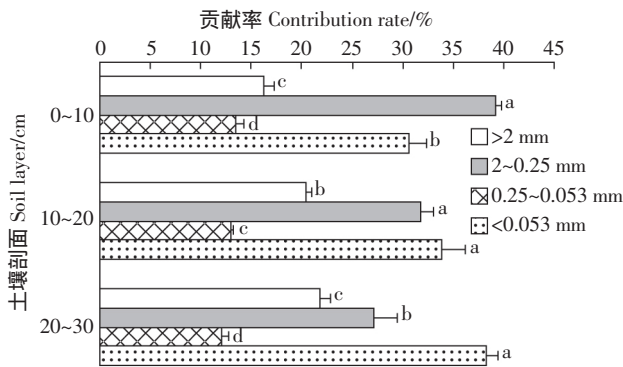
由图1可以看出,旱作农田0~10 cm土层各粒级土壤水稳性团聚体中有机碳的贡献率表现为2~0.25 mm粒级最高,其次为<0.053 mm粒级,0.25~0.053 mm粒级最低,不同粒级间团聚体有机碳贡献率差异均达显著水平。随土层加深,>2 mm和<0.053 mm粒级团聚体有机碳贡献率增加,2~0.25 mm和0.25~0.053 mm粒级团聚体有机碳贡献率降低。分析生物炭对旱作农田不同粒级水稳性团聚体有机碳贡献率的影响发现(图2),随生物炭施用量的增加,0~30 cm土层中>2 mm粒级团聚体有机碳的平均贡献率降低,

表现为CK>C1>C2>C3,降幅分别为23.33%、16.06%和11.16%,差异显著;但2~0.25 mm和0.25~0.053 mm粒级团聚体有机碳的平均贡献率均增加,增幅范围分别为8.81%~22.99%和14.14%~28.43%;<0.053 mm粒级有机碳的贡献率变化不明显。

2.3 生物炭对土壤全氮在团聚体中分布的影响

2.3.1 不同粒级土壤团聚体中全氮含量

全氮在不同土层土壤团聚体中的分布规律与团聚体有机碳的一致(表3),0.25~0.053 mm粒级团聚体的全氮含量最高,<0.053 mm粒级的全氮含量最低。随土层加深,不同粒级团聚体中全氮含量总体表现为0~10 cm>10~20 cm>20~30 cm土层。与未施生物炭对照相比,生物炭增加了各土层不同粒级团聚体全氮含量,随施用量的增加,0~10、10~20 cm和20~30 cm土层均表现为C3>C2>C1>CK,且0~10 cm土层0.25~0.053 mm粒级增加最显著。与未施生物炭对照相比,施生物炭30 t·hm⁻²时,0~10 cm土层>2 mm、2~0.25 mm、0.25~0.053 mm和<0.053 mm粒级团聚体中全氮含量分别增加11.21%、10.00%、19.46%和24.18%,差异均显著;10~20 cm土层各粒级分别增加10.68%、10.00%、5.00%和14.94%;2~0.25 mm和<0.053 mm粒级增加显著;20~30 cm土层各粒级分别增加5.15%、11.11%、13.57%和8.24%,仅0.25~0.053 mm粒级增加显著。随生物炭施用量的增加,0~10 cm土层不同粒级团聚体中全氮含量C3处理显著高于C1和CK处理(<0.053 mm粒级除外),C3处理与C2处理间无显著差异。可见,旱作农田添加生物炭能提高土壤水

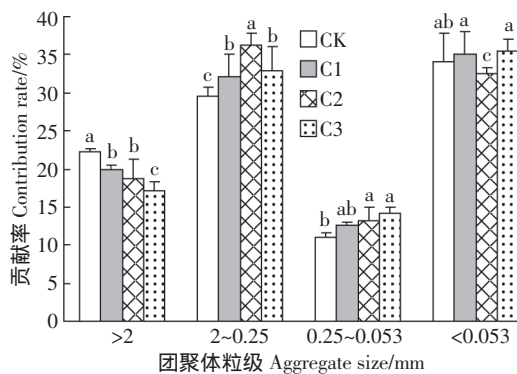


同一剖面各粒级数据为四个处理的平均值,同一剖面各粒级上的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。图3同

