

有机物料对沙蒿生物炭改良沙土中有效养分的增效作用^①

侯建伟, 索全义*, 梁 桓, 刘长涛

(内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 研究有机物料对沙蒿生物炭改良沙土有效养分的影响, 为沙蒿生物炭改良瘠薄沙土提供依据。采用无植物室外培养模拟试验, 研究单独添加生物炭、生物炭与有机物料混合对沙土有效养分含量、pH 和微生物生物量碳、氮含量的影响。结果表明: 不同有机物料均能够提高沙土的 pH(沙蒿粉除外)、有效养分和微生物生物量碳、氮含量, 有机物料与生物炭混合施用对沙土的有效磷、速效钾和微生物生物量碳、氮起到了增效作用, 较二者单独施用的累加效果分别高出 7.1%~23.1%、4.1%~10.9%、6.2%~11.8% 和 12.5%~22.6%。pH 和微生物生物量碳、氮含量影响着沙土的有效养分含量, 与其呈显著或极显著正相关关系。因此, 沙蒿生物炭改良沙土过程中施入有机物料对有效养分的提高可起到增效的作用, 这可能与有机物料和生物炭混合施用能够提高沙土中微生物数量和活性有关。

关键词: 生物炭; 有机物料; 有效养分; pH; 微生物生物量碳氮

中图分类号: S152.4

沙蒿是菊科蒿属(*Artemisia*)的一个半灌木类群, 是一种典型的沙生植物, 具有很强的抗寒、抗旱和耐沙埋等特性。沙蒿在其生境中经过漫长的自然选择成为建群种和优势种, 广泛分布在半固定或固定的沙地, 是较好的固沙防风植物, 在生态保护和恢复中起到了非常重要的作用, 也是恶劣生境下的重要碳汇植物。沙蒿平茬或刈割可明显促进沙蒿生长, 增强其生活能力, 平茬或刈割后的沙蒿可就地被转化成为生物炭(biochar, 无氧条件下炭化的产物^[1-3])进行沙地封存。这一方面也可利用生物炭的稳定性实现碳汇的目的, 为减缓全球气候变化做出贡献; 另一方面利用生物炭的多孔性、亲水性、吸附性等特性, 可实现改善沙地生境效应的作用^[4-5]。

目前用于制备生物炭的原料主要包括阔叶树、牧草、树皮、作物残余物(如稻草、坚果壳和稻壳)、柳枝稷、有机废物(如酒糟、甘蔗渣、橄榄废物、鸡粪、牛粪、剩余污泥和纸浆)等^[6], 而对用沙地特殊生境下的沙蒿制取生物炭材料的研究很少。近些年来, 因生物炭可充分发挥环境和农业效益而备受研究者的青睐, 而生物炭的含碳率高、孔隙结构丰富、比表面积大、能够为土壤有益微生物提供温床、理化性质稳定等固有的特点, 已成功被用来还田改土^[7-11]、提高

农作物产量、缓释肥效^[12-14], 实现碳封存等。但由于沙土流动性大、干旱、养分含量少、保水性能差等因素, 是否能够通过生物炭提高有效养分含量还需研究证实。

此外, 沙土瘠薄, 碳含量较少, 生物质炭化后又会成为极其稳定的焦炭, 施入土壤后由于有机能量的不足不利于微生物的数量增长和长期发展, 这一点常常被研究者忽视。因此, 本实验在生物炭施用过程中添加有机物料, 一方面可以肥沃土壤, 另一方面为微生物提供活跃碳源, 有益于微生物的生长繁殖、土壤酶活性的提高, 从而促进土壤养分的转化。

本试验以沙生植物沙蒿为材料, 研究沙蒿生物炭、有机物料及沙蒿生物炭与有机物料混合施用对瘠薄沙土有效养分含量、pH 和微生物生物量碳、氮含量的影响, 揭示有机物料添加后的增效作用及可能机理, 为沙蒿生物炭在沙地的有效应用提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料

供试材料为沙蒿生物炭、羊粪和沙蒿粉, 沙蒿取自内蒙古呼和浩特市托克托县沙地, 该沙地是库布齐沙地的东缘, 分布在托克托县的西南。将取回的沙蒿平铺于室外干燥后粉碎混匀, 在干燥箱中 60℃烘至

