

doi:10.11937/bfy.20171877

## 有机物料在生物炭改善沙土 生物性质中的增效作用

侯建伟<sup>1</sup>, 索全义<sup>2</sup>, 卢志宏<sup>1</sup>, 陈 芬<sup>1</sup>, 赵圆圆<sup>1</sup>, 安清明<sup>1</sup>

(1. 铜仁学院 乌江学院, 贵州 铜仁 554300; 2. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘 要:**以生物炭、沙蒿粉和羊粪为试材,采用无植物盆栽模拟试验方法,研究有机物料在生物炭改沙中对沙土生物性质的影响,以探究有机物料在生物炭改沙中的增效作用。结果表明:不同有机物料均显著降低了沙土的真菌数量,但增加了微生物量C、N含量、细菌数量、放线菌数量,其增量表现为:生物炭+羊粪>生物炭+沙蒿粉>生物炭>羊粪>沙蒿粉。生物炭与羊粪或沙蒿粉混施分别较单施的累加效果平均高出2.8%和1.9%、10.4%和5.3%、5.7%和46.2%、21.5%和16.1%。脲酶活性混施较单施的累加效果分别高出4.88%~53.13%和8.33%~50.00%。相关性分析表明,pH与真菌数量呈显著负相关( $r=-0.353^*$ );有效养分增量均与各生物指标均存在一定的正相关关系( $r=0.188\sim 0.889^{**}$ )。总之,在生物性质方面,有机物料与生物炭具有协同增效作用,尤其表现在微生物量C、N含量、微生物数量和脲酶活性上。pH的提高显著降低了沙土的真菌数量;生物性质的改善为沙土有效养分的提高发挥了积极的作用。

**关键词:**有机物料;生物炭;沙土;生物性质;相关性

**中图分类号:**S 152.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)23-0141-06

沙蒿属菊科蒿属(*Artemisia*)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<sup>[1-3]</sup>)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,实现改善沙地生境效应的作用<sup>[4-5]</sup>。

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)、柳枝梭、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<sup>[6]</sup>,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。近年来,因生物炭可充分发挥环境和农业效益而备受研究者关注,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,成功被用来还田改土<sup>[7-9]</sup>、提高农作物产量、缓释肥效<sup>[10-12]</sup>,实现碳封存等。但由于沙土流动性大、干旱、养分含量少、保水性能差和碳含量少等因素。生物质炭

**第一作者简介:**侯建伟(1986-),男,内蒙古通辽人,博士,副教授,现主要从事植物营养与施肥等研究工作。  
E-mail: hjw19860627@126.com

**责任作者:**索全义(1962-),男,内蒙古呼和浩特人,博士,教授,现主要从事土壤肥力与植物营养等研究工作。  
E-mail: paul98@sina.com

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31260502)。

**收稿日期:**2017-07-18

化后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数量的增长和长期发展,这一点常常被研究者忽视。因此,该试验在生物炭施用过程中添加有机物料(羊粪和沙蒿粉),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。

现以沙生植物沙蒿为试材,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微生物量 C、N 含量、微生物数量、酶活性的影响及其与有效养分增量、pH 等的相关关系,揭示有机物料添加后的增效作用及可能机理,为沙蒿生物炭的有效改沙提供理论依据。

表 1

羊粪和沙蒿粉的基本性质

Table 1

Basic information of *Artemisia* powder and sheep manure

试验材料 Experimental material	养分含量 Nutrient content/%				pH
	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K	全 C Total C	
生物炭 Biochar	0.99±0.04	1.52±0.10	2.35±0.20	87.90±0.23	9.85±0.02
羊粪 Sheep manure	1.11±0.13	0.33±0.06	0.32±0.03	0.31±0.02	7.28±0.11
沙蒿粉 <i>Artemisia</i> powder	1.28±0.09	0.26±0.04	0.57±0.04	0.45±0.06	5.50±0.08