Data for every aggregate fraction within a soil depth are means of four treatments. Different letters within a soil layer mean significant difference between aggregate fractions($P<0.05$). The same as figure 3

图1 不同剖面土壤团聚体有机碳的贡献率

Figure 1 Percent contribution of organic carbon in different aggregates to soil total organic carbon in different soil depths



同一粒级各处理数据为三个剖面的平均值,同一粒级各处理上不同字母表示差异显著($P<0.05$)。图4同

Data for every treatment within an aggregate size are means of three soil depths. Different letters within an aggregate size mean significant difference between treatments($P<0.05$). The same as figure 4

图2 0~30 cm土层不同处理土壤团聚体有机碳的平均贡献率

Figure 2 Average percent contribution of organic carbon in different aggregates to soil total organic carbon in 0~30 cm soil layer under different treatments

表3 不同粒级土壤团聚体全氮含量

Table 3 Content of total N in different aggregates

土层深度 Soil depth/cm	处理 Treatment	不同粒级团聚体全氮含量 Content of total N in different aggregates/g·kg ⁻¹			
		>2 mm	2~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
0~10	CK	1.07c	1.10c	1.49b	0.91b
	C1	1.10bc	1.15bc	1.59b	1.02ab
	C2	1.17ab	1.17ab	1.71a	1.05ab
	C3	1.19a	1.21a	1.78a	1.13a
10~20	CK	1.03a	1.10b	1.60a	0.87b
	C1	1.05a	1.11b	1.62a	0.92ab
	C2	1.11a	1.14ab	1.67a	0.97ab
	C3	1.14a	1.21a	1.68a	1.00a
20~30	CK	0.97a	0.99a	1.40b	0.85a
	C1	1.01a	1.07a	1.51ab	0.88a
	C2	1.01a	1.08a	1.53ab	0.90a
	C3	1.02a	1.10a	1.59a	0.92a

性团聚体中全氮的含量。

2.3.2 不同粒径土壤团聚体全氮的贡献率

旱作农田剖面不同土层土壤水稳性团聚体全氮的贡献率与有机碳的贡献率规律基本一致(图3)。0~10 cm 土层不同粒径土壤水稳性团聚体中全氮的贡献率表现为 2~0.25 mm 粒径最高,其次为<0.053 mm 粒径,二者显著高于>2 mm 和 0.25~0.053 mm 粒径。随土层加深,<0.053 mm 粒径团聚体全氮贡献率增加,显著高于 2~0.25 mm 粒径,但 0.25~0.053 mm 粒径团聚体全氮贡献率降低。分析生物炭对旱作农田不同粒径水稳性团聚体全氮贡献率的影响发现(图4),随生物炭施用量的增加,0~30 cm 土层中>2 mm 粒径团聚体全氮的平均贡献率表现为 C3<C2<C1<CK,与未施生物炭对照相比,降低幅度范围为 9.77%~19.47%。2~0.25 mm 和 0.25~0.053 mm 粒径全氮贡献率均增加,C2 处理增幅最高,分别增加 22.50%和

