

秸秆生物质炭土地利用的环境效益研究

花莉¹, 张成¹, 马宏瑞¹, 余旺²

1. 陕西科技大学资源与环境学院, 陕西 西安 710021; 2. 广东工业大学环境工程系, 广东 广州 510090

摘要: 农田土壤有机碳矿化释放 CO₂ 是农业温室气体排放的重要途径, 促进土壤碳截获对于减缓全球温室效应具有重要意义。生物质炭具有改良土壤性质、促进土壤团聚体的形成、对土壤微生物生态具有调控作用等特性。因此, 生物质炭对增强土壤碳截获能力及减少土壤 CO₂ 气体排放可能具有重要作用。采用实验室盆栽的方式, 以黑麦草为目标植物, 对农业秸秆生物质炭土地利用的环境效益进行了研究。实验结果表明: 农业秸秆制生物质炭应用于农田土壤能产生多方面的环境效益。与对照相比, 添加 1%~4% 生物质炭处理的土壤活性有机质质量分数均增加了 25% 以上, 土壤呼吸度降低了 23%~50%, 同时, 添加生物质炭对植物的生长也有促进作用。添加 4% 秸秆炭的处理的黑麦草生物量增加了 68%。此外, 秸秆生物质炭的添加对土壤中的养分具有较好的持留功能, 与比照相比, 添加生物质炭处理的土壤淋出液中氮和磷质量浓度显著降低, 说明生物质炭能够有效减少水冲刷造成的氮磷流失, 降低农业面源污染。

关键词: 秸秆; 生物质炭; 土地利用; 环境效益

中图分类号: X71

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 10-2489-04

我国是农业大国, 每年都产生大量的农作物秸秆。由于缺乏切实可行的处理与利用技术, 秸秆除了少部分作为饲料和生活取暖燃料之外, 每年烧掉的秸秆超过 2×10^8 t, 损失的氮、磷、钾相当于全国化肥总产量的 60% 左右, 由此带来了一系列的环境与社会问题, 如大气污染、火灾等。此外, 廖小红和李汉平^[1]的研究表明, 我国农作物秸秆随意弃置可能形成的面源 COD 总量极大值约为 488×10^4 t·a⁻¹, 相当于 2004 年我国工业生产和生活排放的 COD 总量的 36.4%, 因此必须杜绝或尽可能地减少农作物秸秆的随意焚烧或弃置现象。国内外已采取的诸如秸秆发电、沼气发酵、堆肥等多种处理方法与措施均存在应用局限性而难以大范围推广^[2]。生物质炭是生物质在完全或部分缺氧的情况下低温热解的固态产物。它相当稳定, 难以降解。与其他任何形式的有机质相比, 生物质炭具有超强的持留养分的功能。以上两个特征使其在农田土地的利用成为可能, 并且作为一种新途径将其添加到土壤中开始受到众多研究学者的关注^[3-6]。然而, 以往有关生物质炭的环境效益的大部分研究都是针对于自然界中生成的生物质炭, 例如雷电导致的森林大火形成的生物质炭。然而, 利用农业秸秆废弃物制备生物质炭的土地利用效益研究甚少, 本文对农业秸秆废弃物制生物质炭土地利用进行了研究, 包括生物质炭的施加对植物生长状况的影响; 生物质炭的施加对土壤呼吸的影响; 生物质炭的施加对土壤活性有机碳质量分数的影响; 生物质炭减少土壤氮磷

流失, 降低农业面源污染的功效。实验的结果可以为全面评价秸秆制炭的农业利用前景提供科学依据, 为农业秸秆的有效处置提供参考依据。

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

盆栽所用土壤类型为褐土。土壤总有机质质量分数为 7.27%, 含水率为 13.90%; pH 值为 7.66。实验所用生物质炭为玉米秸秆炭, 采用自制炭化炉热解炭化制得。粒径 1~2 mm, 炭化温度 600 °C, pH 7.8, 比表面积 $330 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 密度为 $0.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 炭质量分数约为 68%。从图 1、图 2 的 SEM 照片可以看出, 秸秆炭具有发达的孔隙结构, 这些发达的孔隙结构可以为微生物的生长提供较好的栖息环境, 也有利于土壤保肥、保水性能的改善。

