

沙蒿生物质炭在沙土中的降解特征^①

侯建伟¹, 索全义³, 段玉^{2,4,5,6*}, 赵沛义^{2,4,5,6}, 张君^{2,4,5,6}, 景宇鹏^{2,4,5,6}

(1 铜仁学院乌江农林经济学院, 贵州铜仁 554300; 2 内蒙古自治区农牧业科学院资源环境与检测技术研究所, 呼和浩特 010031; 3 内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 呼和浩特 010019; 4 内蒙古旱作农业重点实验室, 呼和浩特 010031; 5 农业部内蒙古耕地保育科学观测实验站, 呼和浩特 011705; 6 农业部武川农业环境科学观测实验站, 呼和浩特 011705)

摘要: 为明确不同炭化条件下沙蒿生物质炭的有机组分、炭化过程和降解特性。于不同炭化条件下无氧炭化制备沙蒿生物质炭并进行沙地封存。结果表明: H、O 和 N 元素的质量分数及 H/C、O/C 和 (N+O)/C 均随炭化温度的升高和炭化时间的延长呈先降低后稳定的变化趋势, 升温速率对其无显著影响。而 C 则呈相反趋势且均在炭化温度 >600 °C、炭化时间 >60 min 以后基本达定值, 上述指标(H、O、N、H/C、O/C、(N+O)/C 和 C)的稳定值分别约为 29.3 g/kg、79.8 g/kg、11.2 g/kg、0.40、0.07、0.08 和 879.7 g/kg。生物质炭的降解速率随着炭化温度的升高、炭化时间的延长和施用量的增大而降低, 其半衰期为 2~12 年。综上, 沙蒿的炭化既是有机组分富碳、去极性官能团的过程, 同时也是芳香性增强、亲水性和极性减弱的过程, 施用量和炭化温度是影响生物质炭降解的决定性因素。

关键词: 沙蒿; 生物质炭; 有机组分; 沙土; 降解周期

中图分类号: S156.4+1 **文献标识码:** A

近年来 随着为应对气候变化而提出的温室气体减排任务实施的日益艰难, 国际社会纷纷提出了把农业废弃物转化为生物质炭^[1-4], 并有较多关于生物质炭添加对土壤养分吸收和作物产量影响的报道^[5-6]。也有一些研究推测, 黑碳物质可在自然环境中稳定数千年, 其半衰期至少在 100 年左右^[7-8], 但至今对生物质炭的土壤环境效应的研究还较为薄弱, 特别是对生物质炭的炭化过程中有机组分的变化及进入土壤后生命周期等方面还缺乏深入的了解。由于生物质炭是通过特定方式制备的, 其化学组成既不同于一般的植物生物质, 也不同于自然环境中的黑碳^[9-11]。因此, 其在环境中的稳定性也与自然界的黑碳和一般的植物生物质有着根本的区别, 进入土壤后有着其自身的变化规律。本研究于不同炭化条件下制备沙蒿生物质炭并采用盆栽试验的方法进行沙地封存固碳, 旨在为了解生物质炭的有机组分、炭化过程及被施入沙土后可能发生的变化及降解时间, 为生物质炭改善沙地环境和增汇减排的时间尺度提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料

供试材料为沙蒿生物质炭。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 °C 烘至恒重(约 24 h), 粉碎并过 2 mm 筛后制取生物质炭。

1.2 生物质炭的制备

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, 放置于坩埚中, 通过抽气创造低氧环境, 在不同炭化条件下制取生物质炭, 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 10 个处理, 每个处理重复 3 次。分别为: 对照(T₀): 自然沙(取自沙蒿同一地点 0~15

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260502)、公益性行业(农业)科研专项(201103005)和铜仁市科学技术局科技计划面上(自筹经费)项目(2017TRS19949)资助。

* 通讯作者(duanyu63@aliyun.com)

