

生物质炭及炭基硝酸铵肥料理化性质研究

高海英¹, 陈心想¹, 张 雯¹, 何绪生¹, 耿增超¹, 余 雕¹, 郭永利²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西安市长安区农业技术推广中心, 陕西 西安 710100)

摘 要: 通过元素分析、灰分测定、环境扫描电镜、红外光谱及土壤水分特征曲线测定, 较系统分析和评价竹炭和木炭两种生物质炭及生物质炭基硝酸铵的部分理化性质、形貌结构及土壤水分吸持特征, 以为生物质炭作肥料缓释载体应用提供参考。研究表明: 实验所用生物质炭含碳量高达60%以上, 并含有N、H、O等元素。竹炭比木炭富含灰分, 而竹炭比木炭负载硝酸铵量低, 其分别约为8%和18%。生物质炭基硝酸铵呈无定形、多孔状结构, 基本保持生物质炭的微观形态。生物质炭与氮肥复合是靠物理吸附相结合的, 复合中未发生化学变化。供试生物质炭呈碱性, 吸附氮肥后pH值降低。两种生物质炭对土壤持水容量或能力有一定的改善作用, 其改善程度与土壤质地有关。传统工艺竹炭、木炭也可作肥料养分的载体。

关键词: 生物质炭; 硝酸铵; 生物质炭基硝酸铵; 理化性质; 形貌结构; 水分特征

中图分类号: S14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0014-07

生物质炭(或生物炭)是生物有机材料(或生物质)在缺氧或低氧环境中热裂解产生的固态产物^[1,2]。Wim Sombroek^[3]对亚马逊河谷古印第安人遗迹黑色土壤(*Terra Preta*)的研究引起了全球众多学者对生物质炭的广泛关注^[4,5]。生物质炭在能源、环境以及农业方面具有广泛而重要的应用^[6]。在废弃生物质热裂解生产生物质炭的过程中, 还可获得混合气及生物油, 其进一步可加工制取氢气及其他化学品, 这在一定程度上可降低对化石基能源和原料的依赖, 从而降低化石基能源与原料的碳排放; 同时也可促进废弃生物质资源的有效利用, 美化环境^[7]。有关生物质炭基本性质及在农业上的应用国内外均有报道^[8-13]。生物质炭富含有机碳, 施入土壤可增加土壤有机碳含量, 提高土壤养分吸持容量^[14]。生物质炭大多呈碱性, 可提高酸性土壤pH值及一些养分有效性^[15]。生物质炭具有较强的离子吸附交换性能, 可改善土壤阴、阳离子交换量, 提高土壤保肥性能^[16]。生物质炭多孔隙结构是土壤微生物良好的栖息环境^[17-18]。生物质炭含有一定量矿质养分, 可改善贫瘠土壤的养分供应^[15]。但是, 由于生物质炭主要元素为碳, 矿质元素含量较低, 施入土壤会使土壤C/N比提高, 从而降低土壤氮素有效性^[19]。因此, 单独施用生物质炭在多数土壤上会导致当季或几季作物无增产效应, 甚至减产^[20-21]。因此, 生物质炭与肥料复合成为生物质

炭农用的一个新的发展方向。钟雪梅等^[22-23]采用粘合剂将竹炭与尿素肥料包膜制成竹炭基包膜肥料, 具有一定氮素缓释作用。Khan^[24]用木炭在NPK肥料溶液中通过吸附法制备生物质炭基复合肥, NPK养分均呈缓慢而恒稳释放。由于氮肥是作物生产中用量最大, 增产作用明显且环境风险最大的肥料^[25-31], 因此, 本研究在实验室小试制备两种生物质炭基硝酸铵肥料, 并采用元素及灰分分析, 电镜、红外光谱及水分特征曲线分析, 观察和评价供试生物质炭及生物质炭基硝酸铵肥料, 了解生物质炭及生物质炭基硝酸铵的理化性质、形貌结构及水分吸持特征, 以期能为生物质炭农用提供理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本研究试验于2010年9月—2011年4月在西北农林科技大学资源环境学院实验室进行。

1.2 试验材料

供试肥料: 分析纯硝酸铵试剂(简称AN), 含N量35%。传统工艺竹炭和木炭均属市场采购, 竹炭和木炭研磨后通过1 mm孔筛。BAN、CAN肥料是由竹炭(简称B)、木炭(C)材料置于一定浓度硝酸铵水溶液中吸附平衡24 h后, 并在80℃恒温箱烘干后通过1 mm孔筛。竹炭基氮肥(BAN)含N量7.83%、

收稿日期: 2011-10-11

基金项目: 林业局948项目(2009-4-64); 农业部948项目(2010-Z19); 陕西省攻关项目(2010K02-12-1)