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260502)和内蒙古自治区教育厅研究生科研创新资助项目(B20141012905Z)资助。

* 通讯作者(paul98@sina.com)

作者简介: 侯建伟(1986—), 男, 内蒙古通辽人, 博士研究生, 主要从事土壤肥力与植物营养研究。E-mail: hjw19860627@126.com

恒重(约 24 h)后制取生物炭;有机物料选择腐熟的羊粪和粉碎并过 2 mm 筛的沙蒿粉。

1.2 生物炭的制备

炭化设备选用人工智能箱式电阻炉(SGM.VB8/10, 洛阳市西格马仪器制造有限公司),该设备可进行炭化温度的调控。称取烘干的沙蒿 25.0 g,放置于坩锅中,通过抽气创造低氧环境,在炭化温度 600℃、升温速率 150℃/h 和炭化 1 h 条件下制取生物炭,炭化结束后放入干燥器冷却,并留样备用。

1.3 试验设计

本试验共 6 个处理,每个处理重复 3 次。分别为:对照:自然沙(取自沙蒿同一地点 0~15 cm 土层),不施用任何物料;生物炭:单施生物炭,施入量按 20 g/kg 设计;羊粪:单施羊粪,施入量按 20 g/kg 设计;沙蒿粉:单施沙蒿粉,施入量按 20 g/kg 设计;生物炭与沙蒿粉混合:1:1 混合,总施入量按 40 g/kg 设计;生物炭与羊粪混合:1:1 混合,总施入量按 40 g/kg 设计。按试验设计将有机物料与沙土均匀混合装入塑料桶(高为 15 cm,直径 20 cm)中,含水量控制在沙土田间持水量的 70%,记为初始质量加盖,放入网室内模拟自然条件进行室外培养。每隔 5 天左右称重 1 次,并补水到初始质量。试

验始于 2014 年 4 月 28 日,9 月 28 日(5 个月)用土钻在塑料桶中通体取土样,鲜样用来测试微生物生物量碳、氮,室内风干过筛(2 mm)后的干样用来测试有效养分,各指标 3 次重复。

1.4 测试项目及方法

碱解氮:碱解扩散法^[15];有效磷:0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-分光光度计法^[15];速效钾:NH₄OAC 浸提-火焰光度计法^[15];微生物生物量碳、氮:氯仿熏蒸提取法^[16];pH:复合电极电位法, $m_{\pm}:v_{水}=1:5$ ^[15]。

1.5 数据处理

利用 SAS9.0 进行方差分析(ANOVA)和相关性分析(CORR),用 EXCEL2003 计算数据置信区间、绘制图表。

2 结果与分析

2.1 沙土有效养分含量

由表 1 可知,相同培养时间,无论单施有机物料还是有机物料与生物炭混合施用,均极显著提高了沙土的有效养分含量($P < 0.01$),且处理间及其增量间差异极显著($P < 0.01$),各处理大小顺序均为:生物炭+羊粪>生物炭+沙蒿粉>羊粪>沙蒿粉>生物炭。

表 1 有机物料对沙蒿生物炭改善沙土有效养分的影响
Table 1 Synergy of organic materials on amelioration of *Artemisia ordosica* biochar on soil nutrients

处理	碱解氮(mg/kg)		有效磷(mg/kg)		速效钾(mg/kg)	
	含量	增量	含量	增量	含量	增量
对照	14.6±1.3 F	-	1.3±0.43 F	-	73±9 F	-
生物炭	21.9±2.3 E	7.3±1.1 E	5.5±0.97 D	4.2±0.7 D	444±1 C	371±18 C
羊粪	33.6±3.2 C	19.0±2.3 C	7.5±1.10 C	6.2±1.3 B	230±7 D	157±5 D
沙蒿粉	23.3±2.0 D	8.7±0.9 D	1.6±0.34 E	0.3±0.0 E	169±6 E	96±3 E
生物炭+羊粪	55.6±3.1 A	41.0±2.6 A	13.3±1.52 A	12±0.8 A	682±21 A	609±23 A
生物炭+沙蒿粉	45.3±1.9 B	30.7±1.8 B	7.2±1.78 B	5.9±0.6 C	616±22 B	543±31 B

