

有机物料添加对内蒙古河套灌区碱化土壤可溶性有机碳的影响

陈晨^{1,2}, 红梅^{1,2}, 张月鲜^{1,2}, 温馨^{1,2}, 裴志福^{1,2}, 赵卉鑫^{1,2}, 李二珍³

(1.内蒙古农业大学草原与资源环境学院,呼和浩特 010011;2.内蒙古自治区土壤质量与养分资源重点实验室,呼和浩特 010011;3.内蒙古巴彦淖尔市五原县农牧业技术推广中心,内蒙古 巴彦淖尔 015118)

摘要: 通过研究不同有机物料添加对内蒙古河套灌区碱化土壤可溶性有机碳含量变化的影响,寻找合理高效的增碳方式,降低碱化土壤有机碳损失。以内蒙古河套灌区轻度、中度盐碱土为对象进行田间试验,设置生物炭(BC)添加、羊粪(GM)添加,对照(CK)3个处理,对比和分析不同有机物料添加后土壤有机碳(SOC)、可溶性有机碳(DOC)、土壤理化性质的变化。结果表明:(1)与CK相比,轻度碱化土壤BC、GM处理土壤DOC含量分别增加3.28%,20.66%,SOC含量增加5.40%,10.30%,中度碱化土壤BC和GM处理下可溶性碳增加41.32%,74.10%,土壤SOC含量增加60.24%,79.16%;(2)轻度碱化土壤BC和GM处理土壤DOC含量与SOC含量呈负相关,中度碱化土壤BC和GM处理下呈正相关;(3)盐碱土壤SOC、DOC含量主要与土壤pH、电导率的变化有关;BC处理较GM处理相比土壤电导率低约1.93%~29.15%,而GM处理土壤pH、碱化度比BC处理低0.31%~1.53%,7.10%~24.63%。总体来看,有机物料添加后均能使土壤中SOC、DOC含量提高,不同程度地降低土壤碱化程度,且羊粪添加较生物炭略好,因此羊粪添加对河套灌区碱化土壤碳含量的提高比生物炭添加更有效,土壤改良效果更好,土壤理化性质改善更明显。

关键词: 土壤可溶性有机碳; 碱化土壤; 有机物料; 河套灌区; 土壤有机碳

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)06-0331-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2020.06.046

Effects of Organic Material Addition on Dissolved Organic Carbon in Alkali Soil in Hetao Irrigation District of Inner Mongolia

CHEN Chen^{1,2}, HONG Mei^{1,2}, ZHANG Yuexian^{1,2}, WEN Xin^{1,2},

PEI Zhifu^{1,2}, ZHAO Huixin¹, LI Erzhen³

(1.Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010011; 2.Key Laboratory of Soil Quality and Nutrient Resources of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010011; 3.Inner Mongolia Bayannur Wuyuan County Agriculture and Animal Husbandry Technology Extension Center, Bayannur, Inner Mongolia 015118)

Abstract: In order to find a reasonable and efficient mode of carburizing and reduce the loss of organic carbon in alkalinized soil, the effect of different organic materials addition on the capacity of dissolved organic carbon in saline-alkali soil of Hetao Irrigation District in Inner Mongolia had been studied. Taking mild and moderate saline-alkali soil in Hetao Irrigation District of Inner Mongolia as the objects to carry out field trials, the three treatments of biochar (BC), goat manure (GM), and CK were used to compare and analyze the changes of soil organic carbon (SOC), dissolved organic carbon (DOC), and soil physio-chemical properties after adding different organic materials. The results showed that: (1) compared with CK, the DOC capacity treated by BC and GM in mild alkalized soil has increased by 3.28% and 20.66%, the SOC capacity has increased by 5.40% and 10.30%, respectively. The capacity of dissolved carbon treated by BC and GM in moderate alkalized soil had increased by 41.32% and 74.10%, and the SOC capacity had increased by 60.24% and 79.16%, respectively. (2) There was a negative correlation between DOC capacity and SOC capacity treated by BC and GM in mild alkalized soil, and a positive correlation between DOC capacity and SOC capacity treated by BC and GM in moderate alkalized soil. (3) The capacity of SOC and DOC in saline-alkali soil was mainly related to the change of soil pH and conductivity, compared with the treatment of GM, the

收稿日期:2020-04-20

资助项目:科技部国家重点研发项目(2018YFD0800802)