## 1.2 试验方法

炭化设备选用人工智能箱式电阻炉。称取烘干的沙蒿 25.0 g,放置于坩埚中,通过抽气创造低氧环境,在炭化温度 600 ℃、升温速率 150 ℃·h<sup>-1</sup>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。

该试验设 5 个处理,每处理重复 3 次。分别为生物炭(单施生物炭,施入量 20 g·kg<sup>-1</sup>)、羊粪(单施羊粪,施入量 20 g·kg<sup>-1</sup>)、沙蒿粉(单施沙蒿粉,施入量 20 g·kg<sup>-1</sup>)、生物炭与沙蒿粉混合(1:1 混合,总施入量 40 g·kg<sup>-1</sup>)、生物炭与羊粪混合(1:1 混合,总施入量 40 g·kg<sup>-1</sup>)。以自然沙(取自沙蒿同一地点 0~15 cm 土层),不施用任何物料为对照(CK)。

按上述添加量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 d 左右称质量一次,并补水到初始质量。试验于 2014 年 5 月开始,分别在 7 月底(3 个月)、9 月底(5 个月);2015 年 4 月底(12 个月),2015 年 7 月底(15

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为沙蒿生物炭、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 ℃烘至恒重后制取生物炭;有机物料选择腐熟的羊粪和粉碎并过 2 mm 筛的沙蒿粉(基本性质见表 1)。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。

个月)用土钻在塑料桶中通体取土样,鲜样用来测试微生物量 C、N 和微生物数量,室内风干过筛(2 mm)后的干样用来测试土壤酶活性。试验开始前测试沙土的基本性质(表 2)。

表 2

自然沙基本性质

Table 2 Basic properties of natural sand

项目 Item	自然沙 Sandy soil
碱解 N Available N/(mg·kg <sup>-1</sup> )	20.33±0.81
有效 P Available P/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.33±0.28
速效 K Available K/(mg·kg <sup>-1</sup> )	78.42±4.64
全 N Total N/%	0.33±0.04
全 P Total P/%	0.52±0.16
全 K Total K/%	30.92±0.70
全 C Total C/%	2.15±0.15
pH	8.19±0.03

### 1.3 项目测定

细菌、真菌、放线菌数量采用平板涂抹法<sup>[13]</sup>测定;土壤微生物量 C、N 含量采用氯仿熏蒸提取法<sup>[14]</sup>测定。

土壤转化酶活性采用硫代硫酸钠滴定法<sup>[15]</sup>测定;土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定

法<sup>[15]</sup>测定;土壤脲酶活性采用水杨酸钠比色法<sup>[15]</sup>测定;碱性磷酸酶活性采用磷酸本二钠比色法<sup>[15]</sup>测定。

#### 1.4 数据分析

利用 SAS 9.0 软件进行方差分析(ANOVA)和相关性分析(CORR),用 Excel 2007 计算数据置信区间、绘制图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机物料对沙土微生物量 C、N 的影响

不同有机物料施入沙土后,在不同培养时间均显著增加了沙土的微生物量 C、N 含量,但同一培养时间的不同有机物料,沙土的微生物量 C、N 增量不

同,同一有机物料的不同培养时间,沙土的微生物量 C、N 增量也不同。不同有机物料处理下,沙土的微生物量 C、N 增量均表现为生物炭+羊粪>生物炭+沙蒿粉>生物炭>羊粪>沙蒿粉(表 3)。

由表 3 还可以看出,生物炭与羊粪或沙蒿粉混合施入对提高沙土的微生物量 C、N 含量具有一定的协同作用。培养到第 5 个月和第 12 个月时,其微生物量 C 增量分别高出单施有机物料累加效果 7.02%~13.21%和 11.68%~11.71%,平均高出 2.8%和 1.9%(3~15 个月);培养到第 3、12、15 个月时,其微生物量 N 增量分别高出单施有机物料累加效果的 3.82%~18.67%和 4.82%~11.26%,平均高出 10.4%和 5.3%(3~15 个月)。