作者简介: 高海英, 女(1985—), 硕士研究生, 从事新型肥料研究。E-mail: hygao0902@sina.com.cn。

通讯作者: 耿增超(1963—), 男, 教授, 主要从事农林废弃物资源化利用及森林土壤研究。E-mail: gengzengchao@sia.com.cn。

木炭基氮肥(CAN)含 N 量 17.59%。

供试土壤:供试土壤分别采自陕西省杨凌农业高新示范区二道塬的塬土(土壤 S1);陕西省杨凌示范区渭河河滩的新积土(土壤 S2)。根据国际制土壤质地分级标准 S1、S2 质地分别为砂壤土和壤砂土,其供试土壤的颗粒组成见表 1。

表 1 供试土壤机械组成(%)
Table 1 Mechanical analysis of tested soils

项目 Item	砂粒 Sand (2~0.02 mm)	粉粒 Silt (0.02~0.002 mm)	粘粒 Clay (<0.002 mm)
S1	61.74	32.09	6.17
S2	86.45	11.02	2.53

1.3 试验方法

1.3.1 生物质炭及炭基硝酸铵的元素分析 将材料 BAN、CAN 及 B、C 于鼓风恒温干燥箱中(80±1℃)恒温 24 h,称取 2~3 mg 样品用 Vario EL III 型元素分析仪分析元素含量(采用 CHN 模式)。

1.3.2 生物质炭粗灰分测定 分别称取竹炭和木炭材料 2 g(准确到 0.0001 g),三次重复,于高温电炉中(500±20℃)条件下灼烧 2 h,计算其粗灰分含量。

1.3.3 生物质炭及炭基硝酸铵的红外光谱观察 称取 1~2 mgBAN、CAN 及 B、C 粉末样品,分别与 KBr 一起压片制备成红外扫描样品,用 EQUINX55 型号傅立叶变换红外光谱仪(Bruker)在波数 4 000—400 cm⁻¹范围内扫描并记录红外光谱图。

1.3.4 生物质炭及炭基硝酸铵的 pH 值测定 称取 BAN、CAN 及 B、C 粉末干样品 1 g,以水/样为 25:1 加无 CO₂ 蒸馏水,用 DELTA320 pH 计测定样品 pH 值。

1.3.5 生物质炭及炭基硝酸铵的显微观察 生物质炭基硝酸铵及生物质炭材料的形貌结构采用 Quanta 200 环境扫描电镜观察。

1.3.6 生物质炭及炭基硝酸铵的吸持特征

1) 吸水特征测定。

① 蒸馏水:分别称取 BAN、CAN 及 B、C 干样品 2 g(准确到 0.0001 g)三份,装入 200 目尼龙袋中,将其分别放入盛有 100 ml 蒸馏水中充分吸水后(24 h),用滤纸拭去明水称其质量(连同袋子一起称量),用下列公式计算吸水倍率。

$$SR = (W_s - W_d) / W_d$$

式中, W_s 指室温下吸水饱和状态下的样品重量; W_d 指室温下烘干样品的重量。

② 土壤溶液:通过 1 mm 筛孔的风干土壤与蒸

馏水配置成 2.5:1、5:1、10:1 不同水/土比的混合液,搅拌均匀后静置 24 h,过滤土/水混合液得到不同浓度的土壤溶液,用测定吸水倍率方法测定样品在不同水/土比土壤溶液中的吸水倍率。

2) 水分特征曲线。

水分曲线采用高速离心机法(日本日立公司, Hima-CR21G 型高速冷冻离心机)。将 BAN、CAN 及 B、C 分别与土壤按照 80 t/hm² 用量混合,制成均质混合样品。于高速离心机 25℃ 恒温不同转速下(相当于水吸力 PF 为 0.1、0.3、0.6、0.8、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0)离心平衡若干时间,计算不同吸力下土壤容积含水量,并绘制土壤水分特征曲线。

2 结果与分析

2.1 元素组成

目前市场上销售的传统工艺生物质炭是块状或颗粒状的黑炭,虽然肉眼观察形态上不同于现代热裂解生物质得到粉状颗粒生物质炭,但是,由表 2 看出,实验所用竹炭和木炭是碳含量很高的两种碳材料,其次是氧、氮、氢及一些灰分元素,竹炭基硝酸铵和木炭基硝酸铵中含氮量明显高于竹炭及木炭。竹炭、木炭含碳量分别高达 62.61% 和 81.13%,木炭具有更高的含碳量,而竹炭的粗灰分含量较高,说明竹炭含有较多的矿质养分。实验室小试制备的生物质炭基硝酸铵由于负载了氮肥,氮素含量增加,较原生物质炭材料相比其含碳量降低。由于竹炭所含灰分含量远高于木炭灰分含量,而通过吸附作用负载到竹炭上的硝酸铵含量却低于木炭的负载量,说明生物质炭负载养分的容量与其本身含有的灰分含量高低有较大的关系,这可能与灰分元素占据了生物质炭的一些吸附点位有关。因此,不同生物质炭通过吸附法负载肥料的量或能力需要系统研究。

