

# 不同炭化条件对黑沙蒿生物炭保水性能的影响

姚俊卿<sup>1,2,3,4</sup>, 侯建伟<sup>1,2,3,4</sup>, 索全义<sup>5</sup>, 段玉<sup>1,2,3,4</sup>, 张君<sup>1,2,3,4</sup>, 景宇鹏<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 内蒙古农牧业科学院 资源环境与检测技术研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2. 内蒙古旱作农业重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010031; 3. 农业部内蒙古耕地保育科学观测实验站, 内蒙古 呼和浩特 011705; 4. 农业部武川农业环境科学观测实验站, 内蒙古 呼和浩特 011705; 5. 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:**生物炭具有丰富的孔隙结构和巨大的比表面积, 是一种良好的保水材料。为探究沙蒿生物炭保水效果对炭化条件的响应, 设置不同的炭化温度、炭化时间和升温速率 3 个炭化条件, 对沙蒿进行无氧炭化, 研究各种生物炭的吸水和保水效果。结果表明: 生物炭和沙蒿的吸水率均较高, 分别为  $4\,246.6 \sim 4\,803.3\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $5\,340.3\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  的生物炭在去离子水中的保水能力相对较强, 其拟合曲线的决定系数为  $0.963\,4 \sim 0.986\,2$ , 且炭化  $60\text{ min}$  时最大, 为  $0.986\,2$ , 沙蒿最小, 为  $0.938\,1$ ; 在沙土中的蒸发速率分别为自然沙的  $0.955 \sim 0.996$  倍和  $0.996$  倍,  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  炭化  $60\text{ min}$  时最小, 炭化  $5\text{ min}$  时最大。而升温速率在生物炭的吸水和保水效果中不起决定作用。因此, 生物炭的保水性能主要取决于炭化温度和时间, 其吸水和保水性能不具有致性, 而在去离子水和沙土中的保水性能具有一致性;  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  炭化  $60\text{ min}$  的生物炭是提高沙土保水性能的最优选择。

**关键词:**沙蒿; 生物炭; 炭化条件; 吸水率; 保水性能

**中图分类号:**S 152.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)06-0171-06

土壤孔隙的连通性及分布决定着土壤的持水性, 此外, 土壤有机质、土壤结构特征和粒径等也对其有显著影响<sup>[1]</sup>。生物炭因自身巨大的比表面积, 施入土壤后同样也增加了土壤的比表面积, 从而提高了土壤的持水力, 对土壤微生物群落的繁衍及土壤整体的吸附能力都有利, 导致土壤的保水性能得

以提高<sup>[2]</sup>。TRYON<sup>[3]</sup>研究表明, 不同质地的土壤有效水对生物炭的响应差异巨大。认为生物炭可显著提高沙土的有效水(约增加  $18\%$ ), 不会显著影响壤土的有效水, 而降低了黏质土壤的有效水。生物炭对土壤持水性能的影响因土壤质地和生物炭类型等因素的不同而有差异<sup>[4-5]</sup>, 也是目前研究中比较集中的内容。

生物炭的特性由原料和制备条件所决定。目前, 研究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>, 而对沙地特殊生境下的沙蒿作为制取生物炭材料的研究和对不同制备条件下生物炭的保水效果的研究较少。该研究以沙蒿为试验材

**第一作者简介:**姚俊卿(1958-), 男, 农艺师, 现主要从事育种和耕作栽培等研究工作。E-mail: yaojunqing2012@163.com.

**责任作者:**侯建伟(1986-), 男, 博士, 助理研究员, 现主要从事植物营养与施肥等研究工作。E-mail: hjw19860627@126.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31260502); 公益性行业(农业)科研专项资助项目(201503120)。

**收稿日期:**2016-12-05

the grade I level, and the main limiting factor of soil nutrients was total phosphorus. Different correlations were observed among soil carbon, nitrogen, phosphorus and their stoichiometric characteristics, and there was an opposite relationship between the total nitrogen and total phosphorus. Soil total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen and organic matter contents were mainly influenced by slope gradient, soil texture, plant community structure and exogenous input.