表 3 不同有机物料和培养时间下沙土微生物量 C、N 增量  
Table 3 Increment of sandy soil microbial C、N content under different organic materials and different incubation time

项目 Items	培养时间 Incubation time/月	试验材料 Experimental material					
		自然沙 Sandy soil	生物炭 Biochar	羊粪 Sheep manure	沙蒿粉 Artemisia powder	生物炭+羊粪 Biochar+ Sheep manure	生物炭+沙蒿粉 Biochar+ Aartemisia powder
微生物量碳 Microbial biomass C	3	—	104.38±9.83Cb	10.54±1.25Db	3.60±0.42Eb	114.56±9.82Ab	105.59±8.18Bb
	5	—	88.55±3.51Cc	5.44±0.78Dd	0.63±0.11Ed	100.59±5.16Ad	99.62±6.37Bc
	12	—	85.23±5.13Cd	7.12±0.92Dc	2.27±0.21Ec	104.55±5.31Ac	97.72±12.04Bd
	15	—	117.58±10.59Ca	33.03±3.40Da	27.68±1.35Ea	137.64±15.06Aa	125.43±9.51Ba
微生物量氮 Microbial biomass N	3	—	21.59±1.94Cb	2.97±0.13Db	2.22±0.19Eb	26.56±4.33 Ab	26.49±3.22Bb
	5	—	19.08±0.92Cc	2.28±0.11Dc	1.59±0.12Ec	23.70±3.16Ac	20.35±1.24Bc
	12	—	17.88±1.30Cd	1.08±0.32Dd	0.39±0.03Ed	22.50±1.64Ad	19.15±0.62Bd
	15	—	22.58±1.62Ca	3.85±0.24Da	3.10±0.31Ea	27.44±0.51Aa	27.37±1.49Ba

注:不同大写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ );不同小写字母表示处理内差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different capital letters mean significant difference between treatments at 0.05 level; different lowercase letters mean significant difference within treatments at 0.05 level. The same below.

### 2.2 有机物料对沙土微生物数量的影响

单施或混合施入有机物料均增加了沙土的细菌和放线菌数量,增量变异范围分别为  $0.10 \times 10^5 \sim 6.10 \times 10^5$  个·g<sup>-1</sup>干土和  $0.10 \times 10^4 \sim 4.96 \times 10^4$  个·g<sup>-1</sup>干土,降低了真菌数量,变异范围为  $-4.80 \times 10^2 \sim -0.20 \times 10^2$  个·g<sup>-1</sup>干土。细菌增量表现为生物炭+羊粪>生物炭+沙蒿粉>羊粪>生物炭>沙蒿粉;放线菌增量表现为生物炭+羊粪>生物炭+沙蒿粉>生物炭>羊粪>沙蒿粉;而有机物料抑制了真菌的生长繁殖,抑制程度与培养时间联系紧密,培养到第 5 个月和第 12 个月时抑制程度相对较大(表 4),而有机物料与生物炭混合施入会削弱这种抑制作用,尤

其是生物炭与羊粪混合施入。

由表 4 还可以看出,某一培养时间内,生物炭与羊粪或沙蒿粉混合施入沙土,其细菌和放线菌增量高于单施有机物料的累加效果,平均高出 5.7%和 46.2%、21.5%和 16.1%(3~15 个月),且这种效果大多出现在培养前期(3~5 个月),说明有机物料混合施入对提高沙土的细菌和放线菌数量,具有协同作用。

### 2.3 有机物料对沙土酶活性的影响

除个别情况外,有机物料均提高了沙土脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和碱性磷酸酶活性,不同有机物料对酶活性影响有显著差异,单施有机物料时,

表 4  
Table 4  
不同有机物料和培养时间下沙土微生物数量增量  
Increment of the number of microorganisms in sandy soil under  
different organic materials and different incubation time