33.78%,差异显著,C1 处理分别仅增加 8.73%和 7.64%,差异不显著;<0.053 mm 粒径全氮贡献率变化较小。

3 讨论

3.1 生物炭对土壤中水稳性团聚体含量的影响

土壤团聚结构是土壤肥力的物质基础,是作物高产稳产的必需土壤条件之一。在土壤团聚体的形成过程中,胶结物质的数量和性质起着十分重要的作用。Brodowski 等^[18]研究发现,生物炭可作为胶结介质促进土壤团聚体的形成,且生物炭和土壤中其他形态有机物质以及矿物、微生物等可发生进一步的交互影响促进土壤团聚体的形成和稳定。本研究发现,生物炭增加了旱作农田黑垆土中>0.25 mm 粒径的水稳性大团聚体总量。这个结果与 Liu 等^[19]和 Sun 等^[20]的研究结果一致。Liu 等^[19]通过培养实验发现,添加木屑制成的生物炭 0、4、8、16 g·kg⁻¹ 后,黑垆土中>0.25 mm 粒径的水稳性大团聚体含量随生物炭施用量的增加而增多,Sun 等^[20]利用秸秆生物炭、木屑生物炭和污水污泥生物炭分别在粘土上进行室内培养试验,设置 0、20、40、60 g·kg⁻¹ 4 个生物炭水平,培养 180 d 后发现,秸秆生物炭和污水污泥生物炭均增加了土壤中>0.25 mm 粒径的水稳性团聚体的含量。但叶丽丽等^[21]进行的培养实验的研究结果却表明,由于生物质黑炭分解能力小,同时在分解过程中自身又不能产生粘液来团聚土壤颗粒,对红壤的土壤颗粒没有明显的团聚作用,甚至会有负面作用出现。当土壤肥力水平较低时,生物炭的施用能增加水稳性团聚体的百分含量^[22];而当土壤肥力水平较高时,因其本身已经具有较高含量的水稳性团聚体,生物炭对水稳性团聚的作用不明显^[23]。因此,生物炭对土壤团聚体形成的影响,与土壤本身有机质含量高低及生物炭性质有关。随试验年限增加,生物炭是否会通过有机无机胶结作用,促进本试验土壤水稳性团聚体的形成,有待进一步的深入研究。

3.2 生物炭对碳氮在土壤团聚体中分布的影响

团聚体是土壤有机碳的重要储存场所。Laird 等^[24]研究表明,往土壤中添加生物炭明显提高土壤中有有机碳的含量,且有提高碳在水稳性大团聚体中分配的趋势。本研究也发现,施用生物炭增加了 0~10 cm 和 10~20 cm 两个土层土壤团聚体有机碳含量,但有机碳主要分布在 0.25~0.053 mm 粒径的微团聚体中,且不同处理微团聚体中有机碳含量均高于大团聚体中

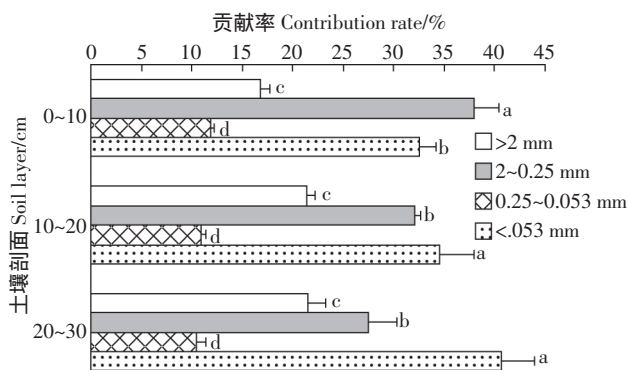


图3 不同剖面土壤团聚体全氮的贡献率

Figure 3 Percent contribution of total N in different aggregates to soil total N in different soil depths

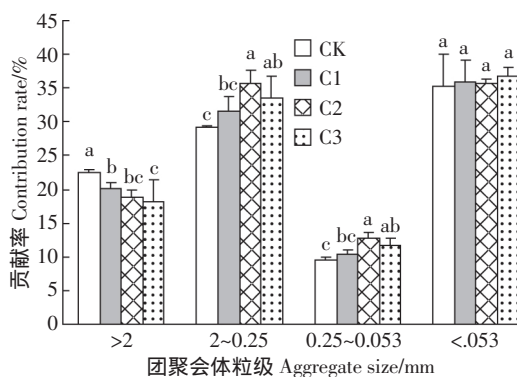


图4 0~30 cm 土层不同处理土壤团聚体全氮的平均贡献率

Figure 4 Average percent contribution of total N in different aggregates to soil total N in 0-30 cm soil layer under different treatments

的有机碳含量。这可能是由于微团聚体是有机碳存在的主要场所,其通常是大团聚体分解或者由粘粒与有机物胶结以后形成的产物,并且储存在其中的有机碳不易被微生物分解和利用^[25]。这与尹云峰等^[26]利用同位素¹³C标记得到的结果一致。