**Keywords:** coal-fired power; plant community structure; ecology; soil nutrients

料,在不同炭化条件下制取沙蒿生物炭研究其保水性能,以明确不同炭化条件下生物炭的持水能力。旨在为选择良好保水效果的生物炭,为解决瘠薄沙土干旱、弱保水性等问题提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为黑沙蒿,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阳光下晒干后粉碎 65 ℃烘至恒重(约 24 h),放入干燥器中制取生物炭。

炭化设备选用的是洛阳市西格马仪器制造有限公司生产的人工智能箱式电阻炉(SGM. VB8/10),该设备可进行升温速率、炭化时间和炭化温度的调控。称取烘干沙蒿 25.0 g,在试验设计的条件下通过抽真空创造无氧环境制备生物炭。炭化结束后使其自然降温,放入干燥器冷却后称重。

### 1.2 试验方法

拟分别选取炭化温度 300、600、900 ℃炭化时间 60 min,升温速率 150 ℃·h<sup>-1</sup>,即为 T<sub>300 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub>(T<sub>1</sub>), T<sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub>(T<sub>2</sub>)和 T<sub>900 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub>(T<sub>3</sub>);炭化温度 600 ℃炭化时间 5、60、150 min,升温速率 150 ℃·h<sup>-1</sup>,即为 T<sub>600 t<sub>5</sub> V<sub>150</sub></sub>(T<sub>4</sub>), T<sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub>(T<sub>2</sub>), T<sub>600 t<sub>150</sub> V<sub>150</sub></sub>(T<sub>5</sub>);炭化温度 600 ℃,炭化时间 60 min,升温速率 50、150、250 ℃·h<sup>-1</sup>,即为 T<sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>50</sub></sub>(T<sub>6</sub>), T<sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub>(T<sub>2</sub>), T<sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>250</sub></sub>(T<sub>7</sub>),各个炭化条件下得到生物炭材料,生物炭的制备原料沙蒿粉(T<sub>8</sub>)及自然沙(T<sub>0</sub>)共 8 个材料(过 2 mm 筛)作为 8 个处理。

### 1.3 项目测定

1.3.1 生物炭的元素测定 全 C、H 和 N 含量采用 CHN 元素分析仪(德国 elementar, Vario Macro)测定,有机组分的元素组成通过扣除灰分(直接灰化法)含量得到并最终计算为质量百分数,O 元素含量采用差量法计算,样品平行测定 3 次,用平均值计算有机质组分的 H/C、O/C 和(O+N)/C 的原子比。

1.3.2 生物炭的吸水率性能测试 称取上述试验材料各 0.05 g 放入烧杯中,加入 120 mL 去离子水,于 25 ℃恒温培养箱中放置 24 h 后,用 200 目尼龙网筛过滤,过滤后的生物炭称重(无生物炭透过尼龙网筛),每处理 3 次重复,共计 21 个,按下式计算生物炭的吸水率:  $Q = (m_2 - m_1)/m_1$ ; 式中:Q 为生物炭吸水率(g·kg<sup>-1</sup>),m<sub>1</sub> 为加水前生物炭质量(g),m<sub>2</sub> 为过滤后生物炭质量(g)。

1.3.3 生物炭的保水性能测试 取一定量充分吸水后的生物炭,与等量去离子水(空白对照)同时置于培养皿中,敞口放置于 25 ℃恒温恒温培养箱中,每隔 1 h 称重 1 次(连续观测),直至恒重,即认为生物炭已完全失水,每处理 3 次重复,共计 21 个,按下式计算生物炭的保水率:  $R_i(\%) = m_i/m_0 \times 100$ ; 式中:R<sub>i</sub>—第 i 时保水率,m<sub>i</sub>—第 i 时生物炭的质量,m<sub>0</sub>—生物炭蒸发前的质量。