第一作者:陈晨(1996—),女,在读硕士研究生,主要从事土壤资源利用与保护研究。E-mail:1368445765@qq.com

通信作者:红梅(1970—),女,教授,博士生导师,主要从事草原土壤利用与保护、土壤生态、盐碱地改良和面源污染防治研究。E-mail:nmc-zhm1970@126.com

conductivity of BC was about 1.93%~29.15% lower, while the soil pH and alkalinity of GM was 0.31%~1.53% and 7.10%~24.63% lower than that of BC, respectively. In general, the addition of organic materials could increase the capacity of SOC and DOC in the soil, and reduced the degree of soil alkalization, and the addition of GM was slightly better than that of BC. Therefore, compared with BC, GM was more effective to improve the carbon capacity of alkalization soil in Hetao Irrigation District, the effect of soil amendment was better, and the improvement of soil physio-chemical properties was more obvious.

Keywords: soil dissolved organic carbon; alkali soil; organic materials; Hetao Irrigation District; soil organic carbon

土壤中有有机碳(SOC)包括易氧化有机碳、可溶性有机碳、酸水解有机碳,是评价土壤肥力的重要指标之一^[1],其中土壤可溶性有机碳(DOC)作为陆地生态系统中较为活跃的物质^[2],参与土壤圈与大气圈、水圈、岩石圈等其他圈层物质交换^[3]。一般认为,DOC的主要来源可能是腐殖化的有机质、植物凋落物、根系分泌物和微生物生物量;另外也有研究^[4]表明,有机肥料添加、畜禽粪便和污水污泥在小范围内对土壤 DOC 含量有影响;自然土壤转变为农田土壤后,土壤 DOC 含量也会明显降低。因此,研究有机物料添加后,土壤中可溶性有机碳的变化对农田土壤碳循环、物质转换、改良劣质土壤、提高农作物质量都有重要意义。

生物炭是一种富碳类物质,具有比表面积大、孔隙结构多样和吸附性强的特点,在培肥改土方面有较显著的成效^[5]。现有研究^[6-7]表明,添加生物炭能够提高水稻土土壤 DOC 含量,且提高的程度与生物炭施用量成正比,生物炭施入后能够减缓土壤有机质的流失,在紫色土壤和高寒草地上施用能显著提高土壤 SOC 的含量^[8-9]。羊粪是一种常见的热性肥料,有机质含量高,施用在贫瘠的土壤中具有肥效快、肥力足的优点,将羊粪施用在葡萄园中能够降低土壤 pH,提高土壤有机质含量^[10]。李娟等^[11]在沙地上施用羊粪显著提高了土壤有机质含量,降低土壤全盐量。目前,利用生物炭、羊粪改善农田土壤理化性质研究已有详尽的阐述,但在碱化的农田土壤上对可溶性有

机碳的研究还相对较少。河套平原是我国重要的商品粮产出地之一,由于长期不合理灌溉,导致的土壤次生盐渍化制约了当地的农业发展。巴彦淖尔市现有 322 667 hm²耕地存在着不同程度的次生盐渍化,占总耕地面积的 45.1%^[12]。本试验选取河套灌区轻度、中度碱化土为研究对象,探究生物炭、羊粪添加对农田土壤 DOC 含量、土壤 SOC 含量及盐渍化程度的影响,旨在为河套灌区农田土壤提高地力、改善土壤理化性质、丰收高产提供可参考的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况与土壤样品采集

试验地位于内蒙古自治区巴彦淖尔市五原县永利乡(107°35'70"—108°37'50"E,40°46'30"—41°16'45"N),该地区属中温带大陆性气候,四季分明,全年日照时间 3 263 h,年均气温 8.1 ℃,≥10 ℃的积温 3 392 ℃,无霜期 125 d 左右,属于黄河灌溉区,年均降雨量 170 mm,大多集中夏秋两季,且蒸发量大约是降水的 11 倍^[13],土壤类型为碱化灌淤土,土壤质地以粉砂壤土为主。

在试验布置前采集 0—30 cm 耕层土壤,用于测定土壤 pH、电导率、碱化度、土壤有机质、全氮、盐分,作为该地区土壤本底值(表 1);4 月 29 日覆膜之后分别于 6,7,9 月在膜下取土,土层深度为 0—30 cm,土壤样品去除植物残体后自然风干,过筛备用。其中 6 月 26 日采集的土样为灌水前,7 月 7 日为灌水后,9 月 28 日为秋收时。