微生物 Microorganism	培养时间 Incubation time/月	试验材料 Experimental material					
		自然沙 Sandy soil	生物炭 Biochar	羊粪 Sheep manure	沙蒿粉 Artemisia powder	生物炭+羊粪 Biochar+ sheep manure	生物炭+沙蒿粉 Biochar+ Artemisia powder
细菌 Bacteria ( $\times 10^5$ 个 $\cdot$ g $^{-1}$ 干土)	3	—	3.10 $\pm$ 0.26Da	3.40 $\pm$ 0.12Bb	0.90 $\pm$ 0.11Ec	6.10 $\pm$ 0.15Aa	4.90 $\pm$ 0.34Cb
	5	—	1.40 $\pm$ 0.06Dc	2.80 $\pm$ 0.09Cc	0.10 $\pm$ 0.03Ed	5.60 $\pm$ 0.26Ac	4.00 $\pm$ 0.17Bc
	12	—	1.95 $\pm$ 0.13Db	2.32 $\pm$ 0.15Cd	1.05 $\pm$ 0.07Eb	4.65 $\pm$ 0.31Ad	2.75 $\pm$ 0.15Bd
	15	—	3.10 $\pm$ 0.24Da	3.77 $\pm$ 0.22Ca	2.12 $\pm$ 0.14Ea	5.96 $\pm$ 0.18Ab	5.43 $\pm$ 0.42Ba
真菌 Fungi ( $\times 10^2$ 个 $\cdot$ g $^{-1}$ 干土)	3	—	-1.87 $\pm$ 0.11Db	-1.97 $\pm$ 0.13Ea	-0.87 $\pm$ 0.03Ba	-0.65 $\pm$ 0.07Ab	-1.77 $\pm$ 0.08Cc
	5	—	-2.20 $\pm$ 0.13Cd	-3.70 $\pm$ 0.09Dc	-4.30 $\pm$ 0.02Eb	-0.70 $\pm$ 0.03Bc	-0.40 $\pm$ 0.03Ab
	12	—	-1.50 $\pm$ 0.08Ca	-3.90 $\pm$ 0.11Dd	-4.80 $\pm$ 0.35Ec	-0.30 $\pm$ 0.06Ba	-0.20 $\pm$ 0.01Aa
	15	—	-2.07 $\pm$ 0.12Dc	-2.07 $\pm$ 0.09Db	-0.87 $\pm$ 0.17Ba	-0.65 $\pm$ 0.10Ab	-1.88 $\pm$ 0.08Cd
放线菌 Actinomycetes ( $\times 10^4$ 个 $\cdot$ g $^{-1}$ 干土)	3	—	3.03 $\pm$ 0.21Cc	0.73 $\pm$ 0.06Da	0.23 $\pm$ 0.03Ec	4.43 $\pm$ 0.02Ab	4.02 $\pm$ 0.37Ba
	5	—	1.30 $\pm$ 0.11Cd	0.60 $\pm$ 0.03Db	0.10 $\pm$ 0.02Ed	2.80 $\pm$ 0.11Ad	2.50 $\pm$ 0.13Bd
	12	—	3.37 $\pm$ 0.02Aa	0.28 $\pm$ 0.02Ed	0.76 $\pm$ 0.04Db	3.26 $\pm$ 0.25Bc	3.03 $\pm$ 0.46Cc
	15	—	3.24 $\pm$ 0.21Cb	0.53 $\pm$ 0.07Ec	1.16 $\pm$ 0.08Da	4.96 $\pm$ 0.61Aa	3.92 $\pm$ 0.04Bb

表 5  
Table 5  
不同有机物料和培养时间下沙土酶活性增量  
Increment of sandy soil enzymes activity under different organic materials and different incubation time