1.3.4 生物炭施入沙土后的保水性能测试 取沙蒿生长地 0~20 cm 土层,测其含水量,风干后过 2 mm 筛,在控制土壤容重的条件下与生物炭混合均匀(拟设置 0%(CK)、2.0%的生物炭施用量)装入塑料桶(8 cm×10 cm)中,每桶装干土 2.00 kg,每个水平添加到该土的饱和含水量,放置于 25 ℃恒温培养箱中,每隔 24 h 用 1/100 电子天平称量 1 次,每个处理 3 次重复,共计 21 个,按下式计算土壤保水率(R<sub>i</sub>):  $R_i(\%) = (m_i - m_0)/(m - m_0) \times 100$ ; 式中:R<sub>i</sub>—生物炭的保水率,i=1,2,3,...;m<sub>i</sub>—第 i 次称量时塑料桶中沙土和生物炭的总质量(g);m—土壤达饱和含水量后塑料桶中沙土和生物炭的总质量(g);m<sub>0</sub>—沙土和生物炭的初始质量。试验在室内进行,避免光照,同时设空白对照,试验后绘制土壤保水率 R<sub>i</sub>(%)与时间 t(h)的曲线并拟合方程。

### 1.4 数据分析

数据处理采用 SAS 9.0 软件进行方差分析(ANOVA),Excel 软件计算数据置信区间及绘制图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物炭的吸水性能

不同炭化材料的吸水性能不同,具体表现为:沙蒿>T<sub>600 t<sub>150</sub> V<sub>150</sub></sub>>T<sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub>>T<sub>600 t<sub>5</sub> V<sub>150</sub></sub>>T<sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>250</sub></sub>>T<sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>50</sub></sub>>T<sub>300 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub>>T<sub>900 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub>(表 1),说明炭化材料沙蒿能够最大限度的吸收水分,低温(300 ℃)和高温(900 ℃)均不利于生物炭吸水,这可能与不同炭化材料的自身结构有关。由多重均值

表 1 不同炭化材料在去离子水中的吸水率

Table 1 Water absorption rate of different carbonized material in deionized water

处理 Treatment	吸水率 Absorption rate/(g·kg <sup>-1</sup> )
沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i> (T <sub>8</sub> )	5 340.3±486.5a
T <sub>300 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub> (T <sub>1</sub> )	4 246.6±542.7c
T <sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub> (T <sub>2</sub> )	4 803.3±105.3b
T <sub>900 t<sub>60</sub> V<sub>150</sub></sub> (T <sub>3</sub> )	4 190.0±392.3d
T <sub>600 t<sub>5</sub> V<sub>150</sub></sub> (T <sub>4</sub> )	4 710.0±145.3ab
T <sub>600 t<sub>150</sub> V<sub>150</sub></sub> (T <sub>5</sub> )	4 876.7±120.1b
T <sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>50</sub></sub> (T <sub>6</sub> )	4 313.3±120.9b
T <sub>600 t<sub>60</sub> V<sub>250</sub></sub> (T <sub>7</sub> )	4 573.3±502.9b

检验结果可知,除炭化温度为 600 ℃ 的生物炭处理各处理间未达显著差异水平外,其它各处理间均差异显著( $P<0.05$ ),说明生物炭吸水性能与炭化温度关系紧密,炭化时间和升温速率不起决定作用。

由不同制备条件的沙蒿生物炭有机组分的元素组成和原子比(表 2)分析可知,沙蒿升温裂解过程是有机组分富碳、去极性官能团的过程。生物炭中有有机组分的原子比 H/C、O/C 和 (N+O)/C 反映生物