表 1 试验土壤基本理化性质

土壤类型	土层深度/cm	pH	电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	碱化度/%	有机质/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全盐量/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
轻度碱化土壤	0—30	9.19	185.26	8.98	11.44	0.69	0.77
中度碱化土壤	0—30	9.50	414.50	24.89	7.87	0.53	0.98

1.2 试验设计

该试验于 2019 年 4 月底进行。选取轻度、中度碱化土壤 2 块样地,样地内设相同处理,即 CK(对照)、BC(生物炭)添加、GM(羊粪)添加,每个处理重复 4 次,完全随机排列。轻度样地小区面积为 80 m²,中度样地小区面积为 31.2 m²,种植作物为玉米“新玉 12”,覆膜后以人工点播的方式种植。种植玉

米前,将有机物料和基肥(过磷酸钙和硫酸钾)人工均匀撒施于地表,借助旋耕机将其耕翻至土壤中;化肥施用量参照当地农民常规用量,分别为尿素,过磷酸钙和硫酸钾,其中过磷酸钙和硫酸钾作为基肥一次性施入,尿素于 6 月下旬第 1 次灌水时施用(表 2)。CK 不添加有机物料,其余田间管理措施与各处理均一致。

表 2 有机物料添加量及各处理施肥量

处理	有机碳含量/ (g · kg ⁻¹)	有机物施入量/ (kg · hm ⁻²)	有机碳添加量/ (kg · hm ⁻²)	尿素/ (kg · hm ⁻²)	过磷酸钙/ (kg · hm ⁻²)	硫酸钾/ (kg · hm ⁻²)
CK	0	0	0			
BC	312	7815	2436	900	600	150
GM	159	15180	2436			

1.3 测定项目与方法

pH 和电导率采用实验室酸度计法(实验室 pH 计 STARTER 2100)和电导仪法(实验室电导率仪 STARTER 3100C)测定,水土比为 2.5 : 1 浸提后测定浸提液;碱化度采用原子吸收法测定;有机碳含量采用重铬酸钾外加热法测定;可溶性有机碳含量采用 TOC-Analyzer 分析仪测定,前处理采用 K₂SO₄溶液浸提,振荡 30 min 后离心,离心后得到的清液在通过 TOC 自动分析仪前再次通过 0.45 μm 的滤膜过滤。

1.4 数据处理与分析

原始数据记录、计算均使用 Microsoft Excel 2010,采用 IBM SPSS Statistics 进行方差分析及相关性检验,Origin 2017 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 生物炭和羊粪添加对轻度、中度碱化土可溶性有机碳的影响

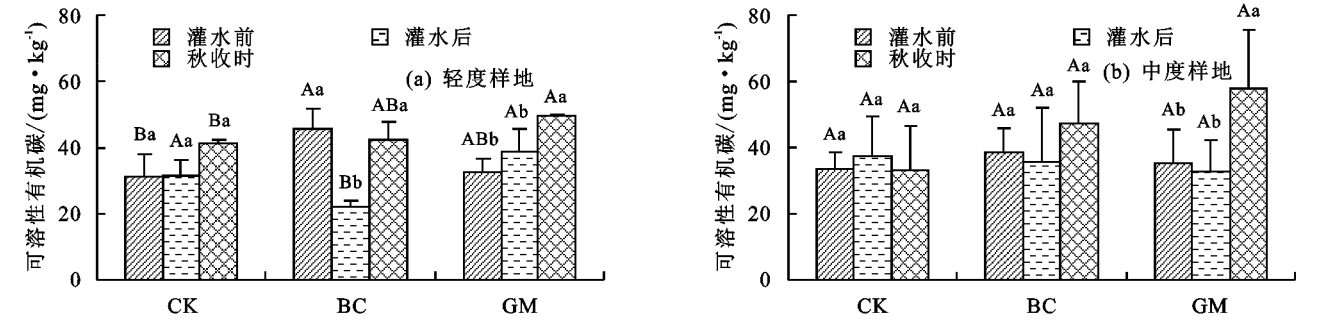
有机物料添加后 DOC 含量均有所提高(图 1),在秋收后达到较高水平。轻度碱化土壤内 CK 处理下土壤 DOC 含量在灌水前与 BC 处理呈显著差异