作者简介: 侯建伟(1986—), 男, 内蒙古通辽人, 博士, 副教授, 主要研究方向为土壤肥力与植物营养。E-mail: hjw19860627@126.com

cm 土层), 不施用任何物料。炭化温度 300、600 和 900 °C, 炭化时间 60 min, 升温速率 150 °C/h 制备的生物质炭, 即: $T_{300t_{60}V_{150}}(T_1)$ 、 $T_{600t_{60}V_{150}}(T_2)$ 、 $T_{900t_{60}V_{150}}(T_3)$ 。炭化温度 600 °C, 炭化时间 5 min 和 150 min, 升温速率 150 °C/h 制备的生物质炭, 即: $T_{600t_5V_{150}}(T_4)$ 、 $T_{600t_{150}V_{150}}(T_5)$ 。炭化温度 600 °C, 炭化时间 60 min, 升温速率 50 °C/h 和 250 °C/h 制备的生物质炭, 即: $T_{600t_{60}V_{50}}(T_6)$ 、 $T_{600t_{60}V_{250}}(T_7)$ 。炭化温度 600 °C, 升温速率 150 °C/h, 炭化时间 60 min 得到的生物质炭, 施用量设置为 1.0% 和 4%, 即: 1.0%(T_8)、4.0%(T_9)。

$T_0 \sim T_7$ 处理按 2% 的生物质炭施用量, 其余按设置施用量与自然沙均匀混合装入塑料桶(高为 15 cm)中, 含水量控制在该沙土田间持水量的 70%, 加盖, 每隔 5 d 称重一次并补水到初始质量, 放入网室内模拟自然条件培养。分别在培养的第 3、5、12 和 15 月取样测试各指标。

1.4 测试项目与方法

生物质炭的元素组成: 全 C、H 和 N 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。

土壤有机碳测定采用重铬酸钾外加热法^[12]。

生物质炭的半衰期: 土壤全碳含量的差异作为添加的生物质炭降解的表观残留碳量, 残留碳用一级动力学方程 $C = C_0 e^{-Kt}$ 进行拟合, 其中 C 为时间 t 残留的碳量(g/kg), C_0 为培养前土壤与生物质炭混合的全碳含量(g/kg), K 为降解速率常数(/月), t 为时间(月)。根据公式 $T = 0.693/K$ 计算生物质炭的半衰期(月)^[8]。

2 结果与分析

2.1 不同炭化条件下生物质炭的有机组分

沙蒿升温裂解过程是有机组分富碳、去极性官能团的过程。无论炭化温度高低和炭化时间长短, 生物质炭中有机组分的 C 均较高(>70%), 且随炭化温度的升高和炭化时间的延长而增加, 这种趋势在炭化温度为 300 °C 时表现得最为突出, 当炭化温度为 600 和 900 °C 时, 炭化时间达到 60 min 以后 C 基本达到定值。而 H 元素、O 元素和 N 元素含量则与 C 呈相反趋势(表 1)。

生物质炭中有机组分的原子比 H/C、O/C 和(N+O)/C 反映生物质炭的芳香性、亲水性和极性大小。由表 1 可知, 炭化温度越高, 炭化时间越长, 生物质炭有机组分的原子比 H/C、O/C 和(N+O)/C 越小, 而炭化时的升温速率对其无显著影响, 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。

表 1 不同沙蒿生物质炭有机组分的元素组成和原子比
Table 1 Elemental compositions and atomic ratios of different *Artemisia ordosica* biochars

指标	生物质炭						
	$T_{300t_{60}V_{150}}$	$T_{600t_{60}V_{150}}$	$T_{900t_{60}V_{150}}$	$T_{600t_5V_{150}}$	$T_{600t_{150}V_{150}}$	$T_{600t_{60}V_{50}}$	$T_{600t_{60}V_{250}}$
C(g/kg)	701.70 ± 4.40 C	879.70 ± 0.20 B	899.30 ± 0.20 A	768.50 ± 20.11 D	879.69 ± 15.02 B	873.90 ± 20.12 B	873.97 ± 25.78 B
H(g/kg)	40.00 ± 2.60 A	29.30 ± 0.10 C	18.60 ± 0.19 E	35.52 ± 1.02 B	24.18 ± 1.94 D	28.83 ± 2.36 C	29.05 ± 1.22 C
O(g/kg)	245.30 ± 0.30 A	79.80 ± 0.90 D	73.40 ± 0.17 D	184.02 ± 10.62 B	86.45 ± 2.69 C	86.23 ± 3.02 C	86.46 ± 3.04 C
N(g/kg)	13.00 ± 1.10 A	11.20 ± 0.40 C	6.40 ± 1.30 E	11.96 ± 1.02 B	9.68 ± 1.11 D	11.04 ± 0.79 C	10.52 ± 0.89 D
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: 表中同行数据大写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.01$ 显著水平。