酶 Enzyme	培养时间 Incubation time/月	试验材料 Experimental material					
		自然沙 Sandy soil	生物炭 Biochar	羊粪 Sheep manure	沙蒿粉 Artemisia powder	生物炭+羊粪 Biochar+ Sheep manure	生物炭+沙蒿粉 Biochar+ Artemisia powder
脲酶 Urease ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )	3	—	0.17 $\pm$ 0.02C	0.15 $\pm$ 0.02D	0.07 $\pm$ 0.01E	0.49 $\pm$ 0.06A	0.26 $\pm$ 0.03B
	5	—	0.35 $\pm$ 0.04C	0.29 $\pm$ 0.03D	0.20 $\pm$ 0.01E	0.89 $\pm$ 0.11A	0.60 $\pm$ 0.05B
	12	—	0.04 $\pm$ 0.01E	0.33 $\pm$ 0.03C	0.22 $\pm$ 0.01D	0.42 $\pm$ 0.05A	0.39 $\pm$ 0.06B
	15	—	0.06 $\pm$ 0.00E	0.35 $\pm$ 0.01C	0.28 $\pm$ 0.02D	0.43 $\pm$ 0.03A	0.41 $\pm$ 0.05B
蔗糖酶 Sucrase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )	3	—	5.87 $\pm$ 0.712E	7.25 $\pm$ 0.63C	6.66 $\pm$ 0.91D	8.57 $\pm$ 0.92B	19.97 $\pm$ 1.56A
	5	—	6.53 $\pm$ 0.45E	15.30 $\pm$ 1.15D	15.50 $\pm$ 1.48C	16.29 $\pm$ 1.06B	31.43 $\pm$ 2.02A
	12	—	3.91 $\pm$ 0.22D	8.56 $\pm$ 0.63C	18.45 $\pm$ 2.09A	2.33 $\pm$ 0.18E	15.58 $\pm$ 1.14B
	15	—	6.92 $\pm$ 0.18C	6.32 $\pm$ 0.56D	23.22 $\pm$ 1.16A	3.32 $\pm$ 0.40E	14.87 $\pm$ 1.08B
过氧化氢酶 Catalase ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	3	—	1.12 $\pm$ 0.08Cb	1.08 $\pm$ 0.21Db	0.51 $\pm$ 0.06Ed	2.30 $\pm$ 0.17Ab	2.02 $\pm$ 0.25Bb
	5	—	1.57 $\pm$ 0.12Da	2.23 $\pm$ 0.18Ba	1.84 $\pm$ 0.20Ca	2.98 $\pm$ 0.33Aa	2.98 $\pm$ 0.05Aa
	12	—	0.34 $\pm$ 0.04Dc	-0.51 $\pm$ 0.03Ed	1.61 $\pm$ 0.13Bb	1.98 $\pm$ 0.21Ac	1.30 $\pm$ 0.09Cd
	15	—	0.00 $\pm$ 0.00Ed	0.41 $\pm$ 0.04Dc	1.23 $\pm$ 0.09Bc	1.03 $\pm$ 0.08Cd	1.85 $\pm$ 0.11Ac
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )	3	—	-0.04 $\pm$ 0.00Ed	0.21 $\pm$ 0.03Bd	0.02 $\pm$ 0.00Dd	0.27 $\pm$ 0.03Ac	0.08 $\pm$ 0.01Cc
	5	—	0.12 $\pm$ 0.02Eb	0.51 $\pm$ 0.04Bb	0.69 $\pm$ 0.07Ab	0.41 $\pm$ 0.03Cb	0.15 $\pm$ 0.02Db
	12	—	0.07 $\pm$ 0.02Cc	0.49 $\pm$ 0.04Ac	0.23 $\pm$ 0.01Bc	0.04 $\pm$ 0.00Dd	-0.04 $\pm$ 0.00Ed
	15	—	0.22 $\pm$ 0.08Ea	1.40 $\pm$ 0.10Aa	1.29 $\pm$ 0.09Ca	1.36 $\pm$ 0.17Ba	1.18 $\pm$ 0.10Da