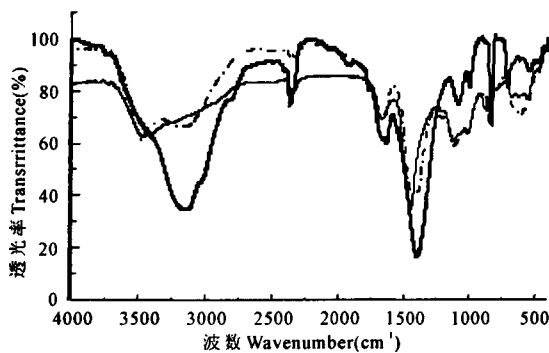
表 2 生物质炭及生物质炭基硝酸铵 C、H、N、O 含量和粗灰分含量

Table 2 CHNO and ash content of biochars and biochar-based ammonium nitrate fertilizers					
样品 Sample	C(% wt)	H(% wt)	N(% wt)	O(% wt)	灰分含量(% wt) Ash content
B	62.61	0.02	0.75	16.91	19.71
C	81.13	2.36	0.69	13.15	2.67
BAN	59.76	2.35	7.83	30.06	—
CAN	40.64	3.62	17.59	38.15	—

2.2 红外光谱

由图 1 可以看到竹炭基硝酸铵的红外光谱与硝酸铵氮肥的红外光谱十分相似,在官能团波数段有

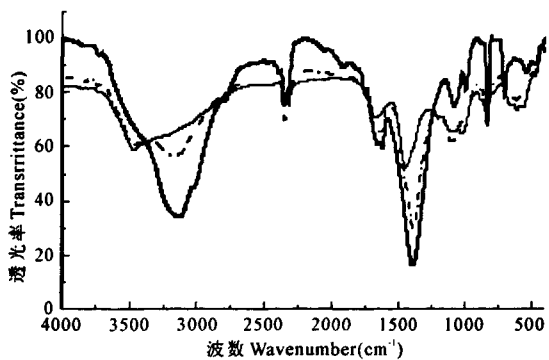
3 151.27 ~ 3 153.199 cm^{-1} (N - H 伸展振动吸收峰)、2 375.988 ~ 2 377.917 cm^{-1} 、1 375.065 ~ 1 376.993 cm^{-1} 位置相同,而在 3 300 ~ 3 030 cm^{-1} 波段是 NH_4^+ 极强的红外吸收区域,1 380 ~ 1 350 cm^{-1} 是 NO_3^- 极强的吸收区域,在 1 100 ~ 600 cm^{-1} 的指纹区也十分相似,反映了竹炭基硝酸铵的红外吸收峰仅是竹炭和硝酸铵红外吸收峰的叠加,这说明硝酸铵氮肥在与竹炭吸附过程中没有发生结构上的化学变化,在竹炭基氮肥中仍保持原有的分子特征,即硝酸铵与竹炭材料的吸附仅是物理上的结合而未发生化学反应。



粗黑实线:硝酸铵;细黑实线:竹炭材料;黑虚线:竹炭基硝酸铵
Thick solid line: NH_4NO_3 ; Thin solid line: bamboo charcoal; Dotted line: bamboo charcoal + NH_4NO_3

图 1 竹炭基硝酸铵、竹炭材料及硝酸铵氮的红外光谱图

Fig.1 IR spectra of bamboo charcoal and bamboo charcoal-based ammonium nitrate and NH_4NO_3



粗黑实线:硝酸铵;细黑实线:木炭材料;黑虚线:木炭基硝酸铵
Thick solid line: NH_4NO_3 ; Thin solid line: wood charcoal; Dotted line: charcoal + NH_4NO_3

图 2 木炭基硝酸铵、木炭材料及硝酸铵氮肥的红外光谱图

Fig.2 IR spectra of charcoal and wood charcoal-based ammonium nitrate fertilizer and NH_4NO_3

由图 2 可看到木炭基硝酸铵的红外光谱同硝酸铵图谱十分相似,同样在官能团波数段有 3 126.199 ~ 3 128.127 cm^{-1} (N - H 伸展振动吸收峰)、2 402.988 ~ 2 404.917 cm^{-1} 、1 625.778 ~ 1 627.706

cm^{-1} 、1 375.065 ~ 1 376.993 cm^{-1} 位置相同,而在波段 1 380 ~ 1 350 cm^{-1} 又恰是 NO_3^- 极强的红外吸收区域,3 300 ~ 3 030 cm^{-1} 为 NH_4^+ 极强的红外吸收区域,并且在 1 100 ~ 600 cm^{-1} 的指纹区也十分相似,木炭基硝酸铵的红外吸收峰也仅是木炭和硝酸铵各自红外吸收峰叠加,这也说明硝酸铵在与木炭吸附过程中未发生结构上的化学变化而仅是物理上的结合。