($P<0.05$),BC 处理提高 45.35%,秋收时与 GM 处理呈显著差异($P<0.05$),GM 处理提高 20.66%;BC 和 GM 处理灌水后 DOC 含量与秋收时均呈显著差异($P<0.05$)。

中度碱化土壤中可溶性有机碳,CK 处理先上升后下降,下降 11.51%,BC、GM 处理 DOC 含量均呈先下降后上升的趋势;BC 处理在灌水后 DOC 含量下降 7.12%,秋收上升 32.41%;GM 处理灌水后 DOC 含量减少 7.11%,秋收时增加 89.49%,秋收时土壤 DOC 含量与灌水前、灌水后呈显著差异($P<0.05$)。

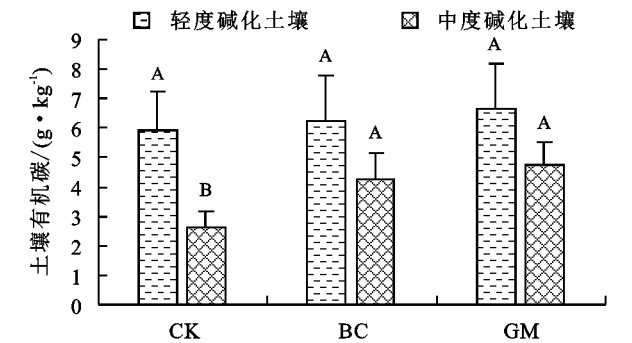
2.2 生物炭和羊粪添加对轻度、中度碱化土秋收后土壤有机碳含量的影响

就整个生育期结束后土壤有机碳含量(图 2)来看,添加有机物料后土壤中有有机碳含量呈上升趋势,轻度碱化土壤 BC、GM 处理下较 CK 处理分别增加 5.41%,11.99%,中度碱化土壤 BC、GM 处理较 CK 处理分别增加 60.23%,79.17%,且与 CK 呈显著差异;中度碱化土壤在有机物料添加后,有机碳积累量更高,BC、GM 处理分别高于轻度碱化土壤 1.68,1.38 g/kg。



注:不同大写字母表示某时期不同处理间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示某处理不同时期差异显著($P<0.05$)。

图 1 样地各处理不同时期可溶性有机碳变化情况



注:不同大写字母表示秋收时处理间差异显著($P<0.05$)。

图 2 秋收后不同碱化程度土壤有机碳变化情况

2.3 轻度、中度土壤可溶性碳与土壤有机碳的关系

分析碱化土壤 DOC 与 SOC 的关系(图 3、图 4)

发现,轻度碱化、中度碱化土壤 CK 处理下土壤可溶性有机碳与土壤有机质含量均正相关($r^2=0.153$, $r^2=0.449$),轻度碱化土壤上 BC、GM 处理土壤 DOC 含量与 SOC 含量呈负相关($r^2=-0.199$, $r^2=-0.500$, $P<0.05$),中度碱化土壤中 BC、GM 处理呈正相关($r^2=0.454$, $r^2=0.268$)。

观察土壤可溶性有机碳在土壤有机碳中的占比(表 3)发现,轻度碱化土壤 BC、GM 处理在灌水前后呈显著差异,中度碱化土壤 BC 处理碳素有效性在灌水前后呈显著差异;BC 处理不同程度的碱化土壤中灌水前后碳素有效性均不显著,而 GM 处理灌水前灌输后土壤有效性呈显著差异。