表 2

不同沙蒿生物炭有机组分的元素组成和原子比

元素含量	生物炭种类 Biochar categories						
Element content	T <sub>300</sub> t <sub>60</sub> V <sub>150</sub>	T <sub>600</sub> t <sub>60</sub> V <sub>150</sub>	T <sub>900</sub> t <sub>60</sub> V <sub>150</sub>	T <sub>600</sub> t <sub>5</sub> V <sub>150</sub>	T <sub>600</sub> t <sub>150</sub> V <sub>150</sub>	T <sub>600</sub> t <sub>60</sub> V <sub>50</sub>	T <sub>600</sub> t <sub>60</sub> V <sub>250</sub>
C/(g·kg <sup>-1</sup> )	701.70±4.40C	879.7±0.20A	899.30±0.20D	768.50±20.11D	879.69±15.02A	873.90±20.12a	873.97±25.78a
H/(g·kg <sup>-1</sup> )	40.00±2.60D	29.3±0.10D	18.60±0.19C	35.52±1.02A	24.18±1.94E	28.83±2.36a	29.05±1.22a
O/(g·kg <sup>-1</sup> )	245.30±0.30D	79.8±0.90C	73.40±0.17D	184.02±10.62A	86.45±2.69E	86.23±3.02B	86.46±3.04A
N/(g·kg <sup>-1</sup> )	13.00±1.10C	11.20±0.40C	6.40±1.30C	11.96±1.02A	9.68±1.11D	11.04±0.79a	10.52±0.89a
H/C	0.68	0.40	0.25	0.55	0.33	0.40	0.40
O/C	0.26	0.07	0.06	0.18	0.07	0.07	0.07
(N+O)/C	0.28	0.08	0.07	0.19	0.08	0.08	0.08

注:不同字母表示处理间达到极显著差异水平( $P<0.01$ )。

Note: Different letters mean significant difference level ( $P<0.01$ ).

## 2.2 生物炭吸水后的保水性能

生物炭吸水后,保水率与时间的关系反映了不同炭化材料的保水效果(图 1)。在试验过程中,随着时间的延长保水率直线下降,即在试验过程中,不同炭

炭的芳香性、亲水性和极性大小。由表 2 可知,炭化温度越高,炭化时间越长生物炭的有机组分的原子比 H/C、O/C 和 (N+O)/C 越小,而炭化时的升温速率对其无影响,表明沙蒿的升温长时间裂解又是一个芳香性增强,亲水性和极性减弱的过程。与生物炭的吸水率的变化趋势高度一致,说明生物炭吸水性能的大小可能是由极性官能团的多少、亲水性和极性的强弱决定的。

化材料所吸收的水分蒸发速率是恒定的,直至水分蒸发完全。这说明炭化材料吸收水分后,具有一定的保水效果,在蒸发的驱使下使水分稳定持续地释放,水的蒸发速率受温度等物理因素的影响并不大。

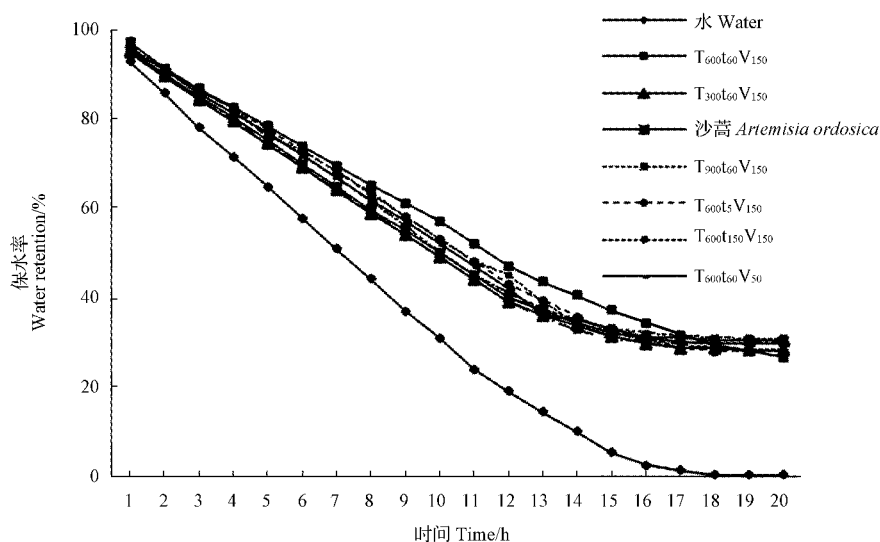


图 1 炭化材料吸水后的保水性能

Fig. 1 Water retention capacity of carbonized material after absorbing water

不同炭化材料处理均保持了较高的保水率和较长的持水时间(表 3)。不同炭化材料的保水效果明显优于对照,说明保水效果显著;不同炭化材料的保水效果不同,T<sub>600</sub> t<sub>60</sub> V<sub>150</sub> 的保水效果要明显优于其它材料。与不同炭化材料在去离子水中的吸水率(表