2.2 培养时间对有机碳的影响

2.2.1 不同生物质炭和培养时间对沙土中有机碳的影响
沙土中添加生物质炭后其有机碳大幅升高, 具体表现为炭化温度越高、炭化时间越长的生物质炭施入沙土后, 沙土中的有机碳越高; 不同升温速率条件下, 其有机碳呈单峰曲线趋势, 150 °C/h 时达到最大值(表 2)。

此外, 沙土中的有机碳均随着培养时间的延长而

降低, 培养 15 个月后, $T_0 \sim T_7$ 各个处理有机碳比培养前分别降低了 8.26%、22.02%、7.74%、5.27%、7.82%、7.09%、8.10% 和 7.84%。

由不同生物质炭和培养时间有机碳的残留率(图 1)可知, 300 °C 的生物质炭降解速率非常快, 而 900 °C 的生物质炭降解速率相对较慢, 而 600 °C 不同炭化时间和升温速率的生物质炭, 降解速率缓慢且大小相

当。此外，不同生物质炭的有机碳残留率均随着培养时间的延长表现为先快后慢的降低趋势，特别是 300 °C 的生物质炭，其次为 600 °C 的生物质炭，而 900 °C

的生物质炭相对稳定。说明不同时间段生物质炭的降解差异主要受炭化温度的影响，炭化温度越低培养前期的降解速率就越快。

表 2 不同生物质炭和培养时间下沙土中有机碳的含量(g/kg)
Table 2 Organic carbon contents in sandy soil under different biochars and incubation time

处理	培养时间(月)				
	0	3	5	12	15
自然沙(T ₀)	2.30 ± 0.02 Ah	2.24 ± 0.15 Bg	2.18 ± 0.08 Ch	2.16 ± 0.10 Dg	2.11 ± 0.14 Eh
T _{300t60V150} (T ₁)	16.25 ± 0.56 Ad	13.83 ± 0.21 Bf	13.38 ± 0.14 Cg	12.84 ± 1.02 Dg	12.71 ± 0.20 Eg
T _{600t60V150} (T ₂)	16.28 ± 0.38 Ac	15.82 ± 0.69 Bb	15.54 ± 0.22 Cc	15.33 ± 0.61 Dc	15.02 ± 0.19 Ec
T _{900t60V150} (T ₃)	17.65 ± 0.64 Aa	17.21 ± 0.78 Ba	17.09 ± 0.19 Ca	16.81 ± 1.03 Da	16.72 ± 0.34 Ea
T _{600t5V150} (T ₄)	16.12 ± 0.33 Ae	15.66 ± 0.42 Bc	15.35 ± 0.28 Cd	15.16 ± 1.00 Dd	14.86 ± 0.25 Ed
T _{600t150V150} (T ₅)	16.36 ± 0.49 Ab	15.90 ± 0.52 Bb	15.66 ± 0.22 Cb	15.39 ± 0.45 Db	15.20 ± 0.36 Eb
T _{600t60V50} (T ₆)	15.80 ± 0.61 Af	15.34 ± 0.31 Bd	15.06 ± 0.31 Ce	14.87 ± 0.38 De	14.52 ± 0.48 Ee
T _{600t60V250} (T ₇)	15.68 ± 0.33 Ag	15.22 ± 0.26 Be	14.93 ± 0.56 Cf	14.76 ± 0.52 Df	14.45 ± 0.22 Ef

注：表中大写字母不同表示同一处理不同培养时间差异达到 P<0.01 显著水平，小写字母不同表示同一培养时间不同处理间差异达到 P<0.01 显著水平，下表同。

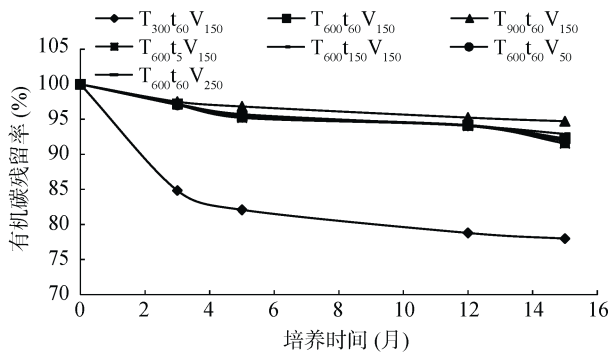


图 1 不同生物质炭和培养时间有机碳的残留率
Fig.1 Residual rates of organic C under different biochars and incubation time