羊粪有助于提高沙土的脲酶和碱性磷酸酶活性；沙蒿粉有助于提高沙土的蔗糖酶活性(表 5)。

生物炭与羊粪或沙蒿粉混合施入时,通过协同作用极大的提高了沙土的脲酶活性,脲酶活性增量高于单施有机物料的累加效果,分别高出 4.88%~53.13% 和 8.33%~50.00%,而蔗糖酶、过氧化氢酶和碱性磷酸酶的活性增量出现高于或低于单施有机物料的累加效果,因此有机物

料混合施入对这 3 种酶的影响不具有 consistency,有机物料未表现出明显的协同作用。

## 2.4 沙土相关指标间的相关性分析

由表 6 可知,有效养分增量与脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶、微生物量 C、微生物量 N、细菌、真菌和放线菌之间均呈正相关关系。碱解 N 与脲酶、过氧化氢酶及真菌呈极显著正相

关,与细菌呈显著正相关;有效 P 与过氧化氢酶呈极显著正相关,与脲酶、碱性磷酸酶呈显著正相关;速效 K 与脲酶、细菌呈极显著正相关,与过氧化氢酶、真菌呈显著正相关。pH 与碱性磷酸酶呈极显著正相关,与脲酶呈显著正相关,而与真菌数量呈显著负相关关系。一方面,说明 pH 的提

高显著减少了沙土中真菌的数量,真菌喜欢在偏酸性环境中生长的规律不变;另一方面,说明沙土中有效养分含量的提高可能是沙土中施用不同物料改变了沙土的自身环境,致使其养分、pH、酶、微生物等各生化指标之间相互关联,为沙土的养分转化发挥了积极的作用。

表 6

沙土相关指标间的相关关系

Table 6

Correlation between the various indicators of sandy soil

指标 Items	脲酶 Urease	蔗糖酶 Sucrase	过氧化氢酶 Catalase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	微生物量碳 Microbial biomass C	微生物量氮 Microbial biomass N	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes
碱解 N Available N	0.889 **	0.075	0.858 **	0.371	0.413	0.453	0.728 *	0.816 **	0.549
有效 P Available P	0.676 *	0.544	0.895 **	0.522 *	0.139	0.188	0.479	0.547	0.285
速效 K Available K	0.871 **	0.232	0.730 *	0.364	0.417	0.448	0.892 **	0.642 *	0.505
pH	0.634 *	0.384	0.686 *	0.810 **	-0.113	-0.066	0.489	-0.353 *	0.035

注: \*、\*\* 分别表示在  $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$  水平上差异显著。

Note: \* and \*\* mean significant difference at 0.01 and 0.05 levels, respectively.

### 3 讨论与结论

有机物料与生物炭配施降低了沙土的真菌数量,而对微生物量 C、N 含量、细菌数量、放线菌数量和酶活性均具有协同增效作用,尤其是生物炭与羊粪配施效果更佳,但其协同增效作用并不贯穿于整个培养周期,而是与培养时间或季节有关,大多集中在 7—8 月。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,与一些研究一致。陈安强等<sup>[16]</sup>利用化肥和生物炭、玉米秸秆、鲜牛粪或松针配施,研究土壤微生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮,结果表明生物炭与化肥或有机物料配施显著大于不施肥处理和单施有机物料处理;李有兵等<sup>[17]</sup>用小麦和玉米残体与其生物炭配施处理,土壤微生物量碳和粗颗粒有机碳含量分别显著增加 80.2%~199.2%,且其有机碳累积矿化率为 12%~19%,介于生物炭和残体单施之间,与该研究部分结果一致。该研究认为,在整个培养周期(15 个月)有机物料与生物炭配施,沙土的脲酶活性高于单施有机物料或生物炭的累加作用,而微生物量 C、N、细菌和放线菌的增效作用与培养时间有关。微生物量 C 的增效作用表现在第 5 个月和第 12 个月,微生物量 N 的增效作用表现在第 3、12、15 个月,细菌和放线菌的增效作用均表