1)对比可知,吸水性能和保水性能并不一致,沙蒿和 T<sub>600</sub> t<sub>150</sub> V<sub>150</sub> 虽然具有较高的吸水率,但是其保水性能并不很高,而 T<sub>600</sub> t<sub>60</sub> V<sub>150</sub> 虽然吸水率不是最大的,但是保水效果表现最好。

表 3

炭化材料吸水后保水能力拟合曲线方程

Table 3

Curve fitting equation of water retention capacity of carbonized material after absorbing water

处理 Treatment	拟合曲线 Fitting curve	决定系数 Decision coefficient( $R^2$ )
水 Water	$y = -5.213 9x + 89.287$	0.915 5
沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i> ( $T_8$ )	$y = -3.992 3x + 91.981$	0.938 1
$T_{300} t_{60} V_{150}$ ( $T_1$ )	$y = -3.961 6x + 91.754$	0.943 7
$T_{600} t_{60} V_{150}$ ( $T_2$ )	$y = -3.346 5x + 96.901$	0.986 2
$T_{900} t_{60} V_{150}$ ( $T_3$ )	$y = -3.957 2x + 93.293$	0.938 5
$T_{600} t_5 V_{150}$ ( $T_4$ )	$y = -3.921 8x + 95.562$	0.965 7
$T_{600} t_{150} V_{150}$ ( $T_5$ )	$y = -3.895 4x + 95.402$	0.963 4
$T_{600} t_{60} V_{50}$ ( $T_6$ )	$y = -3.800 0x + 94.064$	0.950 5
$T_{600} t_{60} V_{250}$ ( $T_7$ )	$y = -3.711 6x + 91.513$	0.930 7

## 2.3 生物炭施入沙土后的保水性能

图 2 显示,施用炭化材料后土壤含水量随时间的变化曲线。随着蒸发时间的延长,土壤中的水分逐渐降低。自然沙不施用炭化材料蒸发 19 d 后,沙土的含水量随时间的变化曲线趋于平稳,而施用炭化材料的自然沙还存在一定的水分,炭化材料各水平与自然沙对照的差异说明炭化材料的保水作用仍在持续,施用 25 d 后全部趋于稳定。

对图 2 中的曲线进行拟合方程(表 4),沙蒿、

$T_{300} t_{60} V_{150}$ 、 $T_{600} t_{60} V_{150}$ 、 $T_{900} t_{60} V_{150}$ 、 $T_{600} t_5 V_{150}$ 、 $T_{600} t_{150} V_{150}$ 、 $T_{600} t_{60} V_{50}$  和  $T_{600} t_{60} V_{250}$  的水分蒸发速率分别为自然沙的 0.996、0.995、0.955、0.996、0.995、0.986、0.987 和 0.996 倍,说明( $T_{600} t_{60} V_{150}$ )的保水效果最好,即沙蒿在炭化温度 600  $^{\circ}\text{C}$ ,炭化时间 60 min,升温速率 150  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$  的条件下制备的生物炭。

