

生物炭与有机肥、无机肥配施对采煤塌陷区 复垦土壤理化性状的影响

梁利宝, 冯鹏艳

(山西农业大学资源环境学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 为了研究施用生物炭对采煤塌陷复垦土壤的熟化效果, 以山西省晋城市采煤塌陷复垦区土壤为研究对象, 连续 3 年采用生物炭与有机肥、无机肥配施等方式研究其对复垦土壤主要理化性状的影响。结果表明: 不同施肥处理均不同程度改善了土壤的理化性状, 有机肥配施生物炭处理明显降低了复垦土壤容重(降幅 10%), 提高了土壤孔隙含水率(增幅 7.14%), 但对土壤 pH 影响不明显。有机肥处理和无机肥处理的土壤全氮、全磷含量差异不显著; 无机肥配施生物炭处理与单施无机肥处理相比, 速效磷增加了 8.33%, 速效钾增加了 6.34%, 增幅较明显, 对碱解氮影响则不明显。有机肥配施生物炭, 土壤细菌、真菌、放线菌数量增幅不明显; 无机肥配施生物炭, 真菌数量增幅最为明显(11.7%)。有机肥、无机肥配施生物炭处理玉米产量分别提高了 3.03% 和 2.70%, 生物炭的增产作用有限。因此, 在复垦土壤上施用生物炭后可以提高有机肥和无机肥的培肥效果, 单施生物炭效果不明显。

关键词: 生物炭; 复垦土壤; 碱解氮; 培肥

中图分类号: S144.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0305-04

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.05.047

Effects of Biochar and Combined Application with Organic, Chemical Fertilizers on Physical and Chemical Properties of Coal Mining Subsidence Reclaimed Soil

LIANG Libao, FENG Pengyan

(College of Resource and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801)

Abstract: We examined the physical and chemical properties of reclaimed soil in coal-mining subsidence areas, and the influences of biochar and combined application with organic and chemical fertilizers for three consecutive years. The results were as follows: All treatments could improve soil physical, chemical and biological properties. Compared with the control, organic + biochar treatment significantly decreased the soil bulk density by 10%, and increased soil pore water content by 7.14%, while the change of soil pH was not obvious. Compared with chemical fertilizer treatment, soil available phosphorous, potassium in chemical + biochar treatment increased by 8.33%, and 6.34%, respectively, whereas biochar had little effect on soil alkaline nitrogen, little increase in the number of bacteria, fungi, actinomycete in organic + biochar treatment; The number of fungi increased significantly by 11.7% in chemical + biochar treatment. Corn production in organic + biochar treatment and chemical + biochar treatment increased by 3.03%, and 2.70% respectively, while biochar had little effect. Therefore, the application of organic and chemical fertilizer was beneficial to improve the reclaimed soil, while biochar was no use.

Keywords: biochar; reclaimed soil; alkaline nitrogen; fertilizer

我国煤炭大约 96% 为井工开采, 势必会造成地面塌陷。目前采煤区地面塌陷造成土地破坏总量超过 400 万 hm^2 , 并且仍以每年 3.3 万 hm^2 ~ 4.7 万 hm^2 的速度增加^[1]。因此, 将采煤破坏的土地进行复垦和重新利

用, 对于耕地保护意义重大。但是采煤塌陷复垦区土壤理化性质极差, 土壤结构差、养分贫瘠、生物活性差, 严重制约着土地生产力的提高。生物炭是生物质在低温条件下热解形成的, 富碳、巨大比表面积、强吸附性的特