目前有关生物炭对土壤团聚体中全氮含量影响的研究较少。付琳琳等^[27]研究发现,生物炭的施用会增加稻田土壤团聚体中全氮的含量,且各粒级团聚体中全氮含量随施用量的增加而提高,与本研究结果较一致。在本研究条件下,与不施生物炭处理相比,生物炭增加了旱作农田各粒级土壤团聚体中全氮的含量,且增幅随施用量的增加而增大。分析发现,除生物炭本身所含的氮素外,生物炭会通过改变农田土壤通气状况、水分含量,抑制土壤反硝化作用减少氮氧化物的排放,且生物炭对氮素有强烈的吸附作用,有效降低了氮素的淋失,从而增加土壤中全氮储量^[28]。

与未施生物炭相比,随生物炭施用量的增加,0~30 cm土层中>2 mm粒级团聚体有机碳和全氮的平均贡献率降低,2~0.25 mm和0.25~0.053 mm粒级的平均贡献率均增加。因此,施用生物炭在一定程度上能改变旱作农田土壤结构,补充土壤有机碳库和有效氮养分含量,提高土壤肥力。但玉米秸秆生物炭施入对表层土壤碳氮库及其贡献率的长期影响,以及是否可以作为黄土高原旱作农田的土壤改良剂,还需进一步的试验验证。

4 结论

(1)添加生物炭两年后,旱作农田土壤>0.25 mm水稳性大团聚体含量呈增加趋势。

(2)生物炭显著增加了各土层不同粒级团聚体中有机碳和全氮的含量,增加幅度随施用量的增加而增大。但玉米秸秆生物炭施入对旱作农田表层土壤碳氮库及其贡献率的长期影响,还需进一步的试验验证。

参考文献:

- [1] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 81-85.
LU Jin-wei, LI Zhan-bin. Advance in soil aggregate study[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(1): 81-85.
- [2] Mikha M M, Rice C W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(3): 809-816.
- [3] 陈晓芬,李忠佩,刘明,等. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳、氮分布和微生物生物量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(5): 950-960.

- CHEN Xiao-fen, LI Zhong-pei, LIU Ming, et al. Effects of different fertilizations on organic carbon and nitrogen contents in water-stable aggregates and microbial biomass content in paddy soil of subtropical China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(5): 950-960.
- [4] Six J, Elliott E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soil[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(5): 1367-1377.
- [5] 匡宗婷,江春玉,李忠佩,等. 添加生物炭对红壤水稻土有机碳矿化和微生物生物量的影响[J]. 土壤, 2012, 44(4): 570-575.
KUANG Chong-ting, JIANG Chun-yu, LI Zhong-pei, et al. Effects of biochar amendments on soil organic carbon mineralization and microbial biomass in red paddy soils[J]. *Soil*, 2012, 44(4): 570-575.
- [6] Sohi S P, Krull E, Lopez-Capel E, et al. A review of biochar and its use and function in soil[J]. *Advances in Agronomy*, 2010, 105: 47-82.
- [7] 周桂玉, 窦森, 刘世杰. 生物质炭结构性质及其对土壤有效养分和腐殖质组成的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10): 2075-2080.
ZHOU Gui-yu, DOU Sen, LIU Shi-jie. The structural characteristics of biochar and its effects on soil available nutrients and humus composition[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(10): 2075-2080.
- [8] 潘根兴,周萍,李恋卿,等. 固碳土壤学的核心科学问题与研究进展[J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 327-337.
PAN Gen-xing, ZHOU Ping, LI Lian-qing, et al. Core issues and research progresses of soil science of C sequestration[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(2): 327-337.
- [9] Busscher W, Novak J, Evans D, et al. Influence of peacan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand[J]. *Soil Science*, 2010, 175(1): 10-14.
- [10] Vaccari F P, Baronti S, Lugato E, et al. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat[J]. *European Journal of Agronomy*, 2011, 34(4): 231-238.
- [11] 陈温福,张伟明,孟军,等. 生物炭与农业环境研究回顾与展望[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(5): 821-828.
CHEN Wen-fu, ZHANG Wei-ming, MENG Jun, et al. Biochar and agro-ecological environment: Review and prospect[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(5): 821-828.
- [12] 吴鹏豹,解钰,漆智平,等. 生物炭对花岗岩砖红壤团聚体稳定性及其总碳分布特征的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(4): 643-649.
WU Peng-bao, XIE Yu, QI Zhi-ping, et al. Effects of biochar on stability and total carbon distribution of aggregates in granitic laterite[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(4): 643-649.
- [13] 王英惠,杨旻,胡林潮,等. 不同温度制备的生物质炭对土壤有机碳矿化及腐殖质组成的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(8): 1585-1591.
WANG Ying-hui, YANG Min, HU Lin-chao, et al. Effects of biochar amendments synthesized at varying temperatures on soil organic carbon mineralization and humus composition[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(8): 1585-1591.
- [14] 武均,蔡立群,罗迪,等. 不同耕作措施对陇中黄土高原雨养农田土壤团聚体稳定性和C、N、P的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 234-239.
WU Jun, CAI Li-qun, LUO Di, et al. Effects of different tillage methods