2.2.2 生物质炭不同施用量和培养时间对沙土中有机碳的影响 不同施用量的生物质炭均提高了沙土中的有机碳，生物质炭的施用量越大沙土中的有机碳越高，此外，沙土中的有机碳含量均随着培养时间的

延长呈下降趋势(表 3)。培养 15 个月后，1%、2%和 4%的生物质炭施用量，沙土中的有机碳较培养前分别降低了 9.49%、7.74%和 4.40%。

结合生物质炭不同施用量和培养时间的有机碳残留率(图 2)可知，有机碳的残留率与生物质炭的施用量有关，表现为：4%>2%>1%。培养 15 个月后，1%、2% 和 4% 的生物质炭施用量有机碳残留率分别为 90.52%、92.26% 和 96.21%，说明沙土中的生物质炭施用量越大，其有机碳的残留率越高。此外，生物质炭不同施用量的有机碳残留率均随着培养时间的延长表现为先快后慢的降低趋势，不同施用量下这种趋势的显著程度表现为：1%>2%>4%，且 1% 的生物质炭施用量，其有机碳残留率一直处于迅速降低水平。说明不同时间段生物质炭的降解差异主要受生物质炭施用量的影响，施用量越低培养前期的降解速率越快。

表 3 生物质炭不同施用量和培养时间下沙土中有机碳含量(g/kg)
Table 3 Organic carbon contents in sandy soil under different application amounts of biochars and incubation time

施用量	培养时间(月)				
	0	3	5	12	15
自然沙(T ₀)	2.30 ± 0.02 Ad	2.24 ± 0.15 Bd	2.18 ± 0.08 Cd	2.16 ± 0.10 Dd	2.11 ± 0.14 Ed
1%	12.64 ± 0.44 Ac	12.18 ± 0.56 Bc	12.00 ± 1.00 Cc	11.57 ± 0.62 Dc	11.44 ± 0.57 Ec
2%	16.28 ± 0.38 Ab	15.82 ± 0.69 Bb	15.54 ± 0.22 Cb	15.33 ± 0.61 Db	15.02 ± 0.19 Eb
4%	22.71 ± 1.03 Aa	22.35 ± 2.30 Ba	22.17 ± 1.07 Ca	22.00 ± 0.96 Da	21.85 ± 0.31 Ea

注：3 个处理的生物质炭均为相同炭化条件(炭化温度为 600 °C，炭化时间为 60 min，升温速率为 150 °/h)下的沙蒿生物质炭。

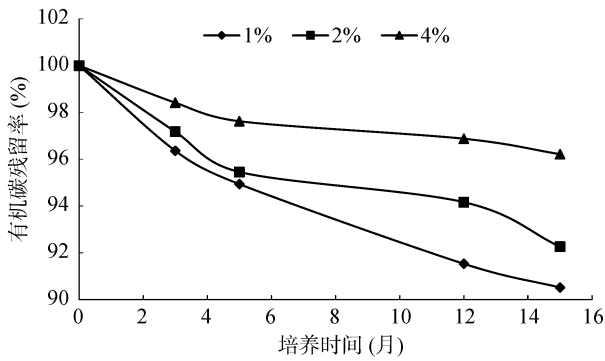


图 2 生物质炭不同施用量和培养时间有机碳的残留率
Fig. 2 Residual rates of organic C under different application amounts of biochars and incubation time

2.3 有机碳的降解半衰期

2.3.1 不同生物质炭的有机碳降解半衰期 根据施用的生物质炭的残留碳量, 可用一级动力学方程 $C=C_0e^{-kt}$ 进行拟合计算各种生物质炭的降解半衰期 (表 4、表 5)。结果表明, 不同生物质炭的有机碳降