点使其成为土壤改良材料之一。目前,生物炭对不同土壤类型(棕壤、黑土、壤土、潮土、水稻土、菜园土、白浆土、盐碱土、酸性土壤)的物理、化学、生物性状的改良作用报道^[2-10]很多,但是关于其在采煤塌陷复垦土壤上的培肥熟化的研究较为少见。基于此,该试验研究玉米秸秆生物炭与有机肥、无机肥配施对复垦土壤培肥熟化的影响,旨在提高有机肥和无机肥的利用率,为加速复垦土壤熟化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验设置 6 个处理,分别为对照、有机肥、无机肥、生物炭、无机肥+生物炭、有机肥+生物炭,每个小区面积 20 m²,每个处理重复 3 次,采用完全随机区组设计。试验地点选在山西省晋城市北石店镇采煤塌陷复垦区,该地区属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温 5~10℃,年平均降水量 550~650 mm。试验时间从 2014 年 5 月—2016 年 10 月。化肥施用尿素(N 46%)和过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、硫酸钾(K₂O 43%);有机肥使用鸡粪,养分含量为 N 1.24%, P₂O₅ 0.95%, K₂O 1.02%;玉米秸秆生物炭由市场购得,玉米秸秆为 400℃低温裂解,pH 为 9.0,有机碳、氮、磷、钾的含量分别为 504.5, 14.8, 3.0, 10.8 g/kg,有效磷、有效氮含量分别为 77.8, 16.2 mg/kg。各施肥处理中施入等量养分(氮和磷、钾),即施 N 120 kg/hm², P₂O₅ 92 kg/hm², K₂O 98 kg/hm²,有机肥的施用量为 9 677 kg/hm²,生物炭用量为 3 000 kg/hm²。供试作物为玉米(泽玉 41)。土壤类型为石灰性褐土,土壤有机质、全氮、全磷分别为 7.90, 0.62, 0.54 g/kg,碱解氮、速效磷、速效钾分别是 28.0, 4.3, 56.5 mg/kg, pH 为 7.95。

1.2 测定指标与方法^[11]

在每年的玉米收获期(10 月初),对表层土壤进行采样,取样深度为 0—20 cm,将风干土样研磨过 1 mm 土壤筛,进行分析测定(微生物培养采用鲜土样测定)。土壤 pH 采用酸度计测定;土壤容重采用土壤环刀法测定(鲜样);土壤孔隙含水率采用烘干法测定(鲜样);全氮采用开氏法测定;全磷采用钼锑抗比色法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;有效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法测定;速效钾采用火焰燃烧法测定;有机质(土样过 0.149 mm 土壤筛)采用油浴加热 K₂Cr₂O₇ 容量法测定;微生物(细菌、真菌、放线菌)数量采用平板培养法测定。数据处理采用 Excel 进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对复垦土壤 pH 和物理性质的影响

由表 1 可知,各处理土壤 pH 差异不显著,含有

生物炭的处理 pH 略高于不施生物炭处理,这是因为生物炭中灰分含有较多的盐基离子,如钙、镁、钾、钠离子会使土壤的 pH 升高。由于玉米秸秆生物炭比重较小,随着复垦时间的延长,土壤容重得到了明显降低,与对照相比,第 3 年有机肥配施生物炭处理土壤容重的降幅达到了 10%,效果好于其余处理;无机肥配施生物炭效果则不明显。第 1 年、第 2 年各施肥处理土壤孔隙含水率差异不显著,第 3 年有机肥配施生物炭处理比对照提高了 6.67%,与对照相比差异显著,但是其余施肥处理间差异不显著。

2.2 不同施肥处理对复垦土壤有机质和养分影响

由表 1 可知,不同年份各施肥处理土壤有机质较对照都有明显增加,其中有机肥处理、有机肥配施生物炭处理与其余处理差异显著,二者差异不显著。单施化肥、单施生物炭处理有机质含量仅高于对照处理。各施肥处理土壤全氮较对照增加了 6.67%~28.6%,有机肥(生物炭)>无机肥(生物炭)>生物炭>对照,其中生物炭配施化肥效果较为明显,有机肥、无机肥处理显著高于生物炭处理。各处理土壤全磷比对照提高了 11.1%~30.6%,有机肥处理高于无机肥处理且显著高于单施生物炭处理,有机肥、无机肥配施生物炭处理全磷增幅均不明显。

各处理速效磷含量逐年增大,有机肥处理速效磷增幅虽缓慢但含量最高,配施生物炭后效果没有得到扩大;无机肥处理配施生物炭后速效磷提高了 7.09%(3 年均值),增幅高于有机肥配施生物炭;单施生物炭效果不明显。各施肥处理速效钾增幅为 4.48%~12.80%,无机肥与生物炭配施处理与单施无机肥差异较为显著,并高于其余处理。各施肥处理碱解氮的增幅为 4.08%~21.80%,生物炭对碱解氮影响效果总体较差,不如速效磷、速效钾明显,有机、无机肥配施生物炭后增幅均不明显,单施生物炭效果不明显。

2.3 不同施肥处理对玉米产量的影响

各施肥处理玉米产量逐年提高,第 1 年,各施肥处理玉米产量提高了 4.37%~15.80%,无机肥处理产量普遍高于有机肥处理;第 2 年、第 3 年,有机肥处理产量逐渐提高,接近无机肥处理,但差异不显著。有机肥、无机肥配施生物炭后产量仅提高了 3.03%和 2.70%,效果不明显。单施生物炭效果不明显,仅是略高于对照处理。