注:同列不同大写字母表示处理间差异达到极显著水平($P < 0.01$),下同。

由表 1 还可看出,施入生物炭、羊粪、沙蒿粉、生物炭+羊粪、生物炭+沙蒿粉各处理与对照相比,沙土碱解氮含量分别提高了 50.0%、130.1%、59.6%、280.8% 和 210.3%;有效磷含量分别提高了 323.1%、476.9%、23.1%、923.1% 和 453.8%;速效钾含量分别提高了 508.2%、215.1%、132.9%、834.2% 和 743.8%。一方面,说明各处理均能够增加沙土的碱解氮、有效磷和速效钾含量;另一方面,单施有机物料时,羊粪效果更佳,生物炭有利于提高有效磷和速效钾的含量,沙蒿粉有利于提高碱解氮和速效钾含量。而这可能与物料本身的元素含量及性质有关,沙蒿生

物炭在炭化过程中氮元素大量挥发而磷和钾等元素高度浓缩,致使生物炭具有低氮、高磷、钾的性质,而羊粪和沙蒿粉本身含有的氮、磷、钾元素能够直接提高沙土的有效养分含量。

进一步分析表明,有机物料与生物炭混合添加对沙土碱解氮、有效磷和速效钾含量均有增效作用。生物炭与羊粪混合施用,与生物炭、羊粪单独施用的累加作用相比,碱解氮、有效磷和速效钾分别升高了 0.8%、23.1% 和 10.9%;生物炭与沙蒿粉混合施用,与生物炭、沙蒿粉单独施用的累加作用相比,碱解氮、有效磷和速效钾分别升高了 0.7%、7.6% 和 4.1%。

有机物料的加入对有效磷的协同作用最明显,其次为速效钾,而对碱解氮的协同作用不大。这可能与有机物料施入沙土后影响其保水、保肥性能、pH、微生物种类和数量等,进而影响了养分的持留和转化有关。

2.2 沙土微生物生物量碳氮含量

土壤微生物生物量碳、氮是土壤中所有活微生物体内所含有的碳、氮总量,是土壤中最活跃的有机碳、氮组分,其含量一定程度上表征了土壤微生物量的多少,既是土壤有机质和土壤养分转化与循环的动力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库。与土壤中的碳、氮、磷、硫等养分循环、转化密切相关,其变化可反映土壤耕作制度和土壤肥力的变化以及土壤的污染程度。

由表 2 可知,各有机物料处理微生物生物量碳、氮含量均极显著高于对照($P<0.01$),不同有机物料间的差异也极显著($P<0.01$),大小顺序均为:生物炭+羊粪混合>生物炭+沙蒿粉>生物炭>羊粪>沙蒿粉。

由表 2 还可看出,生物炭与羊粪或沙蒿粉混合

施入沙土,能够更大程度地提高沙土的微生物生物量碳、氮含量;生物炭与羊粪混合施用,微生物生物量碳、氮含量较生物炭、羊粪单独施用的累加作用分别提高了 11.8% 和 22.6%;生物炭与沙蒿粉混合施用微生物生物量碳、氮含量较生物炭、沙蒿粉单独施用的累加作用分别提高了 6.2% 和 12.5%。说明有机物料和生物炭混合施用更能够提高沙土微生物生物量碳、氮含量,有利于提高沙土微生物量,促进沙土中的碳、氮、磷、硫等养分的循环与转化。

2.3 沙土 pH

由表 3 可知,除沙蒿粉处理外,各有机物料处理均极显著地提高了沙土的 pH($P<0.01$);不同有机物料处理对沙土 pH 的影响不同,具体表现为:沙蒿粉最低,生物炭+羊粪处理最高。各处理的 pH 除生物炭+沙蒿粉处理与羊粪处理之间,pH 增量除生物炭、羊粪、生物炭+沙蒿粉处理间差异未达显著水平外,其他处理间差异均达极显著水平($P<0.01$)。

表 2 有机物料对沙蒿生物炭改善沙土微生物生物量碳、氮含量的影响

Table 2 Synergy of organic materials on amelioration of *Artemisia ordosica* biochar on sandy soil microbial biomass C and N contents