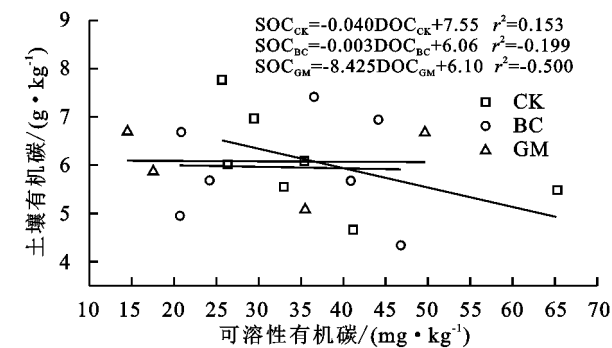


图 3 轻度碱化土壤可溶性有机碳与土壤有机碳的关系

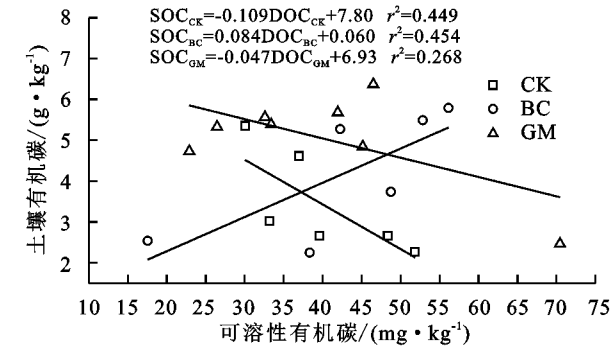


图 4 中度碱化土壤可溶性有机碳与土壤有机碳的关系

2.4 生物炭和羊粪添加对轻度、中度碱化土碱化程度的影响

有机物添加后土壤基础理化性状均发生了变化(表 4),轻度碱化土壤内灌水前 BC、GM 处理土壤 pH 呈显著差异($P<0.05$);秋收时 CK、BC 处理土壤

pH 较灌水前下降 1.55%,0.65%,GM 处理秋收后土壤 pH 较灌水前上升 2.5%;中度碱化土壤 3 个处理的土壤 pH 均表现为上升趋势,无明显差异。各处理土壤电导率值均随着灌水和秋收的时间而变化,表现为灌水后降低,秋收时又增加,且不超过灌水前电导率值。轻度碱化土壤内添加生物炭、羊粪后的土壤碱化度在灌水后与无有机物添加的土壤呈显著差异($P<0.05$),CK、BC、GM 处理秋收后较灌水前分别降低 10.26%,13.63%,16.70%;中度碱化土壤 3 个处理在灌水后土壤碱化度都呈不同程度的降低,在秋收时又增加,其中 GM 处理在整个生育期来看土壤碱化度降低 17.33%。

表 3 不同碱化程度土壤有机物料添加后 DOC/SOC 的变化
单位:g/kg

土壤类型	处理	灌水前	灌水后	秋收时
轻度	CK	0.50±0.07Bb	0.54±0.05Bb	0.82±0.09Aa
	BC	0.80±0.11Aa	0.35±0.02Cb	0.71±0.20Aa
	GM	0.52±0.02Bb	0.69±0.02Aa	0.75±0.01Aa
中度	CK	0.67±0.03Aa	1.25±0.29Aa	1.28±0.26Aa
	BC	0.76±0.23Aa	1.02±0.30ABb	1.23±0.35Aa
	GM	0.69±0.09Ba	0.61±0.13Bb	1.22±0.07Aa

注:表中数据为平均值±标准差;不同大写字母表示某时期不同处理差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示某处理不同时期差异显著($P<0.05$)。下同。

表 4 不同时期各处理轻度、中度碱化土壤各指标数值比较

处理	指标	轻度			中度		
		灌水前	灌水后	秋收时	灌水前	灌水后	秋收时
CK	pH	9.02±0.19AB	8.67±0.21A	8.88±0.42A	9.24±0.24A	9.25±0.33A	9.42±0.32A
	电导/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	787.00±114.84A	339.85±164.08A	355.23±47.55A	898.58±603.57A	590.30±365.73A	633.33±356.81A
	碱化度/%	9.36±3.78A	7.92±0.73B	8.40±1.64A	9.40±2.10A	8.94±2.46A	10.92±6.45A
BC	pH	9.22±0.05A	8.63±0.16A	9.16±0.12A	9.18±0.12A	9.37±0.24A	9.53±0.27A
	电导/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	699.75±149.25A	373.20±109.07A	462.93±56.59A	1086.47±157.79A	527.68±310.48A	849.85±522.94A
	碱化度/%	11.74±2.14A	7.14±0.80B	10.14±1.93A	12.83±0.81A	10.57±0.86A	15.51±0.37A
GM	pH	8.80±0.15B	8.50±0.05A	9.02±0.10A	9.31±0.17A	9.39±0.19A	9.50±0.25A
	电导/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	861.25±229.77A	426.28±166.47A	472.05±313.87A	1266.33±204.85A	734.90±179.83A	1199.45±219.37A
	碱化度/%	11.31±0.93A	10.03±1.69A	9.42±5.00A	14.14±6.70A	8.56±2.52A	11.69±2.48A