解半衰期计算结果与培养时间有关。大体表现为: 培养时间越长, 有机碳降解的半衰期越大, 且培养后期(12 ~ 15 月)变幅相对较小。这种变化趋势与有机碳的残留率曲线(图 1、图 2)前快后慢的变化趋势一致。因此, 适当延长培养时间, 在较长的时间尺度内求平均值作为有机碳降解的半衰期可能更接近于真实值。

对不同生物质炭和培养时间下有机碳降解的半衰期(表 4)分析可知, 不同炭化温度生物质炭的平均半衰期相差较大, 具体表现为, 300 °C 的生物质炭半衰期最短, 为 27.1 个月(2.26 年), 900 °C 的生物质炭半衰期最长, 为 138.1 个月(11.51 年), 而 600 °C 不同炭化时间和升温速率的生物质炭半衰期长短相当, 均在 100 个月(约 8 年)左右。说明炭化温度是影响生物质炭半衰期的决定性因素, 炭化温度越高, 生物质炭越稳定, 半衰期越长, 600 °C 和 900 °C 的生物质炭半衰期是 300 °C 生物质炭的 3.54 倍和 5.09 倍。

表 4 不同生物质炭和培养时间下有机碳降解的半衰期(月)
Table 4 Half lives of organic carbon degradation under different biochars and incubation time

处理	培养时间(月)				均值
	3	5	12	15	
T ₃₀₀ t ₆₀ V ₁₅₀ (T ₁)	12.9 ± 0.1 Df	17.8 ± 1.9 Cf	35.3 ± 0.9 Bf	42.3 ± 0.4 Af	27.1
T ₆₀₀ t ₆₀ V ₁₅₀ (T ₂)	72.5 ± 0.6 Db	74.5 ± 0.5 Cc	138.3 ± 2.5 Bb	129.0 ± 1.2 Ac	103.6
T ₉₀₀ t ₆₀ V ₁₅₀ (T ₃)	82.4 ± 0.2 Da	107.5 ± 0.4 Ca	170.5 ± 2.1 Ba	192.0 ± 2.0 Aa	138.1
T ₆₀₀ t ₅ V ₁₅₀ (T ₄)	71.8 ± 0.2 Dc	70.8 ± 0.5 Ce	135.4 ± 1.2 Be	127.7 ± 1.3 Ad	101.4
T ₆₀₀ t ₁₅₀ V ₁₅₀ (T ₅)	72.9 ± 0.3 Db	79.2 ± 0.8 Cb	136.1 ± 0.3 Bd	141.3 ± 0.2 Ab	107.4
T ₆₀₀ t ₆₀ V ₅₀ (T ₆)	70.4 ± 0.4 Dd	72.2 ± 1.1 Cd	137.1 ± 0.9 Bc	123.0 ± 0.7 Ae	100.7
T ₆₀₀ t ₆₀ V ₂₅₀ (T ₇)	69.8 ± 0.5 De	70.7 ± 1.1 Ce	137.5 ± 1.1 Bc	127.2 ± 0.6 Ad	101.3

2.3.2 不同施用量下有机碳的降解半衰期 对生物质炭不同施用量和培养时间下有机碳降解的半衰期(表 5)分析可知, 生物质炭施用量越多其半衰期也越长, 1%、2% 和 4% 的生物质炭施用量其平均半衰期分别为 80.3 个月(6.69 年)、103.6 个月(8.63 年)和 201.3 个月

(16.77 年) 4% 的生物质炭施用量其平均半衰期分别是 1% 和 2% 的 2.51 倍和 1.94 倍。说明生物质炭施用量也是影响生物质炭半衰期的决定性因素之一, 可能是因为沙土环境对生物质炭的降解能力有限, 致使较高的生物质炭施用量只能进行相对漫长的、低速率降解。

表 5 生物质炭不同施用量和培养时间下有机碳降解的半衰期(月)
Table 5 Half lives of organic carbon degradation under different application amounts of biochars and incubation time