1.2 盆栽实验

采用自制土壤柱进行温室种植试验, 温度控制在 25~30 °C, 湿度约为 60%~70%。土壤柱直径为 30 cm, 高 40 cm, 底部留有 5 个小孔。每个土壤柱放入新鲜土样 10 kg。分别加入新鲜土样干质量的 1%, 2%, 4% 的生物质炭, 对照处理加入相同质量的新鲜土样。按照 2:1:1 的比例施用氮肥, 磷肥及钾肥。每个处理均设有 3 个平行。按 $40 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的播种量进行播种, 每 5 d 浇水 1 次, 在第 20、40、60、90 天分别收集土壤渗滤液, 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法^[7]和钼酸铵分光光度法^[8]测定各处理冲刷土壤渗滤液中总氮和总磷的量。3 个月后, 收割黑麦草, 并分别用清水和去离子水清洗干

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41003042); 陕西省教育厅科技计划项目 (2010JK443); 陕西科技大学博士启动基金项目 (BJ09-10)

作者简介: 花莉 (1978 年生), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为固体废弃物处理处置及有机污染物控制技术。E-mail: tuliphua@126.com

收稿日期: 2010-09-19

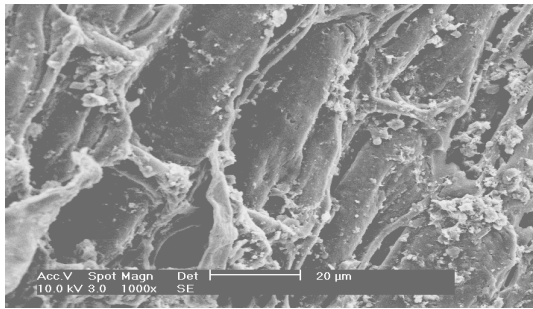


图1 秸秆炭电镜扫描纵截面

Fig.1 SEM photo of vertical surface of straw biochar

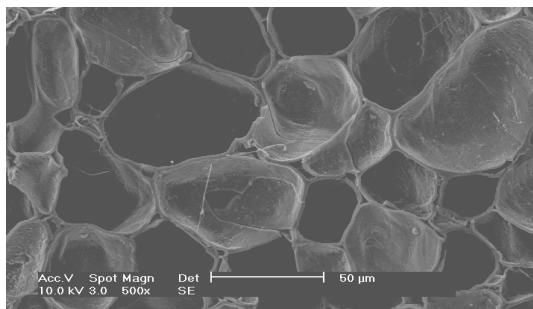


图2 秸秆炭电镜扫描横截面

Fig.2 SEM photo of transverse surface of straw biochar

净。于 105 °C 杀青 1 h, 然后于 80 °C 烘干至恒质量, 测定其干质量。

1.3 土壤呼吸量及活性有机质的测定

本实验采用静态钠石灰吸收法来测定土壤 CO₂ 释放量, 使用钠石灰(固体 NaOH 与 Ca(OH)₂ 混合物)作为 CO₂ 的吸收物^[9]。植物生长期定期测定各处理土壤的活性有机质质量分数, 测定方法采用 0.1 mol·L⁻¹ K₂Cr₂O₇—1:5 H₂SO₄ 常温氧化法^[10]。

2 实验结果与讨论

2.1 秸秆炭的施用对植物生长状况的影响

添加生物质炭处理的黑麦草生长状况优于未添加生物质炭的对照处理。添加秸秆炭处理黑麦草植株健壮, 叶片色泽鲜亮。而且随着秸秆炭使用量的增加, 植株的生长更为茂盛。第 90 天收割测定