2.5 土壤 pH、电导率、碱化度对土壤可溶性碳和有机碳的影响

从表 5 可以看出,土壤电导率与碱化度呈极显著相关($P<0.01$),与 DOC 含量呈显著相关($P<0.05$),土壤 pH、电导率、碱化度、土壤 DOC 含量与土壤 SOC 呈负相关,其中土壤 pH 与 SOC 呈极显著负相关($P<0.01$)。

3 讨论

3.1 生物炭和羊粪添加土壤可溶性有机碳、有机碳的变化

3.1.1 土壤可溶性碳与有机碳的关系 有机物料的

添加能够提高土壤中 SOC、DOC 含量,这是因为生物炭和羊粪中本身含有一定量的有机碳^[14],添加在农田土壤后,改善了土壤理化性质,进而提高土壤 SOC、DOC 的含量^[15],中度碱化土壤 SOC 含量均低于轻度碱化土,DOC 含量高于轻度碱化土壤,土壤 SOC 的变化与刘禹晴^[16]所探究不同碱化程度下土壤 SOC 含量的分布结论相一致。

分析 SOC、DOC 之间的关系,轻度碱化土壤有有机物添加后 DOC 与 SOC 含量呈负相关,即当土壤中 SOC 含量增加时,DOC 含量下降;中度碱化土壤上呈正相关,SOC 含量增加时,DOC 含量也相应增加;

从轻度、中度碱化土壤碳素有效性变化中可以发现,中度碱化土壤各时期 DOC/SOC 高于轻度碱化土壤,这可能有 2 方面原因:一是虽然农作物残体归还土壤,土壤中有有机物增多,促进土壤 DOC 的形成,但有机物料的添加可能促使轻度碱化土壤微生物活动更为活跃^[17],更多的 DOC 被利用,改变土壤 C/N;二是中度碱化土壤由于本身性质较差^[18],土壤碳库不稳定,较多的土壤有机碳转变为可溶性有机碳,从而造成中度碱化土壤碳素有效性比轻度碱化土壤高这一现象。另外,无有机物料添加的轻度碱化土壤 DOC 含量比中度碱化土壤高,可能是因为在高 pH 条件下,DOC 中的酸性部分很容易与其他化合物发生中和反应,导致土壤中的 DOC 含量减少。

表 5 土壤 pH、电导率、碱化度与土壤可溶性有机碳、有机碳的相关性

测定项目	pH	电导率	碱化度	DOC	SOC
pH	1				
电导率	0.231	1			
碱化度	0.178	0.488**	1		
DOC	0.234	0.318*	0.255	1	
SOC	-0.378**	-0.040	-0.052	-0.064	1

注: ** 表示在 0.01 水平上相关性极显著; * 表示在 0.05 水平上相关性显著。

3.1.2 土壤可溶性有机碳的动态变化 对比灌水前后轻度碱化土壤灌水后,生物炭处理 DOC 含量降低,而羊粪添加后土壤 DOC 含量有增高,中度碱化土壤灌水后 DOC 含量均下降;碱化土壤中影响土壤 DOC 含量的主要因素是电导率,灌水后不同碱化程度土壤上生物炭和羊粪添加电导率均下降。这可能由于有机物料添加后,土壤碳含量增加,存在于土壤中的水溶性盐遇水溶解;灌水后土壤胶体被破坏^[19],团聚体解析土壤碳不稳定,提高 DOC 的溶出量,但考虑到本研究中灌水方式为传统漫灌,可能导致溶解后的 DOC 又随水流失或淋溶到下一层,且有研究^[20]表明,合理灌溉,如淹水、分根区交替灌溉,有助于提高土壤 DOC 含量。本研究中轻度碱化土壤自身稳定性较好,生物炭本身含有一定量的 DOC,一旦添加在土壤中就会快速释放^[21],因此灌水后土壤 DOC 含量大幅度下降;羊粪添加后,土壤有机碳的提升促进了大团粒结构的形成^[22],提高土壤结构稳定性^[23],因此在灌水后 DOC 含量增加后损失较少。

秋收后轻度、中度碱化土壤 DOC、SOC 含量几乎均高于灌水前,处于最高水平,除轻度碱化土壤生物炭添加 DOC 含较灌水前略有降低。土壤 pH 对 SOC 含量、电导率对 DOC 含量有显著影响,与徐耀文等^[24]的研究结果相一致,而与刘禹晴^[16]在吉林西