施用量	培养时间(月)				均值
	3	5	12	15	
1%	56.1 ± 1.1 Dc	66.7 ± 0.8 Cc	94.0 ± 2.3 Bc	104.4 ± 1.6 Ac	80.3
2%	72.5 ± 0.6 Db	74.5 ± 0.5 Cc	138.3 ± 2.5 Bb	129.0 ± 1.2 Ac	103.6
4%	130.1 ± 0.9 Da	144.0 ± 2.4 Ca	261.8 ± 1.2 Ba	269.3 ± 3.2 Aa	201.3

3 讨论

生物质炭的惰性较强,被认为是全球碳循环中的重要碳汇之一,据以前的文献记载生物质炭的半衰期可达100年以上甚至更高^[13]。但是近些年的研究表明^[8],生物质炭的降解速率并没有那么慢,本文的研究结论与此一致,同时证明生物质炭降解时间的计算结果与培养时间有关,表现为培养前期降解较快而后期缓慢。因此,适当延长培养时间来估算生物质炭的降解半衰期,其结果可能更接近于真实值。但目前还没有计算生物质炭的降解半衰期以培养多久为宜的相关报道。

生物质炭的降解与炭化温度、制备材料、施用量及培养条件息息相关。本文与 Bruun 等^[14]研究均认为,生物质炭的半衰期与制备生物质炭的炭化温度关系最为密切,炭化温度越高,降解速率越慢。300~900℃制备的沙蒿生物质炭在沙土中的半衰期为2~12年,远远低于一些报道^[8,15-16]。Kuzyakov 等^[15]和 Hamer 等^[16]利用黑麦草、黑麦秸秆、玉米秸秆和木材制备生物质炭,均在土壤中培养60d,其降解速率分别为1.8%、0.78%、0.72%和0.26%,说明不同制备材料的生物质炭由于自身结构和特性的差异会影响着生物质炭的降解速率。而章明奎等^[8]研究表明,生物质炭的降解速率与培养时的水分条件有关,淹水条件会降低土壤的通气性和微生物的活性,因此,非淹水条件下降解速率高于淹水环境。Shneour^[17]和 Baldock^[18]通过对生物质炭灭菌与非灭菌处理、接种微生物与未接种微生物处理对比发现,生物质炭经过灭菌处理后会降低降解速率,接种微生物会提高降解速率。由此可推断,生物质炭降解可能是土壤微生物过程与非微生物过程共同作用的结果。

还有研究表明^[8],生物质炭与有机物料混合可延长有机物料的降解半衰期,但仍低于生物质炭。生物质炭的降解是一个复杂的变化过程,不仅存在生物、化学变化,而且还可能具有在土壤中随培养时间的延长生物质炭颗粒呈现逐渐破碎、变小,由轻组分逐渐向重组分转化的趋势^[19]。至于生物质炭与制取材料本身降解周期的关系、更长时间尺度的推断生物质炭的半衰期及随着生物质炭的降解其内部各组分的转化关系还需进一步研究。

4 结论

1) 生物质炭的有机组分主要受炭化温度的影响,炭化温度越高,有机碳含量越高,而H、O和N

越低。

2) 炭化温度越高、炭化时间越长,生物质炭的芳香性越强,亲水性和极性越弱。

3) 生物质炭在沙土中的降解速率与生物质炭的制备条件和施用量有关。高温、长时间炭化、高施用量的生物质炭降解速率最慢,制备条件中炭化温度是决定生物质炭降解的主要因素,300、600和900℃制备的生物质炭在沙土中的半衰期分别为2、8和11年左右。