2.4 不同施肥处理对复垦土壤微生物数量的影响

由表 2 可知,施肥 3 年后,各施肥处理的细菌、真菌、放线菌比对照增加了 3.7%~42.1%, 11.7%~40.0%, 6.1%~27.2%,有机肥处理的土壤细菌数量最多,显著高于化肥、单施生物炭处理;有机肥配施生物炭处理细菌数量增幅不明显;无机肥配施生物炭后对细菌、真菌数量有一定地促进作用,随着复垦时间

延长处理间差异性越显著,其中,真菌数量增幅达到了 11.7%,增幅显著高于细菌,效果明显,单施生物炭则效果不明显。有机肥、无机肥配施生物炭后放线菌数量增幅均不明显,效果较为一般。

表 1 不同施肥处理对采煤塌陷复垦土壤理化性质和玉米产量的影响

年份(年)	施肥处理	pH	容重/ (g·cm ⁻³)	土壤孔隙 含水率/%	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	产量/ (kg·hm ⁻²)
2014	对照	7.82a	1.28a	25.4ab	8.04c	0.64b	0.60b	4.4b	52.7c	29.6b	4412c
	有机肥	7.80a	1.24a	27.3a	8.85a	0.72a	0.70a	5.0a	58.2b	36.6a	4870b
	无机肥	7.88a	1.20ab	26.8a	8.25b	0.74a	0.67ab	5.2a	64.2a	34.5a	5107a
	生物炭	7.77ab	1.22a	26.4a	8.38b	0.68b	0.63b	4.6b	54.3c	31.3b	4605bc
	无机肥+生物炭	7.80a	1.24a	27.0a	8.50b	0.75a	0.65ab	5.6a	66.6a	34.9a	5080a
	有机肥+生物炭	7.85a	1.22a	26.3a	9.05a	0.77a	0.72a	5.3a	63.4a	35.8a	4940a
2015	对照	7.79b	1.24a	25.6b	8.19c	0.66c	0.64b	4.8c	58.0b	31.5c	4569c
	有机肥	7.82ab	1.20a	27.8a	8.89a	0.83a	0.74a	5.5b	63.7a	37.3a	5028b
	无机肥	7.84ab	1.18a	26.4a	8.33b	0.80a	0.70a	5.7b	64.8a	37.0a	5133ab
	生物炭	7.90a	1.18a	28.7a	8.30b	0.70b	0.66b	5.0c	60.6b	33.0b	4750c
	无机肥+生物炭	7.83ab	1.20a	27.5ab	8.53b	0.82a	0.70a	6.0a	65.4a	34.8b	5244a
	有机肥+生物炭	7.85ab	1.16ab	29.0a	8.95a	0.80a	0.68ab	5.6b	63.4a	38.1a	5102ab
2016	对照	7.80a	1.20a	26.6b	8.30c	0.70c	0.63c	5.0d	57.0c	33.0c	4795b
	有机肥	7.78ab	1.17ab	28.4a	9.08a	0.88ab	0.80a	6.5a	60.8b	39.5ab	5308a
	无机肥	7.83a	1.18ab	27.0ab	8.60b	0.82b	0.77a	6.0b	61.5b	37.4b	5366a
	生物炭	7.84a	1.12ab	27.7ab	8.56b	0.75c	0.70b	5.7c	58.5c	35.0c	4833b
	无机肥+生物炭	7.86a	1.15ab	27.3ab	8.70b	0.85ab	0.74ab	6.5a	65.4a	38.8ab	5511a
	有机肥+生物炭	7.88a	1.08b	28.5a	9.25a	0.90a	0.78a	6.8a	62.9a	40.2a	5469a

注:同列不同小写字母表示不同处理之间的差异显著($p<0.05$)。下同。

表 2 不同施肥处理对采煤塌陷复垦土壤微生物数量的影响

施肥处理	2014 年			2015 年			2016 年		
	细菌	真菌	放线菌	细菌	真菌	放线菌	细菌	真菌	放线菌
对照	3.2c	2.7b	2.4b	3.5c	3.2c	2.8c	3.8c	3.0d	3.3b
有机肥	4.0a	3.3a	3.1a	5.2a	3.6b	3.3b	5.4a	4.2a	3.8ab
无机肥	4.3a	2.8b	2.9a	4.3b	3.4bc	3.5b	4.5b	3.3c	4.0a
生物炭	3.4bc	3.0a	2.8a	4.0b	3.1c	3.5b	4.3b	3.5c	3.5b
无机肥+生物炭	4.1a	3.2a	3.0a	4.4b	3.8b	4.2a	5.0a	3.8b	4.0a
有机肥+生物炭	3.8b	3.4a	2.8a	4.9ab	4.0a	3.9ab	5.7a	4.0ab	4.2a