2.3 酸碱度

生物质炭大多呈碱性,因此,将生物质炭施入土壤可提高酸性土壤 pH 值^[14-15]。生物质炭中含有较多的盐基离子,如钙、镁、钾等,可交换降低土壤氢离子和交换性铝离子水平^[32-33]。因此,生物质炭可作为酸性土壤改良剂或中和剂。实验所用竹炭和木炭的 pH 值分别为 9.18 和 8.73,具有较强的碱性,因此,实验生物质炭也可作为土壤酸的中和剂。而实验所用竹炭和木炭在负载硝酸铵化学肥料后,其 pH 值显著降低,分别降低至 7.0 和 6.78,接近中性,使其适用土壤和植物更加广泛。

表 3 生物质炭基氮肥及炭材料 pH 值

Table 3 pH values of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizer

样品 Sample	B	C	BAN	CAN
pH	9.18	8.73	7.0	6.78

2.4 形貌结构

由图 3 可看出,竹炭材料在微观结构上是非均质的块状物质,有些部分质地致密,有些疏松,表现有大量的网状孔隙结构。进一步放大图像观察可看到,这些网状微孔结构大小、形状各异,且排列紧密,表形光滑。从竹炭基硝酸铵不同放大倍率的 SEM 图像可看出:竹炭微孔表面零星分布着一些颗粒状物质,这可能是因吸附作用而吸附上的硝酸铵盐分,进一步放大图像看到网状孔表面及内部比原竹炭网状孔表面及内部粗糙,可能因表面吸附盐分而导致的。

由图 4 可看到,木炭材料是微观结构上呈现较为相近且排列紧密的管状孔隙结构,孔隙结构纵横排列,孔隙管壁质地致密光滑。这些孔隙结构及表面为负载肥料提供了空间和吸附表面。由木炭基硝酸铵的 SEM 图像可看出,木炭基硝酸铵在 150 倍放大倍率下呈现为小颗粒状或小块状的物质,形状各异,且有白色反光的盐分物质,进一步放大到 600 倍和 1 300 倍后可看到木炭孔隙中分布有较多的片状和颗粒状的发白物质,这些可能是吸附上去的硝酸铵盐分,这反映了木炭吸附上去的硝酸铵量比竹炭

吸附上的硝酸铵量大,实际上元素分析结果也反映了这种差异。

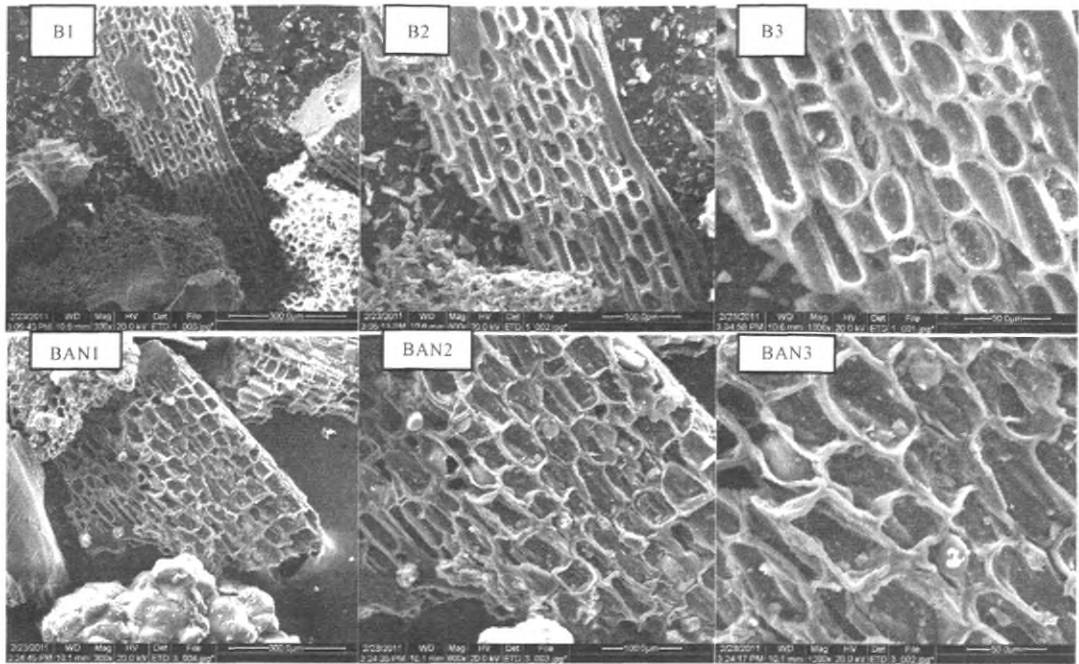


图 3 竹炭基硝酸铵及竹炭材料的 SEM 图像

Fig.3 SEM image of bamboo charcoal-based ammonium nitrate fertilizer and bamboo charcoal