- on the content of SOC, TN, TP in soil aggregates of rain-fed field of the Loess Plateau in central of Gansu[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(6) :234-239.
- [15] 曹丽花, 赵世伟, 梁向峰, 等. PAM对黄土高原主要土壤类型水稳性团聚体的改良效果及机理研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(1) : 45-49.
- CAO Li-hua, ZHAO Shi-wei, LIANG Xiang-feng, et al. Improvement effects of PAM on soil water-stable aggregates and its mechanisms in different soils in the Loess Plateau[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(1) :45-49.
- [16] Elliot E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50(3) :518-524.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shi-dan. Soil agro-chemical analysis[M]. The third edition. Beijing :China Agricultural University Press, 2000.
- [18] Brodowski S, John B, Flessa H, et al. Aggregate-occluded black carbon in soil[J]. *European Journal of Soil Science*, 2006, 57(4) :539-546.
- [19] Liu X H, Han F P, Zhang X C. Effect of biochar on soil aggregates in the Loess Plateau :Results from incubation experiments[J]. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2012, 14(6) :975-979.
- [20] Sun F F, Lu S G. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2014, 177(1) :26-33.
- [21] 叶丽丽, 王翠红, 周 虎, 等. 添加生物质黑炭对红壤结构稳定性的影响[J]. *土壤*, 2012, 44(1) :62-66.
- YE Li-li, WANG Cui-hong, ZHOU Hu, et al. Effects of rice straw-derived biochar addition on soil structure stability of an ultisol[J]. *Soil*, 2012, 44(1) :62-66.
- [22] 黄 超, 刘丽君, 章明奎. 生物质炭对红壤性质和黑麦草生长的影响[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2011, 37(4) :439-445.
- HUANG Chao, LIU Li-jun, ZHANG Ming-kui. Effects of biochar on properties of red soil and ryegrass growth[J]. *Journal of Zhejiang University(Agriculture & Life Science)*, 2011, 37(4) :439-445.
- [23] 吴崇书, 邱志腾, 章明奎. 施用生物质炭对不同类型土壤物理性状的影响[J]. *浙江农业科学*, 2014(10) :1617-1619, 1623.
- WU Chong-shu, QIU Zhi-teng, ZHANG Ming-kui. Effect of biochar on physical properties of different soil types[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2014(10) :1617-1619, 1623.
- [24] Laird D A, Fleming P, Davis D D. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158(3/4) :443-449.
- [25] Six J, Elliot E T, Paustain K. Soil macro-aggregate turnover and micro-aggregate formation :A mechanism for carbon sequestration under no-tillage agriculture[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32(14) : 2099-2103.
- [26] 尹云峰, 高 人, 马红亮, 等. 稻草及其制备的生物质炭对土壤团聚体有机碳的影响[J]. *土壤学报*, 2013, 50(5) :909-914.
- YIN Yun-feng, GAO Ren, MA Hong-liang, et al. Effects of application of rice straw and straw biochar on organic carbon in soil aggregates[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(5) :909-914.
- [27] 付琳琳. 生物质炭施用下稻田土壤有机碳组分、腐殖质组分及团聚体特征研究[D]. 南京 :南京农业大学, 2013.
- FU Lin-lin. The study of characteristics of paddy soil organic carbon fractions humin structure and aggregates under different biochar amendments[D]. Nanjing :Nanjing Agricultural University, 2013.
- [28] Zhang A F, Cui L Q, Pan G X, et al. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 139(4) :469-475.