注:细菌数量单位为 10⁵ cfu/g;真菌和放线菌数量单位为 10³ cfu/g。

3 讨论

3.1 生物炭对复垦土壤 pH 和物理性质的影响

生物炭由于含有钙、镁、钾、钠等阳离子常使土壤显碱性,有效地减弱了长期施用化肥造成的土壤酸化现象。本试验中土壤 pH 增幅并不明显,原因是采煤复垦土壤属于典型的石灰性土壤,显碱性,掩盖了生物炭自身的碱性。这与前人研究结果类似,但是袁晶晶等^[12]研究结果表明花生壳生物炭施用后并没有增加土壤 pH,甚至略低于对照(不加生物炭),可能是由于供试土壤缓冲能力很强,稀释了生物炭的碱性。本试验中,施肥和生物炭均可以降低土壤容重和提高土壤含水率,但配施生物炭效果会更为明显一些,因为有机肥和无机肥施入土壤后短期内分解或部分分解,而生物炭分解较慢可以较长时间停留在土壤中,其多孔结构和较强的吸附力起到了关键作用。

3.2 生物炭对复垦土壤有机质和养分的影响

有机、无机肥配生物炭后,生物炭的巨大比表面积和吸附力可以将肥料吸附和留存,避免了养分流失,提高了养分的利用率。此外,生物炭本身是富碳

物质,直接提高了土壤的有机质含量。由于采煤塌陷复垦土壤养分含量很低尤其是全磷和速效磷更低,生物炭可以明显提高土壤磷含量,原因是一方面它能有效减少铁氧化物对磷的吸附和降低有效磷的淋失^[13];另外一方面,是由于生物炭多微孔结构为微生物提供了良好的栖息环境,使其能够更好地矿化磷素,从而提高土壤速效磷的含量。Randolph 等^[14]研究表明对于有效磷含量低的土壤,生物炭能够结合土壤中的 Al³⁺ 和 Fe³⁺,促使磷由闭蓄态转化为有效态。

各施肥处理土壤的速效钾含量增幅高于速效磷,不仅是由于石灰性土壤中钾含量较高,而且生物炭中有效钾的含量也较高,速效钾对生物炭施加响应较早、较明显,单施生物炭处理对土壤速效钾也有一定增幅,其余施肥处理由于底肥的存在而淡化了这种现象。速效钾增加原因是由于生物炭增强了土壤 CEC,有效减少土壤中钾的淋溶损失,生物炭的吸附作用降低了速效钾的流失和本身含有大量的速效钾。

本试验中生物炭对土壤碱解氮的影响不显著,这与前人的研究结果是一致的,原因是含碳量较高的生

物炭矿化态氮含量较少,含碳量较高,因此具有较高的 C/N 值,可以引起生物对氮素的固定,反而降低了微生物对有机氮的矿化^[15]。另外,即使是 pH 的微弱增加也会促进氨的挥发。但是,李昌见等^[16]研究结论与前人则相反,他发现秸秆生物炭增加了土壤碱解氮的含量,原因是生物炭吸收了有机氮,减少土壤中氮的淋失,低量添加生物炭这种现象越明显,这种现象较为少见,分析原因可能是供试土壤砂型较强(含砂 64.15%),生物炭的保水保肥(尤其是氮素)效果起主要作用且覆盖了其他效果。