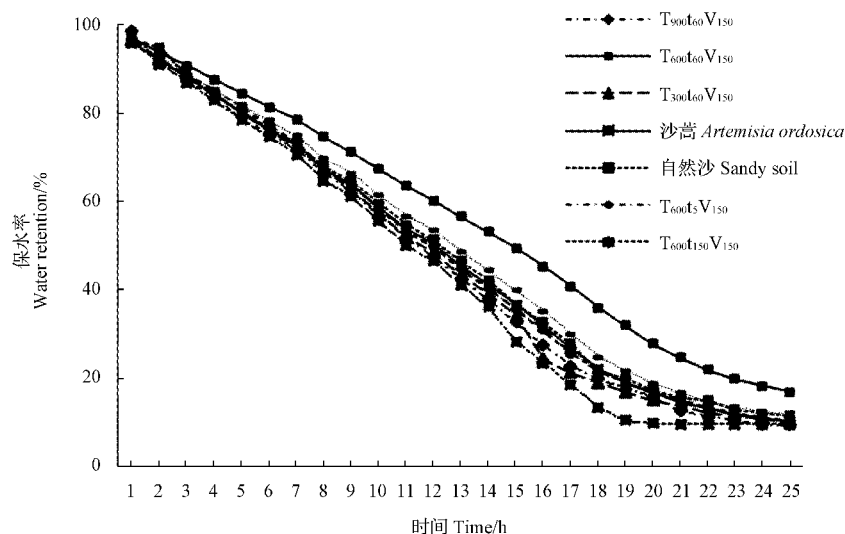


图 2 不同炭化材料施入沙土后保水性能

Fig. 2 Water retention capacity of different carbonized material when added to the sandy soil

表 4

不同炭化材料施入沙土后保水性能

Table 4

Water retention capacity of different carbonized material when added to the sandy soil

处理 Treatment	拟合方程 Fitting curve	决定系数 Decision coefficient( $R^2$ )
自然沙 Sandy soil( $T_0$ )	$y = -3.480 0x + 90.516$	0.906 2
沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i> ( $T_8$ )	$y = -3.465 8x + 93.815$	0.958 0
$T_{300} t_{60} V_{150}$ ( $T_1$ )	$y = -3.461 5x + 92.689$	0.934 5
$T_{600} t_{60} V_{150}$ ( $T_2$ )	$y = -3.322 8x + 99.627$	0.986 2
$T_{900} t_{60} V_{150}$ ( $T_3$ )	$y = -0.346 6x + 92.267$	0.936 1
$T_{600} t_5 V_{150}$ ( $T_4$ )	$y = -3.463 2x + 93.675$	0.953 5
$T_{600} t_{150} V_{150}$ ( $T_5$ )	$y = -3.430 4x + 94.194$	0.953 6
$T_{600} t_{60} V_{50}$ ( $T_6$ )	$y = -3.434 9x + 94.386$	0.951 8
$T_{600} t_{60} V_{250}$ ( $T_7$ )	$y = -3.465 7x + 95.914$	0.965 6

比较图 1 和图 2,炭化材料在沙土中的保水性能不如在水溶液中明显。但施用炭化材料处理与对照相比存在显著差异,说明在沙土中施用炭化材料具有明显的保水作用。施入自然沙后,  $T_{600} t_{60} V_{150}$  的保水性能明显好于其它处理。这一结果与炭化材料吸水后的保水性能一致,证明在去离子水中有较好保水性能的炭化材料,在施入沙土中以后,仍具有较好的保水性能。

### 3 讨论与结论

生物炭的保水性能与土壤质地关系密切,在不同质地的土壤中,一些生物炭施用于壤质土壤时保水性能不如在沙土和粘土质地的土壤明显,这可能与壤土的结构较好,其自身的保水和释水性能较强有关<sup>[7-8]</sup>。GASKIN 等<sup>[4]</sup>研究发现,生物炭的施用可提高土壤持水能力 11% 左右。但水分压力可显著影响生物炭对土壤持水能力的作用效果。以土壤水分特征曲线表征发现,在较高土壤水势条件下,施用生物炭的土壤含水量显著大于对照<sup>[5]</sup>。该研究使用的炭化材料对沙土水分的蒸发具有一定的抑制效果,并且不同制备条件下得到的 8 种生物炭相比,在水溶液中具有较好保水性能的炭化材料在沙土中依然具有较好的保水性能。试验中由于土盆体积较小,因此具有较大的边际效应,对试验结果造成了一定的影响,在以后的试验中,应避免因此带来的影响。