部盐碱地所得出的碱化度是影响土壤 SOC 含量的主要因素这一结论不一致,可能由于试验周期较短,土壤碱化度还没有较大程度的改善,因此碱化度对 SOC 影响不明显。一般认为,在强酸强碱环境下都不利于微生物生长,所以在一定范围内,土壤 pH 越低,越有利于有机物质的分解,因此轻度碱化土壤 SOC 含量远高于中度碱化土壤,而秋收后中度碱化土壤中 SOC 含量增幅远大于轻度碱化土壤 SOC 的增幅,可能是因为有机物添加后,虽然土壤有机碳含量增加,但由于土壤本身性质的原因,土壤 SOC 含量依旧低于轻度碱化土壤;中度碱化电导率降幅小于轻度碱化土壤,因此中度碱化土壤 DOC 含量也高于轻度碱化土壤,即土壤 DOC 含量与电导率呈现出显著正相关关系^[24]。

3.2 生物炭和羊粪添加对碱化土壤的改良作用

土壤 pH、电导率、碱化度是判断土壤盐碱化的重要指标^[25];土壤 pH 在很多化学反应中起到支配作用,影响土壤中 SOC 含量,进而土壤 SOC 含量也可以反作用土壤 pH,虽然 DOC 在土壤有机碳中占比很少^[26],但也有微弱的相关性,土壤中 DOC 含量与土壤电导率呈极显著相关,有机物添加后 DOC 含量增加,使土壤电导率也略有增加,但对比灌水前呈下降趋势,电导率与碱化度呈极显著正相关。可见,有机物料的添加可以促进盐碱土壤的改良,但本试验改良效果略差,可能是因为本次试验中土壤性质相对来说不是太差,对有机物添加后响应不强烈;其次,也可能是改良周期较短,所以效果不明显。目前,在野外研究时情况复杂,易受到环境因素的影响,所以对单一因素条件下土壤中 DOC 供应量、消耗量的研究还较为缺乏^[27],这也是本研究 and 今后研究中的难点。

4 结论

(1)生物炭、羊粪施用在碱化土壤上,增加了土壤 DOC、SOC 含量,较 CK 相比,轻度碱化土壤 DOC 含量分别增加 3.28%,20.66%,中度碱化土壤分别增加 42.32%,74.10%;轻度土壤有 SOC 含量分别增加 5.40%,10.30%,中度碱化土壤 SOC 含量分别增加 60.24%,79.16%。

(2)在河套灌区,碱化土壤中,土壤 pH、电导率是影响土壤 SOC、DOC 含量的主要因素。

(3)羊粪添加后土壤中 DOC、SOC 含量均较生物炭添加高,碱化土壤的改良效果也更好,因此在轻度、中度碱化土壤上利用羊粪更有利于改善土壤理化性质,降低土壤盐碱程度,提高土壤中碳素含量;同时,中度盐碱地添加有机物料后土壤性质变化更明显,效果更好。

参考文献:

[1] 马琳.土壤有机碳变化特征研究进展[J].河南农业,2019

- (32):49-50.
- [2] 张志毅,熊桂云,吴茂前,等.有机培肥与耕作方式对稻麦轮作土壤团聚体和有机碳组分的影响[J].中国生态农业学报,2020,28(3):405-412.
 - [3] James W M, Jeffrey C L, David D R, et al. Soil factors related to dissolved organic carbon concentrations in a black spruce swamp Michigan, michigan[J].Soil Science,1994,158(6):454-464.
 - [4] 李红伟.土壤可溶性有机碳研究进展及展望[C].中国环境科学学会.2018 中国环境科学学会科学技术年论文集(第 3 卷).中国环境科学学会,2018:767-773.
 - [5] 尚杰,耿增超,王月玲,等.施用生物炭对(土娄)土微生物量碳、氮及酶活性的影响[J].中国农业科学,2016,49(6):1142-1151.
 - [6] 刘杰云,邱虎森,汤宏,等.生物质炭对双季稻水稻土微生物生物量碳、氮及可溶性有机碳氮的影响[J].环境科学,2019,40(8):3799-3807.
 - [7] 陈安强,付斌,鲁耀,等.有机物料输入稻田提高土壤微生物碳氮及可溶性有机碳氮[J].农业工程学报,2015,31(21):160-167.
 - [8] 林洪羽,周明华,张博文,等.生物炭及秸秆长期施用对紫色土坡耕地土壤团聚体有机碳的影响[J].中国生态农业学报,2020,28(1):96-103.
 - [9] 张晓丽,孔凡磊,刘晓林,等.生物质改良剂对川西北地区高寒草地沙化土壤有机碳特征的影响[J].中国生态农业学报,2019,27(11):1732-1743.
 - [10] 吴红,刘海霞,周明夏,等.羊粪还田对巨峰葡萄园土壤理化性质的影响[J].广东农业科学,2018,45(12):32-37.
 - [11] 李娟,韩慧,常少刚,等.羊粪有机肥施用量对沙地甘蓝生长和产量及土壤化学性质的影响[J].上海农业学报,2019,35(6):97-101.
 - [12] 巨红雨,李晓龙,张琛平.秸秆深埋对河套灌区盐碱地的改良效果研究[J].现代农业,2017(12):28-29.
 - [13] Zhang H Y, Pang H C, Zhao Y G, et al. Water and salt exchange flux and mechanism in a dry saline soil amended with buried straw of varying thicknesses[J].Geoderma,2020,3615:14213.
 - [14] 张苗苗,陈伟,林丽,等.青海省不同高寒草地土壤主要养分及可溶性有机碳特性研究[J].草业学报,2019,28(3):20-28.
 - [15] 李有兵,把余玲,李硕,等.作物残体与其生物炭配施对土壤有机碳及其自身矿化率的提升[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):943-950.
 - [16] 刘禹晴.吉林西部盐碱地区稻田土壤有机碳矿化特征和动力学模拟研究[D].吉林:吉林大学,2019.
 - [17] 薛生桂.生物质炭添加对亚热带森林土壤可溶性碳、氮含量的影响[D].上海:华东师范大学,2018.
 - [18] 高忠霞,周建斌,王祥,等.不同培肥处理对土壤溶解性有机碳含量及特性的影响[J].土壤学报,2010,47(1):115-121.
 - [19] Wu J, Brookes P C. The proportional mineralisation of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil[J].Soil Biology and Biochemistry,2004,37(3):507-515.
 - [20] 李忠佩,张桃林,陈碧云.可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系[J].土壤学报,2004,41(4):544-552.
 - [21] 代镇.生物炭对土壤有机碳组分及土壤微生物活性的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2019.
 - [22] 徐国风,同延安.不同改良措施对卤阳湖盐碱地土壤性质及玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(3):232-237.
 - [23] 贾辉,赵亚鹏,符云鹏,等.施用生物炭和秸秆对植烟土壤团聚体稳定性及其有机碳分布的影响[J].烟草科技,2020,53(4):11-19.
 - [24] 徐耀文,姜仲茂,武锋,等.翠亨湿地无瓣海桑人工林土壤有机碳分布特征及与土壤理化指标相关性[J].林业科学研究,2020,33(1):62-68.
 - [25] 郭军玲,金辉,郭彩霞,等.不同有机物料对苏打盐化土有机碳和活性碳组分的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(8):1290-1299.
 - [26] Marinari S, Liburdi K, Fliessbach A, et al. Effects of organic management on water-extractable organic matter and C mineralization in European arable soils[J].Soil and Tillage Research,2009,106(2):211-217.
 - [27] 李梦寻,王冬梅,任远,等.不同干湿交替频率对土壤速效养分、水溶性有机碳的影响[J].生态学报,2018,38(5):1542-1549.
 - [23] 高焕平,刘世亮,赵颖,等.猪粪有机肥配施化肥对潮土速效养分及团聚体分布的影响[J].中国农学通报,2018,34(14):99-105.
 - [24] Guo Z C, Zhang J B, Fan J, et al. Does animal manure application improve soil aggregation? Insights from nine long-term fertilization experiments[J].Science of The Total Environment,2019,660:1029-1037.

(上接第 330 页)

- [21] 付威,樊军,胡雨彤,等.施肥和地膜覆盖对黄土旱塬土壤理化性质和冬小麦产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(5):1158-1167.
- [22] 王仁杰,强久次仁,薛彦飞,等.长期有机无机肥配施改变了(塬)土团聚体及其有机和无机碳分布[J].中国农业科学,2015,48(23):4678-4689.