处理	微生物生物量碳(mg/kg)		微生物生物量氮(mg/kg)	
	含量	增量	含量	增量
对照	124.9 ± 5.1 F	-	13.2 ± 1.1 F	-
生物炭	229.3 ± 8.8 C	104.4 ± 5.2 C	35.6 ± 5.3 C	22.4 ± 2.03 C
羊粪	135.5 ± 6.5 D	10.6 ± 1.35 E	17.0 ± 3.5 D	3.8 ± 0.55 D
沙蒿粉	128.5 ± 5.9 E	4.5 ± 0.81 D	16.3 ± 2.9 E	3.1 ± 0.47 E
生物炭+羊粪	379.5 ± 7.5 A	254.6 ± 10.4 A	55.6 ± 8.7 A	42.4 ± 3.22 A
生物炭+沙蒿粉	365.5 ± 5.1 B	240.6 ± 8.6 B	53.5 ± 9.0 B	40.3 ± 3.51 B

表 3 有机物料对沙蒿生物炭改善沙土 pH 的影响

Table 3 Synergy of organic materials on amelioration of *Artemisia ordosica* biochar on sandy soil pH

处理	pH	
	数值	增量
对照	8.19 ± 0.15 D	-
生物炭	8.25 ± 0.19 C	0.06 ± 0.01 B
羊粪	8.25 ± 0.13 B	0.06 ± 0.00 B
沙蒿粉	8.00 ± 0.15 E	-0.19 ± 0.10 C
生物炭+羊粪	8.34 ± 0.22 A	0.15 ± 0.02 A
生物炭+沙蒿粉	8.26 ± 0.14 B	0.07 ± 0.01 B

2.4 沙土有效养分增量与 pH 和微生物生物碳氮含量的相关分析

经不同物料改良后,沙土的 pH、微生物生物量碳、氮含量与沙土有效氮、磷、钾增量均呈显著或

极显著正相关关系(表 4);由相关系数可知,微生物生物量碳、氮含量的增加更有利于沙土有效氮、磷、钾含量的提升。总之,沙土中施用不同物料通过改变沙土的 pH、微生物生物量碳、氮含量能够提高沙土的有效养分含量,说明沙土微生物学性状的变化为沙土养分转化发挥了积极作用。

表 4 沙土施入有机物料后微生物生物量碳、氮含量和 pH 与沙土有效养分增量之间的相关关系

Table 4 Correlations between sandy soil pH, C and N contents of microbial biomass, and available nutrient increments

指标	碱解氮	有效磷	速效钾
微生物生物量碳	0.818 7**	0.719 6*	0.987 6**
微生物生物量氮	0.773 2**	0.700 5*	0.993 8**
pH	0.675 0*	0.884 1**	0.765 9**

注:*表示在 $P<0.05$ 水平显著相关;**表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关。

3 讨论

不同有机物料施入沙土后提高了其有效养分含量、pH(沙蒿粉处理除外)、微生物生物量碳、氮含量。一方面,可能是因为物料本身具有大量的养分元素、较高的 pH 和自身携带的微生物等;另一方面,沙蒿炭化后可挥发性物质去除形成丰富的孔隙结构,施入沙土后保存水分^[4,6],为有益微生物提供了有利的栖息环境,有利于其大量生长繁殖。

沙蒿生物炭改良沙土过程中添加有机物料,对沙土的有效养分和微生物生物量碳、氮含量起到了增效的作用。说明添加有机物料为异养型微生物提供了更加充足的能源物质,促进其繁殖和活性的提高。

沙土有效养分作为沙土重要组分和植物直接利用的有效成分,与微生物生物量碳、氮含量之间关系密切。微生物生物量碳、氮含量与沙土的有效养分含量呈显著或极显著正相关关系,而 pH 变化对其产生的影响不是单一作用,陈婵婵等^[17]和夏栋等^[18]以酸性土壤为研究对象强调了土壤改良后 pH 与氮素循环、磷、钾元素之间的相关关系。说明沙土的有效养分含量不仅与改良沙土的微生物生物量碳、氮有关,还与土质本身及氮素循环、磷、钾元素的转化关系密切,且相互影响^[19]。