生物炭对土壤含水量的影响除与土壤质地有关外,还与生物炭制备时的炭化温度有关。但具体关系在不同文献中结论不一。有研究发现,炭化温度越高,制备的生物炭吸湿能力越强<sup>[2]</sup>。但另一项研究通过对比 500、700、900 °C 条件下制备的生物炭,结果表明,900 °C 生物炭的吸湿效果远低于 500、700 °C 的生物炭,且 500、700 °C 生物炭的吸湿效果没有显著差异<sup>[6]</sup>。与 WANG 等<sup>[6]</sup>研究结果类似,认为炭化温度与生物炭持水量呈负相关关系。如炭化温度为 300 °C 的作物秸秆生物炭持水量为  $13 \times 10^{-4} \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$ ,而在 700 °C 时减少到  $4.1 \times 10^{-4} \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$ ,炭化温度每升高 100 °C,持水量平均降低  $2.25 \times 10^{-4} \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$ 。肖瑞瑞等<sup>[9]</sup>试验发现,生物炭的持水性能除与土壤质地和生物炭施用量等外部因素有关外,还与生物炭的自身因素有关。400~600 °C 制备的生物炭持水能力最强,疏水性最弱。该研究中也类似结论,认为 600 °C 的生物炭保水效果最优。这可能是因为生物炭表面的极性官能团随着炭化温度升高而减少,导致持水量降低有关。另一方面,生物炭会增加土壤的斥水性,对比松木生物炭颗粒和枯枝落叶的斥水

力发现,二者差别巨大,抵抗湿润的时间分别为 2 h 和 10 s<sup>[10]</sup>。但生物炭影响土壤斥水性能的机理仍需进一步研究。

生物炭的保水性能还受施用量的制约<sup>[10-11]</sup>。UZOMA 等<sup>[12]</sup>研究证明,生物炭对沙地土壤的水分利用效果较好,并进一步证明其作用效果随着生物炭施用量的增大而增强。当施用量为 10、15、20 t · hm<sup>-2</sup> 时,分别比对照增加了 6%、139%、91%。此外,还有研究认为,生物炭过量施用,炭化材料大量吸水后容易造成表层土壤严重板结,反而加快土壤表面水分的蒸发,导致其保水性能受到影响<sup>[13]</sup>。同时,大量施用还会导致运输和购买成本上升,效益下降等问题,这会给炭化材料的推广应用带来困难。该研究中,只是对不同的生物炭及生物炭的原材料的吸水和保水性能进行研究,未涉及到生物炭用量的问题,所以生物炭施用量对沙土吸水和保水性能的影响还需进一步研究。

生物炭的吸水性能和保水性能的效果并不一致,即吸水性能高,保水效果并不一定就好,这可能是因为与水溶液相比,土壤中各种离子的作用,其在土壤中的保水性能受到一定程度的限制,但是生物炭仍然可以发挥保水作用。不同炭化材料在水溶液和沙土中的保水性能表现不尽一致。但炭化温度 600 °C,炭化时间 60 min,升温速率 150 °C · h<sup>-1</sup> 的条件下制备的生物炭保水效果最好。至于生物炭的保水机理,大多研究认为主要取决于生物炭原料的自身结构(如孔容、孔径和比表面积等<sup>[14-16]</sup>)和施入的土壤质地<sup>[1,17]</sup>,这方面该研究还需进一步探讨。但是,该研究认为生物炭吸水性能的大小可能是由极性官能团的多少、亲水性和极性的强弱决定的。

炭化温度是生物炭保水性能的最主要限制因素,其次为炭化时间,升温速率对其无显著影响。沙蒿生物炭具有良好的保水性能,炭化温度为 600 °C,炭化时间为 60 min,升温速率为 150 °C · h<sup>-1</sup> 的条件下制备的生物炭在沙土中的保水效果最好。

### 参考文献

- [1] 黄剑. 生物炭对土壤微生物量及土壤酶的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [2] DEMPSTER D N, GLEESON D B, SOLAIMAN M, et al. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralization with *Eucalyptus* biochar addition to a coarse textured soil[J]. Plant and Soil, 2012, 354: 311-324.
- [3] TRYON E H. Effect of charcoal on certain physic, chemical, and biological properties of forest[J]. Ecological Monographs, 1998, 18: 81-115.
- [4] GASKIN J W, STEINER C, HARRIS K, et al. Effects of low-

temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use[J]. Transactions of the ASABE, 2008, 51(6): 2061-2069.