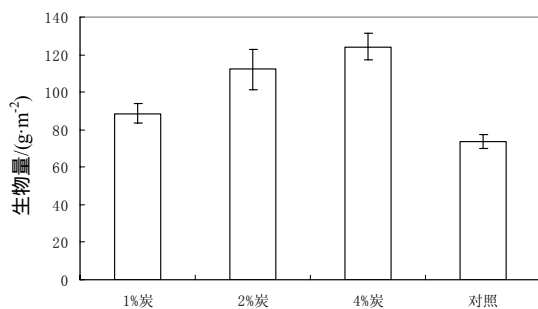


图3 秸秆炭对黑麦草生物量的影响

Fig.3 Effect of straw charcoal on biomass of ryegrass

其生物量, 结果如图 3 所示。添加 1% 秸秆炭的处理生物量值比对照组的生物量值增大了 20%, 添加 4% 秸秆炭的处理比对照增加了 68%。因此, 土壤中生物质炭的添加对植物的生长有促进作用。其他一些研究者也发现了生物炭具有促进植物生长的作用。Major 等^[4]研究了生物炭对野草生长的影响, 发觉在富含生物质炭的土壤中, 植株对地表的覆盖率比单独施用无机肥料时提高了 46%。Steiner 等^[5]则发现, 与无机肥料相比, 富含生物质炭的土壤谷物产量提高了 2 倍。生物质炭具有很强的稳定性, 一旦应用于特定土壤, 不必当年重复添加, 正如巴西亚马逊河流肥沃的黑土, 几百年至上千年均保持相当高的肥力^[11-12]。

2.2 生物质炭的施加对土壤呼吸量和活性有机质质量分数的影响

本研究分析了秸秆炭输入对土壤呼吸量的影响。如图 4 所示, 在秸秆炭添加初期, 即黑麦草种植前, 各处理土壤呼吸量基本一致。随着种植时间的增加, 各处理土壤呼吸量的差异逐渐显示出来。添加秸秆炭各处理呼吸度强度均弱于对照组。在种植 20 d 时, 添加 2% 秸秆炭的处理土壤呼吸量比对照处理的生物量值降低了 18%, 添加 4% 秸秆炭的

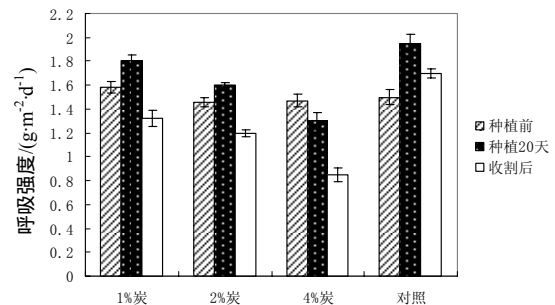


图4 秸秆炭对土壤呼吸量的影响

Fig.4 Effect of straw charcoal on soil respiration

处理比对照降低了 33%。到黑麦草收割时, 添加 2% 和 4% 秸秆炭的处理分别比对照呼吸强度降低了 26% 和 50%。由此可推断, 生物质炭的添加能降低土壤的呼吸强度, 减少 CO₂ 释放。此外, 从实验结果可以看出, 黑麦草的生长也会对土壤呼吸作用产生影响, 这是因为植物可以通过根系生物量及分布、对土壤结构的影响等途径来实现对土壤呼吸的影响。此外, 有学者认为, 生物质炭对缓解全球气候变化的影响还在于植物通过光合作用固定 CO₂, 热解产生能量, 而生物质炭得以储存并保留于土壤中。如果新的 CO₂ 被植物固定, 埋于土壤的生物质炭就变成碳的净汇^[6,13]。

土壤活性有机质(active soil organic matter, ASOM)是指土壤中有效性较高,对植物养分供应有直接作用的那部分有机质。ASOM 对土壤碳的变化较非活性有机质敏感得多,与土壤性质的关系比总有机质密切。除了实验初期,在各生长阶段,实验组的活性有机质质量分数均大于对照处理的活性有机质质量分数。以 4%秸秆炭处理为例,在第 20、60 和 90 天的值分别比对照处理增加了 54.6%,