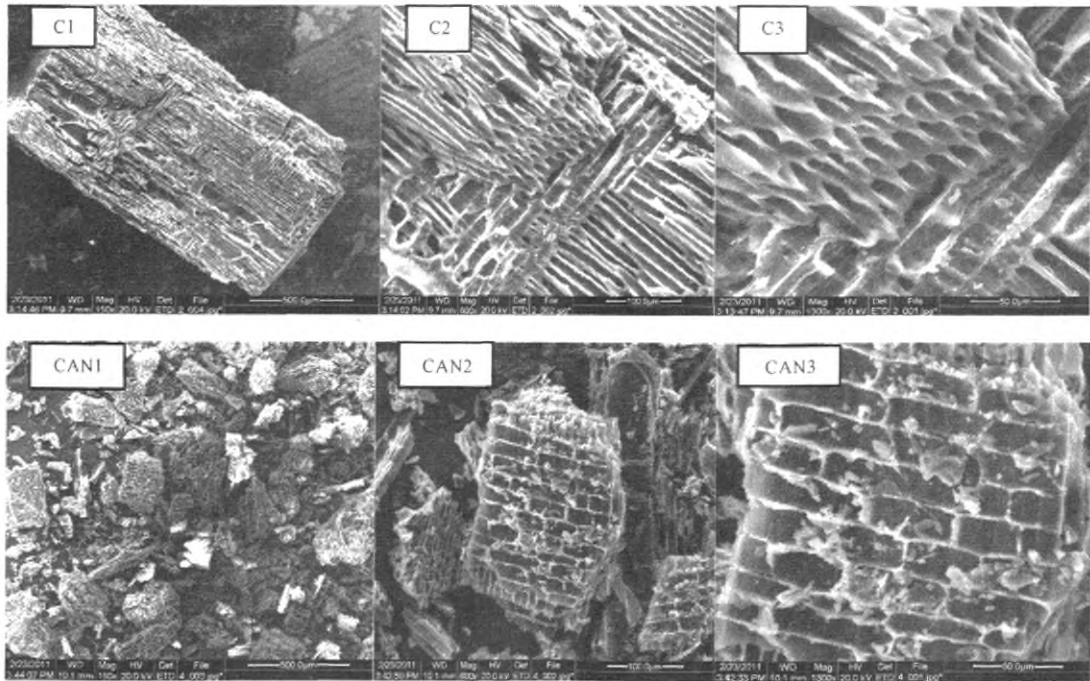


图 4 木炭基硝酸铵及木炭材料的 SEM 图像

Fig.4 SEM image of wood charcoal-based ammonium nitrate fertilizer and wood charcoal

2.5 水分吸持特征

实验测定两种供试土壤自身的吸水倍率分别为 0.84 g/g 和 0.59 g/g。而由表 4 可以看到木炭大于竹炭在蒸馏水及不同水/土比土壤溶液中的吸水倍率,两种生物质炭又大于相应的炭基硝酸铵在蒸馏

水及不同水/土比土壤溶液的吸水倍率,生物质炭及炭基肥料都远大于两种土壤自身的吸水倍率,说明生物质炭及其肥料具有改善土壤吸持水分能力的潜力。随着水/土比减少,生物质炭及生物质炭基氮肥的吸水倍率呈减小趋势,这可能与水/土比降低,土

壤溶液中可交换离子浓度增大而引起的交换离子与水分子竞争生物质炭表面的吸附位点有关。因而,土壤中可交换离子浓度是抑制生物质炭及生物质炭基硝酸铵肥料吸水持水吸水能力的一个因素。竹炭灰分含量较木炭高,说明竹炭矿质元素含量高,由于生物质炭本身所含的矿质元素占据其表面的吸附位点而降低其对水分的吸持,因而竹炭比比木炭的吸水倍率较低。木炭矿质养分元素含量较低,土壤溶液中各养分离子吸附于其表面吸附电位上,且随着水土比增大其吸水倍率也呈增大趋势,这可能与水土混合溶液中含有较高的矿质元素有关,该结论还有待于进一步深入研究。生物质炭材料在负载上硝酸铵后,由于 NO_3^- 和 NH_4^+ 会分别消耗生物质炭表面的正电荷或负电荷吸附点位,从而生物质炭基硝酸铵肥料的吸水倍率比相应炭材料的低。由表 4 还可看出,同一种生物质炭在砂壤土土壤溶液中的吸