[5] BONELLI P R, RAMOS M E, BUONOMO E L, et al. Potentialities of the biochar generated from raw and acid pretreated sugarcane agricultural wastes[C]. 8<sup>th</sup> Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization, Sochi, Russian Federation, 2006: 886-892.

[6] WANG H C, FENG L Y, CHENG Y G. Advances in biochar production from wastes and its applications[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2012, 31(4): 907-914.

[7] 张富仓, 康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 74-78.

[8] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 44-46.

[9] 肖瑞端, 陈雪莉, 周志杰, 等. 温度对生物质有机结构的影响[J]. 太阳能学报, 2010, 31(3): 491-496.

[10] 李昌见, 屈忠义, 勾芒芒, 等. 生物炭对土壤水肥利用效率与番茄生长影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(11): 2187-2193.

[11] 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.

[12] UZOMA K C, INOUE M, ANDRY H, et al. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition[J]. Soil Use and Management, 2011, 27(2): 205-212.

[13] 孙爱华, 华信, 朱士江. 生物炭对土壤养分及水分的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 53(16): 64-66, 91.

[14] 花莉, 陈英旭, 吴伟祥, 等. 生物炭输入对污泥施用土壤-植物系统中多环芳烃迁移的影响[J]. 环境科学, 2009, 30(8): 2419-2424.

[15] LEHMANN J. A handful of carbon[J]. Nature, 2007, 447: 143-144.

[16] SINGH B P, COWIE A. The mean turnover time of biochar in soil varies depending on biomass source and pyrolysis temperature[C]. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Symposium, 2010: 235-238.

[17] 周志红, 李心清, 邢英, 等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用[J]. 地球与环境, 2011, 39(2): 278-284.

## Effect of Different Carbonization Conditions on Water Retention Properties of Black *Artemisia ordosica* Biochar

YAO Junqing<sup>1,2,3,4</sup>, HOU Jianwei<sup>1,2,3,4</sup>, SUO Quanyi<sup>5</sup>, DUAN Yu<sup>1,2,3,4</sup>, ZHANG Jun<sup>1,2,3,4</sup>, JING Yupeng<sup>1,2,3,4</sup>

(1. Institute of Resources and Environment and Testing Technology Sciences, Inner Mongolia Agricultural Science, Hohhot, Inner Mongolia 010031; 2. Inner Mongolia Key Laboratory of Dryland Farming, Hohhot, Inner Mongolia 010031; 3. Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Inner Mongolia), Hohhot, Inner Mongolia 011705; 4. Wuchuan Scientific Observing and Experimental Station of Agro Environment, Ministry of Agriculture, Hohhot, Inner Mongolia 011705; 5. College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019)

**Abstract:** *Artemisia ordosica* biochar has abundant pore structure and huge specific surface area, which is a good water holding material. The effect of *Artemisia biochar* water retention on the carbonization conditions was studied. Three carbonization conditions (carbonization temperature, carbonization time and heating rate) had been set in this experiment. The anaerobic carbonization was taken on black *Artemisia ordosica*. The results showed that the higher water absorption rate of biochar and *Artemisia* were 4 246.6—4 803.3 g · kg<sup>-1</sup> and 5 340.3 g · kg<sup>-1</sup>, respectively, biochar 600 °C in deionized water and water retention capacity were relatively strong. The determination coefficient of fitting curves was 0.963 4—0.986 2, and the maximum was 0.986 2 in carbonization for 60 minutes, the minimum was 0.938 1 in *Artemisia ordosica*. Evaporation rate was 0.955—0.996 times and 0.996 times relative to natural sand in the sandy soil, its minimum was presented to carbonized 60 minutes at 600 °C, and the maximum was appeared in carbonized 5 minutes at 600 °C. However, the heating rate did not play a decisive role in the water absorption and water retention of biochar. Therefore, water retention properties of biochar mainly depended on the carbonization temperature and time, the water absorption and water retention properties were not consistent and water retention in deionized water and sand was consistent, biochar 600 °C carbonization 60 minutes was the best choice for improving sandy soil water retention properties.

**Keywords:** *Artemisia ordosica*; biochar; carbonization condition; bibulous rate; water retention properties