表 1 土壤活性有机质质量分数

Table 1 Content of active soil organic matter in soil %

处理	种植前	t/d			
		20	40	60	90
1%秸秆炭	0.331	0.325	0.269	0.233	0.214
2%秸秆炭	0.339	0.345	0.284	0.242	0.205
4%秸秆炭	0.337	0.325	0.292	0.255	0.225
对照	0.336	0.211	0.219	0.198	0.176

28.8%和 27.8%(表 1)。因此,生物质炭输入对土壤的活性有机质增加有一定促进作用,可以改善土壤性质,并且由此促进植物的生长。

2.3 生物质炭对土壤中养分的持留功能

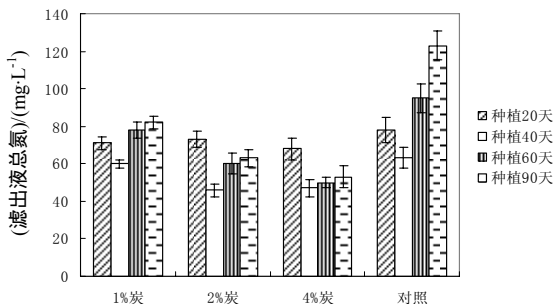


图 5 土壤渗滤液总氮质量浓度
Fig.5 Nitrogen content in leachate of soil

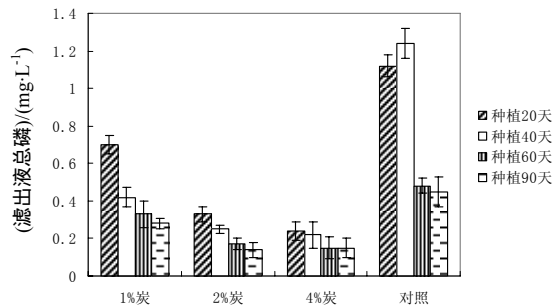


图 6 土壤渗滤液总磷质量浓度柱状图
Fig.6 Phosphorous content in leachate of soil

对黑麦草生长过程中土壤渗滤液中总氮和总磷的量进行了测定,结果如图 5 和图 6 所示。除了

秸秆炭添加初期,其余各生长阶段,添加秸秆炭处理的渗滤液中总氮和总磷质量浓度均小于对照处理。实验结果表明,生物质炭对土壤中的氮素和磷素具有固定滞留作用,导致了渗滤液中氮磷质量浓度的下降,而相应留存于土壤中的养分质量分数较高,这与黑麦草生物量的增加相一致。因此,我们认为应用于土壤的生物质炭可以通过以下 2 种途径降低面源污染:(1)通过固持土壤氮磷等养分,降低土壤养分向地下水或地表水的淋溶与冲刷流失。(2)提高表土层养分固持力,减少肥料使用量,从而降低污染物流失。

3 结论

本实验对农业秸秆废弃物制生物质炭土地利用效应进行了研究,结果表明:加入秸秆炭处理栽培植物生物量比对照明显提高;土壤呼吸度则低于对照处理,土壤活性有机质质量分数也比对照显著增加。我国是农业大国,每年都产生大量的农作物秸秆,农业秸秆制生物质炭应用于农田土壤能产生多方面的环境效益,一方面,它可促进碳素固定于土壤中并减少土壤呼吸量,因而能有效减少 CO₂ 的释放;另一方面,它对土壤起到很好的改良作用,促进植物生长,同时对土壤中的养分具有持留功能,能够有效减少水冲刷造成的氮磷流失,降低农业面源污染。

参考文献:

[1] 廖小红,李汉平. 农作物秸秆 COD 负荷测定及我国弃置秸秆可能形成的面源 COD 总量极大值估算[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(5):1977-1981.
LIAO Xiaohong, LI Hanping. Determining COD Load of Crop Straws and Estimating Possible Maximal Total Amount of COD from Discarded Crop Straws in China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(5):1977-1981.