生物炭对碱解氮的增效作用小于羊粪和沙蒿粉,这与生物炭在炭化过程中高温引起氮挥发造成有效氮含量低于羊粪和沙蒿粉有关;而生物炭与羊粪和沙蒿粉相比,较大幅度增加了微生物生物量氮含量。

4 结论

沙蒿生物炭改良沙土时添加有机物料通过协同作用增加了沙土的微生物生物量碳、氮含量,对沙土的有效养分起到了增效的作用,且对有效磷的增效作用相对最大,其次为速效钾,而对碱解氮的增效作用相对较小。

参考文献:

[1] Hayes M H B. Biochar and biofuels for a brighter future[J]. Nature, 2006, 443(7108): 144-147

- [2] Lehmann J. A handful of carbon[J]. Nature, 2007, 447(7141): 143-144
- [3] 张忠河,林振衡,付娅琦,等. 生物炭在农业上的应用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 11 880-11 882
- [4] 潘根兴,林振衡,李恋卿,等. 试论我国农业和农村有机废弃物生物质碳产业化[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(1): 75-82
- [5] Wang H C, Feng L Y, Cheng Y G. Advances in biochar production from wastes and its applications. Chemical Industry and Engineering Progress, 2012,31(4): 907-914
- [6] 袁金华,徐仁扣. 稻壳制备的生物质炭对红壤和黄棕壤酸度的改良效果[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(5): 472-476
- [7] 黄剑,张庆忠,杜章留,等. 施用生物炭对农田生态系统影响的研究进展[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 232-239
- [8] 周桂玉,窦森,刘世杰. 生物质炭结构性质及其对土壤速效养分和腐殖质组成的影响[J]. 农业环境保护, 2011, 30(10): 2075-2 080
- [9] 刘玉学. 生物质炭输入对土壤氮素流失及温室气体排放特性的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2011
- [10] 刘园, M. Jamal Khan, 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, 2015,52(4): 849-858
- [11] 杨滨娟,黄国勤,钱海燕. 秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(1): 1 50-157
- [12] 张文玲,李桂花,高卫东. 生物炭对土壤性状和作物产量的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25 (17): 153-157
- [13] 马莉,侯振安,吕宁,等. 生物炭对小麦生长和氮素平衡的影响[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(4): 589-594
- [14] 胡延杰,翟明普,武颀文,等. 杨树刺槐混交林及纯林土壤微生物数量及活性与土壤养分转化关系的研究[J]. 土壤, 2002, 34(1): 42-47
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社. 1981: 56-58, 81-83, 106-108
- [16] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 2006: 54-63,68-71
- [17] 陈婵婵,肖斌,余有本,等. 陕南茶园土壤有机质和 pH 值空间变异及其与速效养分的相关性[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)[J]. 2009, 37(1): 182-188
- [18] 夏栋,许文年,赵娟,等. 植被混凝土护坡基材 pH、有机质及其与速效养分的相关性分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 224-227
- [19] 叶存旺,翟巧绒,郭梓娟. 沙棘-侧柏混交林土壤养分、微生物与酶活性的研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(5): 1-6

Synergy of Organic Material on Amlioration of *Artemisia ordosica* Biochar on Sandy Soil Available Nutrients

HOU Jianwei, SUO Quanyi*, LIANG Huan, LIU Changtao

(College of Ecology and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China)

Abstract: For providing scientific basis by using *Artemisia ordosica* biochar to improve barren sandy soil, an outdoor-incubation simulation experiment with plant-free was conducted to understand the synergy of organic materials on amelioration of *Artemisia ordosica* biochar on sandy soil available nutrients. The results showed that except *Artemisia ordosica* powder powder, organic materials or *Artemisia ordosica* biochar increased sandy soil pH, available nutrients, microbial biomass C and N. Organic materials had synergy in increasing soil available P and rapid available K, and microbial biomass C and N when compounded with *Artemisia ordosica* biochar, the cumulative effect were 7.1%–23.1%, 4.1%–10.9%, 6.2%–11.8%, 12.5%–22.6% higher than separate application of organic material or *Artemisia ordosica* biochar. pH and microbial biomass C and N had significant correlations with sandy soil available nutrients. The synergy of organic materials may be attributed to its enhancement of microbial quantity and activity.

Key words: Biochar; Organic materials; Available nutrients; pH; Microbial biomass C and N