水倍率略高于其在壤砂土土壤溶液中的吸水倍率,说明在同一水/土比下,砂壤土土壤溶液的可交换离子浓度低于壤砂土,这与砂壤土比壤砂土具有较高的养分吸持能力有关。而生物质炭基硝酸铵肥料在供试两种土壤土壤溶液中吸水倍率的表现则与生物质炭相反,同一种生物质炭硝酸铵肥料在砂壤土土壤溶液中的吸水倍率比在壤砂土土壤溶液中的吸水倍率较低,这可能与两种质地土壤溶液中离子种类多少有关,因为虽然砂壤土比壤砂土的土壤溶液中可交换离子浓度低,但前者土壤溶液中所含离子种类可能较多,当生物质炭基硝酸铵肥料加入到土壤溶液中时,通过离子交换后,生物质炭基硝酸铵交换体在砂壤土土壤溶液中比在壤砂土土壤溶液中的生物质炭基硝酸铵交换体具有较低的水化度,因而生物质炭基吸硝酸铵比水倍率在砂壤土土壤溶液中比在壤砂土土壤溶液中的较低。

表 4 生物炭及炭基硝酸铵肥料在蒸馏水及不同水/土比土壤溶液中的吸水倍率(g/g)
Table 4 Absorbency of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizer in distilled water
and soil solutions of different ratios of water to soil

样品 Sample	吸水倍率 Absorbency						
	蒸馏水 Distilled water	砂壤土 Sandy loam			壤砂土 Loamy sand		
		2.5:1	5:1	10:1	2.5:1	5:1	10:1
B	1.85	1.71	1.75	2.25	1.57	1.75	1.85
C	2.62	3.04	3.05	3.36	2.90	3.16	3.27
BAN	1.22	1.05	1.15	1.18	1.17	1.22	1.37
CAN	1.66	1.46	1.51	1.73	1.62	1.75	2.05

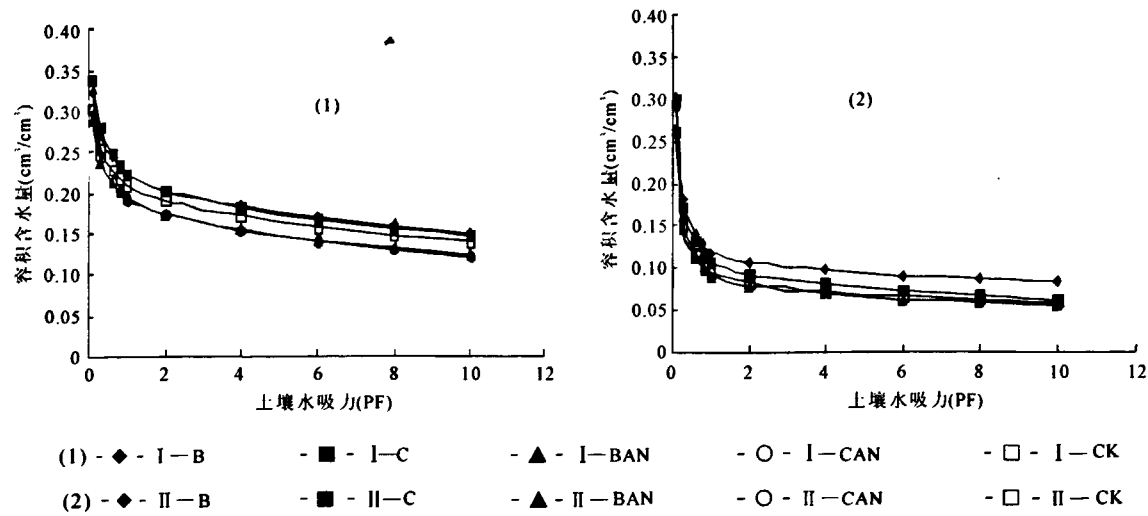


图 5 生物炭材料及炭基氮肥处理土壤的水分特征曲线
Fig.5 Water characteristic curves of soils treated with biochars and biochar-based nitrogenous fertilizers

由图 5 可看到:生物质炭、生物质炭基硝酸铵肥料对砂壤土和壤砂土的土壤水分曲线走向趋势一致,即在低吸力范围内曲线都有个急速下降阶段,之后随吸力增加出现一个较长的平缓区。但是壤砂土

各处理曲线要比砂壤土相的各处理曲线陡直。对于壤砂土而言,在相同吸力条件下,混施生物质炭土壤的容积含水量高于空白(既不施生物质炭又不施生物质炭基硝酸铵)土壤。生物质炭的多孔隙结构,巨

大的比表面积(通常为 $200 \sim 400 \text{ m}^2/\text{g}$)^[34],较高的吸水倍率,是其改善土壤持水量的内在原因。由图5还可看出:混施两生物质炭基硝酸铵的砂壤土和壤砂土持水量并未得到改善,在相同水吸力下同对照相比反而降低了土壤容积含水量。有报道显示,生物质炭用量在 $88 \text{ t}/\text{hm}^2$ 时可在水分特征曲线上表现出水分持水量的改善^[6,35]。本实验设计生物质炭材料、生物质炭基硝酸铵按照 $80 \text{ t}/\text{hm}^2$ 用量与土壤混合,由于负载上硝酸铵,生物质炭基硝酸铵在同一生物质炭材料相等混施量下,炭材料所占比例降低,因而施加生物质炭基硝酸铵肥料土壤的持水容量有所降低。其次,由于负载硝酸铵,会给土壤带入大量的盐分,从而导致生物质炭的吸水倍率降低,因而,添加生物质炭基硝酸铵肥料处理的土壤持水容量改善不明显。因此,生物质炭负载肥料养分后降低生物质炭吸水持水能力的作用可能是无法回避的问题,但这种降低作用在生物质炭养分释放后可能得到部分消除。