现在第 3 个月和第 5 个月,而培养周期内的其它时期又表现为介于单施有机物料和生物炭之间。

pH 的提高降低了沙土的真菌数量。微生物量 C、N 含量、细菌、真菌、放线菌和酶活性与有效 N、P、K 均存在一定的正相关关系,通过有机物料与生物炭的协同增效作用改变了沙土的生物性质进而促进了有效 NPK 含量的提高。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,与微生物量 C、N 含量、细菌、真菌、放线菌和酶活性之间均存在一定的正相关关系,而 pH 变化对其产生的影响不是单一作用,陈婵婵等<sup>[18]</sup>、夏栋等<sup>[19]</sup>以酸性土壤为研究对象强调了土壤改良后 pH 与 N 素循环、P、K 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生物性质有关,还与土质本身及 N 素循环、P、K 元素的转化关系密切,且相互影响<sup>[20]</sup>。

### 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] 何绪生,耿增超,余雕,等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 1-7.
- [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炭产业化[J]. 中国农业科技导报, 2010, 13(1): 75-82.
- [5] WANG H C, FENG L Y, CHENG Y G. Advances in bio-

char production from wastes and its applications[J]. 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): 2075-2080.

[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] 张文玲, 李桂花, 高卫东. 生物质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.

[11] 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.

[12] 胡延杰, 翟明普, 贾黎明, 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(1): 42-47.

[13] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 上海: 上海

科技出版社, 1986: 226-228.

[14] 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]. 北京: 气象出版社, 2006: 54-63.

[15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 27-30.

[16] 陈安强, 付斌, 鲁耀, 等. 有机物料输入稻田提高土壤微生物炭氮及可溶性有机碳氮[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 160-167.

[17] 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.

[18] 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), 2009, 37(1): 182-188.

[19] 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.

[20] 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.

## Ameliorative Effects of Organic Material in Biochar Improving Biological Properties of Sandy Soil

HOU Jianwei<sup>1</sup>, SUO Quanyi<sup>2</sup>, LU Zhihong<sup>1</sup>, CHEN Fen<sup>1</sup>, ZHAO Yuanyuan<sup>1</sup>, AN Qingming<sup>1</sup>

(1. Wujiang College, Tongren University, Tongren, Guizhou 554300; 2. College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019)

**Abstract:** Biochar, *Artemisia* powder and sheep dung were selected as experiment material, with plant-free outdoor training simulation experiment method, the effect of organic material on sandy soil biological properties and explore synergistic action of organic material in biochar improving sandy soil. The results showed that the number of fungi was reduced, but content of microbial biomass C, N, number of bacteria and actinomyces were all significantly increased by adding different organic materials. Incremental performance for, biochar + sheep manure > biochar + *Artemisia* powder > biochar > sheep manure > *Artemisia* powder. They were increased by 2.8% and 1.9%, 10.4% and 5.3%, 5.7% and 46.2%, 21.5% and 16.1%, biochar mixed with sheep manure or *Artemisia* powder than separate application accumulation, respectively. Urease activity was improved by 4.88%—53.13% and 8.33%—50.00%, respectively. Correlation analysis showed that pH was negatively related to the fungi number significantly ( $r=0.353^*$ ); increment of effective nutrients with each biological indexes exist certain positive correlation ( $r=0.188-0.889^{**}$ ). In short, biochar had a synergistic effect with organic material in terms of biological nature, on microbial biomass C, N content and microorganism quantity and urease activity especially. The number of fungi was significantly reduced by increasing pH; the improved biological properties had played a positive role in increasing available nutrients of sandy soil.

**Keywords:** organic materials; biochar; sandy soil; biological properties; correlation