4) 生物质炭在沙土中降解速率与施用量呈负相关,4%的施用量半衰期分别是2%和1%的1.94倍和2.51倍;2%的施用量半衰期是1%的1.29倍。

参考文献：

- [1] 王欣,尹带霞,张凤,等. 生物炭对土壤肥力与环境质量的影响机制与风险解析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 248-257
- [2] Raun W R, Johnson G V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production[J]. Agronomy Journal, 1999, 91(3): 357-363
- [3] Tryon E H. Effect of charcoal on certain physic, chemical, and biological properties of forest soils[J]. Ecological Monographs, 1998, 18: 81-115
- [4] 李昌见,屈忠义,勾芒芒. 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
- [5] 刘冲,吴文成,刘晓文,等. 制备条件对生物质炭特性及修复重金属污染农田土壤影响研究进展[J]. 土壤, 2016, 48(4): 641-647
- [6] 康熙龙,张旭辉,张硕硕,等. 旱地土壤施用生物质炭的后效应——水分条件对土壤有机碳矿化的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1): 152-158
- [7] Keech O, Carcaillet C, Nilsson M C, et al. Adsorption of allelopathic compounds by wood-derived charcoal: The role of wood porosity[J]. Plant and Soil, 2005, 272(1/2): 291-300
- [8] 章明奎,顾国平,王阳. 生物质炭在土壤中的降解特征[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(3): 329-335
- [9] Zimmerman A R. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar) [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44: 1295-1301
- [10] 赵廷林,王鹏,邓大军,等. 生物质热解研究现状与展望[J]. 农业工程技术(新能源产业), 2007, 10(5): 220-225
- [11] Lehmann J, Rilling M C, Thies J. Biochar effects on soil biota-a review[J]. Soil Biol. Biochem., 2011, 43: 1812-1816
- [12] 张祥,王典,姜存仓,等. 生物炭对我国南方红壤和黄棕壤理化性质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(8): 979-984
- [13] Andrew Z R. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon(biochar)[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(4): 1295-1301

- [14] Bruun S, Jensen E S, Jensen L S. Microbial mineralization and assimilation of black carbon[J]. *Organic Geochemistry*, 2008, 39(7): 839–845
- [15] Kuz'yakov Y, Subbotina I, Chen H Q. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(2): 210–219
- [16] Hamer U, Marschner B, Brodowski S. Interactive priming of black carbon and glucose mineralization[J]. *Organic Geochemistry*, 2004, 35(7): 823–830
- [17] Shneour E. Oxidation of graphology carbon in certain soil[J]. *Science*, 1966, 151: 991–992
- [18] Baldock J A, Smernik R J. Chemical composition and bio availability of thermally altered *Pinus resinosa*(red pine) wood[J]. *Organic Geochemistry*, 2002, 33(9): 1093–1109
- [19] Bruun S, Jensen E S, Jensen L S. Microbial mineralization and assimilation of black carbon: dependency on degree of thermal alteration[J]. *Organic Geochemistry*, 2008, 39(7): 839–845

Degradation Characteristics of *Artemisia ordosica* Biochar in Sandy Soil

HOU Jianwei¹, SUO Quanyi³, DUAN Yu^{2, 4, 5, 6*}, ZHAO Peiyi^{2, 4, 5, 6}, ZHANG Jun^{2, 4, 5, 6}, JIN Yupeng^{2, 4, 5, 6}

(1 *Wujiang River Institute of Agriculture and Forestry Economics, Tongren University, Tongren, Guizhou 554300, China*;
2 *Institute of Resources and Environment and Detection Technology, Inner Mongolia Academy of Agriculture & Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China*; 3 *College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China*; 4 *Inner Mongolia Key laboratory of Dryland Farming, Hohhot 010031, China*;
5 *Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Inner Mongolia), Hohhot 011705, China*;
6 *Wuchuan Scientific Observing and Experimental Station of Agro-Environment, Ministry of Agriculture, Hohhot 011705, China*)

Abstract: *Artemisia ordosica* biochars were prepared under anaerobic carbonization condition at different temperatures and added into the sand in order to identify their organic components, carbonization process and degradation characteristics under different carbonization conditions. The results showed that the mass fraction of H, O and N elements, H/C, O/C and (N + O)/C decreased first and then tended to stable with the increase of temperature and carbonization time, but they were not affected obviously by the heating rate, while C showed the opposite trend and it was near stabilized after carbonization temperature > 600 °C, the carbonized time > 60 min. The stable values of the above indexes were about 29.3 g/kg, 79.8 g/kg, 11.2 g/kg, 0.40, 0.07, 0.08 and 879.7 g/kg, respectively. Degradation rate of biochar was reduced with the increased carbonization temperature, extended carbonization time and increased amount of biochar, its half-life was about 2—12 years. In conclusion, the biomass heating pyrolysis is a process in which carbon enriched and polar functional groups cut, meanwhile aromaticity increased but hydrophilic and polarity weakened, and application amount and carbonization temperature are the decisive factors in influencing degradation of biochar.

Key words: *Artemisia ordosica*; Biochar; Organic components; Sand; Degradation of cycle