[2] 于建光,常志州,黄红英,等. 秸秆腐熟剂对土壤微生物及养分的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3):563-570.
YU Jianguang, CHANG Zhizhou, HUANG Hongying, et al. Effect of Microbial Inoculants for Straw Decomposing on Soil Microorganisms and the Nutrients[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(3): 563-570.

[3] Major J, Steiner C, Ditommaso A, et al. Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: Compost, fertilizer, manure and charcoal applications [J]. Weed Biology Management, 2005, 5: 69-76.

[4] Steiner C. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soil and Amazonian dark earths in central Amazonia: Preliminary results[C]//Glaser B, Woods W I, Eds. Amazonian Dark Earths: Explorations in Time and Space. Heidelberg: Springer, 2007: 95-212.

[5] Lehmann J. Black is the new green[J]. Nature, 2006, 442(10):624-626.

- [6] Lehmann J. A handful of carbon [J]. *Nature*, 2007, 447(10):143-144.
- [7] GB/T 11894—1989 水质总氮的测定碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
GB/T 11894—1989 Water quality-Determination of total nitrogen-Alkaline potassium persulfate digestion-UV spectrophotometric method[S]. Standard press of China, Beijing, 1989.
- [8] GB 11893—89 水质总磷的测定钼酸铵分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
GB 11893 — 89 Water quality-Determination of total Phro-ammoniummolybdate-UV spectrophotometric method[S]. Beijing: Standard press of China, 1990.
- [9] 王同朝, 卫丽, 田原, 等. 冬小麦-夏玉米一体化垄作覆盖下农田土壤呼吸变化研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(9):1970-1974.
WANG Tongchao, WEI Li, TIAN Yuan, et al. Dynamic Changes of Soil Respiration on Mulched Bed Planting Under Winter Wheat and Summer Maize Double Cropping Integration[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(9):1970-1974.
- [10] 于荣, 徐明岗, 王伯仁. 土壤活性有机质测定方法的比较[J]. *土壤肥料*, 2005(2):49-52.
YU Rong, XU Minggang, WANG Boren, Study on methods for determining labile organic matter of soils[J]. *Soil and Fertilizer*, 2005(2): 49-52.
- [11] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35: 219-230.
- [12] Lehmann J, Rondon M. Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics//Uphoff N (Ed). *Biological approaches to sustainable soil systems*[C]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006.
- [13] Brodowski S, John B, Flessa H, et al. Aggregateoccluded black carbon in soil [J]. *European Journal of Soil Science*, 2006, 57: 539-546.

Environmental benefits of biochar made by agricultural straw when applied to soil

HUA Li¹, ZHANG Cheng¹, MA Hongrui¹, YU Wang²

1. College of Resource and Environment, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;

2. Department of environment engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China

Abstract: Mineralization of organic carbon and emission of CO₂ in agricultural soil are main pathways of greenhouse gas emission. The improvement of soil carbon capture and sequestration has important effect on the reduction of greenhouse effect. Biochar can improve soil character and the formation of soil agglomerates and it also can adjust the microorganism ecology in soil. Environmental benefits of biochar made by agricultural straw applied in soil were studied. The results indicated that straw charcoal might produce a wide range of environmental benefits. On one hand, it had the ability to promote the carbon fixed in the soil and reduce soil respiration, which can effectively mitigate global climate change. In treatment of biochar added, soil respiration reduced 23%-50% and content of active soil organic matter increased above 25% compared with control. On the other hand, biochar played a positive role on promoting plant growth. Biomass in treatment added 4% biochar increased about 68% compared with the control. In addition, biochar can hold nutrients in the soil and reduce nitrogen and phosphorus losses caused by water erosion and agricultural non-point source pollution.

Key words: straw; biochar; land application; environmental benefits