3 讨论与结论

生物质炭作为土壤改良剂和二氧化碳固定剂国外有较多的研究报道^[36-37],但是生物质炭作为肥料载体研究刚刚起步。本文所讨论的竹炭和木炭,虽然在宏观形态上不同于热裂解工艺的生物炭,但其也具有很高的含碳量,也具有吸附负载肥料养分的功能。竹炭和木炭在微观形态上存在差异,这是其吸附负载养分容量上差异的物理结构基础。竹炭和木炭所负载的硝酸铵与其竹炭和木炭材料间未发生化学反应,主要是以竹炭和木炭的孔隙和表面吸附作用负载肥料,竹炭和木炭所负载肥料养分的量存在较大差异,说明竹炭和木炭的吸附能力存在差异。本研究中的砂质壤土较壤质砂土大孔隙少而中小孔隙多,持水性能好,因此,在同一生物质炭或生物质炭基硝酸铵肥料处理下,砂质壤土持水容量大。说明生物质炭、生物质炭基硝酸铵对土壤水分吸持因土壤质地不同而存在差异。通常情况下,生物质炭对土壤持水量的影响主要取决于生物质炭的亲水性以及生物炭与土壤比表面积的相对大小^[38,39]。亲水性强、比表面积比土壤大的生物质炭可提高土壤持水量,而生物质炭的亲水性主要取决于生物质炭的亲水基团和比表面积,生物质炭上的亲水基团,如羟基、羧基等基团都较为活跃,生物质炭复杂的孔隙结构使其具有较大的比表面积,这是生物质炭改善土壤水分吸持量的内在原因,同时也是生物质炭负载肥料养分,作为肥料载体的基础和内在原因。

结论如下:

- 1) 竹炭粗灰分含量高于木炭,但负载硝酸铵养分的量低于木炭。
- 2) 竹炭和木炭均呈碱性,负载硝酸铵后 pH 均显著降低,接近中性。
- 3) 竹炭和木炭负载硝酸铵是物理吸附机制起作用的,吸附过程中未发生化学变化。
- 4) 竹炭和木炭可提高砂质壤土和壤质砂土持水量,其管状或网状孔隙结构及其产生的表面是提高土壤持水量的内在原因,同时也是生物质炭负载肥料养分的物理结构基础。

致谢:感谢农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室、农业部西北植物营养与农业环境重点实验室为该研究提供实验平台。

参考文献:

- [1] Tenenbaum D J. 黑色的希望:生物炭[J]. 资源与人居环境, 2010, (7):55-57.
- [2] 刘玉学,刘 微,吴伟祥,等. 土壤生物质炭环境行为与环境效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4):977-982.
- [3] Sombroek W G. Biomass and Carbon Storage in the Amazon Ecosystems[J]. Interciencia, 1992, 17:269-272.
- [4] 邱 敬,高 人,杨玉盛,等. 土壤黑碳的研究进展[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(1):88-94.
- [5] Whitman T, Lehmann J. Biochar—One way forward for soil carbon in offset mechanisms in Africa? [J]. Environmental Science & Policy, 2009, 12(7):1024-1027.
- [6] 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):1-4.
- [7] Laird D A, Brown R C, Amonette J E, et al. Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar[J]. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2009, 3(5):547-562.
- [8] 张阿凤,潘根兴,李恋卿. 生物黑炭及其增汇减排与改良土壤意义[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12):2459-2463.
- [9] 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.
- [10] 傅秋华. 竹炭对土壤性质和高羊茅生长的影响[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(2):159-161.
- [11] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(5):1719-1730.
- [12] Ogawa M, Okimori Y. Pioneering works in biochar research, Japan [J]. Australian Journal of Soil Research, 2010, 48:489-500.
- [13] Warnock D D, Lehmann J, Kuyper T W, et al. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms[J]. Plant and Soil, 2007, 300(1/2):9-20.
- [14] Zwieter L Van, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. Plant and Soil, 2010, 327(1/2):235-246.
- [15] Novak J M, Busscher W J, Laird D L, et al. Impact of Biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil[J]. Soil Science, 2009, 174(2):105-112.
- [16] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases

- cation exchange capacity in soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2006, 70 (5):1719-1730.
- [17] Magrini-Bair K A, Czernik S, Pilath H M, et al. Biomass derived carbon sequestering designed fertilizers[J]. *Annals of Environmental Science*, 2009, 3(12):217-225.
- [18] Ogawa M. Symbiosis of people and nature in the tropics[J]. *Farming Japan*, 1994, 28(5):10-34.
- [19] 宋延静, 费骏. 施用生物炭对土壤生态系统功能的影响[J]. *鲁东大学学报(自然科学版)*, 2010, 26(4):361-365.
- [20] Asai H, Samson B K, Stephan H M, et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield[J]. *Field Crops Research*, 2009, 111(1/2):81-84.
- [21] Yan G Z, Kazuto S, Satoshi F, et al. The effects of bamboo charcoal and phosphorus fertilization on mixed planting with grasses and soil improving species under the nutrients poor condition[J]. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2004, 30(1):33-38.
- [22] 钟雪梅, 朱义年, 刘杰, 等. 竹炭包膜氮肥的利用率比较[J]. *桂林工学院学报*, 2006, 26(3):404-407.
- [23] 钟雪梅, 朱义年, 刘杰, 等. 竹炭包膜对肥料氮淋溶和有效性的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(增刊):154-157.
- [24] Khan M A, Kim K W, Wang M Z, et al. Nutrient-impregnated charcoal: an environmentally friendly slow-release fertilizer[J]. *Environmentalist*, 2008, 28(3):231-236.
- [25] 金继运, 李家康, 李书田. 化肥与粮食安全[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(5):601-607.
- [26] 莫振邦. 简析化肥对现代农业的作用[J]. *农资科技*, 2003, (4):15-18.
- [27] 王祖力, 肖海峰. 化肥施用对粮食产量增长的作用分析[J]. *农业经济问题*, 2008, (8):65-68.
- [28] 林葆. 化肥与无公害农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 58-62.
- [29] 张民. 发展控释肥——解决化肥利用率低的新思路[J]. *中国农资*, 2006, (6):60-62.
- [30] 袁洋. 肥料的科学生产与施用[J]. *磷肥与复肥*, 2010, 25(1):69-71.
- [31] 江善襄. 磷酸、磷肥和复混肥料[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991:18-23.
- [32] Masulili A, Utomo W H, Syechfani M S. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonesia[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2010, 2(1):39-47.
- [33] Novak J M, Lima I, Baoshan Xing, et al. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand[J]. *Annals of Environmental Science*, 2009, 3:195-206.
- [34] Kishimoto S, Sugiura G. Charcoal as a soil conditioner[J]. *Symposium on Forest Products Research International Achievements for the Future*, 1985, 5(12):12-23.
- [35] Gaskin J W, Speir A, Morris L M. Potential for pyrolysis char to affect soil moisture and nutrient status of a loamy sand soil[C]//Gaskin J W. *Proceedings of the 2007 Georgia Water Resources Conference*, USA: University of Georgia, 2007:1-3.
- [36] Baldock J A, Smernik R J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red Pine) wood[J]. *Organic Geochemistry*, 2002, 33(9):1093-1109.
- [37] Spokas K A, Reicosky D C. Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production[J]. *Annals of Environmental Science*, 2009, 3(11):179-193.
- [38] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—review[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35(4):219-230.
- [39] 何绪生, 张树清, 余雕, 等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(15):16-23.

A study on physicochemical properties of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizers

GAO Hai-ying¹, CHEN Xin-xiang¹, ZHANG Wen¹, HE Xu-sheng¹, GENG Zeng-chao¹, SHE Diao¹, GUO Yong-li²

(1. College of Environment and Resources, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Agricultural Technology Extension Center of Chang'an District, Xi'an, Shaanxi 710100, China)

Abstract: The physicochemical properties, morphology and water-retaining characteristics of two biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizers were investigated through ultimate and ash analysis, environmental scanning electronic microscope (ESEM), infrared microscopy (IR) and water characteristic curve in order to promote application of biochar to fertilizer. The results indicate that the carbon content of the two biochars tested in this research is more than 60%, and the biochars have small amount of N, H, O. The bamboo charcoal has much more ash than that of wood charcoal, and the ammonium nitrate (AN)-loaded content of them are about 8% and 18% respectively. The micro-structure of biochar-based AN fertilizer exhibits amorphous and porous structure, and keeps morphology characteristics of original biochar basically. Chemical reaction doesn't occur during the mixing of biochar with AN, and the AN-loaded to biochar belongs to physical adsorption. The two biochars exhibit alkaline in pH, however, the pH of the AN-loaded biochar declines. The two biochars show some improvement for water-retaining capability of soils which depends on the application rate of biochar and soil texture. Bamboo charcoal and wood charcoal is also used as carrier for fertilizer nutrients.

Keywords: biochar; ammonium nitrate; biochar-based ammonium nitrate fertilizer; physicochemical properties; morphology; water characteristics