3.3 生物炭对复垦土壤微生物数量的影响

采煤过程中对农田土壤生物性状也造成过严重的破坏,微生物种群、数量较少,由表 2 可知,在复垦第 1 年,微生物数量增幅不明显,而且处理间差异也不显著;第 2 年,经过 3 年连续复垦,土壤细菌、放线菌、真菌数量有不同程度地增加,首先离不开生物炭为微生物提供必需的碳源(土壤微生物可以将生物炭转变成腐殖质碳)^[17]。其次,它还为微生物提供了一个可避免被较大生物吞食的栖息环境。对于细菌来说,数量增幅最大,因为施加生物炭后土壤 pH 会升高(不能过高),细菌生长趋于旺盛。真菌比细菌更容易降解生物炭中的生物炭中的顽固性碳,且能更好地在生物炭的孔隙中生长以及利用额外的资源,数量得以增加,但是因为它更适宜生活在酸性环境中,因此该试验中真菌总量仍是低于细菌和放线菌的。放线菌的数量也有一定程度地提高,因为它可以降解复杂的芳香类化合物(如纤维素)为自己提供碳源^[18]。在本试验中,生物炭对玉米增产效果并不显著,分别为有机肥、无机肥贡献了 3.03% 和 2.70%(第 3 年),这与冯爱青等^[19]的研究结果较为一致。

4 结论

(1) 有机肥配施生物炭处理明显降低了复垦土壤容重(降幅为 10%),提高了土壤孔隙含水率(增幅为 7.14%),效果明显好于其余施肥处理;有机肥和无机肥配施生物炭后对土壤的 pH 影响均不显著;单施生物炭对土壤 pH、容重、土壤孔隙含水率影响不明显。

(2) 无机肥配施生物炭处理明显提高了复垦土壤速效磷、速效钾,增幅分别是 8.33% 和 6.34%,碱解氮增幅则不明显。有机肥配施生物炭处理的土壤有机质增加了 11.45%,效果最明显。

(3) 有机肥配施生物炭处理的复垦土壤细菌、真菌、放线菌数量增幅均不大;无机肥配施生物炭后,真菌数量增加了 11.7%,增幅明显高于细菌和放线菌。

(4) 有机肥、无机肥配施生物炭对玉米的增产效应均不明显。

参考文献:

[1] 靳东升,张强. 山西省采煤区土地复垦区划研究[J]. 山西农业科学,2009,37(6):54-58.

[2] 战秀梅,彭靖,王月,等. 生物炭及炭基肥改良棕壤理化性状及提高花生产量的作用[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1633-1641.

[3] 侯晓娜,李慧,朱刘兵,等. 生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(4):705-712.

[4] 陈心想,耿增超,王森,等. 施用生物炭后壤土土壤微生物及酶活性变化特征[J]. 农业环境科学学报,2014,33(4):751-758.

[5] 刘园,Jamal K M,靳海洋,等. 秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响[J]. 土壤学报,2015,52(4):849-858.

[6] 李明,李忠佩,刘明,等. 不同秸秆生物炭对红壤性水稻土养分及微生物群落结构的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(7):1361-1369.

[7] 赵兰凤,张新明,程根,等. 生物炭对菜园土壤微生物功能多样性的影响[J]. 生态学报,2017,37(14):1-4.

[8] 殷大伟. 生物炭改良白浆土的初步研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2013.

[9] 杨放,李心清,刑英,等. 生物炭对盐碱土氮淋溶的影响[J]. 农业环境科学学报,2014,33(5):972-977.

[10] 朱盼,应介官,彭抒昂,等. 模拟降水条件下生物炭对酸性红壤理化性质的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(5):1035-1040.

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京:中国农业出版社,2013:56-163.

[12] 袁晶晶,同延安,卢绍辉. 生物炭与氮肥配施对枣树土壤肥力及产量品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(2):468-475.

[13] Cui H J, Wang M K, Fu M L, et al. Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar[J]. Journal of Soils Sediments, 2011,11(7):1135-1141.

[14] Randolph P, Bansode R R, Hassan O A, et al. Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters[J]. Journal of Environmental Management,2017,192(3):271-280.

[15] 聂新星,李志国,张润花,等. 生物炭及其与化肥配施对灰潮土土壤理化性质、微生物数量和冬小麦产量的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(9):27-32.

[16] 李昌见,屈忠义,勾芒芒,等. 生物炭对土壤水肥热效应的影响试验研究[J]. 生态环境学报,2014,23(7):1141-1147.

[17] O'neill B, Grossman J, Tsai M T, et al. Bacterial community composition in Brazilian Anthrosols and adjacent soils characterized using culturing and molecular identification[J]. Microbial Ecology,2009,58(1):23-35.

[18] Lehmann J, Rillig M C, Thies J, et al. Biochar effects on soil biota: A review[J]. Soil Biology and Biochemistry,2011,43(9):1812-1836.

[19] 冯爱青,张民,路艳艳,等. 控释氮用量及生物炭对玉米产量及土壤生物化学性质的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(2):159-164.